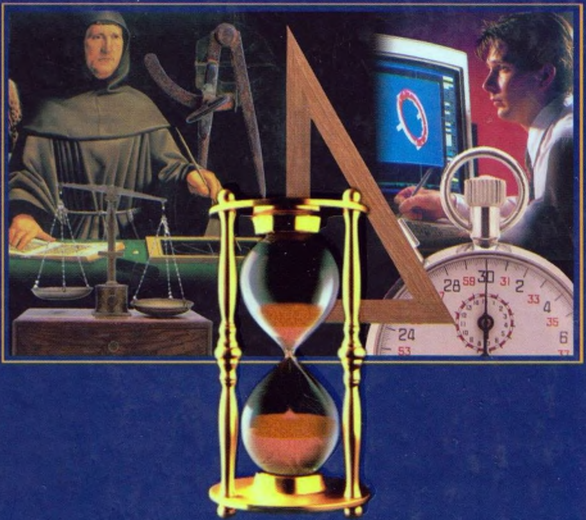
Айзек Азимов

МИР ИЗМЕРЕНИЙ

НАУЧНО-ПОПУЛЯРНАЯ БИБЛИОТЕКА



От локтей и ярдов
к эргам и квантам

ЦЕНТРПОЛИГРАФ

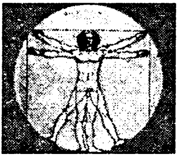
Isaac Asimov

REALM OF MEASURE

Айзек Азимов

МИР ИЗМЕРЕНИЙ

От локтей и ярдов
к эргам и квантам



Москва
ЦЕНТРПОЛИГРАФ
2003

УДК 820(73)
ББК 84(7Сое)
А35

Оформление художника И.А. Озерова

Азимов Айзек

А35 Мир измерений. От локтей и ярдов к эргам и квантам / Пер. с англ. О.В. Замятиной. — М.: ЗАО Центрполиграф, 2003. — 219 с.

ISBN 5-9524-0346-8

Из этой книги вы узнаете, почему единицы измерения в Британии и Америке отличаются от европейской системы, в основу которой положен метр. Сможете разобраться с переводом одних единиц измерений в другие. Поймете всю важность значения единых стандартов, без которых наша цивилизация не смогла бы существовать. Разберетесь с тонкой материей взаимоотношений различных единиц веса, объема. В книге приведены различные таблицы единиц измерений.

УДК 820(73)
ББК 84(7Сое)

ISBN 5-9524-0346-8

МИР ИЗМЕРЕНИЙ

От локтей и ярдов
к эргам и квантам

Посвящается моим верным читателям — с благодарностью

Глава 1
ФУТЫ И ЯРДЫ

ПЕРЕВОРОТ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Около десяти тысяч лет назад люди начали возделывать землю. Это привело к значительным изменениям в образе жизни человека.

До этого человек занимался охотой или скотоводством. Люди разводили крупный рогатый скот и кочевали вместе с ним в поисках новых пастбищ, поэтому им приходилось жить в маленьких группах и обходиться без постоянных жилищ. Они были кочевниками (по-английски «nomands» — это слово произошло от греческого слова, означающего «пастбище»).

И вот, когда в один прекрасный день люди обратились к земледелию, оказалось, что можно не кочевать, а жить на одном месте. Теперь приходилось ухаживать за зерновыми культурами, а они, как известно, растут на одном месте. Это, конечно, ограничивало свободу передвижения, но давало и некоторые преимущества. Оказалось, что можно гораздо больше получить пищи, занимаясь земледелием, а не разведением скота. А раз так, то на участках земли могло прокормиться гораздо большее количество людей, поэтому плотность населения в земледельческих общинах стала намного больше, чем в кочевых племенах.

Рост населения в определенных районах заставил людей собираться в деревни. Поселившись вместе, земледельцы были лучше защищены от кочевых племен, которые еще не отказались от бродячего образа жизни.

Кочевники всегда были угрозой для оседлых племен. Постоянно занимаясь охотой, они стали превосходными наездниками, прекрасно владели оружием и, конечно, были блестящими воинами. Но земледельцы были сильны своей организованностью. Они начали строить стены вокруг своих поселений, научились делать более эффективное оружие для своих воинов. Здесь простым кочевникам было не угнаться за своими соперниками.

Путь был длинным и трудным, но, несмотря на случайные остановки, земледельцы добились успеха.

(Библейская история Каина и Авеля повествует о древней вражде между земледельцем и кочевником, а также о том, кто стал победителем. В Библии, в главе четвертой, стихе втором Книги Бытия, сказано: «И Авель пас овец, а Каин пахал землю)». В древности евреи были кочевниками, и они, естественно, сделали Авеля героем, а Каина — злодеем.)

Деревни, окруженные стенами, постепенно превращались в города. Благодаря земледелию люди научились делать большие запасы продовольствия, жизнь стала безопаснее. У человека появилось свободное время, он стал совершенствовать свое бытие — и появились искусства, ремесла и, конечно, письменность. Возникло то, что мы называем цивилизацией.

С возникновением цивилизации появились потребности в измерениях. В жизни кочевых племен было, вероятно, достаточно обычного умения считать, чтобы сосчитать овец или коз в стаде.

В оседлой жизни было куда больше потребностей. Чтобы взамен кочевой палатки построить дом, нужно было выполнить некоторые виды измерений, без которых невозможно правильно подобрать и расположить бревна. Конечно, это можно было сделать и не пользуясь измерениями — просто методом проб и ошибок. Но дом, который строился по правилам с помощью измерений, был прочнее и красивее.

Строительство городских стен, храмов, дворцов, акведуков и домов требовало точных измерений. Когда возводились египетские пирамиды и греческие храмы, строители уже освоили технику точных измерений.

Измерения были нужны в каждом хозяйстве. Участок одного хозяина часто был отделен от участка другого просто рядом камней. Это была граница. Теперь представьте себе, что хозяин одного участка стал тайком перемещать камни и таким образом передвигал границу, чтобы увеличить свое хозяйство за счет хозяйства своего соседа. Или, предположим, камни никто не трогал, но один из соседей утверждал, что другой передвинул границу. Или другой вариант — произошло наводнение (в Египте наводнения случались каждый год), и все вехи между участками были уничтожены.

Очевидно, в таких случаях происходили бы бесконечные ссоры, если бы не существовало способа, который позволял точно восстановить границы участков и предотвратить все споры.

Как только люди поселились в городах и стали жить бок о бок, естественно, понадобилось правительство, которое должно было улаживать споры, создавать законы и наказывать нарушителей созданных законов. Но раз уж появилось правительство, потребовались и средства на его содержание, а это означало появление налогов.

А налоги — это снова измерения. В те времена, когда денег еще не было, от налогоплательщика могли потребовать «столько-то зерна» или «столько-то полотна», и это «столько-то» следовало отмерить. Безусловно, иногда было достаточно просто посчитать. Например, когда сборщик налогов забирал у крестьянина одну свинью из каждых десяти. Но даже в этом случае возникали проблемы, ведь свиньи могли быть разными, большими и маленькими. Крестьянин, конечно, хотел бы отдать маленькую свинью, а сборщик налогов, напротив, старался забрать большую. Снова потребовалось нечто большее, чем простой подсчет.

Когда люди открыли металлы и стали использовать кусочки металла в торговле, измерения стали более важными, чем когда бы то ни было ранее. Можно было немного ошибиться в измерении расстояния между двумя селениями, обычно это не имело решающего значения. Если при строительстве дома неверно измерили длину бревна, это вряд ли могло стать слишком большой трагедией. Но даже маленькая неточность при измерении количества золота означала большую потерю.

Вот поэтому народы и их правители стали проявлять большой интерес к измерениям. Как только системы измерения были созданы, началась работа над их совершенствованием, и этот процесс продолжается и в наше время. Мы по-прежнему уточняем наши системы мер и весов.

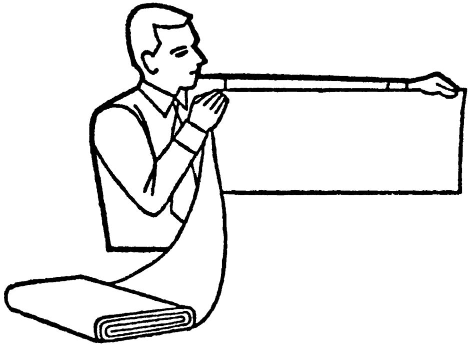
Известно, что разные народы ссорились между собой настолько отчаянно, что казалось, они никогда не могут ни о чем договориться, и вот, несмотря на бесчисленные противоречия, они все дружно и честно создали вместе признанные во всем мире системы измерений.

ИЗМЕРЯЕМ БЕЗ ЛИНЕЙКИ: ПАЛЬЦЫ, ЛОКТИ И СТУПНИ — ВСЕ ПУСКАЕМ В ХОД

Измерить что-либо совсем не так просто, как можно было бы подумать. Мы получили в наследство готовую систему измерений, с которой познакомились еще в детстве и которую не замечаем, как воздух, которым дышим. А вот представьте себе, что вы не знаете никакой системы измерений. Что вы сделаете, если вас спросят, какова длина какого-то объекта?

Возможно, вы разведете ладони на расстояние, соответствующее его длине, и скажете: «Объект — примерно такой длины». А если объект маленький, вы могли бы развести большой и указательный пальцы на небольшое расстояние и сказать: «Примерно такой длины», а если объект очень длинный, вы бы сказали: «Как отсюда и до угла».

Но все это очень неопределенно. Как только появилась письменность, тут же потребовалось записывать результаты измерений, например в документах, гарантирующих право на участок, или в налоговых списках. А как записать измерение, сделанное разведенными ладонями, или расстояние, о котором вы сказали бы: «Как отсюда и до угла»? Гораздо лучше попробовать сравнить измеряемую длину с чем-то определенным, о чем каждый имеет представление. Что может быть проще — используем



Измерение длины куска ткани без линейки

для этого руки, ладони, стопы ног. Люди похожи, и если мы говорим, что длина куска ткани такая же, как длина руки взрослого мужчины, — то это все-таки более или менее определенно.

Наконец, настал момент, который можно считать ключевым: кто-то понял, что при помощи руки или ладони можно измерить длину намного большую, чем сама рука. Представьте, что вам нужно измерить длину куска льняной ткани и никаких линеек или рулеток у вас нет. Вы растягиваете ткань от кончиков пальцев вытянутой руки до плеча, делаете отметку там, где кончается рука, растягиваете следующий участок ткани, и повторяете это до тех пор, пока не сложите весь кусок. Предположим, что вам пришлось растягивать ткань от плеча до кончиков пальцев 17 раз, значит, вы можете сказать — длина куска равна 17 длинам руки.

Теперь при измерениях можно было пользоваться правилами арифметики. Кусок ткани длиной 17 длин руки был длиннее куска ткани длиной 15 длин руки. Если сложить эти два куска — вы получите запас ткани, равный 32 длинам руки. Вы можете также разделить кусок ткани на несколько равных частей, а также выполнить множество различных действий.

Разумеется, не надо забывать, что видов измерений столько же, сколько систем измерений. Вряд ли вам придет в голову измерять длину комнаты в длинах руки — не станете же вы ложиться на пол и вытягивать руку. Даже если вы не боитесь испачкаться и насмешить своих домашних, вам просто физически не удастся сделать это достаточно точно.

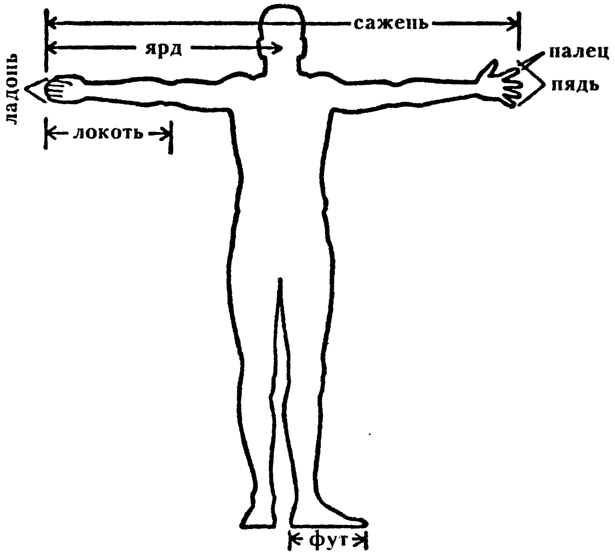
В этом случае гораздо удобнее будет использовать собственную ступню. Вы переставляете ступни, приставляя пятку к носку, и считаете, сколько ступней укладывается в длину вашей комнаты. Предположим, вы насчитали 17 ступней — значит, вы можете утверждать, что длина вашей комнаты — 17 ступней.

А теперь попробуем измерить длину садового участка: тут мы не будем пользоваться ступней в качестве единицы измерения — это слишком нудно и утомительно, да и не нужно. В этом случае мы воспользуемся длиной шага и посчитаем, сколько шагов от одной границы участка до другой.

А вот еще одна задача: нужно измерить высоту лошади. Мы не будем уговаривать ее лечь на землю, чтобы измерить ее шагами или ступнями, а воспользуемся длиной ладони. Приложим ладонь к основанию копыта (будем считать, что у нас спокойная и уравновешенная лошадь), затем вторую ладонь прикладываем к кончикам пальцев первой, и так добираемся до холки. Предположим, мы насчитали 17 ладоней — это значит, что мы определили высоту лошади в ладонях.

До сих пор и в русском, и в английском, и в других языках сохранилось несколько слов, которые использовались для измерений в те времена, когда эталоном служили различные части тела. Например, слово «фут», по-английски «ступня», до сих пор используется для измерения длины в Северной Америке и Англии. Длина одного фута соответствует длине ступни высокого мужчины. Что касается «ладони», то ее тоже используют в этих странах для измерения высоты лошади.

Но многие подобные единицы измерения уже исчезли в сумраке веков, и только иногда, читая исторические романы, мы натыкаемся на них. Например, была когда-то такая единица измерения — «палец». Эта длина соответствует ширине пальца. Еще в начале XIX века использовали единицу измерения, равную расстоянию от кончика большого пальца до кончика мизинца; когда ладонь



Единицы измерения — части тела

раскрыта, а пальцы растопырены, ее называли «пядь».

Была и такая единица — «локоть». Ее вы встретите, читая Библию. (Например, размеры ковчега, построенного Ноем, приведены там в локтях.) Локоть — это длина расстояния от кончика локтя до кончиков вытянутых пальцев. В Англии в древности использовали меру длины, которую назвали «элл» (то есть сокращенно «локоть», по-английски локоть — «элбоу»).

Слово «ярд», возможно, происходит от английских «кольцо» или «поясок». Он примерно равен длине окружности талии мужчины, разумеется достаточно стройного. Правда, есть еще один вариант происхождения этого слова — «мерный шест». Если эта версия верна, то за основу ярда в древности взяли половину расстояния между кончиками пальцев вытянутых в стороны рук. Полная длина вытянутых рук называется «сажень». В английском это слово звучит как «фатом» и происходит от англосаксонского «обнимать», ведь когда вы хотите кого-то обнять, то вытягиваете руки, а если этот «кто-то» достаточно большого размера (окружностью в сажень), то вам только-только хватит рук.

ДОГОВАРИВАЕМСЯ О ЕДИНИЦАХ ИЗМЕРЕНИЯ

Локоть, ладонь, фут, сажень — и есть единицы измерения. Каждая единица — это мера, принятая за один. Что такое фут? Это длина, равная одному футу. Ярд — это длина, равная одному ярду. Более длинные отрезки сравнивают с единицей измерения. Если отрезок в два раза длиннее одного фута, значит, его длина — 2 фута, а если отрезок в три раза длиннее одного локтя — значит, его длина — 3 локтя.

Но тут встает еще один вопрос: а чему равна эта единица? Другими словами, чему равна длина одного фута. Ну, конечно, вы можете использовать длину собственной ступни и сказать, что это и есть один фут. Но ведь длина вашей ступни меняется. Если вы ещё растете — то с момента прошлого измерения длина вашей ступни может увеличиться. Даже если вы стали уже взрослым человеком, длина вашей ступни не постоянна, в холодную погоду она меньше, в жаркую — больше. Но даже если не учитывать эти небольшие изменения, ваша ступня — это ваша ступня, и ее длина не равна длине ступни вашего соседа. Так какой же фут считать настоящим? Пожалуй, ваш сосед предпочтет использовать длину своей ступни, а не вашей.

Значит, нужно найти такую ступню, то есть такой фут, длина которого не изменялась бы. Чтобы уладить все споры, правитель мог сказать: «Фут — это длина моей ступни, и только моей». (Существует легенда о том, что один фут — это длина ступни Карла Великого, а он был высоким мужчиной.) Если это правда, то его ступня на дюйм с четвертью длиннее, чем моя.

Возможно, когда-то объявили, что один ярд — это расстояние от кончика носа короля до кончиков пальцев его вытянутой руки. (Есть еще одна легенда: говорят, что король Генрих I Английский в начале XII века ввел в обиход меру длины «ярд», тот самый, которым пользуются и в наше время, и для этого было использовано расстояние от кончика его носа до кончиков пальцев его вытянутой руки.)

Что же это означает? А то, что в конце концов люди договорились о стандартной мере. Теперь уже не важно, какова величина этой стандартной меры, — главное, что она постоянна.

Трудность заключается в другом. Вряд ли английский король согласился бы ходить из деревни в деревню и измерять куски ткани, растягивая их между кончиком носа и кончиками пальцев вытянутой руки. У него слишком много других дел, гораздо более важных. Но вполне можно обойтись и без этого. Достаточно было взять рейку и отметить на ней это расстояние, сделав две метки, и получить стандартный ярд. Расстояние между двумя метками — это и есть официальный ярд.

Теперь уже не нужно было использовать части своего собственного тела для проведения измерений. Государственные службы или частные производители могли изготавливать измерительные линейки после сравнения со стандартным ярдом. Эти линейки рассылали во все города и деревни. И в каждой деревне был свой собственный «вторичный стандарт», по которому проверяли линейки и рулетки местных торговцев.

Очевидно, что всегда найдется какой-нибудь купец, которому захочется чуть-чуть укоротить свою мерную линейку. Когда он отмеряет один ярд ткани, то это совсем незаметно, но понемногу набегает достаточно большое количество ткани, и купец получает неплохую выгоду. Предположим, что никто не заметил этой уловки, купцу понравилось получать дополнительный доход, и он не остановился на достигнутом и еще немного укоротил свою мерную линейку. Так недалеко и до полного хаоса в измерениях.

Каждое общество заинтересовано в том, чтобы стандарты измерений сохранялись неизменными, а все измерения проводились правильно. В Средние века за стандартами мер и весов следили сами гильдии купцов и ремесленников, ведь если один из членов гильдии нарушал правила измерений, он бросал тень на всех остальных. Затем стандартами занялись правительства государств. Под их строгим контролем выпускались и хранились стандарты для самых разных измерений. Были назначены строгие наказания за искажение стандартов измерения, а специальные чиновники проверяли, насколько верно проводились измерения.

В Соединенных Штатах Америки еще в 1901 году было организовано Национальное бюро стандартов. С тех пор это бюро разрабатывает новые и хранит старые стандартные эталоны для самых разных измерений. У этого бюро также много других задач. В наши дни оно организует исследования новых видов измерений и соответствующих единиц, чтобы усовершенствовать старые виды измерений и предотвратить искажения измерений.

В наши дни точность измерений особенно важна. При изготовлении современных инструментов, инженерного оборудования, станков, различных установок требуется такая точность, о которой наши предки не могли даже мечтать. Мы научились делать болты и гайки, электрические лампочки и патроны для них, электрические розетки и вилки для подключения приборов и тысячи других вещей, для изготовления которых нужны точные и воспроизводимые измерения. Современное массовое производство стало возможным только потому, что люди научились делать точные измерения. Без стандартных измерений, которые позволяют заводам и фабрикам в разных концах света пользоваться одними и теми же деталями, современная промышленная и техническая цивилизация не смогла бы существовать.

СОГЛАСУЕМ ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕНИЯ ДРУГ С ДРУГОМ

Как только удалось выработать понятие стандартного измерения, у человека появилась возможность использовать самые разнообразные неодушевленные предметы в качестве инструмента для измерения. Стало принято использовать стандартные палочки и рейки для измерения длины, и эта мода сохранилась до наших дней — мы до сих пор используем линейки и рулетки. И вполне естественно, что в обиход вошли такие единицы измерения длины, как род (старинная английская мера длины, по-английски — «прут») или пол (старинная английская мера длины, по-английски — «шест»).

Те, кому приходилось производить специальные виды измерений, часто давали название единице измерения по названию того устройства, которым они пользовались для замеров. Например, землемеры применяли для своей работы цепи стандартной длины — ведь длинную цепь легко свернуть, ее нетрудно переносить, и с ней гораздо легче обращаться, чем с длинным шестом. Вот они и назвали единицы измерения длины «цепью» и «звеном».

Для измерения длины маленьких объектов использовали маленькие предметы, например ячменные зерна. Так в Англии появилась мера длины «ячменное зерно». Эта мера до сих пор используется для обозначения размеров обуви. Скажем, ботинок седьмого размера короче ботинка шестого размера на одну длину ячменного зерна.

Такое разнообразие различных единиц для одного типа измерений (для измерений длины) было очень полезным, поскольку каждый мог выбрать именно тот вид измерений, который был ему удобен. Многообразие единиц измерений было необходимо и по другой причине, о которой надо рассказать подробней.

Единицы измерения длины — это не просто цифры или числа. Измерять длину — это не то же самое, что пересчитывать людей или считать скот. Если вы насчитали 31 овцу, это значит, что овец — 31, а не 32 или 30. Более того, вы твердо знаете, что овец ровно 31, а не 31,5 и не 29,9.

А вот когда вы измеряете расстояние, то вполне вероятно, что в результате вы получите дробное число. Длина куска ткани может быть больше 31 и меньше 32 ярдов. Наше первое побуждение в этом случае — использовать дроби. Мы говорим, что длина куска равна 31,5 ярда или $30^{1}/_{16}$ ярда.

Но дроби — это довольно сложная область математики. Сейчас для нас они не представляют труда, ведь мы проходили их еще в школе (хотя и сейчас они у многих вызывают трудности). В древности было гораздо проще избегать дробных чисел и переходить от одной единицы измерения длины к другой, более короткой.

Например, тогда говорили: «Длина отреза ткани равна 31 ярду 1 футу и 4 дюймам». Когда купец отмерял кусок ткани, он доставал линейку длиной в 1 ярд, отмерял 31 раз, затем один раз прикладывал линейку длиной в 1 фут, а потом четыре раза — дюймовую линеечку.

Однако это не всегда удобно. Ведь приходится переходить от одного стандарта к другому. Намного удобнее нанести на линейку в один ярд более мелкие деления, соответствующие одному футу и одному дюйму. Мы настолько привыкли к этому, что нам кажется это совершенно обычным. Но первый человек, который до этого додумался, был, безусловно, гением.

Гораздо удобнее наносить более мелкие деления внутри более крупных, если внутри каждого крупного деления укладывается целое число более мелких делений. Но совершенно очевидно, что это не произойдет. Почему, собственно, длина ступни Карла Великого должна укладываться целое число раз в отрезке, равном расстоянию от кончика носа короля Генриха до кончиков его пальцев? Тем не менее для удобства надо немного изменить более мелкую единицу длины, чтобы она укладывалась целое число раз в более крупной. В этом случае один эталон подойдет для обеих единиц.

Например, выберем в качестве стандартной единицы измерения ярд. Тогда все остальные, более мелкие единицы должны укладываться в ней целое число раз. Один фут приблизительно равен $^1/_3$ ярда. Давайте условимся, что 1 фут равен точно $^1/_3$ ярда. Значит, линейку в один ярд можно разбить на три части. И каждая будет равна одному футу, то есть каждая часть — это стандартный фут. Конечно, теперь наш новый фут не соответствует длине ступни Карла Великого, но, пожалуй, с этим можно примириться. Раз все согласны с тем, что 3 фута составляют 1 ярд, значит, все в полном порядке.

Точно так же можно условиться, что 12 дюймов составляют 1 фут, и тогда, если

Три фута составляют один ярд

разбить фут на 12 равных частей, мы получим стандартные дюймы. (Слово «дюйм» пришло к нам из латинского языка, где оно означает одну двенадцатую часть.)

Теперь можно пойти в сторону увеличения единиц. Условимся, что сажень точно равна 2 ярдам.

Другим примером может служить единица, получившая название «фёрлонг». Это английская мера длины. Слово «фёрлонг» — сокращенное словосочетание «длина борозды», то есть длина борозды, сделанной плугом в земле. Существование такой меры длины доказывает существование самой прямой связи между земледелием и измерениями. Сейчас длину одного фёрлонга приравнивают к 220 ярдам.

Точно так же условились, что 1 дюйм равен 3 «ячменным зернам», «ладонь» приравняли к 4 дюймам, а пядь — к 9 дюймам.

В некоторых случаях потребовалась подгонка, чтобы измерения вписались в единую схему. Древние римляне измеряли расстояние шагами своих легионеров, когда они маршировали в строю. Расстояние в тысячу шагов они называли «милиа пасум», потом стали сокращенно называть «милиа», а отсюда и произошло слово «миля», мера длины, принятая в Англии и Соединенных Штатах. Римский «шаг» немного больше, чем 5 футов, значит, римская миля немного больше 5000 футов. Но после того как англичане согласовали единицы длины, оказалось, что очень неудобно использовать милю, равную 5000 футам, поскольку в ней не укладывается целое число фёрлонгов. Одна миля немного больше $7^1/_2$ фёрлонга. Тогда англичане решили немного удлинить милю и приравнять ее 8 фёрлонгам, и теперь миля — это уже не 1000 шагов, а примерно 1050 шагов. Тогда оказалось, что миля равна 1760 ярдам, или 5280 футам, а эти числа совсем не легко запомнить.

Иногда одна единица равна целому числу одних, более мелких единиц, но не равна целому числу других. Скажем, 1 ярд равен точно 2 локтям, но 1 локоть равен $1^1/_2$ фута. И еще, 1 фёрлонг равен 40 родам, но 1 род равен $5^1/_2$ ярда.

Существуют примеры и похуже. Землемеры установили длину измерения земельных участков, «цепь», такой, что она укладывается в одной миле целое число раз. Одна миля равнялась 80 цепям, а каждая цепь равнялась 100 звеньям. Чем дальше, тем лучше, но как только такое соотношение установили, оказалось, что одно звено не равно больше целому числу дюймов, футов или ярдов. Оказалось, что 1 звено равно 7,92 дюйма.

Однако даже в тех случаях, когда согласование единиц не было совершенно успешным, появилось множество единиц, которые были связаны между собой целочисленными соотношениями, и это дало возможность эффективно использовать арифметические правила при измерениях. Но это была совсем не такая арифметика, которая используется при обычных подсчетах.

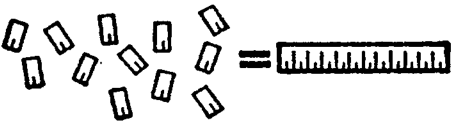
Глава 2
ДЮЙМЫ И МИЛИ

ИЗМЕНЯЕМ ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕНИЯ

Можно складывать или вычитать два любых результата измерений в соответствии с обычными правилами математики, но при одном условии: единицы измерений должны быть одинаковыми. Например, можно сложить 7 дюймов и 5 дюймов, в результате получится 12 дюймов. Точно так же можно сложить 7 яблок и 5 яблок, в результате чего получится 12 яблок.

А можно ли сложить 2 фута и 6 дюймов? Сумма 2 и 6 — это 8, но если мы складываем 2 фута и 6 дюймов, то результат — это не 8 футов и не 8 дюймов. Задача немного похожа на ту, когда мы пытаемся сложить 2 яблока и 6 бананов. Вы же не можете сказать, что результат сложения — это 8 дюймов или 8 футов.

Правда, в случае футов и дюймов дело обстоит не совсем так, как в случае яблок и бананов. Мы не можем перевести яблоки в бананы и, наоборот, бананы в яблоки. Поэтому, пытаясь сложить яблоки с бананами,



Преимущества измерительных линеек.
12 дюймов составляют 1 линейку длиной в один фут

мы становимся в тупик. А вот с единицами длины все обстоит гораздо легче, ведь мы можем перевести футы в дюймы и наоборот. Если мы переведем одну единицу в другую, можно произвести сложение.

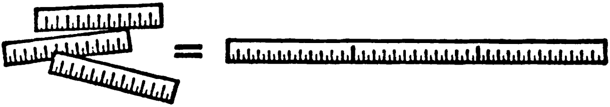
Вот в чем арифметика измерений отличается от арифметики, имеющей дело просто с числами. Когда мы имеем дело с измерениями, надо очень тщательно проверять соответствие единиц измерения.

Поскольку 1 фут равен 12 дюймам, то 2 фута равны 2×12, или 24 дюймам.

Следовательно, сумма 2 футов и 6 дюймов равна сумме 24 дюймов и 6 дюймов. Теперь наша задача похожа на сложение яблок с яблоками. Ответ — 30 дюймов.

Можно решить эту задачу и другим способом. Поскольку 12 дюймов — это 1 фут, значит, 6 дюймов ($6 = {}^1/_2$ от 12) — это $^1/_2$ фута. Значит, сумма 2 футов и 6 дюймов равна сумме 2 футов и $^1/_2$ фута, то есть равна $2^1/_2$ фута.

Теперь у нас есть два ответа на одну и ту же задачу. Один ответ — это $2^1/_2$ фута, а другой — 30 дюймов. Эти два ответа определяют одну и ту же длину, следовательно,



3 линейки длиной в 1 фут составят
1 линейку длиной в 1 ярд

эта длина выражена в разных единицах. (Число, выражающее результат измерения, изменяется в зависимости от того, какие единицы измерения выбраны, но сочетание числа с единицей измерения остается постоянным.)

Чтобы решать подобные задачи, необходимо знать, какие соотношения существуют между различными единицами. Если вы забыли, что 12 дюймов равны 1 футу, вы не сможете сложить 2 фута и 6 дюймов. Но конечно, каждый школьник в Англии и в Америке знает назубок, что в 1 футе 12 дюймов, а в 1 ярде — 3 фута. Это ему внушают с первых классов.

Не очень трудно также запомнить, что в 1 ярде заключается 36 дюймов, но в этом нет необходимости, если вы помните соотношение между дюймами и футами и футами и ярдами. Поскольку вы знаете, что 1 фут равен 12 дюймам, вы всегда можете заменить 1 фут на 12 дюймов там, где это понадобится. Так что, когда вы говорите, что 1 ярд равен 3 футам, это то же самое, что сказать, что 1 ярд равен 3×1 футам. Теперь заменим 1 фут 12 дюймами (поскольку это — одно и то же), и тогда вы получите такое соотношение: 1 ярд равен 3×12 дюймов, или 36 дюймам.

Теперь, если вам удалось запомнить, что 1760 ярдов составляют 1 милю, нетрудно подсчитать, сколько дюймов заключается в 1 миле. Поскольку 1 ярд равен 36 дюймам, то когда мы говорим, что 1 миля равна 1760×1 ярдов, это то же самое, что сказать, что 1 миля равна 1760×36 дюймов, или 63 360 дюймам.

Можно воспользоваться и обратной процедурой, двигаясь от большей единицы измерения к меньшей. В этом случае мы пользуемся умножением, поскольку данный отрезок содержит большее количество более мелких единиц. Когда мы идем от более мелких единиц к крупным, то используется процедура обратная умножению, то есть деление.

Мы с вами уже знаем, что в 1 миле содержится 8 фёрлонгов, или 5280 футов. Значит, 8 фёрлонгов равны 5280 футам. Если мы разделим на 8 5280, мы получим 660 футов. А при делении на 8 фёрлонгов мы получим 1 фёрлонг. Значит, 660 футов составляют 1 фёрлонг.

Постепенно, по мере использования этих единиц, все эти соотношения прочно осядут в вашей голове. Однако начинающим (да и тем, кто уже не совсем начинающий) таблицы помогут освежить в памяти нужные соотношения.

Таблица единиц длины может выглядеть, например, вот так (она может называться также таблицей линейных мер, поскольку эти единицы используются для измерения длины линий):

1 миля	=	8 фёрлонгов
1 фёрлонг	=	40 родов
1 род	=	$5^1/_2$ ярда
1 ярд	=	3 фута
1 фут	=	12 дюймов

В этой таблице содержатся все необходимые данные. Для того чтобы перевести мили в фёрлонги, вам нужно только умножить количество миль на 8. Например, 18 миль — это 18×1 миль, или, согласно таблице, 19×8 фёрлонгов, или 152 фёрлонга. Для того чтобы перевести мили в роды, вам нужно сначала перевести их в фёрлонги, а затем, умножив полученную величину на 40, получить значение в родах.

Покажем эту процедуру шаг за шагом. 19 миль равны 19×1 миль, или, что то же самое, 19×8 фёрлонгов, как я уже вам показал. Но 19×8 фёрлонгов — это то же самое, что 19×8×1 фёрлонгов, а таблица дает нам возможность посчитать, что это 19×8×40 родов. То есть мы получаем 6080 родов.

Теперь легко понять, как перевести мили в дюймы. Нужно умножить количество миль на 8, получим фёрлонги, затем эту величину умножаем на 40, получим роды, затем количество родов умножаем на $5^1/_2$, чтобы получить ярды. Полученное произведение умножаем на 3 и получаем футы, а количество футов умножаем на 12 и получаем дюймы. Так, 19 миль равны $19 \times 8 \times 40 \times 5^1/_2 \times 3 \times 12$, или 1 203 840 дюймам.

Для того чтобы двигаться от меньших единиц измерения к большим, как уже было сказано, надо использовать деление. И здесь опять поможет наша таблица. Чтобы перевести длину в дюймах в длину в футах, нужно разделить длину в дюймах на 12. Скажем, 72 дюйма — это 72 : 12 футов, или 6 футов. Можно перевести дюймы в ярды, разделив вначале величину в дюймах на 12, а затем на 3. Таким образом, 72 дюйма — это 2 ярда.

ОБЛЕГЧАЕМ ПЕРЕВОД ЕДИНИЦ

Хотя наша таблица довольно удобна, но, пожалуй, ее можно еще упростить.

Неужели нельзя обойтись без этой бесконечной цепочки умножения? Снова и снова перемножать множество чисел — как же это скучно, кроме того, можно и ошибиться.

Может быть, вместо этого составить таблицу, по которой можно сразу перевести одну единицу в другую? Например, для мили можно составить такую таблицу:

1 миля = 8 фёрлонгов
1 миля = 320 родов
1 миля = 1760 ярдов
1 миля = 5280 футов
1 миля = 63 360 дюймов

Теперь, чтобы перевести длину в милях в любую другую единицу длины, нужно просто умножить длину в милях на соответствующее число, приведенное в таблице. Если длину в милях мы умножим на 8, то получим длину в фёрлонгах. Если длину в милях мы умножим на 320, то получим длину в родах, а если умножим на 1760 — то в ярдах, и так далее.

Числа, приведенные в таблице, — это коэффициенты перевода. Когда вы используете эти коэффициенты, то переводите одни единицы в другие.

Коэффициенты перевода в этой таблице получены перемножением коэффициентов из предыдущей таблицы. Например, в миле — 8 фёрлонгов, в фёрлонге — 40 родов, а в роде — $5^1/_2$ ярда, значит, количество ярдов в миле составляет $5^1/_2 \times 40 \times 8$, или 1760. А поскольку в 1 ярде 3 фута, то количество футов в одной миле равно 3×1760, или 5280.

Значит, коэффициенты, приведенные в таблице, освобождают нас от процедуры умножения. Для того чтобы посчитать, сколько дюймов в 19 милях, нам больше не нужно перемножать цепочку чисел $8 \times 40 \times 5^1/_2 \times 3 \times 12$, а нужно перемножить только $19 \times 63\,360$, поскольку 63 360 и есть результат перемножения этой цепочки.

Я выбрал в качестве примера милю, поскольку это самая большая единица из тех, что обычно используются для измерения длины. И поэтому для перевода мили в другие единицы измерения длины мы используем умножение.

Если же нам понадобится меньшую единицу перевести в большую, мы будем использовать умножение. Чтобы перевести роды в фёрлонги, нужно разделить длину в родах на 40. То есть 1 род = 1 : 40 фёрлонга. Разумеется, деление на 40 равносильно умножению на $^1/_{40}$, теперь превращение родов в фёрлонги можно записать вот так: 1 род = $^1/_{40}$ фёрлонга. Однако это нам мало в чем поможет. Ведь, умножая какое-то число на $^1/_{40}$, нам все равно придется делить его на 40. То есть 76 родов равны $^{76}/_{40}$, или 1,9 фёрлонга.

Но ведь $^1/_{40}$ можно перевести в десятичную дробь. $^1/_{40}$ = 0,025. Теперь вместо деления на 40 можно выполнить умножение на 0,025. Получим тот же ответ при умножении: 76×0,025 = 1,9.

Вы можете спросить, а чем это лучше?

Может быть, вам покажется, что разделить число на 40 легче, чем умножить его на 0,025. Но представьте себе, что вам нужно перевести длину, выраженную в дюймах, в мили. Если вы внимательно читали, то скажете, что для этого нужно разделить длину в дюймах на 63 360. Теперь представьте себе, что длина в дюймах равна 41 267. Конечно, можно и 41 267 разделить на 63 360, но до чего же это муторно и долго.

А теперь представьте себе, что $^1/_{63\,360}$ мы превращаем в десятичную дробь и получаем

0,00001578. Предположим, нам надо умножить 41,267 на 0,00001578. Умножение тоже не очень приятное занятие, но если вы попробуете сравнить оба эти действия, то согласитесь со мной в том, что умножение все-таки намного проще. (Для любопытных сообщаю, что 41 267 дюймов равны 0,6513 мили, независимо от того, делите вы эту величину на 63 360 или умножаете на 63 360.)

Обычно те, кому ежедневно приходится заниматься громоздкими вычислениями, всегда предпочитают умножение делению. Поэтому для перевода меньших единиц в большие мы всегда используем коэффициенты перевода, выраженные в десятичных дробях. (Конечно, чтобы их получить, нужно сначала выполнить деление, но мы делаем его один раз, например 1,00 : 40 = 0,025, а потом пользуемся полученным результатом.)

Сейчас перед вами таблица, где представлены коэффициенты перевода, выраженные в десятичных дробях.

1 дюйм = 0,08333 фута
1 дюйм = 0,02778 ярда
1 дюйм = 0,05051 рода
1 дюйм = 0,0001263 фёрлонга
1 дюйм = 0,0001578 мили

Но с коэффициентами в виде десятичных дробей тоже не все просто. Мы не всегда получаем конечную десятичную дробь. Скажем, при делении 1 на 40 получается точно 0,025, и никаких сложностей нет. Эта величина равна $^1/_{10}$. А вот с дюймами и футами все обстоит сложнее. 1 дюйм равен $^1/_{12}$ фута, теперь переведем эту дробь в десятичную, и получим 0,0833333333.... И так бесконечно.

Однако чем больше знаков после запятой вы используете, тем точнее получаете результат. Например, 264 дюйма равны $^{264}/_{12}$ фута, или ровно 22 футам. С другой стороны, 264×0,083 равно 21,912. Но если вы возьмете дробь еще с одним знаком после запятой (0,08333), то получите 264×0,0833 = 21,9912, а 264×0,08333 = 21,99912. Разница между результатами деления 264 : 12 и умножения (264×0,08333) настолько мала, что тут и беспокоиться не о чем. Но если вдруг вам придется выполнять очень точные вычисления, когда даже такое незначительное расхождение имеет значение, вам нужно будет просто взять коэффициент перевода с большим числом знаков после запятой. Если число 0,0001578 (коэффициент перевода) недостаточно точно для ваших целей, когда вы переводите дюймы в мили, можно вычислить этот коэффициент с большей точностью $^1/_{63\,360}$ и получить еще несколько знаков после запятой и вывести величину 0,0000157828.

Конечно, бывают случаи, когда разделить легче, чем умножить, тогда так и следует делать. Когда мы переводим футы в ярды, гораздо легче разделить нужную величину на 3, чем умножать на 0,3333. Да и при переводе дюймов в футы легче разделить нужную величину на 12, чем умножить на 0,08333. В таких случаях надо, конечно, пользоваться делением. Но когда вам придется часто заниматься переводом одних единиц в другие, вы очень быстро поймете, что таких случаев гораздо меньше, чем тех, когда удобнее применять умножение. В этой книге я всегда привожу коэффициенты перевода в десятичных дробях. Даже для тех случаев, когда деление кажется более легким.

ПЕРЕВОД ЕДИНИЦ ПРИ ПОМОЩИ ТАБЛИЦ

Нетрудно посчитать коэффициенты для всех единиц, как мы это сделали для мили и дюйма. Тогда, если вам нужно будет перевести результат вычислений или измерений из одних единиц в другие, вам надо будет только обратиться к таблице. Но человеческая природа такова, что нам совсем не хочется лишний раз напрягаться. Нельзя ли упростить работу и составить одну таблицу для всех единиц?

Конечно можно. И одну такую таблицу я предлагаю вашему вниманию. В этой таблице вы найдете коэффициенты перевода миль, фёрлонгов, родов, ярдов, футов или дюймов в мили, фёрлонги, роды, ярды, футы или дюймы в любой комбинации.

Как пользоваться таблицей? Например, вам надо перевести мили в роды. Найдите

	Миля	Фёрлонг	Род	Ярд	Фут	Дюйм
Миля	1	8	320	1760	5280	63 360
Фёрлонг	0,125	1	40	220	660	7920
Род	0,003125	0,0125	1	5,5	16,5	198
Ярд	0,0005682	0,004545	0,1818	1	3	36
Фут	0,0001894	0,001515	0,0606	0,3333	1	12
Дюйм	0,0001578	0,0001263	0,005051	0,02778	0,08333	1

«милю» в левой колонке таблицы и проведите пальцем по соответствующей строчке до той колонки, которая называется «род». В клетке на пересечении строчки «миля» и колонки «род» вы найдете число 320. Это и есть коэффициент перевода миль в роды. Количество миль надо умножить на 320, и вы получите значение в родах. Чтобы сделать обратное действие и перевести роды в мили, в левой колонке найдите «род». В клетке на пересечении строки «род» и столбца «миля» вы найдете число 0,003125. Если вы умножите длину в родах на это число, вы получите длину в милях.

Любое число в этой таблице — это коэффициент перевода единицы, указанной в вертикальной колонке, в единицу из горизонтальной колонки. Обратите внимание, что в клетке на пересечении столбика и строки с одинаковыми значениями стоит число 1. В этом есть смысл. Если вы умножите длину в ярдах на 1, то получите опять-таки длину в ярдах. Коэффициент 1 переводит мили в мили, дюймы в дюймы, а фёрлонги в фёрлонги, и так далее.

Любой набор единиц для измерения одного вида можно представить в виде такой таблицы. Но часто такие подробные таблицы и не нужны. Например, в жизни очень редко приходится переводить дюймы в мили и наоборот. Так что эти коэффициенты перевода хотя и подсчитаны, но используются чрезвычайно редко и входят в разряд диковинок.

Кроме того, когда единицы близки и легко переводятся одна в другую, иногда пользуются то одной, то другой единицами. Например, вы можете сказать, что у вас есть ковер длиной 12 футов, а в другой раз вы можете сказать, что длина ковра 4 ярда. Оба значения легко переводятся одно в другое, и никаких сложностей тут не возникает.

Но вот когда речь идет об участке земли, который находится в собственности, вы используете ярды или роды. Коэффициенты перевода этих единиц не такие простые, как при переводе футов в ярды, но, если вам приходится пользоваться этими единицами, их надо запомнить.

1 род = 5,5 ярда
1 ярд = 0,1818 рода

Таким образом, длина участка земли равна 14,5 рода, это то же самое, что 14,5×5,5, или 79,75 ярда. А если длина участка указана в ярдах и составляет 100 ярдов, это то же самое, что 100×0,1818 рода, или 18,18 рода.

ВВОДИМ НЕОБЫЧНЫЕ ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕНИЯ

В таблицу можно вводить не только те единицы, которые широко используются, но и необычные единицы измерения длины.

Давайте вспомним о тех единицах длины, которыми пользовались землемеры. Мы уже говорили о них раньше. «Цепь» равна $^1/_{80}$ мили, а раз миля равна 5280 футам, то цепь равна $^{5280}/_{80}$, или 66 футам. Следовательно, цепь равна $^{66}/_3$, или 22 ярдам, и $^{22}/_{5,5}$, или 4 родам. Переходя от одной единицы к другой, можно вычислить все коэффициенты перевода и включить «цепь» в таблицу измерения длины.

Однако для землемера наша таблица может оказаться неудобной. Вряд ли ему захочется перескакивать от «цепей» к ярдам, а от «звеньев» к футам и дюймам. Для работы землемера больше подойдет вот такая таблица:

1 мерная цепь	=	22 ярда
1 ярд	=	0,04545 мерной цепи
1 мерное звено	=	0,66 фута
1 фут	=	1,5151 мерного звена
1 мерное звено	=	7,92 дюйма
1 дюйм	=	0,1265 мерного звена

Другим примером может служить международная морская миля. Это единица длины, которую используют для измерения расстояния в морях и океанах моряки всех стран. Она немного длиннее обычной мили (которую называют иногда «статутной» милей). Статутная миля равна 5280 футам, а морская миля — 6076,1 фута. (В следующей главе я объясню, откуда взялись такие странные соотношения.) Но для тех, кому приходится измерять длину пути на суше и на море, необходимо знать, как перевести морскую милю в сухопутную и наоборот. Коэффициенты даны в таблице:

1 морская миля	=	1,1508 сухопутной уставной мили
1 сухопутная уставная миля	=	0,8693 морской мили

Другие коэффициенты для перевода морских миль в другие единицы длины уже не так важны.

Для измерений расстояний на море используют еще одну единицу — лигу (или лье). Эта мера длины пришла к нам из Средневековья, когда в разных европейских странах были свои собственные лиги, которые отличались по длине. В одной стране лига равнялась $2^1/_2$ мили, а в другой — $4^1/_2$ мили. (Помните семимильные сапоги из сказок? В Англии эти сапоги называли «семилиговыми», значит, сказочные великаны за один шаг передвигались на расстояние от 17 лиг до 31 лиги, в зависимости от того, в каком уголке Европы рассказывали сказку.)

В наши дни лига (или лье) имеет постоянную длину повсюду и равна 3 морским милям. Следовательно, между лигой и сухопутной милей существуют следующие соотношения:

1 лига	=	3,4524 сухопутной уставной мили
1 сухопутная уставная миля	=	0,2898 лиги

Помните капитана Немо из книги Жюля Верна «Двадцать тысяч лье под водой»? Он проплыл 20 000 лье (или лиг), то есть 20 000×3,4524, или примерно 69 000 миль.

(Есть еще одна любопытная мера длины, которую моряки используют для измерения глубины. Это сажень, или «двойной ярд». Когда Шекспир пишет «Пять саженей воды укрыли твоего отца», он говорит нам о человеке, лежащем на дне моря на глубине 30 футов.)

Меры длины, которые я представил в нашей самой большой таблице, называются английскими, или мерами длины из английской системы мер, поскольку они были впервые введены в Англии. В других странах, где используются эти единицы, их называют общими или общепринятыми (или единицами общей системы мер). Эта система используется в Великобритании, в Соединенных Штатах Америки, в Канаде, Южной Африке, Австралии и Новой Зеландии. В нашей книге мы объединяем эти страны под названием «англоязычные» страны.

Единицы, которыми пользуются землемеры и моряки, также применяются в англоязычных странах. Но при необходимости в эту систему можно ввести и меры длины, используемые в других странах. Например, у нас в России вплоть до XX века для измерения больших расстояний использовали такую меру, как верста. Одна верста равна приблизительно 3500 футам. Следовательно:

1 миля = 1,5085 версты
1 верста = 0,6629 мили

Когда вы читаете произведения Пушкина или Тургенева, то встречаете упоминание о расстояниях в верстах. Если из книги вы узнаете, что герою пришлось проехать 140 верст, значит, расстояние составило 140×0,6629 мили, или 92,8 мили. Можно рассчитать для этой единицы длины коэффициенты перевода в общие единицы длины и включить их в нашу таблицу.

По-моему, я уже привел вам достаточно примеров того, что при помощи коэффициентов перевода можно связать между собой любые единицы длины. Конечно, коэффициент перевода — это полное решение задачи, но не всегда удобное — по крайней мере, те, которые я вам уже продемонстрировал. Коэффициенты перевода далеко не всегда целые числа или конечные десятичные дроби, а значит, ими не всегда удобно пользоваться.

Конечно, для повседневной жизни их можно округлить и упростить. Можно сказать, что 1 лига равна 3,5 статутной мили, или что 1 статутная миля равна $^7/_8$ морской мили, или что 1 верста равна $^2/_3$ мили. Такие округленные коэффициенты перевода вполне годятся для обыденной жизни.

Но даже в этом случае коэффициенты перевода в общей системе мер длины довольно громоздки и утомительны. Несмотря на то что школьники во всех англоязычных странах еще недавно упорно заучивали эти единицы и коэффициенты, мало кто из взрослых мог легко и быстро перевести одну единицу в другую. А некоторые единицы из общей системы просто вышли из употребления, поскольку люди постепенно перестали ими пользоваться. Даже в англоязычных странах редко кто вспоминает о таких единицах, как род или фёрлонг.

Ну, конечно, вы уже догадались, что человек мог изобрести что-нибудь более удобное. Какую-нибудь систему получше. Действительно, более ста пятидесяти лет тому назад была предложена гениальная система единиц длины, но в англоязычных странах еще и в наши дни продолжают пользоваться архаичной общей системой.

Глава 3
САНТИМЕТРЫ И КИЛОМЕТРЫ

ИЗМЕРЯЕМ ЗЕМЛЮ

История более совершенной системы измерений началась еще в начале XVIII века, когда ученые пытались точно измерить земную поверхность. После Великих географических открытий XVI—XVII веков география Земли в целом была изучена, но на довольно низком уровне. В то же время, для того чтобы дальние морские переходы стали безопасными, требовались очень точные знания и подробные карты.

Кроме того, ученым было чрезвычайно важно выяснить точную форму Земли, поскольку без этих знаний невозможно было составлять точные карты. Великий английский ученый Ньютон, основываясь на своих собственных теориях, предсказал, что Земля не является правильной сферой, а слегка сплющена у полюсов. Это означало, что отрезок, соединяющий Северный и Южный полюса, проходящий через центр Земли, короче отрезка, соединяющего противоположные точки на линии экватора. Противники же Ньютона считали, что Земля у полюсов вытянута.

Правильное решение этого вопроса было крайне необходимо — на нем базировались важнейшие научные теории того времени. Кроме того, как я уже говорил выше, возникла потребность в точных картах — а для того, чтобы их составить, надо было знать точную форму Земли.

Поэтому было решено измерить кривизну поверхности Земли у полюсов и на экваторе. Если Земля сплющена у полюсов, то кривизна поверхности там должна быть меньше, чем на экваторе. А если Земля у полюсов вытянута, то кривизна поверхности на экваторе должна быть меньше, чем у полюсов.

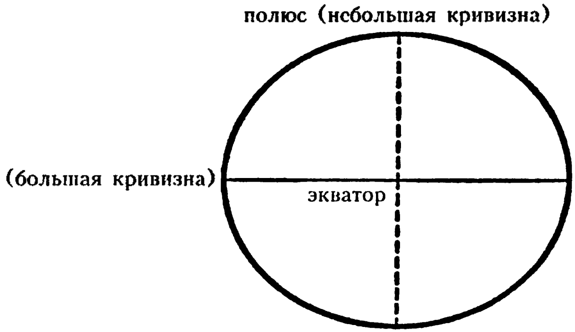
В 1735 году Франция направила экспедиции в Лапландию и в Перу. Участники этих экспедиций должны были произвести необходимые замеры. Поскольку ученые предполагали, что разница в кривизне поверхности была крайне незначительной, все измерения следовало выполнить с величайшей точностью. И естественно, обе экспедиции должны были использовать один и тот же стандарт длины.

Каждая экспедиция получила металлический стандарт. Оба стандарта были совершенно одинаковыми и были проверены на полную идентичность. По окончании экспедиции планировалась повторная проверка соответствия стандартов, которая должна была подтвердить, что стандарты совершенно не изменились за те два или три года, которые отводились на экспедицию. Однако в одной из этих экспедиций стандарт попал в морскую воду и заржавел, поэтому точное положение вещей определить не удалось.

Несмотря на это, экспедиции завершились успешно. По результатам выполненных измерений и вычислений выяснилось, что кривизна поверхности Земли в районе Лапландии меньше, чем в Перу. (И впоследствии, когда появились более совершенные приборы и методы измерений, эти результаты подтвердились.) Это означало, что Земля сплющена у полюсов и, следовательно, Ньютон был прав.

Но гораздо важнее было другое: этот проект ясно продемонстрировал тот факт, что наука достигла того уровня, где требовались точные измерения, и существующие стандарты мер уже не соответствовали новым задачам. Нужны были такие стандарты, которые могли бы признать ученые всех стран мира. По существу, возникла необходимость в разработке новой системы мер, предназначенной для нужд науки.

Это отчетливо поняли многие ученые и государственные деятели. Скажем, великий английский архитектор Кристофер Рен, тот самый, который отстроил большую часть Лондона после страшного пожара 1666 года, активно выступал за создание новой системы мер. О необходимости реформы системы мер не раз говорил и Томас Джефферсон, кото-



Земля совсем не круглая

рый был не только великим государственным деятелем Соединенных Штатов Америки, но и ученым. Свое свободное время он посвящал науке, где достиг довольно высокого уровня.

Проблема, однако, заключалась в консервативности, присущей каждому человеку. Мы не любим перемен, даже если понимаем, что они направлены во благо. (Например, время от времени выдвигаются предложения о проведении реформы нашего календаря — и эта реформа действительно необходима. Существуют организации, которые пытаются ее осуществить, в Организации Объединенных Наций неоднократно поднимался вопрос о проведении этой реформы, но до сих пор так ничего и не было сделано. Я подозреваю, что в этом направлении ничего и не будет сделано.)

Несмотря на то что реформа была крайне необходима, осуществить ее удалось только после потрясений, вызванных французской революцией 1789 года. В то время Франция была лидером в области культуры и науки в Западной Европе и оказывала большое влияние на остальные государства. Кроме того, лидеры французской революции стремились порвать с прошлым во всем. Поэтому они создали специальный комитет, который должен был разработать совершенно новую систему мер. В 1795 году работа над этой системой была завершена.

НАШ СТАНДАРТ – ЗЕМЛЯ

Комитет, который разрабатывал новую систему мер длины, пришел к выводу, что основная единица длины должна быть основана на каком-нибудь естественном измерении, на каком-то природном факте. Это вполне соответствовало духу 1700-х годов, которые называли эпохой Просвещения. Столетие, последовавшее за открытиями Ньютона, характеризовалось ростом популярности науки и уважительным отношением к ее достижениям.

В то время самым громким научным проектом было определение размеров Земли, и члены комитета решили принять за основу один из полученных параметров. Сначала они приняли за основу величину расстояния между экватором и Северным полюсом по кратчайшей линии, проходящей через Париж. Поскольку это расстояние является $^1/_4$ частью пути вокруг Земли, его назвали «квадрантом» (на латинском это слово означает «одна четверть»).

Для того чтобы точно определить длину квадранта, потребовалось провести дополнительные измерения, и комитет направил землемеров проверять длину различных участков квадранта в Испании и Франции. Наконец, длина квадранта была определена со всей возможной для того времени точностью.

Основной единицей, которую удобно использовать в нашей повседневной жизни, стала одна десятимиллионная часть квадранта. Ее назвали «метр», что в латинском и греческом языках означает просто «измерение».

Систему измерений, основанную на метре как на основной единице длины, назвали метрической.

Идея была замечательная — эталоном длины сделать саму Землю. Но, как известно, человек предполагает, а Господь располагает. И вот, когда уже были изготовлены бесчисленные эталонные метры, когда были выполнены многочисленные измерения и когда новая система стала привычной, выяснилось, что длина квадранта немного больше той, на которой была основана метрическая система.

Если бы метр был равен одной десятимиллионной части расстояния между экватором и Северным полюсом, то это расстояние в метрической системе должно равняться 10 000 000 метров. Но более точные измерения показали, что это расстояние равно 10 002 288,3 метра. Но менять выбранную когда-то длину метра на другую было уже поздно — слишком много измерений было сделано с помощью метра. Вместо этого было решено отказаться от размера Земли как основы для стандарта длины.

И это было сделано в 1875 году. Было заключено международное соглашение по системам измерений и организовано Международное бюро мер и весов. Бюро изготовило брусок из сплава платины и иридия. Полученный сплав не подвергается коррозии и очень стабилен. На этот брусок нанесли две метки, а расстояние между ними было принято в качестве стандартной длины метра.

Этот брусок называется международным прототипом метра. Каждая страна, подписавшая международное соглашение, получила точную копию международного прототипа метра. Эти копии называют национальными прототипами метра. Международный прототип метра находится в Севре, пригороде Парижа, под международным контролем. Его хранят со всеми возможными предосторожностями.

Жаль, конечно, что, несмотря на грандиозные усилия, метр оказался просто условной единицей, никак не связанной с нашей природой. Однако попытки вернуться к этому принципу продолжаются.

Известно, что свет ведет себя как маленькие волны энергии, и в XX столетии были сделаны точные измерения длины этих волн. Например, кадмий при нагревании излучает красный свет. Была измерена длина волны этого света. Она составляет 0,00000064384696 метра.

В 1927 году на Седьмой международной конференции по мерам и весам было предложено принять длину этой волны за эталон длины. Если бы это было сделано, то международный прототип метра оказался бы равным 1 553 164,13 длины волны красного кадмиевого излучения. Так что, даже если в один миг исчезли бы все эталонные метры, у нас остался бы стандарт длины более точный, чем любой другой, который мог бы изготовить человек. Это эталон, который невозможно испортить или разрушить.

Позднее в качестве стандарта была выбрана длина волны зеленого света, излучаемого атомами ртути, поскольку ее можно определить с большей точностью, чем длину волны красного кадмиевого излучения. Так или иначе, самое главное то, что человечество получило очень точный и стабильный стандарт измерения, и в этом уже можно не сомневаться.

Перед тем как перейти к следующей теме, я хочу сообщить вам, что и в общей системе мер есть одна единица, основанная на размере длины. Любой круг, большой или маленький, ограничен замкнутой линией, которую мы называем окружностью. Каждая окружность делится на 360 градусов. Это деление пришло к нам из древнего Вавилона. Вавилоняне заметили, что Солнце в небе завершает свой путь по кругу за 365 дней. Если разделить окружность, по которой движется Солнце, на 365 частей, то одна часть — это тот путь, который Солнце проходит за один день.

Но 365 дней — не очень удобное число, и вавилоняне решили разделить окружность не на 365 частей, а на 360. Это число близко к 365, но гораздо удобнее, поскольку оно делится на 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 12, 15, 18, 20, 24, 30, 36, 40, 45, 60, 72, 90, 120 и 180. В древности, когда люди еще не научились оперировать дробными числами, возможность такого целочисленного деления (то есть деления, в результате которого не получается дробных чисел) была очень важна. Напротив, число 365 делится только на 5 и 73.

Каждый градус разбили на 60 минут, а каждую минуту — на 60 секунд. (В Вавилоне очень любили число 60, поскольку это число хорошо делится.) Такую систему измерений назвали угловой мерой, поскольку с ее помощью можно измерять не только окружности, но и углы (эту систему широко используют и в наши дни). То, что я вам рассказал, можно кратко представить в виде соотношений:

1 окружность	=	360 градусов
1 градус	=	60 минут
1 минута	=	60 секунд

Теперь окружность земной поверхности, а также любую другую окружность можно разделить на градусы, минуты и секунды. Количество минут в окружности Земли (или в любой другой окружности) составляет 360×60, или 21 600 минут. Морская миля, о которой я вам рассказал немного раньше, была установлена равной длине одной минуты окружности земной поверхности. Значит, морская миля равна $^{1}/_{21\,600}$ длины земной окружности, или 0,0000464 длины земной окружности.

Длина земной окружности зависит от того, в каком месте ее измеряют: по экватору, по полюсам или в каком-то другом месте. Вы ведь помните, что Земля — это вовсе не идеальная сфера, она сплющена у полюсов. Но можно использовать длину квадранта, который приняли за основу те, кто разрабатывал метрическую систему. По линии этого квадранта длина одной минуты составляет 6076,097 фута. Международное гидрографическое бюро постановило, что эта величина является международной морской милей. Многие страны приняли эту величину и используют ее. (Помните, я обещал вам объяснить, почему морская миля равна такому необычному и дробному числу футов? Теперь вы знаете ответ на этот вопрос.)

Британцы вечно выбирают свой особенный путь, они и здесь поступили по-своему. Они округлили число 6076,097 и приняли свою морскую милю, равную 6080 футам, и назвали ее адмиральской. Это название было выбрано по той причине, что в Англии всеми вопросами, связанными с флотом, занимается адмиралтейство. А ведь морская миля — это единица, которой пользуются в основном моряки.

Но самое интересное — другое. Вы помните, что, несмотря на все предпринятые усилия, длина квадранта не равна целому числу метров (или обычных статутных миль), она равна целому числу морских миль. Квадрант равен 10 002 288,3 метра, 6215,12 статутной мили и 5400 морским милям. Благодаря этому морскую милю называют еще и географической милей.

МЕТРИЧЕСКАЯ ТАБЛИЦА

Несмотря на то что морская миля основана на естественном параметре, она существует как бы сама по себе, вне связи с большинством единиц длины. В то же время метр, который не связан с каким-то природным размером, служит основой для целой серии взаимозависимых измерений. Метр — несравненно более важная единица измерения длины, чем морская миля, и значительно более полезная.

Например, метр можно разделить на более мелкие части и из него можно составить более крупные единицы измерения, точно так же как ярд можно разделить на футы и дюймы и из него составить фёрлонги и мили.

Французский комитет не был связан старыми, уже существующими единицами измерения, когда разрабатывал метрическую систему. Ему не пришлось вычислять неудобные коэффициенты перевода. Одним росчерком пера комитет установил самые простые коэффициенты, которые можно было придумать.

За основу они взяли число 10. Метр разделили на десять частей, и одну десятую часть назвали дециметром («деци» — на латинском означает «десять»). Дециметр разделили на десять сантиметров, и метр равен 10×10, или 100 сантиметрам («санти» — на латинском «сто»). В свою очередь, сантиметр тоже разбили на десять частей, на 10 миллиметров. И один метр равен 10×10×10, или 1000 миллиметрам («милли» — «тысяча»).

Теперь пойдем в сторону увеличения. Десять метров — это один декаметр. (Теперь от латинского перешли к греческому языку. «Дека» — по-гречески «десять».) В одном гектометре десять декаметров, или 10×10, или 100 метров («гекто» — по-гречески «сто»). Десять гектометров составляют один километр («кило» — по-гречески «тысяча»). В одном километре 10×10×10, или 1000 метров.

Метровая линейка

Линейка в один ярд

Подведем итог:

1 километр = 10 гектометров
1 гектометр = 10 декаметров
1 декаметр = 10 метров
1 метр = 10 дециметров
1 дециметр = 10 сантиметров
1 сантиметр = 10 миллиметров

Теперь у нас достаточно информации, чтобы составить таблицу метрических единиц длины с коэффициентами перевода одних единиц в другие.

Посмотрите на эту таблицу и сравните ее с таблицей, приведенной ранее. Видите разницу? Коэффициенты перевода в метрической таблице всегда кратны десяти, и нет ни одной громоздкой бесконечной десятичной дроби.

Обратите внимание, при использовании метрической таблицы вам не нужно ни умножать, ни делить. Достаточно передвигать точку или запятую, обозначающую разряды.

Так, 0,001254 километра равны 0,01254 гектометра, или 0, 1254 декаметра, или 1,254 метра, или 12,54 дециметра, или 125,4 сантиметра, или 1254 миллиметрам.

	Километр	Гектометр	Декаметр	Метр	Дециметр	Дециметр	Миллиметр
Километр	1	10	100	1000	10 000	100 000	1 000 000
Гектометр	0,1	1	10	100	1000	10 000	100 000
Декаметр	0,01	0,1	1	10	100	1000	10 000
Метр	0,001	0,01	0,1	1	10	100	1000
Дециметр	0,0001	0,001	0,01	0,1	1	10	100
Дециметр	0,00001	0,0001	0,001	0,01	0,1	1	10
Миллиметр	0,000001	0,00001	0,0001	0,001	0,01	0,1	1

Мы переходили от больших единиц к меньшим и передвигали десятичную запятую направо. Если мы будем переходить от меньших единиц к большим, то придется передвигать запятую или точку налево.

НИЖЕ И ВЫШЕ

Те единицы, которые вы видите в метрической таблице, мы используем в нашей повседневной жизни. Однако ученым нужны и более крупные единицы (больше километра), и более мелкие (меньше миллиметра).

Например, исследователи, изучающие бактерий, вирусы, клетки и другие микроскопические объекты, пользуются «микрометром». Эта единица равна одной тысячной части миллиметра («микро» по-гречески означает «маленький»). Это очень удобная единица для изучения микромира, ее часто используют и сокращенно называют микроном. Но я против такого сокращения, ведь когда мы убираем «метр», то исчезает связь этой единицы с метрической системой.

Одна тысячная часть микрометра, естественно, называется миллимикрометром, а сокращенно миллимикроном. Она равна одной миллиардной (или биллионной) части метра. В 1967 году Национальное бюро стандартов США приняло обозначение «нано» для одной миллиардной (или биллионной) части. Таким образом, мы можем теперь называть миллимикрометр нанометром. Эта величина уже достаточно мала, чтобы ее использовать для измерения длины световых волн. В 1860-х гг. шведский астроном Андерс Ионас Ангстрем предложил для этой цели использовать одну десятую часть миллимикрометра. Эту величину назвали децимиллимикрометром, но я сомневаюсь, что кто-нибудь использует это громоздкое название. Эту единицу называют просто ангстрем, в честь шведского астронома. В этом случае мы тоже можем сказать, что связь с метрической системой в названии утрачена, но дело сделано, единица вошла в оборот, и изменить ничего нельзя.

Наиболее логично для получения следующей, более мелкой единицы разделить миллимикрометр на 1000 и получить микромикрометр (который равен одной сотой части ангстрема). Приставка «микромикро» означает одну миллионную часть от одной миллионной части метра. Это и есть ее размер. В английской системе одна миллионная часть от одной миллионной части называется одной биллионной. В американской системе одна миллионная часть от одной миллионной части называется одной триллионной. Несмотря на это расхождение, британцы стали называть микромикрометр бикроном (приставка «би» указывает на одну биллионную часть). В США Национальное бюро стандартов для обозначения одной триллионной части установило приставку «пико», то есть микромикрометр также можно назвать «пикометром».

Для измерения длины волны рентгеновского излучения (которые намного короче волн обычного света) используют единицу, равную одной тысячной ангстрема (или одну десятую часть микромикрометра). Эта единица получила название Х-единицы. Затем была предложена еще одна единица — одна сотая Х-единицы. Ее назвали ферми, в честь итальянского физика Энрике Ферми, который был одним из ученых, разработавших атомную бомбу. Ферми — это единица, которую удобно использовать для измерения таких микроскопических объектов, как протоны и электроны мельчайших частиц, известных в современной науке.

1 миллиметр	=	1000	микрометров (микрон)
1 микрометр	=	1000	миллимикрометров (миллимикрон или нанометрон)
1 миллимикрометр	=	10	ангстрем
1 ангстрем	=	100	микромикрометров (бикрон или пикометров)
1 микромикрометр	=	10	Х-единиц
1 Х-единица	=	100	ферми

(В общей системе также существуют единицы меньшие чем дюйм. Это «ячменное зерно», о котором я вам уже рассказывал раньше. Оно равно одной трети дюйма. Есть еще одна единица — мил, одна тысячная часть дюйма. Эта единица используется чаще всего в металлообрабатывающей отрасли при изготовлении тончайшей проволоки или других изделий, где нужны сверхточные измерения.)

Теперь давайте разберемся с более крупными единицами, превышающими километр. Единицу, равную 10 километрам, иногда называют мириаметром («мириа» по-гречески означает «десять тысяч»). Сто мириаметров или 1000 километров — это 1 мегаметр («мега» по-гречески означает «много»). Национальное бюро стандартов США приняло обозначение «гига» для биллиона единиц и «тера» — для триллиона. Таким образом, 1000 мегаметров — это 1 гигаметр, а 1000 гигаметров — это 1 тераметр. (Эти новые приставки, «гига» и «тера», были приняты в 1958 году Международным комитетом по мерам и весам в Париже.)

(А вот в общей системе единиц, за исключением лиги (или лье), нет единиц больших мили.)

Но, по правде говоря, метрические единицы, превышающие километр, никогда не используются. Для большинства из нас вполне достаточно такой единицы, как километр. В то же время для астрономов, работающих по всему миру, которым постоянно приходится иметь дело с умопомрачительными запредельными расстояниями, даже мегаметр — слишком маленькая единица длины. Они пользуются световым годом. Один световой год —

это расстояние, которое проходит свет за один год. Свет движется с огромной скоростью (за одну секунду он проходит 186 272 мили). Таким образом, один световой год — это приблизительно 5 878 000 000 000 миль, или 9464 тетраметра.

Есть еще одна более крупная единица длины — парсек. Один парсек равен 3,26 светового года. Я не буду сейчас останавливаться на том, почему было выбрано такое соотношение. Просто сообщаю вам, что 1 парсек равен 19 161 000 000 000 миль, или 30 860 тетраметрам.

Ни световой год, ни парсек не являются составной частью метрической системы, но зато они основаны на природных явлениях. Эти единицы чрезвычайно важны для ученых и находят постоянное применение в астрономии.

НАМ ХОРОШЕГО НЕ НАДО — ПУСТЬ ПЛОХОЕ, НО СВОЕ!

Вернемся к общей системе мер. Вспомните, какие там сложные соотношения между единицами. Школьникам в англоязычных странах вдалбливают их в течение нескольких лет, и все без толку. Никто не знает этих соотношений назубок. А школьникам и школьницам всех тех стран, которые приняли метрическую систему, повезло гораздо больше. Им не приходится проводить бесконечные часы, зазубривая коэффициенты перевода одних единиц в другие. С метрической системой нет никаких проблем, а коэффициенты перевода запомнить очень просто.

Возможно, вы решили, что, как только метрическая система единиц была разработана, все страны наперегонки принялись внедрять ее у себя, отменяя существующие громоздкие и неудобные системы мер. Ничего подобного. Человеческая природа такова, что мы очень неохотно принимаем все новое. Даже во Франции внедрение метрической системы проходило нелегко. Там в 1801 году метрическая система была введена в качестве обязательной, и, тем не менее, французы с завидным упорством продолжали использовать свои традиционные, лишенные какой бы то ни было логики единицы измерения. Тогда в 1837 году был принят закон, категорически запрещавший использование каких-либо единиц измерения, кроме метрических, а с 1840 года за нарушение этого закона вводилось строгое наказание.

Шли годы, и другие страны мира, одна за другой, постепенно вводили у себя метрическую систему. Даже в странах с неевропейской культурой, таких, как Индия и Япония, стали применять метрическую систему. И только англоязычные страны категорически отказывались ее принять.

В то время, когда была разработана метрическая система, Великобритания находилась в состоянии войны с Францией. Это была борьба не на жизнь, а на смерть, сначала с революционерами, а потом с Наполеоном. Разумеется, британцы ничего не желали принимать из рук врага. Кроме того, они вообще не любят нововведений и поклоняются своим традициям с завидным фанатизмом. Совершенно не важно, насколько нелогичен или бессмыслен данный обычай. Британец будет следовать ему, если его прапрадед считал его удобным. Так что британцы уперлись в футы и ярды и прочие меры из общей системы.

Что же касается Соединенных Штатов Америки, то они унаследовали общую систему мер от Великобритании, но не относились к ней с таким же пиететом. Были моменты, когда конгресс США уже готов был принять закон о переходе к метрической системе. Сколько раз конгрессмены были буквально на волосок от этого судьбоносного решения, но каждый раз их что-то удерживало. А время шло, и переход к новой системе становился все более болезненным.

Ведь, чтобы перейти от общей системы к метрической, в наши дни потребуется провести грандиозную работу. Придется заново настраивать станки и различные механизмы, ведь размеры большинства объектов выбирали таким образом, чтобы в общей системе они были целыми числами. Для перехода к метрической системе потребуются огромные капиталовложения, правда, они должны довольно быстро окупиться, поскольку метрическая система гораздо проще и экономичнее.

Чем дольше США откладывали переход к метрической системе, тем труднее становилось его сделать, потому что промышленность бурно развивалась и количество новых заводов и фабрик резко возрастало. А в связи с этим возрастали и затраты на переход к новой системе, и опасения, что при переходе неизбежно возникнут серьезные проблемы на предприятиях. Во второй половине XX века многие американские инженеры и организаторы производства пришли к выводу, что переходить к новой системе уже слишком поздно. Когда можно было это сделать безболезненно, этого не сделали, а теперь это уже не имеет смысла.

Зато в научной работе и британские, и американские ученые используют метрическую систему. Они просто вынуждены это делать. Во-первых, метрическая система гораздо лучше подходит для исследовательской работы, чем общая. Кроме того, ученые всех остальных стран мира используют метрическую систему, и для того, чтобы быть понятыми, британским и американским ученым приходится применять метрическую систему. Но это означает, что им нужно знать обе системы — в детстве они изучают общую систему, а потом — метрическую.

Поскольку метрическую систему они изучают уже во взрослом возрасте, они так и не могут освоить ее так же хорошо, как их коллеги из других стран. А это опять потери, причем в той области, где очень важно быть всегда впереди.

Неужели для этих стран уже навсегда закрыт путь к метрической системе? Возможно, нет. Надо только разработать правильную методику постепенного перехода.

Первый этап — это изучение метрической системы в школах. Если американские школьники начнут знакомиться с метрической системой с детства, то, когда они вырастут, она уже не будет им казаться странной и непонятной.

Затем надо постепенно вводить метрические единицы в повседневную жизнь, не отменяя при этом старых единиц измерения. Например, на картах автомобильных дорог расстояния можно указывать и в милях, и в километрах. Размеры различной недвижимости при совершении сделок можно указывать и в метрах, и в ярдах.

Конечно, это довольно громоздкая система, ведь нам придется использовать одновременно два языка измерений. Но, в конце концов, в Канаде дорожные знаки, обозначения и документы изготавливаются на двух языках, на английском и французском. В Швейцарии дело обстоит еще сложнее. Там обязательно применять четыре языка: французский, немецкий, итальянский и романский. Они так живут столетиями, неужели мы не выдержим нескольких лет?

Затем, когда два языка измерений станут привычными, на метрическую систему сможет постепенно перейти и промышленность.

(На самом деле это не такая уж морока. В конце концов, в энергетике и так используют метрическую систему, когда применяют ватты и киловатты, но об этих единицах я расскажу вам позднее.)

И тогда мы сможем совсем отказаться от общей системы измерений, воссоединиться с остальным миром и вступить в союз логических измерений.

СРАВНИВАЕМ СИСТЕМЫ

А теперь давайте сравним единицы метрической системы с единицами общей системы.

Коэффициенты перевода единиц метрической системы и общей системы так же просто рассчитать, как коэффициент для перевода верст в мили. Если у нас есть один коэффициент перевода, то все остальные можно найти, пользуясь таблицами единиц длины общей и метрической систем, которые мы с вами уже рассматривали.

Предположим, вы провели измерения и узнали, что 1 гектометр = 328,08 фута. Вы можете теперь использовать это значение, чтобы вычислить коэффициент перевода гектометров в ярды. Поскольку 1 гектометр = 10 декаметрам, то 10 декаметров = 32,808 фута. Далее, поскольку 3 фута = 1 ярду, то 1 декаметр = $^{32,808}/_{3}$ или 10,396 ярда, а это и есть коэффициент перевода, который нам нужен.

Таким же образом можно вычислить все нужные нам коэффициенты перевода, и в таблицу общих единиц можно будет добавить метрические единицы. Легко составить комбинированную таблицу, содержащую единицы обеих систем. Но не обязательно использовать все единицы. Скажем, гектометры и декаметры применяют очень редко. Значит, нет необходимости высчитывать коэффициенты перевода этих единиц в ярды и футы.

На самом деле для нашей повседневной жизни важно помнить только три единицы длины метрической системы. Это сантиметр, метр и километр. Их чаще всего и приходится переводить, соответственно, в дюймы, ярды и мили. А вот и необходимые для этого коэффициенты перевода:

1 километр	=	0,621372 мили (3280,8 фута)
1 миля	=	1,60935 километра
1 метр	=	10 ангстрем
1 ярд	=	1,0933611 ярда (39,3700 дюйма)
1 сантиметр	=	0,39370 дюйма
1 дюйм	=	2,540005 сантиметра

(Обычно если не нужны точные измерения, то нет необходимости использовать полное значение коэффициента перевода — как в этом случае, так и в других. Можно ограничиться такими соотношениями: 1 километр = $^5/_8$ мили, 1 метр = $1^1/_{10}$ ярда, а 1 сантиметр = $^2/_5$ дюйма.)

Коэффициенты перевода, приведенные выше, относятся к американской системе единиц. В США нет «стандартного ярда». Как и у большинства стран, у США есть стандартный метр. Американский метр получил название «американский прототип метра 27». Это брусок из сплава иридия и платины, который хранится в Вашингтоне под тщательным наблюдением и контролем в атмосфере кондиционированного воздуха. Условились, что американский ярд равен точно $^{3600}/_{3937}$ стандартного метра. Так что, хотя в США и не используют метрическую систему, американские меры длины привязаны к метрической системе.

А вот в Великобритании есть стандартный ярд, это британский имперский ярд. Он изготовлен из бронзы в 1844 году. Обожающие традиции британцы не стали переходить к эталону из платино-иридиевого сплава. А бронза — один из нестойких материалов, и с 1844 года эталон немного сократился. Согласно последним измерениям, британский имперский ярд равен $^{3\,600\,000}/_{3\,937\,014}$ метра.

Это означает, что британский имперский ярд немного короче американского ярда. Все остальные единицы длины, используемые в Великобритании, привязаны к британскому ярду и, соответственно, немного меньше таких же американских единиц, которые привязаны к американскому ярду.

Например, британский дюйм равен 2,53998 сантиметра, в то время как американский дюйм равен 2,540005 сантиметра. (Эквивалентная разница между американской милей и британской милей составляет примерно $^1/_{30}$ дюйма.) Это очень небольшие различия, но в случае самых точных измерений они могут иметь значение.

Кроме того, существует международный дюйм, который равен ровно 2,540000 сантиметра. Этот дюйм используют в Канаде. Так что его можно назвать также и канадским дюймом.

В 1959 году все англоязычные страны собрались на конференцию и решили перейти на международный дюйм с 1 июля того же года. В рамках этой системы стандартный ярд равен $^{3\,600\,000}/_{3\,937\,008}$ метра для всех англоязычных стран.

Слава богу, был сделан хотя бы такой маленький шаг в сторону здравого смысла.

Глава 4
АКРЫ И ГАЛЛОНЫ

ВОЗВОДИМ ЕДИНИЦЫ В КВАДРАТ И В КУБ

Я уже показал вам, что расстояния можно складывать и вычитать точно так же, как мы складываем и вычитаем обычные числа. Можно к 5 футам прибавить 3 фута и получить 8 футов, можно от 5 футов отнять 3 фута и получить 2 фута.

А как обстоит дело с умножением? Можно перемножить 5 футов и 3 фута?

Представьте себе, что у вас есть маленький прямоугольный участок земли, 5 футов длиной и 3 футов шириной. Чтобы вычислить его площадь, то есть количество земли, которое он покрывает, надо длину участка умножить на его ширину. В результате умножения мы получаем 15 каких-то единиц. Но если вы внимательно посмотрите на рисунок на странице 77, то поймете, что участок действительно разбит на 15 квадратов.

Стороны каждого из этих квадратов равны 1 футу, таким образом, можно сказать, что площадь такого квадрата равна 1 квадратному футу. Следовательно, 5 футов × 3 фута = 15 футов.

А теперь представьте, что у вас есть коробка 5 футов длиной, 2 футов шириной и трех футов высотой. Объем, или количество пространства, заключенного в коробке, — это результат перемножения длины, ширины и высоты. Объем нашей коробки равен произведению 5 футов × 3 фута × 2 фута, или 30 каких-то единиц. Естественно, коробку можно разделить на 30 кубиков со стороной в 1 фут. Каждый кубик — это кубический фут, значит, 5 футов × 3 фута × 2 фута = 30 кубическим футам.

Точно так же, как фут является единицей длины, а квадратный фут — единицей площади, то и кубический фут — это единица объема.

Если бы измеряли стороны вашего участка и коробки в дюймах, то ответы мы получили бы в квадратных и кубических дюймах; если бы проводили измерения в ярдах, то и результаты получили бы в квадратных и кубических ярдах, и так далее.

Естественно, умножение можно проводить только после того, как все единицы приведены к одинаковым наименованиям. Чтобы умножить 2 ярда на 3 фута, нужно либо перевести ярды в футы (2 ярда = 6 футам), либо футы — в ярды (3 фута = 1 ярду). В первом случае ответ 6 футов × 3 фута = 18 квадратных футов, а во втором случае — 2 ярда × 1 ярд = 2 квадратных ярда.

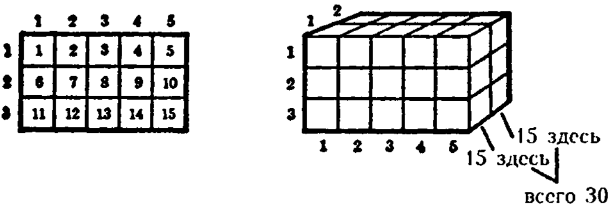
Ответ должен получиться одинаковым, значит, 2 квадратных ярда — это то же самое, что 18 квадратных футов. Давайте подтвердим это другим способом. Мы знаем, что 1 ярд равен 3 футам. Один квадратный ярд, который равен 1 ярд × 1 ярд, также должен равняться 3 фута × 3 фута, или 9 квадратным футам.

Если 1 квадратный ярд равен 9 квадратным футам, то 2 квадратных ярда и в самом деле равны 18 квадратным ярдам.

В общем, совсем нетрудно рассчитать коэффициенты перевода для единиц площади и объема, когда известны коэффициенты перевода для единиц длины.

Берем наугад любой коэффициент перевода. Например, 1 фут равен 12 дюймам. В этом случае 1 квадратный фут равен 1 фут × 1 фут, или 12 дюймов × 12 дюймов, или 144 квадратным дюймам. Точно так же рассчитаем коэффициент для кубических футов. Один кубический фут равен 1 фут × 1 фут × 1 фут, или 12 дюймов × 12 дюймов × 12 дюймов, или 1728 кубическим дюймам.

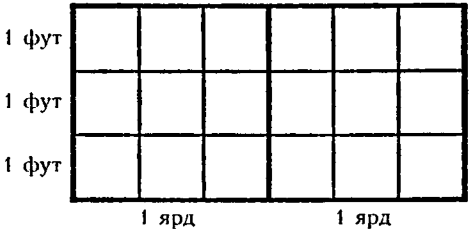
Обратите внимание, 144 — это 12 в квадрате (или 12 × 12), а 1728 — это 12 в кубе (или 12 × 12 × 12). Каждый раз, когда различные единицы длины возводятся в квадрат для получения единиц площади, соответствующие коэффициенты перевода также нужно возвести в квадрат. А когда они возводятся в куб для получения единиц объема, то и соответствующие коэффициенты перевода также нужно возвести в куб.



Квадраты и кубы

Единица площади квадратная миля всем хорошо известна, так как ее очень часто используют для выражения площади, занимаемой континентами, государствами, штатами. Квадратный фут и квадратный ярд используют для измерения площади пола, а квадратные дюймы — для измерения площади телевизионных экранов. В общем, если большинство из нас имеет весьма туманное представление о коэффициентах перевода единиц длины в общую систему измерений, то коэффициенты перевода единиц площади в этой системе известны еще меньше. Хорошо, если один человек из сотни с ходу скажет, сколько квадратных дюймов содержится в одном квадратном футе и сколько квадратных футов в одном квадратном ярде. Я уж не говорю о коэффициентах перевода тех единиц, которые используют землемеры в англоязычных странах: я имею в виду «квадратные цепи» и «квадратные звенья».

Кроме того, существует еще одна часто применяемая единица площади, которая не вписывается в общую схему. Это акр.



2 ярда × 3 фута = 18 квадратным футам,
или 2 квадратным ярдам

Это слово пришло из латинского языка и означает «пастбище». Раньше 1 акр означал площадь, которую мог вспахать запряженный вол за первую половину дня. Эта величина состояла из 4 рудов (руд — это еще одна единица длины, название происходит от слова «род», что по-английски означает «измерительный шест»). Использовать такие меры площади было очень удобно — по величине площади своего участка в акрах вы сразу могли оценить, сколько времени вам понадобится, чтобы его вспахать. Но тут есть одна трудность — ведь время, необходимое для пахоты, зависит не только от площади участка, но и от массы других причин. Например, от рельефа местности, от силы вашего быка, от того, есть ли на участке камни, и так далее. А это означает, что величина акра была различной в разных местах.

Кто-то из английских королей приказал считать 1 акр равным площади прямоугольника длиной 40 родов и шириной 4 рода. Примерно такое количество земли в среднем может вспахать один вол за первую половину дня. Площадь прямоугольника длиной 40 родов и шириной 4 рода равна 40×4, или 160 квадратных родов. Следовательно, 1 акр теперь официально приравнивался к 160 квадратным родам. Поскольку 1 квадратный род равен $5\frac{1}{2} \times 5\frac{1}{2}$, или $30\frac{1}{4}$ квадратного ярда, 1 акр равен $160 \times 30\frac{1}{4}$, или 4840 квадратным ярдам. А руд, который по-прежнему используется в Англии и Шотландии, равен $\frac{1}{4}$ акра. В США род не используется. Таким образом, акр равен 40 квадратным родам, или 1210 квадратным ярдам.

Поскольку 1 квадратный фёрлонг содержит 1600 квадратных родов, а 1 акр содержит только 160 квадратных родов, значит, 1 квадратный фёрлонг = 10 акров. А поскольку 1 квадратная миля содержит 64 квадратных фёрлонга, она должна равняться 64×10, или 640 акров. Другими словами:

1 квадратная миля	=	640 акров
1 акр	=	4 руда
1 руд	=	40 квадратных родов

Что же касается единиц объема, которые получаются возведением в куб единиц длины, то их еще меньше знают, чем единицы площади. Мы редко пользуемся единицами объема в нашей повседневной жизни. Пожалуй, мы сталкиваемся только с величиной объема холодильника или морозильной камеры, которые в США и других англоязычных странах измеряются в кубических футах.

Однако до сих пор в англоязычных странах при торговле товарами большого объема, например древесной, используют очень древние меры объема, основанные на кубическом футе, умноженном на какой-то коэффициент. Скажем, торговцы древесиной используют корд (от английского слова «cord» — веревка). Эта единица получила название по длине веревки, которой обвязывали несколько бревен, чтобы определить их объем. Один корд древесины — это объем древесины (сложенной вдоль досок или бревен) длиной 8 футов, шириной и высотой по 4 фута. Таким образом, один корд равен 8×4×4, или 128 кубическим футам. Объем 1 метра такой стопки равен 1×4×4, или 16 кубическим футам, и называется «кордовым футом».

Когда речь идет о камнях для строительства или о кирпиче, в англоязычных странах используют еще одну древнюю меру объема, перч (от английского слова «perch» — мерный шест). Обычно это объем кладки камней длиной $16^1/_2$ фута, шириной в 1 фут и высотой в $1^1/_2$ фута, то есть $24^3/_4$ кубического фута. (По-моему, такая странная мера объема появилась потому, что в древности за единицу объема каменной кладки принимали кладку длиной в 1 род, шириной в 1 фут и высотой в 1 локоть.)

Но, так или иначе, существуют следующие соотношения:

1 кордовый фут	=	16 кубических футов
1 перч	=	$24^3/_4$ кубического фута
1 корд	=	128 кубических футов (8 кордовых футов)

ВОЗВРАЩАЕМСЯ К МЕТРИЧЕСКОЙ ПРОСТОТЕ

А как обстоит дело в метрической системе? Поскольку единицы длины переводятся одна в другую последовательно при помощи коэффициента 10, то единицы плотности переводятся при помощи коэффициента 10×10, или 100, а единицы объема — при помощи коэффициента 10×10×10, или 1000.

Для метрических единиц площади справедливы следующие соотношения:

1 квадратный километр	=	100 квадратных гектометров
1 квадратный гектометр	=	100 квадратных декаметров

А для метрических единиц объема — следующие:

1 кубический километр	=	1000 кубических гектометров
1 кубический гектометр	=	1000 кубических декаметров

И так далее. Что же может быть проще?

Для пары таких метрических единиц существуют специальные названия. Я считаю, что эти названия только отвлекают нас от прекрасной логики и симметрии метрической системы. Но эти названия призваны облегчить нам жизнь и сберечь дыхание — попробуйте-ка быстро произнести слова «квадратный декаметр»! Эту единицу назвали ар (от английского «area» — площадь). Согласитесь, гораздо удобнее: всего две буквы и один слог по сравнению с 20 буквами или 8 слогами «квадратного декаметра».

Самая популярная единица площади при измерении земельных участков — это гектар. По приставке «гекто» (от греческого «сто») можно догадаться, что 1 гектар равен 100 арам, то есть 1 гектар — это 1 квадратный гектометр.

Для единиц объема тоже существуют такие названия. Например, кубический метр часто называют стиром, от греческого «твердый».

Для того чтобы получить коэффициенты перевода единиц площади и объема из метрической системы в общую и обратно, необходимо возвести в квадрат или в куб коэффициенты перевода единиц длины.

Например, 1 дюйм равен 2,54 сантиметра. Следовательно, 1 квадратный дюйм равен 2,54 × 2,54, или 6,45 квадратного сантиметра, а кубический дюйм равен 2,54 × 2,54 × 2,54, или 16,39 кубического сантиметра.

Точно так же, поскольку 1 метр равен примерно 1,094 ярда, то 1 квадратный метр равен 1,094×1,094, или 1,196 квадратного сантиметра, а один кубический метр равен 1,094×1,094×1,094, или 1,308 кубического ярда.

Часто используется коэффициент перевода аров в гектары и наоборот, и мы его сейчас вычислим. 1 гектар равен 1 квадратному гектометру, то есть 100 × 100, или 10 000 квадратных метров. (А квадратный метр — это, между прочим, одна сотая квадратного декаметра, или, другими словами, 0,01 ара. Поэтому квадратный метр иногда называют сентар.)

Поскольку 1 квадратный метр равен 1,196 квадратного ярда, один гектар равен 10 000 × 1,196, или $^{11\,960}/_{4810}$, или:

1 гектар = 2,471 акра
1 акр = 0,405 гектара

ПУТАНИЦА С ОБЪЕМОМ

Знаете, почему кубические единицы из общей системы так редко используются даже в англоязычных странах? Потому что существуют традиционные единицы объема, к которым все привыкли. Эти единицы не связаны с единицами длины, они возникли совсем по-другому.

Например, существует так называемая «жидкая мера». Это группа единиц, которые традиционно использовали в англоязычных странах для измерения объемов воды, молока, растительного масла, уксуса или вина. Ниже, в табличке, вы увидите длинный список разнообразных единиц объема, и о большинстве из них вы никогда и не слышали.

Вот они:

1 тун (большая бочка)	= 2 пайпа (бочки)
1 пайп (бочка)	= 2 хогсхэда (больших бочонка)
1 хогсхэд (большой бочонок)	= 2 барреля (бочонка)
1 баррель (бочонок)	= $3\frac{1}{2}$ фёркина (маленьких бочонков)
1 фёркин (маленький бочонок)	= 9 галлонов
1 галлон	= 4 жидкие кварты
1 жидкая кварта	= 2 жидкие пинты
1 жидкая пинта (кружка пива)	= 4 джила («джил» по-английски означает «милочка»)

Большинство названий этих единиц существует очень давно. Слово «кварта» пришло из латинского языка, где оно означает «одна четверть». Видимо, это связано с тем, что «кварта» — это $\frac{1}{4}$ галлона. Слово «фёркин», возможно, тоже видоизмененное английское слово «four» (четыре), поскольку 4 фёркина составляют 1 баррель.

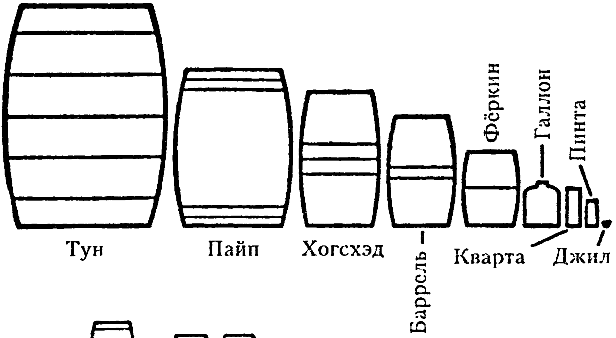
Обратите внимание, что в этой таблице многие коэффициенты перевода — это 2 или 4, но 4 = 2×2. Это свидетельство того, что меры старые и примитивные, поскольку в древности самым простым способом уменьшить какую-нибудь меру было деление на 2 или 4.

В повседневной жизни используется самая мелкая единица объема — джил. Мелкие меры нужны были, помимо ученых, еще и фармацевтам, или, как их называли в древности, аптекарям, которые готовили лекарства. Существует аптекарская жидкая мера, в которую входят единицы меньшие, чем джил. Они приведены в следующей табличке:

1 джил	=	4 жидкие унции
1 жидкая унция (жидкая капля, малость)	=	8 жидких драхм
1 жидкая драхма (капелька, глоток)	=	60 миним (минима — безделица, мельчайшая частица)

Позже вы узнаете о происхождении слов «унция» и «драхма». А сейчас расскажу вам о «миниме». Это слово пришло к нам из латинского языка, где оно означает «самое маленькое», и это самая маленькая мера из аптекарских мер. Минима равна примерно одной капле жидкости.

Вы видите, что все эти единицы объема прямо и непосредственно не связаны с едини-



Единицы объема
(на рисунке масштаб не соблюдается)

цами длины. Даже друг с другом они просто не связаны. Мы с вами столкнулись с абсолютно ненужной путаницей, и теперь становится ясно, почему эти единицы незнакомы большинству людей. Правда, врачи и до сих пор используют аптекарские меры объема, когда выписывают рецепты лекарств. Для этих единиц существуют специальные обозначения, что делает врачебные рецепты весьма таинственными. (Особенно если к этому прибавить ужасный почерк, которым пишут большинство врачей и который они, похоже, культивируют).

Обычный человек из всего этого набора жидких мер знает только пинту, кварту и галлон, но даже с ними постоянно возникают сложности.

В США существует еще одна система измерения объема. Она предназначена для измерения твердых веществ, таких, как зерно и овощи. Эта система называется «сухой мерой», а единицы этой системы приведены в табличке:

1 бушель (большой сосуд)	= 4 пека
1 пек (куча)	= 8 сухих кварт
1 сухая кварта	= 2 сухие пинты

Бушель и пек — это древние меры, и происхождение этих слов неизвестно, а вот пинты и кварты нам хорошо знакомы — мы только что познакомились с ними, когда изучали «жидкие меры».

Вот мы и в ловушке: пинта и кварта из «жидкой меры» — это совсем не то же самое, что пинта и кварта из «сухой меры». Поэтому я и разделил эти единицы. Пинту и кварту из «жидкой меры» я назвал «жидкой пинтой» и «жидкой квартой», а пинту и кварту из «сухой меры» я назвал «сухой пинтой» и «сухой квартой».

Единицы «сухой меры» больше единиц «жидкой меры». Сухая пинта равна 1,164 жидкой пинты, а сухая кварта равна 1,164 жидкой кварты. (Это постоянно приводило бы к ужасной путанице, если бы не тот факт, что в повседневной жизни в США пользуются только «жидкой квартой» и «жидкой пинтой». Их используют при измерении объемов молока, соков, спиртных напитков, мороженого и других пищевых продуктов.) Возможно, создавшейся путаницы кому-то показалось мало, так что сейчас я расскажу вам еще об одной кварте, пинте и так далее. В Великобритании существуют единицы объема с такими же названиями, и используют их как для измерения объемов жидкостей, так и для измерения объемов твердых тел. Так что у них самих путаницы немного меньше. Таблица британских единиц объема приведена ниже:

1 бушель	=	4 пека
1 пек	=	2 галлона
1 галлон	=	4 кварты
1 кварта	=	2 пинты
1 пинта	=	4 джила
1 джил	=	5 жидких унций

Если бы жидкие унции были одинаковы в Великобритании и США, то британский джил равнялся бы $5^1/_4$, или 1,25 американского джила. Но это не так! Британская жидкая унция несколько меньше американской:

1 британская жидкая унция	= 0,961	американской жидкой унции
1 американская жидкая унция	= 1,041	британской жидкой унции

Таким образом, британский джил равен 1,25×0,961, или 1,201 американского джила. А это означает, что:

1 британский джил	= 1,201	американского джила
1 американский джил	= 0,833	британского джила

В обеих системах, британской и американской, пинта состоит из 4 джилов, а кварта — из 2 пинт. Разница в размере джилов переходит и на пинты и кварты. Британские пинта и кварта равны 1,201 американской жидкой пинты и жидкой кварты.

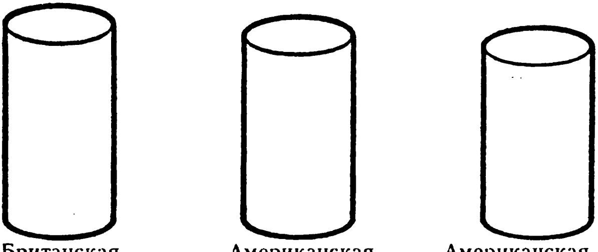
Британский галлон, который называют британским имперским галлоном, равен 1,201 американского галлона. Его используют в Канаде. Поэтому если вы едете из Канады в США на машине, то на первой же бензоколонке вы будете неприятно удивлены, когда начнете заправлять бензобак. Если у вас бензобак на 17 галлонов и вы закажете 17 галлонов бензина, то окажется, что бак заполнится не до конца. Вам нальют всего-навсего 17 : 1,2, или немного больше 14 канадских галлонов.

Точно так же, когда пивоваренная компания объявляет, что бутылка пива содержит имперскую кварту пива (или, что то же самое, «британскую кварту»), это означает, что в бутылке — лишний стаканчик пива.

На той же конференции 1959 года, где было принято решение о переходе на международный дюйм, была сделана попытка учредить международный галлон. Однако расхождение между британским имперским галлоном и американским галлоном слишком велико, поэтому согласие не было достигнуто.

Британская пинта и кварта также немного больше американской сухой пинты и сухой кварты.

Британская пинта (или британская кварта), как мы уже выяснили, равна 1,201 американской жидкой пинты (или американской жидкой кварты). В то же время американская сухая пинта или сухая кварта равна 1,164 американской жидкой пинты (или американской жидкой кварты). Следовательно, британская пинта или кварта должны равняться 1,201 : 1,164 американской сухой пинты или сухой кварты. Следовательно, соотношения между британскими и американскими единицами такие:



Британская кварта — Американская сухая кварта — Американская жидкая кварта

Разные кварты

1 британская пинта (или кварта) = 1,032 американской сухой пинты (или сухой кварты)

1 американская сухая пинта (или сухая кварта) = 0,969 британской пинты (или кварты)

Поскольку британские пеки и бушели состоят, соответственно, из британских и американских кварт и сухих кварт, получается, что британский пек равен 1,032 американского пека, а британский бушель равен 1,032 американского бушеля.

Таким образом, англоязычные страны по мере возможности усложняют себе жизнь в мире измерений. Зато у них всего много: три разные пинты, три разные кварты, разные галлоны.

Вы запутались в этом многообразии? И неудивительно. Я — тоже. Каждый раз, когда приходится иметь дело с этими единицами, я прихожу в бешенство. Зато как приятно вернуться в строгий и логичный мир метрической системы.

ВНОСИМ УТОЧНЕНИЯ В МЕТРИЧЕСКУЮ СИСТЕМУ ОБЪЕМОВ

В метрической системе никакой путаницы с единицами объема нет. Я уже вам рассказал о единицах объема в метрической системе, и теперь надо только внести некоторые уточнения. Основные единицы объема в метрической системе отличаются друг от друга на коэффициент 1000. Так, 1 кубический сантиметр равен 1000 кубических миллиметров, а 1 кубический дециметр равен 1000 кубических сантиметров.

Но эти единицы слишком сильно отличаются одна от другой, и это совсем неудобно. Метрическая система работает эффективней, когда последовательные единицы отличаются одна от другой в 10 раз.

Поэтому нужно выбрать кубические единицы, которые удобно использовать в повседневной жизни. Такой единицей является кубический дециметр, который получил название литр. (Это слово пришло из Франции — так называлась старинная французская мера объема.)

(На самом деле благодаря небольшой неточности, о которой я расскажу позже, 1 литр немного отличается от 1 кубического дециметра. Это — один из немногих недостатков метрической системы, но расхождение между литром и кубическим дециметром настолько незначительно, что на измерениях в повседневной жизни это никак не отражается. Это расхождение следует учитывать только при самых точных измерениях. Мы только чуть-чуть ошибаемся, когда говорим, что 1 литр = 1 кубическому дециметру.)

Один литр можно разбить на более мелкие единицы кратные 10. При этом мы будем использовать те же приставки, которые использовали для единиц длины. Вот эти единицы:

1 килолитр	= 10 гектолитров	=	1 кубометр
1 гектолитр	= 10 декалитров	=	100 кубических дециметров
1 декалитр	= 10 литров	=	10 кубических дециметров
1 литр	= 10 децилитров	=	1 кубический дециметр
1 децилитр	= 10 сантилитров	=	100 кубических сантиметров
1 сантилитр	= 10 миллилитров	=	10 кубических сантиметров
1 миллилитр		=	1 кубический сантиметр

Возможность использовать одинаковые смысловые приставки — это еще одно важное достоинство метрической системы. Поэтому и запомнить эти единицы легче. Если вы знаете, что дециметр — это одна десятая часть метра, то вам легко догадаться, что децилитр — это одна десятая часть литра, а деци — это одна десятая часть от этого чего-нибудь.

Я думаю, вы понимаете, насколько важной единицей является литр. Следующей по величине единицей в шкале кубических единиц идет кубический метр, который равен 1000 кубических дециметров. Между ними существуют еще две кубические единицы — это декалитр и гектолитр. Точно так же, если спуститься вниз по шкале кубических метрических единиц, следующим за кубическим дециметром идет кубический сантиметр, равный $^1/_{1000}$ кубического дециметра. Между этими двумя единицами находятся децилитр и сантилитр.

Среди литровых единиц наиболее известны и чаще всего используются литр и миллилитр. Литр находится посередине между жидкой и сухой квартами:

1 литр = 1,0567 американской жидкой кварты
1 литр = 0,9081 американской сухой кварты

Или:

1 американская жидкая кварта = 0,9463 литра
1 американская сухая кварта = 1,1012 литра

Глава 5
УНЦИИ И ГРАММЫ

МЕРА МАССЫ

До сих пор я рассказывал вам только о единицах длины, площади и объема. Но единицы площади мы получали, перемножая две единицы длины, а единицы объема — перемножая три единицы длины. Так что в конечном счете все сводится к единицам длины. И такое начало вполне обоснованно, поскольку, вероятнее всего, измерения длины были первыми измерениями, которые научился делать человек.

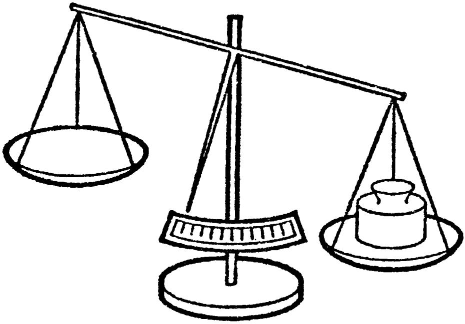
Есть еще один вид измерений, у которого такая же длинная история, — это измерение массы. (Правда, обычно, когда мы говорим о массе, мы имеем в виду вес. Но масса и вес — это совершенно разные понятия, хотя в обыденной жизни мы этого совсем не ощущаем. Различие между ними я объясню вам позже, а пока я буду говорить о «массе» даже в тех случаях, когда вам будет казаться более естественным употребление слова «вес».)

Маленькие объекты неправильной формы, такие, как кусочки металла, можно сравнивать, измеряя их объем. Но измерить объем тела неправильной формы довольно трудно. Только Архимед из Сиракуз показал, как можно легко измерить объем тел сложной формы, но это произошло в 250 году до нашей эры. Человечество не могло ждать, пока великий ученый сделает свое открытие: нужно было делать измерения. Так вот, за тысячи лет до появления Архимеда на свет люди научились сравнивать размер различных объектов, измеряя их массы.

Легче всего это было сделать при помощи рычажных весов, которые старше египетских пирамид. Большинству из нас они хорошо знакомы. (Большинство карикатуристов изображают богиню правосудия с повязкой на глазах и с рычажными весами в руках.)

Рычажные весы состоят из горизонтального стержня, подвешенного в центре, который называют рычагом. С каждого края рычага свисают чашки. Когда чашки пустые — они находятся в равновесии. Как только на одну чашку вы кладете какой-то объект, она опускается вниз, а пустая чашка поднимается вверх. Если вы кладете на каждую чашку по одному объекту, то вниз опускается та чашка, на которой лежит более тяжелый объект, а вверх поднимается чашка с более легким. Если чашки остаются в равновесии, значит, оба объекта имеют одинаковую массу.

Теперь представьте себе, что у вас есть два маленьких кусочка золота. Ели вы положите их на чашки весов, вы сможете ска-



Рычажные весы

зать, какой из них более массивный. Да, но остается еще один вопрос: на сколько один кусочек тяжелее другого?

Хорошо, давайте сделаем следующее. На одну чашку положим наш кусочек золота, а на другую — несколько маленьких объектов, с которыми мы будем сравнивать массу кусочка золота. Этими объектами могут быть высушенные зерна, например зерна пшеницы или ячменя. Они были под рукой на любой ферме, и всегда можно было подобрать почти одинаковые по форме и размеру зернышки, то есть почти одинаковые по массе.

Представьте себе, что для того, чтобы уравновесить ваш кусочек золота, вам понадобилось положить на противоположную чашку весов 14 зерен. Теперь снимите все с чашек весов, положите на одну чашку второй кусочек золота, а на другую начинайте класть зерна. Предположим, вам понадобилось 15 зерен.

Делаем выводы. Масса первого кусочка золота соответствует 14 зернам, а масса второго — 15. Значит, второй кусочек золота на 1 зерно массивнее, чем первый.

В наши дни ученые используют потрясающе точные и сложные весы, но принцип их работы тот же, что и тысячи лет назад. И даже некоторые единицы сохранились еще с тех достопамятных времен — в англоязычных странах используют единицу грэйн (по-английски «зерно»).

Шло время, и в разных странах и регионах появлялись свои стандарты массы, с которыми можно было сравнить неизвестные массы. Основную единицу в Англии назвали фунт (от латинского слова «вес»). В Средние века было множество различных фунтов — каждый город или регион использовал свой фунт.

Разумеется, купцам приходилось трудновато, ведь, если они переезжали из одного города в другой, им надо было четко разобраться, чему соответствует тот фунт, который там используют. Ведь если устанавливали цену за фунт, то купцу совсем не нужно было, чтобы покупатель рассчитывал получить больше, чем он собирался отвесить.

Покупатель тут тоже был лицом заинтересованным. Короче говоря, все, кто был так или иначе вовлечен в процесс торговли, хотели, чтобы появился наконец один фунт, всегда постоянный и контролируемый, и чтобы при купле-продаже не возникало никаких недоразумений.

Первый стандартный фунт, который приняли в Британии, назывался тройский фунт. Это название имеет свою историю. Во Франции есть древний город Труа (англичане произносят название этого города как Трой, поэтому фунт и стал тройским), где еще в Средние века кипела торговля и каждый год устраивались ярмарки. Труа стоит на реке Сене выше Парижа и испокон веку был процветающим торговым центром. Купцы преодолевали много трудностей и проводили долгие месяцы в пути, чтобы добраться до Труа и выгодно продать товар. Поэтому городские власти были крайне заинтересованы в том, чтобы учредить надежные и удобные стандарты измерений.

Видимо, именно тот фунт, который был учрежден в Труа, и был принят в Британии в начале XIII века в качестве тройского фунта. Тройский фунт, не соответствующий тому фунту, который используют в англоязычных странах, до сих пор используют в США для измерения количества золота, серебра и драгоценных камней.

ЧИСЛО ДВЕНАДЦАТЬ

Тройский фунт делится на 12 тройских унций. Слово «унция» пришло из латыни и означает одну двенадцатую часть. Так что название единицы вполне логично — ведь она является одной двенадцатой частью фунта.

Двенадцать — число, на которое удобно делить единицу измерения, чтобы получить более мелкую; оно даже лучше 10 для тех, кто не привык иметь дело с дробями. В конце концов, 12 делится на 2, 3, 4 и 6, а 10 делится только на 2 и 5. В наши дни множитель 12 содержится не только в дюймах и унциях, но и в единицах измерения времени. В сутках 24 часа (2×12), в дюжине — 12 объектов. Немного позже я приведу вам другие примеры.

Посмотрите на таблицу тройских единиц массы:

1 тройский фунт	=	12 тройских унций
1 тройская унция	=	20 пеннивейтов
1 пеннивейт	=	24 грэйна

Грэйн, как я вам уже рассказал, пришел из глубокой старины, когда зерна злаков использовали в качестве единиц массы. Единица массы пеннивейт тоже пришла из Средневековья и напоминает о том, что монетка в один пенни по массе равнялась 24 зернам. То есть буквально «пеннивейт» — это вес 1 пенни. (Обратите внимание, мы опять встретили число 12, ведь 24 = 12×2.)

И правда, британская денежная система очень долго была основана на коэффициенте 12, следуя тройским единицам массы. Сейчас Великобритания перешла на десятичную систему, но еще недавно 12 английских пенсов составляли 1 английский шиллинг, а

20 шиллингов составляли 1 английский фунт. То есть фунт равнялся 240 пенсам. То есть когда-то 1 фунт (денежная единица) равнялся в буквальном смысле фунту массы, то есть тройскому фунту серебра.

Прекрасно запроектированная тройская система единиц массы использовалась в тех случаях, когда требовались очень точные измерения, когда даже маленькая ошибка приводила к большим материальным потерям. В наши дни большинству из нас наиболее знакома такая тройская единица массы, как карат, которая и сейчас используется для определения массы золота.

Слово «карат» пришло к нам из арабского языка, где оно означает «боб». То есть, как и грэйн, эта мера из мира растений. Золотых дел мастера еще в Средние века постановили, что 1 карат равен 12 грэйнам (опять число 12). То есть 1 карат равен половине пеннивейта. Старинная английская монета, марк, имела массу 24 карата (или 12 пеннивейтов; опять число 12). Эту монету не чеканили из чистого золота, поскольку чисто золотая монета была бы слишком мягкой. Для того чтобы монета стала тверже, к золоту добавляли медь или какой-нибудь другой металл.

И вы уже догадались, что золотых дел мастерам было совсем нетрудно обмануть обывателей, добавив к золоту чуть-чуть больше меди. Следовательно, должны были существовать специальные правила, регулирующие количество золота в золотых монетах. Если монета массой 24 карата содержала, скажем, 22 карата золота, то это была монета в 22 карата золота, и соответствующую метку наносили на монету. Монета могла быть в 18 каратов золота или в 14 каратов золота. Тем «умельцам», которые ставили на монеты не соответствующие реальному положению дел метки, грозило суровое наказание.

Традиция маркировки золотых предметов сохранилась до наших дней. Любой предмет из золота, независимо от общей массы, маркируется «14 карат», если он содержит $^{14}/_{24}$ золота, или «18 карат», если он содержит $^{18}/_{24}$ золота, и так далее.

К сожалению, и тут возникла путаница. Существует еще один карат, тот, который используют для определения массы драгоценных камней, особенно бриллиантов. Этот маленький карат вначале приравняли по массе к 4 грэйнам (то есть $^{1}/_{3}$ массы золотого карата). Однако в разных частях Европы использовали караты разной массы, и в конце концов был учрежден английский карат, который использовали на лондонском рынке алмазов. Он был равен 3,163 грэйна. Но это все еще не совсем тот карат, который используется в наши дни для измерения массы драгоценных камней, и мы еще обсудим этот вопрос немного позже в этой же главе.

Лекарства и медикаменты следовало отмерять не менее точно, чем золото, серебро и драгоценные камни. Аптекари, так же как и ювелиры, использовали тройскую систему единиц. Поэтому частенько тройский фунт и тройскую унцию называют, соответственно, аптекарским фунтом и аптекарской унцией. Для массы меньшей аптекарской унции аптекари использовали единицы, не принадлежащие к тройской системе. В следующей табличке представлены эти единицы.

1 аптекарский фунт (тройский фунт)	=	12 аптекарских унций (тройских унций)
1 аптекарская унция (тройская унция)	=	8 аптекарских драхм
1 аптекарская драхма	=	3 скрупула
1 скрупул	=	20 грэйнов

Название единицы скрупул пришло из латинского языка и означает «камешек». Оно уводит нас в те далекие времена, когда мелкие камешки, гальку, использовали как стандарты массы. Слово «драхма» пришло из греческого: так называлась монета, а возможно, масса этой монеты и равнялась массе аптекарской драхмы, точно так же как масса пеннивейта равнялась массе монетки в один пенни. Аптекарскую драхму следует отличать от жидкой драхмы, которую также используют аптекари, только не для определения массы, а для определения объема.

Поскольку 1 скрупул равен 20 грэйнам, а 1 пеннивейт равен 24 грэйнам, то скрупул равен $^{20}/_{24}$, или:

1 скрупул	=	0,833 пеннивейта
1 пеннивейт	=	1,2 скрупула

Точно так же аптекарская драхма равна 20×3 грэйна, или 60 грэйнов ($60 = 5\times12$, если вы все еще выискиваете число 12). Следовательно, аптекарская драхма равна $^{60}/_{24}$ массы пеннивейта, или:

1 аптекарская драхма	=	2,5 пеннивейта
1 пеннивейт	=	0,4 аптекарской драхмы

Обратите внимание, что количество скрупулов в аптекарской унции равно 3×8, или 24. А это 2×12. То есть почти в каждой древней единице массы мы находим число 12.

НОВЫЙ ФУНТ

Но это еще не все. В англоязычных странах существует еще и третья система — система единиц эвердьюпойс. Она отодвинула в тень и тройскую, и аптекарскую системы. Слово «эвердьюпойс» пришло из средневековой Франции. Пишется оно как «avoir du poid», по-французски звучит «авуар дю пуа» (в «эвердьюпойс» его превратили англичане) и означает «иметь вес». Эти единицы использовали для измерения больших масс, а не таких мизерных количеств, которыми оперируют ювелиры или аптекари.

Стандарты эвердьюпойс не нужно было так строго контролировать, как тройские стандарты. Поэтому стандарты эвердьюпойс были доступнее и дешевле. Да и когда речь шла о торговле зерном или древесиной, то не было необходимости в такой точности, которая была совершенно необходима в ювелирном деле.

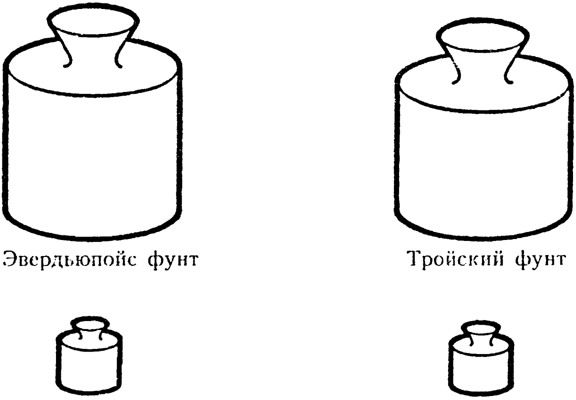
В Британии к началу XVI века единицы системы эвердьюпойс использовали гораздо чаще, чем тройские единицы. Затем, конечно, потребовалась большая точность, и в наши дни стандарты эвердьюпойс такие же точные (или даже более точные), чем тройские стандарты.

Ниже в табличке приведены некоторые единицы эвердьюпойс:

1 эвердьюпойс фунт	=	16 эвердьюпойс унций
1 эвердьюпойс унция	=	16 эвердьюпойс драхм
1 эвердьюпойс драхма	=	$27^{11}/_{32}$ грэйна

У всех этих единиц знакомые нам названия: фунты, унции, драхмы и грэйны. Но только грэйны эвердьюпойс равны по массе грэйнам из тройских аптекарских таблиц. Драхма эвердьюпойс, состоящая из $27^{11}/_{32}$ грэйна, не равна аптекарской драхме, состоящей из 60 грэйнов. Аптекарская драхма почти в два раза больше. Посмотрите в табличку:

1 аптекарская драхма	=	2,194 эвердьюпойс драхмы
1 эвердьюпойс драхма	=	0,456 аптекарской драхмы



Фунты и унции

Унции в этих системах тоже различаются. Унция эвердьюпойс содержит $27\frac{11}{32} \times 16$, или $437\frac{1}{2}$ грэйна, в то время как тройская унция немного больше, 24×20, или 480 грэйнов. Таким образом, тройская унция равна $480/437\frac{1}{2}$, или:

1 тройская унция	= 1,097	эвердьюпойс унции
1 эвердьюпойс унция	= 0,911	тройской унции

Обратите внимание, что, хотя слово «унция» в названии единицы унция эвердьюпойс означает на латинском одну двенадцатую, 1 унция эвердьюпойс равна одной шестнадцатой доле от фунта эвердьюпойс, а вовсе не одной двенадцатой. Название подходит к тройской единице, а вовсе не к единице эвердьюпойс.

Откуда, собственно, взялась одна шестнадцатая? Вспомните, что самый простой способ уменьшать единицы измерения — это делить их пополам. Затем вы можете делить полученные половины еще раз пополам и получать одну четвертую часть. Затем делите еще раз пополам — и получаете одну восьмую, потом еще раз пополам — вот вам и одна шестнадцатая.

Унция эвердьюпойс когда-то равнялась тройской унции, поэтому ее и назвали «унцией». Но затем ее сократили по массе для того, чтобы в фунт эвердьюпойс входило удобное круглое число грэйнов. В фунте эвердьюпойс содержится $16 \times 437^1/_2$ грэйна, или 7000 грэйнов. Если бы унция эвердьюпойс осталась равной тройской унции, то количество грэйнов в фунте эвердьюпойс равнялось бы 16×480, или 7680 грэйнов.

С другой стороны, тройский фунт состоит из 12 тройских унций, следовательно, он содержит 480×12, или 5760 грэйнов. Таким образом, фунт эвердьюпойс — самый большой.

1 фунт эвердьюпойс	=	1,215 тройского фунта
1 тройский фунт	=	0,823 фунта эвердьюпойс

Разумеется, уменьшение массы унции эвердьюпойс привело к соответствующему уменьшению массы драхмы эвердьюпойс (такое, чтобы в унции содержалось удобное число драхм — 160). Грэйн не изменили, поскольку он был основной единицей, не только для системы эвердьюпойс, но и для тройской и аптекарской систем. Поэтому дело кончилось тем, что драхма эвердьюпойс оказалась равной такому странному дробному числу грэйнов, как $27^{11}/_{32}$.

Вся эта мешанина драхм, унций и фунтов весьма типична для системы мер в англоязычном мире. Единственное, что может несколько смирить с таким положением вещей, это то, что в наши дни в обиходе только единицы эвердьюпойс. Если заходит речь о фунтах или унциях и при этом не упоминается система, значит, речь идет о единицах эвердьюпойс.

Поскольку система эвердьюпойс предназначена для измерения больших масс, в нее входят единицы большие, чем фунт. В США используют такие единицы:

1 тонна	=	20 центнеров
1 центнер	=	100 британских фунтов

Слово «центнер» образовано при помощи приставки «цент» (сто), поскольку он равен ста фунтам. О происхождении слова «тонна» я расскажу вам позднее.

В Великобритании единицы, превышающие фунт эвердьюпойс, несколько отличаются от американских:

1 тонна	=	20 центнеров
1 центнер	=	4 кварты (четверти)
1 кварта (четверть)	=	2 стоуна
1 стоун (по-английски камень)	=	14 эвердьюпойс фунта

Название единицы «кварта» вполне логично, ведь «кварта» по-латыни — одна четверть, а кварта и в самом деле является одной четвертой частью центнера. Слово «стоун» (камень) пришло к нам из древних времен, когда камни использовали в качестве единиц массы. Почему так случилось, что стоун был разбит на 14 фунтов эвердьюпойс, мне самому неясно. Очевидно, что 14 совершенно неудобное число.

Появление коэффициента 14 путает нам все карты. Британский фунт равен 14×2×4, или 112 фунтам эвердьюпойс. Совершенно нелогично называть «центнером» единицу, равную не 100, а 112 другим единицам, но британцев это не смущает.

Американцы получили эти единицы в наследство после британского владычества, но они, к счастью, не были так привержены традициям и уменьшили величину стоуна, чтобы центнер стал настоящим центнером.

Это расхождение сказалось и на другой единице — на тонне. И британская и американская тонна равна 20 центнерам. Однако британская тонна состоит из 20 британских центнеров, то есть равна 112×20, или 2240 фунтам эвердьюпойс. Американская тонна, естественно, состоит из 20 американских центнеров и равна 100×20, или 2000 фунтам. Таким образом:

1 британская тонна	= 1,12	американской тонны
1 американская тонна	= 0,984	британской тонны

Британская тонна больше американской, поэтому британскую тонну, в отличие от американской, называют «длинной тонной» или «большой тонной». Об американской тонне говорят «короткая тонна». То же самое и с центнерами. Британские центнеры называют «длинными центнерами» или «большими центнерами», а американские — «короткими».

(Американцы сталкиваются с этим расхождением в единицах, в основном когда читают английские романы. Если они натыкаются на характеристики вроде «крепкий атлет 14 стоунов веса» или «девушка, тонкая как тростинка, едва достигшая 7 стоунов веса», то, не ведая о том, что речь идет совсем не об американском стоуне, они с недоумением пожимают плечами и продолжают читать дальше.)

МАССА И ОБЪЕМ

Вполне вероятно, что первыми появились единицы длины, но вторыми наверняка единицы массы. Затем появились единицы объема, и основаны они были не на единицах длины, что было бы вполне логично с математической точки зрения, а на единицах массы. Это было менее логично, зато более практично, и такие единицы были гораздо удобнее, несмотря на отсутствие математической логики.

Масса равна объему

Так, например, британский имперский галлон — это такой объем, который занимает масса воды, равная 10 фунтам эвердьюпойс. Понимаете теперь, как легко измерить объем в таких единицах? Жидкость, а вода — обычно самая доступная жидкость, всегда принимает форму сосуда, в который ее налили, и заполняет все пространство, не оставляя пустот. Для того чтобы проверить мерный сосуд объемом в один галлон, надо отвесить 10 фунтов эвердьюпойс воды и налить эту воду в сосуд. Если вся вода войдет в сосуд, значит, сосуд сделан правильно. Если часть воды выльется, значит, этот сосуд — недомерок.

Один американский галлон, равный примерно $^5/_6$ британского имперского галлона, содержит только 8,337 фунта воды. Так что британский имперский галлон — более логичная единица.

И в британской, и в американской системах 1 галлон состоит из 8 пинт. Британская пинта равна $^{10}/_8$, или 1,25 фунта эвердьюпойс воды. Американская жидкая пинта содержит $^{8,337}/_8$, или 1,042 фунта эвердьюпойс воды.

Есть старая английская поговорка: «A pint is a pound the whole world round». По-русски ее можно перевести дословно как «пинта равна фунту по всему миру», или, в соответствии с духом поговорки, «пинта, она и в Африке — фунт». Теперь мы можем точно сказать, что, по крайней мере, для американской жидкой пинты это совершенно справедливо.

Поскольку жидкая пинта состоит из 16 жидких унций, а 1 фунт эвердьюпойс состоит из 16 унций эвердьюпойс воды, жидкая унция должна содержать 1,042 унции эвердьюпойс воды. Жидкая унция также содержит 0,950 тройской унции воды, поскольку тройская унция немного больше унции эвердьюпойс. Жидкая унция (правильнее было бы перевести ее название как «плавная, переходная», но термин «жидкая» — устоявшийся, используемый в технике) получила такое название потому, что она находится между двумя обычными унциями массы, тройской унцией и унцией эвердьюпойс.

Точно так же жидкая драхма (в аптекарской жидкой системе мер) получила свое название из-за того, что она содержит количество воды по массе равное одной аптекарской драхме.

Еще одно любопытное соотношение между весом и объемом демонстрирует нам единица «тун» (по-английски «большая бочка»), о которой я вам рассказывал ранее. Это самая большая единица в таблице жидких мер. Один тун содержит 252 галлона. Если речь идет об американских галлонах, тогда 1 тун воды — это 252×8,337, или 2101 фунт. Это немного больше 1 американской тонны, и, по существу, слово «тонна» и произошло от слова «тун». Связь даже более прочная, поскольку в больших бочках (тунах) обычно держали вино, а оно немного легче воды.

Одна из самых древних единиц массы, о которой мы узнаем на страницах Ветхого Завета, произошла от единицы объема. Эта единица объема называется «талант», что по-гречески означает «вес». Предположительно, талант равнялся массе одного кубического фута воды. Кубический фут воды имеет массу 62,5 фунта, но греческий талант равнялся всего лишь 57 фунтам, а древнееврейский талант (тот, о котором говорится в Ветхом Завете) равнялся 94 фунтам.

Поскольку количество серебра также измеряли в талантах, то название «талант» получила и денежная единица (так же как и фунт). Если перейти на современные денежные единицы, то греческий талант соответствует примерно 1800 американских долларов, а древнееврейский талант — около 3000 американских долларов.

Другая древнееврейская монета, шекель, равнялась $^1/_{3000}$ древнееврейского таланта и, таким образом, приблизительно равна 1 американскому доллару.

МЕТРИЧЕСКАЯ МАССА

В метрической системе единицы объема и массы также взаимосвязаны, и эта связь вполне логична и систематична.

Например, масса 1 миллилитра воды, находящейся в определенных условиях, точно равна 1 грамму. (Слово «грамм» пришло из греческого языка, где оно обозначало название маленькой единицы массы.)

Так же как литр или метр, грамм подразделяется на более мелкие единицы и укрупняется при помощи коэффициента 10. Таким образом, существуют более крупные единицы массы, такие, как декаграмм, гектограмм и килограмм, и более мелкие — сентиграмм и миллиграмм.

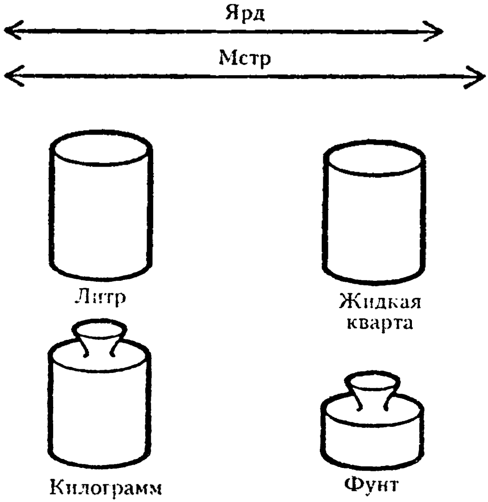
Следовательно, метрическая система не только объединяет единицы массы и объема (это сделано и в англо-американской системе, только гораздо менее логично), но она также объединяет единицы объема и массы с кубическими единицами. Например, кубический сантиметр, который является кубом единицы длины, равен 1 миллилитру, то есть единице объема, которая содержит 1 грамм массы воды, то есть единицу массы.

Поскольку 1 литр равен 1000 миллилитров, а 1 килограмм равен 1000 граммов, значит, 1 миллилитр содержит 1 грамм воды, а 1 литр содержит 1 килограмм воды. Более ста лет назад был изготовлен стандарт массы, международный прототип килограмма. Это брусок из платино-иридиевого сплава, масса которого точно равна массе 1 литра воды. Его хранят в строго контролируемых условиях в городе Севре, во Франции. Этот брусок является первичным стандартом массы для всего мира.

Однако в 1927 году при помощи самых совершенных на тот момент приборов была измерена масса 1 литра воды, и выяснилось, что она немного отличается от массы, принятой за 1 килограмм. Это отклонение очень незначительно, тем не менее ученые оказались перед выбором. Они могли чуть-чуть уменьшить стандартный килограмм, чтобы он действительно стал равен массе 1 литра воды, либо чуть-чуть увеличить 1 литр, чтобы он вмещал 1 килограмм массы воды.

Ученые решили, что второй путь связан с меньшими трудностями, и увеличили 1 литр. Поэтому в наши дни 1 литр немного больше 1 кубического дециметра, а 1 миллилитр немного больше одного кубического сантиметра. Соответствующие коэффициенты перевода приведены в этой таблице:

1 литр	=	1,000028 кубического дециметра
1 кубический дециметр	=	0,999972 литра



Сопоставление

Вы видите, что эти расхождения можно заметить только при самых точных измерениях. Тем не менее химики с тех пор используют только миллилитры и избегают кубические сантиметры.

Наиболее часто применяемые в повседневной жизни единицы массы — это миллиграмм, грамм и килограмм. Один миллиграмм ($^1/_{1000}$ грамма) — это очень маленькая единица измерения, она даже меньше грэйна. Грэйн тоже маленькая величина, намного меньшая, чем унция эвердьюпойс. Вот килограмм — это уже большая величина, он немного больше, чем фунт эвердьюпойс. Коэффициенты перевода представлены в таблице:

1 миллиграмм	=	0,0154	грэйна
1 грэйн	=	64,80	миллиграмма
1 грамм	=	0,0353	унции эвердьюпойс
1 унция эвердьюпойс	=	28,35	грамма
1 килограмм	=	2,205	фунта эвердьюпойс
1 фунт эвердьюпойс	=	0,4536	килограмма

Теперь, когда у нас есть коэффициенты перевода, я могу вернуться к карату. Я уже говорил вам, что британский карат равен 3,163 грэйна. Таким образом, в метрических единицах британский карат равен 3,163×64,80, или 204,96 миллиграмма.

Поскольку торговля бриллиантами и другими драгоценными камнями была исторически сосредоточена в тех странах, которые приняли метрическую систему (например, в Голландии), было решено учредить новый карат, равный целому числу миллиграммов.

Метрический карат установили равным 200 миллиграммам, и теперь его используют во всем мире, а в США эту единицу приняли еще в 1913 году. И если вы счастливчик — обладатель бриллианта в 5 каратов, значит, вы имеете бриллиант массой 5×200, или 1000 миллиграммов. Другими словами, масса вашего бриллианта равна точно 1 грамму.

Метрическую систему можно использовать и для масс, выходящих за килограммовый диапазон. Они представлены в таблице:

1 мегаграмм	=	10 квинталам (центнерам)
1 квинтал	=	10 мириаграммам
1 мириаграмм	=	10 килограммам

Правда, название «мегаграмм» (один миллион граммов) практически не используется. Вместо него используют единицу, которая почти на всех языках мира называется «тонной». Но в английском языке уже есть своя тонна, поэтому мегаграмм называют «метрической тонной».

Мегаграмм получил такое название, поскольку его масса приблизительно равна 1 тонне. Метрическая тонна равна 1000 килограммов, и каждый килограмм равен 2,205 фунта эвердьюпойс. Таким образом, метрическая тонна равна 1000×2,205, или 2205 фунтам эвердьюпойс. Таким образом, метрическая тонна больше американской и немного меньше британской тонны. Коэффициенты перевода вы найдете в таблице:

1 метрическая тонна	=	1,1023	короткой тонны (американской)
1 метрическая тонна	=	0,9842	длинной тонны (британской)
1 короткая тонна	=	0,9072	метрической тонны
1 длинная тонна	=	1,0160	метрической тонны

АНГЛО-АМЕРИКАНСКИЕ РАЗНОГЛАСИЯ

В США вначале использовали британский стандарт массы. Затем в США учредили свой собственный стандарт — тройский фунт. Сначала он назывался тройским фунтом монетного двора, а затем тройским фунтом Национального бюро стандартов. Этот стандарт до сих пор используется при изготовлении монет.

В течение какого-то времени американский фунт эвердьюпойс был основан на тройском фунте монетного двора. Однако в 1893 году в США перешли на килограмм, который стал основным стандартом массы. Эталон массы, изготовленный в США, называется *американским прототипом килограмма 20*. Фунт эвердьюпойс определяется как 0,4535924277 массы стандарта килограмма.

Великобритания и в этом случае, как и в случае единиц длины, проявила жесткий консерватизм и сохранила стандарт массы. Это британский имперский фунт, который был изготовлен еще в 1845 году.

После того как американцы откололись от британской системы мер массы и учредили свой собственный стандарт; британский имперский фунт потерял немного массы. Теперь он немного меньше американского стандарта. Британский имперский фунт равен 0,45359234 килограмма.

Американский фунт эвердьюпойс, таким образом, равен 0,4535924277/0,45359234 британских имперских фунтов. Таким образом, соотношение между этими единицами следующее:

1 американский фунт эвердьюпойс	= 1,000001	британского имперского фунта
1 британский имперский фунт	= 0,9999999	американского фунта эвердьюпойс

Расхождение между ними было даже меньше, чем в случае британского и американского дюймов. Это расхождение было ликвидировано на той же самой конференции, на которой американцы и англичане пришли к соглашению по поводу дюйма. В результате переговоров, американский фунт эвердьюпойс слегка изменили и привели в соответствие с британским имперским фунтом.

Глава 6
СЕКУНДЫ И ОБРАТНЫЕ СЕКУНДЫ

МЕРА ВРЕМЕНИ

Теперь, когда мы с вами изучили единицы длины и массы, пора переходить к не менее древним единицам — единицам измерения времени.

К счастью, с ними гораздо легче обращаться, чем с единицами длины и массы. Дело в том, что весь цивилизованный мир уже давно, задолго до введения метрической системы, пришел к согласию относительно этих единиц.

Единицы времени — это природный стандарт, основанный на таком научном феномене, который наблюдали и признавали все люди, даже самые примитивные. Это явление — вращение Земли, период которого почти постоянен. Полный период вращения — один день, который разделен на 24 часа (еще со времен Древнего Египта и Шумерского царства).

Час разделен на 60 минут, а минута — на 60 секунд. Это очень похоже на единицы измерения углов, о которых мы с вами говорили раньше. Причина этого подобия вот какая. В Древнем Вавилоне небольшие единицы времени измеряли по движению Солнца по небесному своду. Постепенно измерения движения по окружности в градусах, минутах и секундах превратились в измерения времени в часах, минутах и секундах. И эта привычка сохранилась надолго.

1 день	= 24 часа
1 час	= 60 минут
1 минута	= 60 секунд

Это означает, что один день равен $24 \times 60 \times 60$, или 86 400 секунд. Следовательно, 1 секунда — это $^1/_{86\,400}$ часть дня.

Разумеется, долгота дня постепенно увеличивается, правда очень медленно, поскольку скорость вращения Земли уменьшается. Но это изменение никак не сказывается в повседневной жизни — оно слишком незначительно. День увеличивается на 1 секунду за 100 000 лет. Но ученым нужен более точный стандарт, нежели период вращения Земли. И такой стандарт нашли. Это колебания атомов в молекуле. Секундой считают то время, которое нужно какому-то определенному атому для того, чтобы совершить некоторое число колебаний. Насколько известно, эта величина совершенно неизменна.

Есть еще один вид небесного движения, который используется как основа для эталона измерения времени. Это время полного оборота Земли вокруг Солнца. Этот период времени, от одного весеннего равноденствия до другого, называется тропическим годом. Тропический год не равен целому числу дней. Коэффициенты перевода показаны ниже.

1 тропический год = 365,2422 дня
1 день = 0,002737937 тропического года

Как ни странно, для промежутков времени, превышающих год, всегда использовали десятичную систему, даже в глубокой древности. Десять лет называют декадой, десять декад (то есть сто лет) — веком, а десять веков — тысячелетием.

Для промежутков времени, которые меньше 1 секунды, также используют десятичную систему. Когда проходят соревнования бегунов или скачки, время пробега регистрируют с точностью до десятых долей секунды. Более короткие промежутки времени интересуют только ученых. И они используют десятичную систему и соответствующие приставки. Например, одна тысячная доля секунды называется миллисекундой, а одна миллионная доля секунды (то есть одна тысячная миллисекунды) называется микросекундой.

Французский комитет, который впервые вводил метрическую систему, даже не делал попыток ввести коррективы в систему единиц времени. Было очевидно, что продолжительность дня и года определена вращением Земли вокруг своей оси и вокруг Солнца. С этим и с другими основными параметрами ничего нельзя было поделать. Смена дня и ночи и смена времен года — это такие фундаментальные позиции, которые просто не могут быть встроены в десятичную систему.

Более того, продолжительность месяца и недели была установлена еще в древности на основе смены фаз Луны. И эти единицы измерения времени также очень трудно изменить. Тем не менее французские политики времен первой французской революции попробовали ввести некоторые изменения и приблизиться к десятичной системе. Согласно созданному ими календарю каждый месяц состоял из 30 дней (в конце каждого года было предусмотрено 5 выходных дней, а в конце каждого високосного года — 6 выходных дней). Каждый месяц, в свою очередь, состоял из 3 декад по 10 дней. Это был нерешительный шаг в сторону метрической системы единиц времени. Эта реформа не имела успеха, и новый календарь не вошел в обиход.

Мне кажется, что комитет упустил вполне реальную возможность ввести десятичные единицы измерения времени, не основанные на астрономических параметрах. Можно было изменить разбивку одних суток. Скажем, они могли разделить сутки на 10 «метрических часов», каждый «метрический час» на 100 «метрических минут», а каждую «метрическую минуту» на 100 «метрических секунд».

В этом случае «метрический час» был бы равен 2 часам 24 минутам обычного времени. Одна «метрическая минута» была бы равна 1 минуте и 26,4 секунды обычного времени, а одна «метрическая секунда» составила бы 0,864 обычной секунды.

Нам было бы несколько проще переводить одну в другую эти никогда не существовавшие единицы времени. Представьте себе, что вы жарите мясо в духовке. Время готовки зависит от веса куска мяса, скажем, вам нужно определить время из расчета 25 минут на 1 фунт мяса. Если у вас $4^1/_2$ фунта мяса, вам понадобится $112^1/_2$ минуты, но вам придется потрудиться, чтобы вычислить, что это 1 час и $52^1/_2$ минуты.

А теперь представьте себе, что вы рассчитываете время в метрических единицах, которые я вам предложил. Вы знаете, что время жарки определяется из расчета 25 «метрических минут» на 1 фунт мяса. Тогда, если вы умножите $4^1/_2$ на 25, вы получите 112,5 «метрической минуты», или 1,125 «метрического часа», или, если вам удобней, 1 «метрический час» 12 «метрических минут» и 50 «метрических секунд». Вы видите, что, когда мы имеем дело с отрезками времени меньшими, чем одни сутки, очень удобно пользоваться метрической системой.

Жаль, что комитет не предпринял попыток осуществить подобную реформу, возможно, она имела бы успех и могла бы вписаться в общую метрическую систему, а это привело бы к значительному упрощению измерений.

РАЗМЕРНОСТИ

Теперь мы с вами знаем все основные единицы, о которых я смогу рассказать вам в этой книге. Эти единицы можно разделить на три группы: единицы длины, единицы массы и единицы времени. Сложные единицы измерения можно получить комбинируя основные единицы. Комплексная единица измерения может включать и длину, и массу, или, скажем, длину и время, или все три — длину, массу и время.

Для того чтобы нам не утонуть во всех этих комбинациях, я ввожу понятие «размерность». Если измеряемая величина выражается в единицах массы, то речь идет о размерности M (масса). Если измерения делают в единицах длины, то размерность величин L, а если упоминают единицы времени, то размерность величин T.

Две любые единицы с одинаковыми размерностями можно складывать и вычитать, пользуясь обычными правилами математики.

Например, можно складывать любые единицы длины. Мы легко можем найти сумму 2 версты + 5 миль + 3 километра, ведь мы знаем коэффициенты перевода одной единицы в другую. Точно так же можно сложить 5 фунтов и 1230 граммов или 4 часа и 105 минут.

Но совершенно невозможно складывать или вычитать величины с разными размерностями. Вы не можете прибавить 4 фунта к 5 дюймам или 6 дней к 17 килограммам. Между единицами с разными размерностями нет коэффициентов перевода.

Возможно, это покажется вам совершенно очевидным. Ведь никто и не пытается складывать унции с минутами или вычитать дюймы из галлонов. Но как только мы перейдем к более сложным единицам, которые будем изучать во второй части книги, ответ на этот вопрос уже не будет таким простым. Когда инженеры и ученые проводят свои измерения, им нужно очень тщательно выбирать размерности, чтобы не получилось нечто подобное сложению дюймов с фунтами.

Тщательная проверка размерностей, в которых проводятся измерения, называется *анализом размерностей.*

Для того чтобы анализ размерностей был наименее трудоемким, лучше выбирать одну единицу измерения для каждой из трех групп размерностей. Если вы поступаете таким образом, то можете концентрировать внимание на самих размерностях и не заниматься переводом одних единиц в другие, например миль в километры или галлонов в литры. Разумеется, вам придется решить, какую именно единицу измерения эффективнее применять в данном случае.

Когда речь идет об измерении времени, все достаточно просто. Уже давно все пришли к выводу, что удобнее пользоваться секундой как единицей измерения.

В случае массы и длины существует по три единицы, которые широко используются в повседневной жизни. Две системы единиц — из метрической системы. В первой в качестве единицы длины используют сантиметр, а в качестве единицы массы — грамм, а во второй системе используют метр и килограмм. Каждая система имеет свои преимущества, о которых я расскажу позднее.

Третья система используется только в англоязычных странах. В качестве единицы массы используется эвердьюпойс фунт (который в дальнейшем я буду называть просто «фунт»), а в качестве единицы длины — фут.

Теперь давайте введем сокращенное обозначение размерностей этих трех систем, поскольку нам придется часто к ним обращаться. Обозначим грамм как «*г*», килограмм как «*кг*», сантиметр — как «*см*», метр — как «*м*», секунду — как *«сек»*. И наконец, обозначим фут как *«фт»*, а фунт — как *«lb»*.

Все эти сокращения, кроме последнего, достаточно очевидны и в русском и в английском языках. Они являются первыми буквами слова или слога. А что касается фунта, то сокращение *«lb»*, которое вы можете встретить и в технической литературе на русском языке, пришло к нам из латинского языка. Дело в том, что в Средние века и даже позднее языком ученых была латынь. Сокращение *«lb»* произошло от латинского слова «libra», которое означает «весы», то есть тот самый прибор, на котором определяют вес. Так что сокращение *«lb»* — привет из глубины веков.

(От этого же слова произошло обозначение основной денежной единицы Великобритании — фунта стерлингов. Его обозначают как большая буква L.)

Ниже перечислены все три системы, которые мы будем использовать для работы с размерностями:

система грамм-сантиметр-секунда (*г-см-сек*)
система килограмм-метр-секунда (*кг-м-сек*)
система фут-фунт-секунда (*фт-lb-сек*)

Называя систему, мы подразумеваем порядок расположения единиц. В системах *грамм-сантиметр-секунда* и *килограмм-метр-секунда* обычно сначала называют единицу массы, потом единицу длины, а уже в конце — единицу времени. В системе *фут-*

фунт-секунда первой идет единица длины, но, повторяю, принципиального значения это не имеет. Порядок может быть любым.

ПЕРЕКЛЮЧАЕМ СИСТЕМЫ

Для того чтобы перейти от одной системы к другой (а с этого момента нам придется делать это постоянно), нам понадобятся коэффициенты для перехода от одних единиц к другим. Правда, с единицами времени у нас не будет никаких проблем — они одни и те же во всех трех системах.

Две системы метрических единиц не доставят нам никаких хлопот ни с единицами длины, ни с единицами массы. Совсем нетрудно запомнить, что 1 кг = 1000 г, а 1 г = 0,001 кг, или что 1 м = 100 см, а 1 см = 0,01 м. Проблемы возникают, когда мы переходим к системе фут-фунт-секунда, поскольку коэффициенты перевода единиц длины и массы этих систем в метрическую не являются целыми числами.

Коэффициенты перевода единиц длины *фт — м* приведены ниже.

1 фт = 30,48 см = 0,3048 м
1 см = 0,03281 фута
1 м = 3,281 фута

(Обратите внимание, что коэффициенты перевода единиц *фт — см* отличаются от коэффициентов перевода *фт — м* только положением десятичной запятой. Это обусловлено природой метрической системы единиц.)

Теперь перейдем к единицам массы.

1 фунт	=	453,592 грамма
1 грамм	=	0,002205 фунта
1 килограмм	=	2,205 фунта

Теперь у нас есть коэффициенты перевода. И мы легко можем перевести любую единицу из системы *фут-фунт-секунда* в системы *грамм-сантиметр-секунда* или *килограмм-метр-секунда*, и наоборот.

В качестве примера давайте рассмотрим единицы площади. Для того чтобы вычислить площадь прямоугольника, нужно перемножить длины двух смежных сторон прямоугольника. Для того чтобы определить площадь треугольника, нужно умножить половину длины одной из его сторон на высоту треугольника, опущенную на эту сторону из вершины противоположного угла. Когда мы вычисляем площади других фигур, детали несколько меняются, но суть остается прежней — мы перемножаем длины двух отрезков.

Таким образом, размерность площади — это размерность длины, умноженная на размерность длины, или $L \times L$. В алгебре перемножение двух одинаковых величин называется возведением в квадрат и записывается как L^2 (это обозначение читается как «L квадрат»). Единица площади определяется выбранной системой. В системе *грамм-сантиметр-секунда* это, естественно, *сантиметр* × *сантиметр.*

Я уже рассказывал вам, что при умножении 1 фута на 1 фут мы получаем 1 квадратный фут, или 1 $фт^2$. Точно так же, когда мы умножаем 1 сантиметр на 1 сантиметр, мы получаем 1 квадратный сантиметр, или сокращенно 1 $см^2$. Однако, работая с системами единиц измерения, удобно обращаться с ними как с алгебраическими символами. Тогда $L \times L = L^2$, $см \times см = см^2$, что можно прочесть либо как сантиметр в квадрате, либо как квадратный сантиметр, кому как нравится.

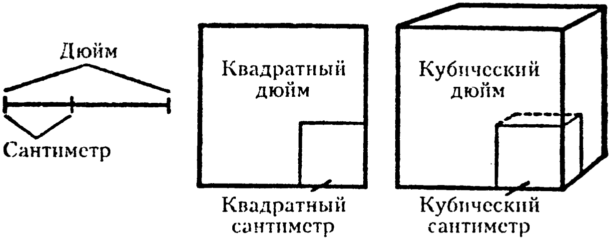
Точно так же единица площади в системе *фут-фунт-секунда* — это $фт^2$ (что читается либо как фут в квадрате, либо как квадратный фут); в системе *килограмм-метр-секунда* — это $м^2$ (что читается либо как метр в квадрате, либо как квадратный метр).

Соотношения между стандартными единицами площади можно вывести из соотношений между стандартными единицами длины 30,48. Поскольку 1 фт = 30,48 см, то 1 $фт^2$ = =30,48 $см^2$. Числа и размерности возводятся в квадрат отдельно, поэтому 1 $фт^2 = (30{,}48)^2$ $см^2$. Если мы возведем число, заключенное в скобках, в квадрат, то получим:

$$1\ фт^2 = 929{,}03\ см^2.$$

Используя коэффициенты перевода сантиметров в футы или метров в футы, получаем следующие соотношения:

$$1\ см^2 = 0{,}0010764\ фт^2$$
$$1\ м^2 = 10{,}764\ фт^2$$



Квадраты и кубы

Теперь перейдем к единицам объема. Для этого нужно просто сделать еще один шаг вперед. Объем определяется перемножением трех длин. В случае параллелепипеда (пример параллелепипеда — это обычная коробка) это просто перемножение длины ребер, пересекающихся в одной точке.

В случае других геометрических тел вычисления гораздо сложнее, но все равно все сводится к перемножению длины трех отрезков.

Таким образом, размерность объема равна $L \times L \times L$, или L^3. В наших трех системах единицы объема — это фт^3 (что читается либо как фут в кубе, либо как кубический фут), м^3 (метр в кубе, или кубический метр) и см^3 (сантиметр в кубе, или кубический сантиметр).

Иногда американские химики обозначают кубический сантиметр как «*cc*», но последнее время это делается все реже и реже, чему я очень рад, поскольку это обозначение легко спутать просто с сантиметром.

Соотношения между кубическими единицами объема можно вычислить по той же методике как соотношения между единицами площади. Разница заключается в том, что в этом случае нам придется возводить соответствующие величины не в квадрат, а в куб.

Например, 1 фт = 30,48 см, следовательно, 1 фт^3 = (30,48 см)^3. Результаты вычислений приведены ниже:

1 фут^3 = 28,317 см^3
1 см^3 = 0,000035314 фута^3
1 м^3 = 35,314 фута^3

(Советую вам не путать стандартные единицы измерения с единицами измерения, которые чаще всего применяются. Скажем, химики в качестве единицы объема используют литр, а для маленьких объемов — миллилитр. Тем не менее для проведения анализа размерностей и сокращения количества единиц измерения я использую и обсуждаю стандартные единицы объема: фт^3, м^3 и см^3.)

ОБРАТНЫЕ ЕДИНИЦЫ

Мы научились перемножать единицы. Интересно, можно ли производить с ними операции деления? Безусловно, да.

Представьте себе, что вам нужно вычислить скорость вращения колеса (это может быть колесо автомобиля, велосипеда, гироскопа или любое другое колесо). Допустим, у вас есть специальный прибор для измерения числа оборотов колеса и секундомер, по которому вы определите время вращения колеса.

В результате вы получаете, предположим, 240 оборотов за 80 секунд. Обычно скорость выражают числом оборотов в секунду. Чтобы определить эту величину (мы считаем, что колесо вращается с постоянной скоростью), нам надо разделить 240 оборотов на 80 секунд.

Совсем нетрудно разделить 240 на 80. В результате мы получим 3. А что делать с единицами измерения?

$$\frac{240\ \text{оборотов}}{80\ \text{секунд}} = \frac{3\ \text{оборота}}{1\ \text{секунда}} = \frac{3\ \text{оборота}}{\text{секунда}}$$

Это математическое выражение можно прочесть как «3 оборота в секунду». Когда мы говорим «в секунду», это означает «в каждую секунду», то есть это все равно что сказать «скорость — три оборота за каждую секунду».

Но обороты — это единица, которая не входит в нашу систему, поэтому сейчас лучше от нее отказаться. Мы можем сказать: «Колесо вращается со скоростью 3 оборота в секунду», но можно сказать и по-другому: «Число оборотов колеса равно 3 в одну секунду».

Вспомним, что предлог «в» означает дробь, следовательно, наше выражение можно записать следующим образом: «3 в секунду» — это то же самое, что «3/сек».

Другими словами, размерность скорости вращения — это «1/Т». Для всех трех систем стандартная единица — это «1/сек». Это выражение обычно читается как «в секунду», но его можно назвать также «обратными секундами». В алгебре величина «1/а» — это величина обратная «а». Следовательно, по аналогии величину, равную «1/сек», можно назвать «обратной секундой». Вполне вероятно, что вам могут понадобиться другие данные: например, вас может заинтересовать, сколько оборотов сделает колесо автомобиля в зависимости от пройденного расстояния, а не от времени, которое вы потратили. Для этого вам надо разделить количество оборотов, которое сделало колесо, на расстояние, и вы получите количество оборотов на единицу длины.

Размерность оборотов на единицу времени — это «1/L». Поскольку размерность длины в трех наших системах различна, у нас будут различные стандартные единицы для количества оборотов на единицу длины: можно говорить о количестве оборотов на один фут, на один сантиметр или на один метр, то есть «1/фт» «1/см» «1/м».

Можно перевести 1/см в 1/фт. Мы знаем, что 1 фт = 30,48 см, значит, 1/фт = =1/(30,48 см) = 1/30,48×1/см, или 1/фт = =0,03281 1/см.

Если вы сравните это соотношение с соотношением между футом и сантиметром, то обратите внимание на совпадение 1 см =

=0,03281 фт. Коэффициенты перевода одинаковые. В самом деле это совпадение?

Ничего подобного! Это общее правило. Если две единицы одной и той же размерности превратить в обратные единицы, то коэффициент перевода остается тем же самым, но в обратном порядке. Например, мы знаем, что 1 ярд равен 3 футам, значит, 1 оборот на фут равен 3 оборотам на ярд. В этом есть смысл, не правда ли? Теперь можно записать следующее соотношение:

$$\begin{aligned} 1 \text{ ярд} &= 3 \text{ фута} \\ 1/\text{фут} &= 1/\text{ярд}. \end{aligned}$$

Точно так же, поскольку мы знаем, что 1 м = 3,28 фт, значит, 1/фут = 3,28/м.

Можно получить и обратные единицы массы с размерностью 1/М. Если нам надо подсчитать количество бактерий на единицу массы Земли или число клеток на единицу массы ткани, то для этого можно использовать либо обратные граммы (1/г), либо обратные фунты (1/фт), либо обратные килограммы (1/кг), в зависимости от выбранной системы.

Соотношения между обратными единицами массы достаточно простые. Поскольку 1 фунт = 453,592 г, а 1 кг = 2,205 фунта, то соотношения для обратных единиц будут такими:

$$\begin{aligned} 1/\text{грамм} &= 453{,}592/\text{фунта} \\ 1/\text{фунт} &= 2{,}205/\text{кг}. \end{aligned}$$

Глава 7
ФУНТЫ НА КУБИЧЕСКИЙ ФУТ И САНТИМЕТРЫ В СЕКУНДУ

ОБЪЕДИНЯЕМ ЕДИНИЦЫ

До сих пор для всех измерений, которые мы с вами обсуждали, нам нужны были единицы одного вида. Это были L, M или T. Даже такие единицы, как обратные сантиметры 1/L или кубические сантиметры, включают только единицы длины L.

А как проводить измерение величин, которые включают больше одного вида единиц? Давайте рассмотрим плотность какого-то объекта. Плотность — это количество определенного объема вещества. Плотность вещества — очень важная и нужная характеристика.

Плотность веществ различна. Например, масса 1 миллилитра воды — 1 грамм, но масса 1 миллилитра ртути — 13,596 грамма. А вот масса 1 миллилитра жидкого водорода — всего 0,07 грамма. (Эти цифры изменяются с изменением температуры, что важно для ученых, но в этой книге мы просто не будем обращать внимания на эти измерения — нас интересуют только единицы измерения.)

Что же такое плотность? Это количество массы вещества в определенном объеме, или, точнее, плотность — это масса единицы объема вещества. Поскольку размерность массы M, а размерность объема — L^3, то размерность плотности — это M/L^3.

В трех системах измерений размерность плотности можно выразить тремя разными способами: в системе *г-см-сек* плотность измеряется в *г/см*^{3}, то есть в граммах на кубический сантиметр; в системе *фут-фунт-сек* плотность измеряется в *фунт/фут*^{3}, то есть в фунтах на кубический фут. В системе *кг-м-сек* плотность измеряется в *кг/м*^{3}, то есть в килограммах на кубический метр.

В предыдущем абзаце я привел вам примеры в системе *г-см-сек*. Плотность воды равна 1 *г/см*^{3}, плотность ртути равна 13,596 *г/см*^{3}, а плотность жидкого кислорода 0,07 *г/см*^{3}.

Теперь попробуем перевести плотность из одной системы единиц в другую, например, переведем *фунт/фут*^{3} в *г/см*^{3}.

Мы знаем, что 1 фунт равен 453,592 г, а 1 фут равен 30,48 см. Следовательно, 1 *фунт/фут*^{3} = (453,592 г)/(30,48 см)^3. Разделив цифры и единицы измерения, мы получим выражение 1 *фунт/фут*^{3} = = 453,592/(30,48)^3 *г/см*^{3}. Теперь проведем арифметические вычисления и получим: 1 *фунт/фут*^{3} = 0,0160 *г/см*^{3}.

Используя тот же принцип, можно получить соотношение:

$$1\ г/см^3 = 62{,}43\ фунт/фут^3.$$

Поскольку плотность воды равна 1 *г/см*^{3}, то, используя коэффициент перевода из одной системы в другую, мы получим 62,43 *фунт/фут*^{3}.

По-другому это можно сформулировать таким образом: масса одного кубического сантиметра воды равна одному грамму, а масса одного кубического фута воды равна 62,43 фунта.

Теперь рассмотрим другие вещества. Я уже говорил вам, что плотность ртути равна 13,596 *г/см*^{3}, следовательно, она также равна 13,596×62,43, или 848,80 *фунт/фут*^{3}. Точно так же мы можем вычислить плотность жидкого водорода в системе *фут—фунт—сек:* 0,07 *г/см*^{3} — это 0,07×62,43, или 4,37 *фунт/фут*^{3}.

ОГРАНИЧИВАЕМ ЕДИНИЦЫ

Конечно, перевод единиц измерения из одной системы в другую — это просто арифметические преобразования, не требующие больших умственных усилий, и, тем не менее, они довольно утомительны. Поэтому разработан специальный метод, который позволяет избежать перевода единиц. Измерение плотности — это самый подходящий способ для демонстрации этого метода, который я сейчас продемонстрирую.

Плотность воды равна 1 *г/см*^{3}, значит, воду можно использовать в качестве эталона. Это очень удобно, почему бы не воспользоваться этим? Другими словами, можно сказать, что плотность ртути равна такой-то величине, а можно сказать, что плотность ртути в 13,596 раза больше плотности воды. Говоря таким образом, представляем величины в виде соотношения, то есть мы сравниваем результаты однотипных измерений двух разных веществ. (Помните, измерения должны быть обязательно однотипными.) Как нам узнать, насколько плотность ртути больше плотности воды или насколько плотность жидкого водорода меньше плотности воды? Нам нужно разделить величины плотности этих веществ на плотность воды. Таким образом:

$$\frac{\text{плотность ртути}}{\text{плотность воды}} = \frac{13{,}596\ г/см^3}{1\ г/см^3} = 13{,}596.$$

Тут необходимо обратить внимание на то, что размерность *г/см*^{3} представлена как в числителе дроби, так и в знаменателе, и ее можно сократить, так же как в выражении $^{2а}/_{3а}$ мы можем сократить «а» и получить $^2/_3$.

Таким образом, поделив плотность ртути на плотность воды, мы получаем величину 13,596. Иногда такие величины называют «чистыми числами». Отношение плотностей называют «относительной плотностью gravity» (относительная плотность также меняется с изменением температуры — ведь меняется плотность воды и плотность ртути, причем по-разному, но в этой книге мы эти вопросы не рассматриваем. В любом случае это незначительные изменения).

Можно вычислить и относительную плотность воды. Для этого надо сравнить плотность воды опять же с плотностью воды. 1 *г/см*^{3}/1 *г/см*^{3} = 1, то есть относительная плотность воды равна 1.

Теперь вы поняли разницу между плотностью и относительной плотностью? Плотность ртути, воды и жидкого водорода соответственно равна 13,596 *г/см*^{3}, 1 *г/см*^{3}, 0,07 *г/см*^{3}. Относительная плотность этих же веществ равна соответственно 13,596, 1, 0,07.

Может быть, у вас создалось впечатление, что это все чепуха, не заслуживающая внимания. В конце концов, какая разница: плотность ртути равна 13,596 *г/см*^{3} или удельная плотность ртути равна 13,596? Число в обоих случаях одно и то же, и не так уж важно, произнесете ли вы «граммы-на-сантиметры-кубические» или нет.

Но дело, оказывается, не только в том, чтобы на одном дыхании произнести «плотность ртути равна...». Давайте сравним плотность ртути в *фунт/фут*^{3} с плотностью воды в этих же единицах:

$$\frac{\text{плотность ртути}}{\text{плотность воды}} = \frac{848{,}80\ \textit{фунт/фут}^3}{62{,}43\ \textit{фунт/фут}^3} = 13{,}596.$$

Отношение плотностей, то есть удельная плотность остается неизменной независимо от системы единиц! Другими словами, удельная плотность ртути равна 13,596 во всех трех системах: *г-см-сек, фут-фунт-сек, кг-м-сек*, а также в любой другой системе, которую вам захочется использовать.

Это справедливо для всех безразмерных величин. Если вы используете безразмерные величины, то, во-первых, экономите силы — ведь вам не надо произносить многосложные слова, во-вторых, вам не нужно думать о единицах измерения и, в-третьих, вам совершенно безразлично, какая система единиц используется в данном случае.

Вот еще один хорошо известный пример использования безразмерных величин вместо единиц массы. Ученые смогли определить, причем совершенно точно, массу отдельных атомов. Конечно, это очень маленькие величины в сравнении с теми, которыми мы оперируем в обыденной жизни. Масса атома водорода, самого маленького атома из всех существующих, равна 0,0000000000000000000000016617 г. На самом деле атомы водорода бывают и в два и в три раза более массивными, но они встречаются гораздо реже. Разновидности атомов одного и того же элемента, отличающиеся по массе, называются изотопами. Масса наиболее часто встречающихся атомов кислорода в 16 раз больше массы атома водорода, но все равно это очень маленькая величина с обыденной точки зрения — всего 0,0000000000000000000000026372 г.

Чтобы упростить операции с такими маленькими величинами, нужно сравнить их между собой и использовать относительные величины вместо абсолютных. (В те времена, когда к этому способу прибегли впервые, он имел еще одно преимущество — химики еще не умели определять массу атомов с большой точностью, но уже могли точно определять соотношения их масс.)

Масса атомов водорода — самая маленькая среди существующих атомов, поэтому эту величину очень удобно использовать для сравнения. Массу других атомов стали измерять как «столько-то масс атома водорода», но через некоторое время химики поняли, что в качестве основы для сравнения удобнее использовать массу атомов кислорода. Если за основу принята масса атома кислорода, то описания химических превращений становятся проще.

Правда, если мы используем атомы кислорода, то для всех атомов, которые легче кислорода, мы получим дробные величины массы, а с дробными числами иметь дело не так удобно, как с целыми. Чтобы избавиться от дробных чисел, химики решили умножать соотношение масс любого атома и атома кислорода на 16 и назвали полученное соотношение массовым числом. Таким образом, массовое число водорода равно:

$$\frac{0{,}00000000000000000000000016617}{0{,}00000000000000000000000026372} \times 16 = 1{,}00816.$$

Теперь массовое число кислорода будет равно 16, поскольку при делении массы кислорода на массу кислорода мы получаем единицу, а умножив ее на 16, получаем 16.

(Я уже говорил, что большинство встречающихся в природе элементов состоит из похожих, но не идентичных атомов, или изотопов. Их массовые числа отличаются между собой. Например, изотоп водорода, который ученые назвали дейтерием, имеет массу равную 2,01474, то есть примерно в два раза превышающую массу обычного водородного атома. Средняя масса изотопов, с учетом их доли в природе, называется атомным весом. Химики научились вычислять атомный вес задолго до того, как узнали о существовании изотопов, а термин «атомный вес» намного старше термина «массовое число» и гораздо чаще используется. Но при расчете атомного веса химики использовали среднюю массу трех изотопов кислорода, а не массу наиболее часто встречающегося изотопа кислорода. Поэтому существует два вида величин — устаревший «химический атомный вес» и современный «физический атомный вес». Но пока эти тонкости нас не должны интересовать — у нас с вами другие задачи.)

Так или иначе, массовые числа — это удобный инструмент для выражения массы атомов в безразмерных единицах. Массовые числа двух естественных, то есть встречающихся в природе, изотопов урана равны 238,1252 и 235,1175 (вот почему мы говорим об уране-235 или уране-238), и нет необходимости задавать вопрос: 238,1252 чего, каких единиц или 235,1175 чего? Это не 235,1175 грамма, или дюйма, или еще чего-нибудь, это просто 235,1175, и, конечно, массовые числа одинаковы во всех системах измерения.

А сейчас я хочу еще раз повторить то предостережение, которое я уже сделал раньше, но второпях. Если вы хотите, чтобы при получении относительной единицы измерения размерность сократилась, вы должны получить результаты обоих измерений в одинаковых единицах. Нельзя сравнивать плотность ртути в системе *г-см-сек* (13,59 *г/см*^{3}) с плотностью воды в системе *фут-фунт-сек* (62,43 *фунт/фут*^{3}). Конечно, вы можете получить выражение 13,59 *г/см*^{3}/62,43 *фунт/фут*^{3}, затем разделить 13,59 на 62,43, но что вы сделаете с размерностями? Они не сократятся, и вы не сможете получить безразмерной величины.

СКОРОСТЬ СВЕТА

Теперь рассмотрим еще одну характеристику, для измерения которой нужны два различных вида единиц измерения. Давайте определим, в каких единицах измеряется скорость, или мера изменения положения объекта в пространстве в зависимости от времени. Например, сейчас вы здесь, рядом со мной, а через какое-то время вы можете оказаться от меня на расстоянии одной мили. То есть вы изменили положение в пространстве в зависимости от времени. Чем быстрее вы изменяете свое положение, тем больше ваша скорость. Если переместились на расстояние одной мили за десять минут, вы двигались с большей скоростью, чем в том случае, когда вы на это же расстояние переместились за двадцать минут.

Чтобы определить скорость (или среднюю скорость), нужно разделить все пройденное вами расстояние на время, за которое вы его преодолели. Если вы проделали 20 миль за 2 часа, значит, вы двигались со скоростью 20 миль/2 часа или со скоростью 10 миль/час. Если вы преодолели 30 миль за 3 часа, значит, двигались с такой же скоростью, 10 миль/час. Если вы проделали 15 миль за полчаса, значит, вы двигались со скоростью 30 миль/час.

Таким образом, размерность скорости — это расстояние, деленное на время, или L/T. Чтобы выразить скорость в стандартных единицах в наших системах (*г-см-сек, фут-фунт-сек, кг-м-сек*), нужно использовать *см/сек, фут/сек, м/сек*.

Поскольку 1 фут равен 30,48 *см*, то 1 *фут/сек* = (30,48 *см*) /*сек*, или:

1 *фут/сек* = 30,48 *см/сек*.

Как вы видите, обратные секунды присутствуют у нас в обеих сторонах выражения, следовательно, коэффициент перевода не изменяется. Вы можете сказать, что 1 *фут/сек* во столько же раз больше 1 *см/сек*, во сколько раз 1 фут больше 1 сантиметра.

Используя общее правило с учетом того, что 1 м = 3,281 фута, мы можем записать, что:

1 *м/сек* = 3,281 *фут/сек*.

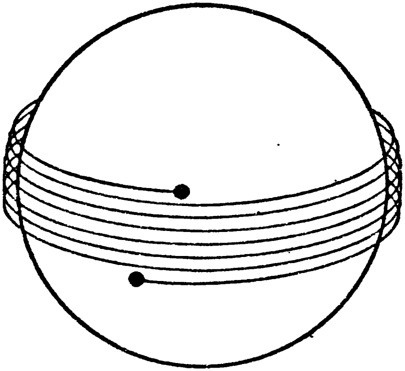
Точно так же можно провести все аналогичные преобразования.

Но мы не всегда используем обратные секунды в повседневной жизни. Скорость самолетов и автомобилей обычно выражается в милях в час (в англоязычных странах) или в километрах в час (во всем остальном мире). Давайте посмотрим, как эти единицы соотносятся с нашими стандартными единицами.

1 миля = 5280 футов, а 1 час = 3600 секунд. Следовательно, 1 миля в час = (5280 фут)/(3600 сек) = 5280/3600 фут/сек, или:

1 миля/час = 1,4611 фут/сек.

Так что, если вы путешествуете на автомобиле со скоростью 60 миль в час, то ваша скорость равна 60×1,4611, или около 88 футов в секунду. Если вы летите в самолете со скоростью 300 миль в час, значит, вы путешествуете со скоростью 300×1,4611, или около 438 футов в секунду.



Скорость света

А теперь перейдем к километрам. Один километр равен 100 000 сантиметрам, а 1 час равен 3600 секундам. Тогда 1 км/час = (100 000 см)/ (36 000 сек) = 100 000/ 36 000 см/сек, или:

1 километр/час = 27,78 см/сек.

Самая известная величина скорости — это скорость света. В Англии, Соединенных Штатах Америки и в других англоязычных странах скорость света измеряют в милях в секунду. В соответствии с самыми точными современными измерениями скорость света в вакууме равна 186 272 мили в секунду.

В России и во всех странах, где используют метрическую систему мер, скорость света обычно выражают в километрах в секунду. Одна миля равна 1,60934 километра, поэтому 1 миля/сек равна 1,60934 км/сек.

(Вспомним, что обратные секунды присутствуют у нас в обеих сторонах выражения, значит, они не влияют на коэффициент перевода.) Следовательно, скорость света равна 186 272×1,60934, или 299 788 км/сек.

СКОРОСТЬ С УЧЕТОМ НАПРАВЛЕНИЯ (VELOCITY)

В английском языке есть два различных слова для обозначения скорости. Это слово «speed» англо-саксонского происхождения и слово «velocity», которое пришло в английский из латинского языка и означает «быстрый». В английском языке слово «speed» широко применяют в обыденной речи, кроме того, ученые его используют для обозначения изменения положения в пространстве со временем. Мы будем называть эту величину «скорость» (или скорость без учета направления движения). Слово «velocity» в обыденной жизни употребляется очень редко, но ученые используют его для обозначения изменения положения в пространстве в определенном направлении с учетом времени.

Например, если вы едете на машине со скоростью 60 миль в час в северном направлении, значит, ваша скорость без учета направления равна 60 миль/час. А с учетом направления ваша скорость — это 60 миль/час (север).

Очень важно добавить слово «север», когда вы обозначаете скорость с учетом направления. А теперь представим, что кто-то едет по противоположной полосе дороги со скоростью 60 миль в час на юг. Следовательно, без учета направления вы двигаетесь с одинаковой скоростью. Но с учетом направления ваши скорости различны. Ваша скорость — 60 миль/час (север), а скорость водителя на встречной полосе — 60 миль/час (юг). Теперь представьте, что вы сбросили скорость до 40 миль/час, но по-прежнему двигаетесь на север. Вы снизили свою скорость с учетом направления с 60 миль/час (север) до 40 миль/час (север). То есть, если вы меняете скорость без учета направления, то меняется и величина скорости с учетом направления.

Теперь представьте, что вы повернули на восток, не снижая скорости или снизили ее совсем незначительно. Вы не изменили своей скорости без учета направления и ехали 60 миль в час, даже двигаясь по прямой. Но вы изменили скорость с учетом направления. В начале пути двигались со скоростью 60 миль в час на север, а в конце пути вы едете со скоростью 60 миль в час на восток. Следовательно, возможно изменить скорость с учетом направления без изменения скорости без учета направления.

Теперь рассмотрим движение Земли. Она движется вокруг Солнца почти по кругу. Давайте считать, что это правильная окружность. Земля движется по окружности со скоростью 18,5 мили в секунду по отношению к Солнцу (в стандартных единицах это составит 29 800 метров в секунду, или 97 700 футов в секунду, или 2 980 000 см/сек). На самом деле скорость движения Земли не совсем постоянна, но если бы Земля действительно двигалась по правильной окружности, то ее скорость была бы постоянной, а ведь мы так и условились.

Таким образом, можно сказать, что Земля движется вокруг Солнца с постоянной скоростью 18,5 мили в секунду. Но это совсем не означает, что скорость Земли с учетом направления постоянна, ведь направление движения меняется каждое мгновение, поскольку Земля движется по окружности.

В этой главе мы ввели понятие скорости с учетом направления (ученые называют ее векторной скоростью), поскольку оно понадобится нам в следующей главе, когда будем обсуждать изменение и скорости, и направления движения. Для простоты мы будем говорить просто о скорости, но не забывайте, что всегда имеется в виду скорость с учетом направления.

Глава 8
ДИНЫ И НЬЮТОНЫ

ВЕЧНОЕ ДВИЖЕНИЕ

Давайте рассмотрим случай, когда скорость изменяется. Самый простой пример — мы заводим автомобиль. Вначале он не двигается, то есть его скорость равна нулю. Через одну секунду после старта он уже движется с какой-то скоростью, предположим, со скоростью 1 фут в секунду. Прошла еще одна секунда, и скорость автомобиля уже достигла 2 футов в секунду. Еще через одну секунду автомобиль движется со скоростью 3 фута в секунду.

Каждую секунду скорость движения возрастает на 1 фут в секунду. Изменение скорости называется ускорением (или акселерацией, от греческого слова «ускорение», но это слово у нас чаще используется в обыденной речи). В нашем примере ускорение автомобиля равно 1 футу в секунду за секунду.

Когда нам нужно представить предлоги «в» (в секунду) или «за» (за секунду) в виде математического символа, мы используем значок /. Таким образом, мы можем сказать, что ускорение равно 1 (фут/сек) /сек, и такое выражение нужно читать как «один фут в секунду за секунду».

Теперь упростим это выражение, используя обычные алгебраические преобразования. Например, $(1/а)/а = 1/а : а = 1/а \times 1/а = 1/а^2$, тогда по аналогии мы можем написать, что (фут/сек) /сек = фут/сек^2, а прочесть это выражение можно так: «фут на секунду в квадрате».

Таким образом, мы выяснили, что размерность ускорения — это L/T^2. В системе *фут-фунт-секунда* ускорение измеряется, как мы показали только что, в фут/сек^2, а в метрических системах — в м/сек^2 и в см/сек^2.

У всех этих единиц одинаковый множитель — единица на секунду в квадрате, значит, коэффициент перевода из одной системы в другую будет тем же самым, что и при переводе единиц длины. Таким образом, чтобы перевести фут/сек^2 в см/сек^2, нужно использовать тот же коэффициент, что и для перевода футов в сантиметры. Поскольку 1 фут = 30,48 см, то 1 фут/сек^2 = 30,48 см/сек^2, точно так же можно перевести в м/сек^2 и обратно.

Что же является источником ускорения? Ученые не знали ответа на этот вопрос до тех пор, пока в 1683 году Исаак Ньютон не вывел законы движения. Законы движения — это правила, которые объясняют причины движения тел. Справедливость этих правил до сих пор никем не опровергнута. Ньютон вывел три закона движения, но в этой книге мы рассмотрим только первые два.

Первый закон Ньютона гласит, что скорость любого тела будет оставаться постоянной, если оно предоставлено само себе, то есть если на него не действует никакая сила. (Обратите внимание, я говорю, скорость.) Это означает, что движущийся объект будет вечно продолжать свое движение с постоянной скоростью в одном и том же направлении, если на него не будет оказано какого-либо воздействия. Но скорость может равняться нулю, то есть тело может вечно находиться в покое, если на него не действует никакая сила.

Второй закон Ньютона гласит, что если скорость тела действительно изменилась, то это результат воздействия фактора, который называется силой. Причем, чем больше изменение скорости, то есть ускорение, тем больше сила, действующая на тело.

То есть, когда автомобиль стартует и разгоняется все быстрее и быстрее, это результат воздействия определенной силы, источником которой является двигатель. Если траектория полета мяча для гольфа изогнута (вспомните, что изменение направления — это тоже вид ускорения, и, следовательно, изменение скорости с учетом направления, даже если скорость без учета направления остается постоянной), это происходит под воздействием силы давления воздуха, действующей на вращающийся мяч.

Законы Ньютона произвели настоящую революцию в науке. До него ученые считали, что все движения на Земле затухают сами по себе. Если вы подтолкнете ногой деревяшку, она проскользнет по земле на какое-то расстояние и остановится. Если вы ударите клюшкой по хоккейной бите, она пролетит по льду гораздо дальше, но, в конце концов, тоже остановится, даже если ни с чем не столкнется.

Поэтому ученые считали, что для того, чтобы поддерживать тело в состоянии движения, к нему необходимо прикладывать силу. Ньютон первый сказал: «Нет, это не так. Сила нужна, чтобы остановить движущееся тело». Если какой-то объект катится по земле и останавливается, то останавливает его сила трения. Даже на хоккейную шайбу, скользящую по льду, действует небольшая сила трения и сила сопротивления воздуха. А если бы не существовало этих сил, то есть если бы не было воздуха, а абсолютно гладкое, не обладающее трением ледяное поле уходило бы в бесконечность, то шайба также продолжала бы свое движение бесконечно. Законы Ньютона позволили объяснить, почему планеты движутся в пространстве бесконечно. Раньше думали, что движение небесных тел и движение тел на Земле идет по различным законам. Была и другая точка зрения — на небесные тела действует постоянная сила. Думали, что это люди, боги или ангелы подталкивают их и заставляют двигаться. Ньютон доказал, что планеты находятся в состоянии вечного движения просто потому, что ничто им не мешает. Ничто их не останавливает. (Это было очень простое, но дерзкое утверждение, поскольку в то время оно противоречило здравому смыслу. Это часто случается в науке. Новое кажется совершенно неправдоподобным до тех пор, пока к нему не привыкнут.)

Конечно, на планеты действует ускорение. Они движутся вокруг Солнца по криволинейной траектории, следовательно, их скорость меняется каждый момент времени. Луна также вращается вокруг Земли. Для того чтобы объяснить природу этого движения, Ньютон должен был определить, какие силы действуют на Луну и планеты и заставляют их двигаться с ускорением. Анализируя закономерности, которым подчиняются планеты, Ньютон разработал закон всемирного тяготения, согласно которому каждый объект во Вселенной обладает силой притяжения, которая воздействует на любой другой объект.

Например, сила притяжения может изменить скорость движения тела по прямой, не изменяя направления движения, как в случае камня, падающего с высоты. Сила притяжения может также изменить направление движения тела, не оказывая заметного воздействия на темп движения, как в случае Земли, вращающейся вокруг Солнца. А может быть, существует два вида гравитационной силы?

Представим себе объект, который вращается вокруг Солнца по вытянутой эллиптической орбите, как комета. Под действием силы притяжения у этого объекта будет меняться и скорость, и направление. Значит ли это, что на комету действуют одновременно две силы притяжения разной природы? Нет. Когда ученые используют понятие «скорость», которое включает и изменение темпа движения, и изменение направления, им нет необходимости придумывать два разных типа силы притяжения. Для описания различных явлений они могут использовать одну концепцию силы притяжения, и это их радует.

Теперь надо вспомнить о том, что величина силы притяжения зависит не только от ускорения, но и от массы объекта. Если вы рассматриваете только одно тело, то замечаете, что сила и ускорение пропорциональны. Если вы в несколько раз увеличиваете силу, приложенную к данному телу, то во столько же раз увеличивается ускорение.

Теперь предположим, что какая-то одна и та же сила действует на два различных тела. Массивное тело получает едва заметное ускорение. Тело меньшей массы ускоряется гораздо сильнее. Вы можете сами провести такой эксперимент. Ударьте ногой по легкому надувному мячу, и вы увидите, как из состояния покоя он перейдет в состояние полета и несколько секунд продержится в воздухе. А теперь попробуйте ударить ногой пушечное ядро. Вряд ли вам удастся заметить хоть какое-то движение, а если вы будете очень стараться, то, пожалуй, сломаете пальцы.

Для того чтобы измерить силу, вам нужно знать массу объекта и ускорение, которое получило это тело. Ученые формулируют это следующим образом:

сила = масса × ускорение.

СОХРАНЯЕМ СЛОГИ

Размерность массы — это, конечно, M, а размерность ускорения, как я объяснял в начале главы, L/T^2. Так что, если мы перемножим массу и ускорение, чтобы получить величину силы, нам придется также перемножить размерности. Выражение $M{\cdot}{\times}L/T^2$ в соответствии с алгебраическими правилами можно записать как ML/T^2, а это как раз размерность силы.

В трех системах единиц, которые мы с вами обсуждали, силу можно выразить в *г см/сек*^{2}, *фут фунт/сек*^{2} и *кг м/сек*^{2}. Прочесть эти размерности можно вот так: «грамм-сантиметр на секунду в квадрате», «фут-фунт на секунду в квадрате» и «килограмм-метр на секунду в квадрате». Обратите внимание, что в первом и третьем выражениях я на первое место поставил массу, а во втором выражении — длину. Это просто привычка. На самом деле нет никакой разницы, говорите вы «*фут-фунт*» (то есть LM) или «*фунт-фут*». Просто большинство людей привыкли говорить *«фут фунт»*. Точно так же по привычке все говорят *«грамм-сантиметр»* (то есть ML). Бесполезно бороться с привычками.

Давайте на примере посмотрим, как надо обращаться с этими единицами. Предположим, что какой-то объект массой 10 граммов получает ускорение в 5 *см/сек*^{2}. Величина силы, подействовавшей на объект, равна *10 г* × *5 см/сек*^{2}, или 50 *г см/сек*^{2}.

Для того чтобы переводить единицы силы из одной системы в другую, мы будем следовать тем принципам, которые уже использовали ранее.

1 *кг м/сек*^{2}	=	100 000 *г см/сек*^{2}
1 *кг м/сек*^{2}	=	7,074 *фут фунт/сек*^{2}
1 *фут фунт/сек*^{2}	=	13 825,4 *кг м/сек*^{2}

Вряд ли вы удивитесь, если я вам скажу, что довольно нудно записывать все эти сложные размерности и еще труднее их произносить вслух, когда приходится что-то обсуждать. Ученые не меньшие ленивцы, чем мы с вами, и они придумали односложные названия для размерностей, чтобы не повторять эти *«граммсантиметры на квадратные секунды»*. Взамен этого бесконечно длинного выражения они предложили краткое односложное слово «дин», которое по-гречески означает «сила».

И вот теперь, когда физик говорит 1 дин, он имеет в виду «1 грамм-сантиметр-на-се-

Сила

кунду-в-квадрате». Это просто два способа выразить одно и то же, просто первый способ позволяет сэкономить силы и сказать все на одном дыхании. Короче говоря:

$$1 \text{ } \textit{дин} = 1 \text{ } \textit{г см/сек}^2.$$

Попробуем вычислить силу (используем пример, который я привел в начале этого раздела). Умножим 10 г на 5 *см/сек*^{2} и получим ответ 50 *дин*.

(Но ленивы не только ученые, которые стремятся укоротить название единиц, но и моряки. Вот, например, скорость движения морских судов обычно измеряют в морских милях в час, но моряки заменили это многосложное выражение на простое слово «узел». У него своя история. Раньше скорость судна измеряли при помощи тянувшейся за кормой веревки, на которой были завязаны узлы. Если говорят что корабль идет со скоростью 15 узлов, значит, он проходит 15 морских миль в час. Многим непонятно, как можно отбрасывать обозначение «в час» и считать «узел» скоростью. Поэтому, когда они хотят прослыть «морскими волками», то обычно заявляют, что «корабль следует со скоростью 15 узлов в час», и этим вводят настоящих моряков в некоторое недоумение.)

Ну а что же можно сделать в системе *кг м-сек*? В этой системе скорость выражается в кг м/сек². Конечно, и в этом случае требуется краткое обозначение. Вместо бесконечно длинного «килограмм-метр-на-секунду-в-квадрате» ученые мужи используют краткое и звучное слово «ньютон», всего два слога. Конечно, светила науки для облегчения своей участи могли бы подыскать односложное словечко для этой единицы измерения, но дело в том, что современное толкование силы было предложено как раз Исааком Ньютоном, и справедливо назвать единицу силы в его честь. Так вот:

$$1 \textit{ ньютон} = 1 \textit{ кг м/сек}^2.$$

А раз 1 *кг м/сек²* равняется 100 000 *г см/сек²*, то также можно сказать, что:

$$1 \textit{ ньютон} = 100\ 000 \textit{ дин.}$$

На этом примере видно, как удобно иметь две различные системы единиц, если обе они используют метрическую систему. Мы получили две разные единицы для измерения силы. В системе *г-см-сек* сила измеряется в динах, и это очень удобно для малых величин силы. В системе *кг-м-сек* сила измеряется в ньютонах, что наиболее приемлемо для больших величин.

В системе *фут-фунт-сек* тоже есть свое обозначение для единицы силы, *фут фунт/сек*^{2} — это *паундал*. Другими словами,

1 *паундал* = 1 *фут фунт/сек*^{2}.

Используя полученные нами раньше соотношения между единицами, мы можем написать:

1 *ньютон* = 7,074 *паундала*
1 *паундал* = 13 825,4 *дина*.

СМЕШАЛИСЬ В КУЧУ ВЕС И МАССА

Самая известная нам сила — это сила гравитации (или сила притяжения). Эта сила действует на всех нас. Она удерживает Луну на ее околоземной орбите и заставляет ее двигаться с постоянным ускорением по ее криволинейной траектории. (Повторяю еще раз: изменение направления — это одна из форм ускорения.) Эта же сила заставляет Землю вращаться вокруг Солнца, а Солнце и другие звезды — вокруг их общего галактического центра.

Но легче всего наблюдать действие этой силы, когда она вызывает падение тел, то есть ускоряет их движение вниз к поверхности Земли. Количество силы гравитации, действующей на падающее тело, зависит от нескольких факторов. Во-первых, она зависит от массы падающего тела. Если масса падающего тела увеличивается в два раза, то и сила притяжения также увеличивается в два раза. Сила равна массе, умноженной на ускорение. Кратко это можно записать вот так: F = M×A.

А по правилам элементарной алгебры мы из этого выражения можем получить следующее: F/M = A.

Теперь если мы увеличиваем массу вдвое, то сила также увеличивается вдвое, мы получаем 2M/2F, сократим двойки и получим M/F. Если мы увеличим массу в 15,4 раза (или в любое другое число раз), то увидим, что сила тоже увеличивается в 15,4 раза (или в то же число раз, в которое увеличилась масса), мы получаем 15,4M/15,4F и после сокращения получим все то же M/F, а M/F = A.

Вы видите, что гравитационная сила на поверхности Земли воздействует на объекты разной массы таким образом, что они получают одинаковое ускорение. Этот вывод можно сформулировать по-другому: все тела падают с одинаковой скоростью. Впервые это экспериментально доказал итальянский ученый Галилео Галилей в начале XVII века. Опыты Галилея легли в основу трех законов движения Ньютона. Алгебраические построения, которые мы с вами только что сделали, также базируются на законах движения.

(Во времена Галилея и до него ученым было трудно понять законы движения, поскольку они строго соблюдаются только в вакууме. В реальных условиях сопротивление воздуха замедляет падение тел. Чем меньше масса объекта и чем больше его поверхность, тем сильнее влияние сопротивления воздуха. Поэтому перья, хлопья снега, листья падают гораздо медленнее, чем бревна, куски железа и люди. В течение многих веков люди считали, что чем объект тяжелее, тем быстрее он падает. Понадобился гений Галилея, чтобы увидеть существо дела и понять роль сопротивления воздуха.)

В результате точных измерений было показано, что падающий объект летит с ускорением 980,6 см/сек^2. Поскольку один грамм массы будет увеличивать скорость с таким же ускорением, то сила гравитационного притяжения равна 980,6 *г см/сек*^{2}. При помощи коэффициентов перевода, которые приведены в предыдущей главе, мы получим следующие значения для гравитационной силы: 980,6 дина, или 0,07093 паундала, или 0,009806 ньютона.

(Ускорение свободного падения, 980,6 *г см/сек*^{2}, иногда называют 1 гал, в честь Галилея. А одну тысячную часть этой величины, 0,9806 *г см/сек*^{2}, называют, соответственно, 1 миллигал.)

При любом обсуждении силы гравитации мы, так или иначе, возвращаемся к понятию массы. Массивный объект притягивается к Земле с большей силой, чем объект с меньшей массой (хотя ускорение, как я уже объяснил, остается тем же самым). Это означает, что более массивный объект упадет вам на руку сильнее, чем более легкий. Эта направленная вниз сила и называется весом.

В нашей повседневной жизни мы чаще всего говорим о весе, хотя имеем в виду как раз массу. Мы говорим о тяжелых объектах, вместо того чтобы называть их массивными. Но вряд ли стоит кого-то в этом винить. Ведь понятие веса появилось намного раньше понятия массы. Понятие массы впервые появилось во времена Галилея, но окончательно утвердилось в науке только при Ньютоне.

Ученые-физики должны четко проводить грань между этими двумя понятиями. Масса — это количество вещества, содержащегося в данном объекте, и измеряется она в граммах, фунтах, килограммах и так далее. Вес — это сила, с которой данное тело притягивается к Земле (или, в каких-то случаях, к другому астрономическому телу), и измеряют вес (по крайней мере, должны измерять) в динах, паундалах, ньютонах и других единицах веса.

Однако путаница понятий веса и массы происходит повсеместно и постоянно. Про один фунт массы говорят, что у него вес 1 фунт. Про один грамм массы говорят, что вес составляет 1 грамм. И тут уж, видно, ничего не поделаешь. В нашей книге, как я вам уже рассказал в начале пятой главы, я методично и намеренно говорил только о массе. Но сейчас пришла необходимость поговорить также и о весе, а поэтому нужно постараться избежать путаницы. Вес одного грамма массы я буду называть 1 грамм (вес) и так далее. Чтобы различия еще больше бросались в глаза, я не буду сокращать граммы, фунты и килограммы, когда речь пойдет о весе.

И я прошу вас хорошенько запомнить, что 1 грамм (веса) — это сила, а не масса. Я понимаю, что это довольно трудно сделать, потому что сила привычки велика.

А теперь давайте посмотрим на примере, что такое сила в 1 г (вес). Силу величиной в 1 г (вес) мы можем получить, перемножив 1 *г массы* на ускорение свободного падения, то есть на 980,6 *см/сек*^{2}. Перемножив эти две величины, мы получим 980,6 *см/сек*^{2}, или 980,6 дин. Следовательно:

1 *грамм (вес)* = 980,6 *дин*
1 *дин* = 0,001020 *грамма (вес)*.

Поскольку 0,001020 *грамма (вес)* равны 1,020 *миллиграмма (вес)*, мы можем сказать, что если поместить на ладонь один миллиграмм массы, то он будет давить на нее с силой в 1 дин. А теперь, если у вас есть приятель-химик, попросите у него миллиграммовый разновес, который он использует, когда взвешивает реактивы на своих аналитических весах, и положите этот разновес на ладонь. Вы почти не почувствуете никакого давления и сможете на практике представить, какая это маленькая величина — сила в 1 дин. Теперь переведем величину ускорения свободного падения в систему *кг-м-сек*. Очевидно, что 980,6 *см/сек*^{2} = 9,806 *м/сек*^{2}. Для того чтобы определить силу, которую производит один килограмм веса, нужно перемножить это ускорение на 1 *кг* (поскольку сила равна ускорению, помноженному на массу), тогда мы получим 9,806 *кг м/сек*^{2}. Таким образом,

1 *кг (вес)* = 9,806 *ньютона*
1 *ньютон* = 0,1020 *кг (вес)*.

Теперь давайте переведем величину ускорения свободного падения в систему фут-фунт-секунда. Так как 1 м = 3,28 фута (или, точнее, 3,2808 фута), ускорение свободного падения равное 9,806 *м/сек*^{2} можно представить как (9,806 *м/сек*^{2} × 3,2808), или 32,17 *фут/сек*^{2}. Для того чтобы определить силу, которую производит один фунт веса, нам нужно перемножить это ускорение на 1 фунт, и мы получим силу равную 32,17 *фут фунт/сек*^{2}. Таким образом,

1 *фунт (вес)* = 32,17 *паундала*
1 *паундал* = 0,0311 *фунта (вес)*.

НЕВЕСОМОЕ ПУШЕЧНОЕ ЯДРО

Возможно, вам покажется странным то, что я придаю такое значение различию между понятиями массы и веса. Ведь эти два понятия неразделимы, так почему же не пользоваться одними и теми же единицами для измерения веса и массы и просто не обращать внимания на то, что вес — это сила, а не масса?

Но это совсем не так. Вес и массу можно и нужно разделять!

Сила гравитационного притяжения зависит не только от массы тела, которое притягивается, но и от расстояния до центра Земли, на котором находится это тело. Если бы Земля была идеальным шаром, расстояние до ее центра было бы одинаковым по всей ее поверхности. Но Земля — вовсе не идеальный шар. Она слегка сплющена у полюсов.

Значит, когда тело находится на полюсе, оно ближе к центру Земли, чем в любой другой точке поверхности. Если тело начинает удаляться от полюса, оно притягивается все меньше и меньше, пока, наконец, не достигнет экватора (на высоте так называемой экваториальной выпуклости), где оно будет притягиваться слабее всего.

Помните, я говорил, что ускорение под действием силы притяжения равно «приблизительно 980,6 см/сек^2». Одна из причин того, что это не точная величина, — непостоянство этой величины для разных мест по поверхности Земли. Ускорение под действием силы притяжения равно 980,6 см/сек^2 на высоте уровня моря, посередине между экватором и полюсом, но на экваторе оно равно 978 см/сек^2, а на полюсах — 983 см/сек^2.

Вес изменяется пропорционально, ведь он зависит от силы притяжения (гравитацион-

Вес

ной силы), а она, в свою очередь, измеряется тем ускорением, которое создает. В то же время масса не изменяется. Масса — это мера количества вещества, содержащегося в данном объекте, причем вещество одно и то же и на полюсе, и на экваторе.

Представьте себе, вы забрались на вершину горы. Здесь вы дальше от центра Земли, чем когда были в долине. Сила притяжения здесь меньше, и ваш вес тоже меньше. Но масса та же, что и была бы в долине.

Сила притяжения зависит также и от массы притягивающего тела. В нашем случае притягивающее тело — Земля, и ее масса не меняется. Но предположим, мы попали на Луну. Луна меньше Земли, и ее сила гравитационного притяжения намного меньше. На поверхности Луны сила притяжения равна всего лишь одной шестой части силы притяжения, действующей на поверхности

Земли. Соответственно, уменьшается и ваш вес. На Луне вы будете весить в шесть раз меньше, чем на Земле. Но масса останется неизменной. На Луне 1 фунт массы будет весить только 0,16 фунта (вес), но это будет по-прежнему 1 фунт массы.

Когда какой-то объект движется свободно под действием силы притяжения (или когда спутник или космическая станция движутся по орбите Земли), притяжение Земли не чувствуется. Вы становитесь невесомыми, но не теряете своей массы, она по-прежнему вся при вас.

Существуют такие физические свойства, которые зависят от массы, но не зависят от веса. Это было впервые показано в работах Галилео Галилея и Ньютона. Когда на массу воздействует сила, эта масса получает ускорение. Если сила остается постоянной, то ускорение тем меньше, чем больше масса. (Есть разница, ударяете вы по надувному пляжному мячу или по пушечному ядру?)

А это означает, что массивный объект в меньшей степени реагирует на одну и ту же приложенную силу. Массивный объект гораздо медленнее переходит из состояния покоя в состояние движения. Это свойство — сопротивление изменению — называется инерцией. Чем больше масса — тем больше инерция.

Так вот, инерция зависит от массы, но не зависит от веса. Представьте себе, что вы опять на космической станции, которая вращается вокруг Земли. Вы, как я уже говорил, не будете чувствовать своего веса, вы станете невесомыми. И точно так же все остальные предметы. Вы сможете поднять огромное пушечное ядро одним мизинцем и даже не почувствуете его веса. Ведь оно будет весить меньше надувного пляжного мяча на Земле.

А теперь представьте себе, что вы кладете это ядро на ногу и толкаете его. Отправится ли оно плавать в пространстве так же легко, как надувной мяч? Нет, нет и нет! Ведь его масса не изменилась, а значит, не изменилась и инерция. Она ведь зависит только от массы, а не от веса. Это невесомое ядро будет двигаться вперед с большим трудом, и вы вполне можете сломать себе пальцы на ноге.

Другими словами, когда мы с вами находимся на поверхности Земли, можно путать эти два понятия — вес и массу. В обыденной жизни путаница в этих понятиях не приведет к возникновению каких-либо проблем. Но мы с вами живем в пору космической эры, а в космическом пространстве смешение понятий «веса» и «массы» может стоить жизни.

Что же касается ученых, то им и здесь, на Земле, необходимо четко разграничивать эти два понятия.

СКОЛЬКО ВЕСИТ ВОЗДУХ?

Иногда сила воздействует на большую площадь. Например, на окружающий нас воздух действует сила притяжения. Вес воздуха (то есть сила, которая распространяется во всех направлениях) давит на поверхность Земли. А измерить это давление можно количеством силы, действующей на единицу площади.

Размерность силы, как я объяснял ранее в этой главе, — это ML/T^2, размерность площади, как мы выяснили в главе 6, — это L^2. Значит, чтобы получить выражение для силы, действующей на единицу площади, мы должны разделить ML/T^2 на L^2. Таким образом, $ML/T^2 : L^2 = ML/L^2T^2 = M/LT^2$.

Сила, действующая на единицу площади, называется давлением. В тех трех системах единиц, которые мы с вами обсуждали, давление будет выражаться в *г/см сек*^{2}, *фунт/фут сек*^{2}, *кг/м сек*^{2}.

Однако ученые обычно не пользуются этими единицами. Они предпочитают измерять давление в единицах силы на единицу площади. То есть в системе *г-см-сек* давление будет выражаться в динах на квадратный сантиметр (дин/см^2). Надеюсь, вы не забыли, что = 1 *г см/сек*^{2}, следовательно, 1 *дин/см*^{2} = =1 *г см*^{2}*/сек*^{2}*/ см*^{2}, а это как раз 1 *г/см сек*^{2}. Таким образом, два способа выражения давления дают один и тот же результат:

$$1\ \textit{дин/см}^2 = 1\ \text{г}/\textit{см сек}^2.$$

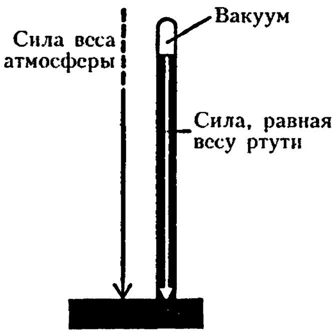
Если таким же путем мы выведем размерность единицы давления в других системах, то получим *паундал/фут*^{2} и *ньютон/м*^{2}.

Однако обычно для измерения давления используют совсем не дины, паундалы или ньютоны. Чаще пользуются различными единицами веса. Вот, например, ученые определили давление атмосферы на поверхность Земли. Оно в среднем равняется (на уровне моря) 14,7 фунта (вес на квадратный дюйм).

(Вам может показаться странным, что в размерность давления включается время. Попробуем взглянуть на это с другой стороны. Давление — это результат столкновения молекул с какой-то поверхностью. Они сталкиваются, ударяются о поверхность и отскакивают от нее, причем их удар о поверхность это и есть давление. Но каждый момент некоторые молекулы еще не достигли поверхности, некоторые уже оттолкнулись от нее и летят в обратную сторону, только по прошествии определенного количества времени молекулы могут достигнуть поверхности, толкнуть ее и, оттолкнувшись, полететь в обратную сторону. Вот почему фактор времени входит в понятие давления.)

Ученым так часто приходится иметь дело с давлением, равным давлению воздуха, что они используют такую единицу, как одна стандартная атмосфера или просто одна атмосфера, которая представляет собой среднее давление воздуха. Отсюда следует, что одна атмосфера равна одной из вышеприведенных величин.

Величину 1 000 000 дин/см^2 обозначили 1 бар, просто для того, чтобы было удобнее ее использовать. Слово «бар» к нам пришло



Барометр

из греческого языка, где оно означает «тяжелый». Атмосфера и бар очень близки по величине. Поскольку 1 атмосфера равна 1 013 000 дин/см^2, следовательно, 1 атмосфера равна 1,013 бара.

Один миллибар, то есть одна тысячная доля бара, равен 1000 дин/см^2, а микробар, то есть одна миллионная доля бара, равен 1 дин/см^2. Один миллибар получил название «бария». Бария — это стандартная единица измерения давления в системе единиц г-см-сек.

В реальной жизни атмосферное давление в одном и том же месте время от времени меняется (но ненамного, всего на 1—2 процента), кроме того, давление различно на разных участках поверхности Земли, оно меняется с изменением высоты над уровнем моря. На вершинах гор атмосферное давление меньше, чем в долинах.

Давление воздуха измеряют барометром. Принцип действия барометра заключается в следующем: вес столбика ртути уравновешивает вес атмосферы. В среднем, чтобы уравновесить вес атмосферы, нужен столбик ртути высотой 30 дюймов. Обычно, когда объявляют прогноз погоды, то давление указывают в дюймах ртути (а в России в миллиметрах ртутного столба).

В таблице показано соотношение единиц давления и соответствующей высоты столбика ртути:

1 атмосфера	=	30 дюймов ртути
1 бар	=	29,6 дюйма ртути
1 миллибар	=	0,0296 дюйма ртути
1 бария	=	0,000029 дюйма ртути

Вот вам еще один пример того, какая маленькая величина дин. Пленка ртути толщиной 1/30 000 дюйма давит на один квадратный сантиметр площади с общим давлением в 1 дин.

Глава 9
ЭРГИ И ВАТТЫ

ТОЛЬКО РАБОТА, И НИКАКИХ ЭМОЦИЙ!

И вот, наконец, мы подошли к понятию «работа». У многих из нас это слово вызывает только отрицательные эмоции, ведь «работа» — это то, что требует массы усилий в нашей повседневной жизни, и далеко не всегда мы совершаем эти усилия добровольно. Само по себе усилие — это еще не работа в обыденном смысле этого слова. Скажем, когда мы играем в теннис, мы вовсе не считаем это работой, ведь мы делаем это по собственной воле, и для нас это — просто удовольствие.

Вот сейчас я сижу в своем кабинете и пишу книжку, моя жена пребывает в полной уверенности, что я работаю (именно так я ей и говорю), соседи считают, что я бездельничаю, а на самом деле я получаю удовольствие.

Но для физиков понятие «работа» лишено эмоциональной окраски. Для них «работа» — это нечто, совершаемое силой, действующей на каком-то определенном отрезке пути.

Так, вы совершаете работу, когда поднимаете какой-то предмет и преодолеваете силу притяжения. Если вы подняли предмет на 2 фута, то совершили в два раза больше работы, чем в том случае, когда поднимали его на 1 фут. А если вы подняли на высоту в 1 фут предмет весом в 2 фунта, вы совершили в два раза больше работы по сравнению с поднятием на ту же высоту предмета весом в 1 фунт.

То есть работа измеряется приложенной силой, помноженной на длину участка, на котором она действует. Короче говоря: *работа = сила × расстояние.*

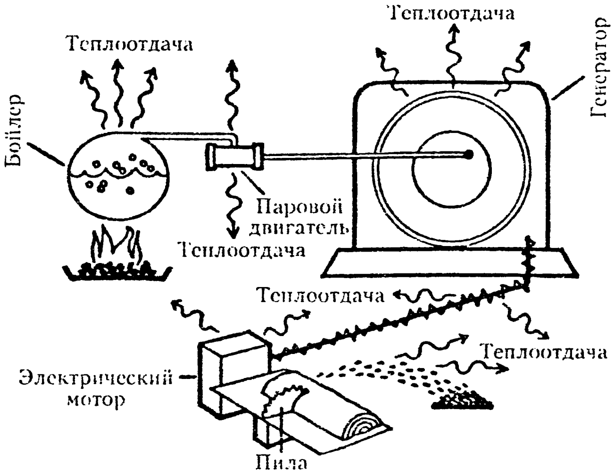
Теперь давайте посмотрим, какими единицами измеряется работа. В предыдущей главе я рассказывал вам о размерности силы: ML/T^2, размерность расстояния — это L, перемножим эти две размерности и получим размерность работы: $ML/T^2 \times L$ или ML^2/T^2.

Теперь используем стандартные единицы трех наших систем и получим размерность работы: г см^2/сек^2, фунт фут^2/сек^2, кг м^2/сек^2. Можно также использовать краткое название единицы силы и размерность расстояния, и тогда мы получим такие выражения для размерности работы: дин см, паундал фут, ньютон м.

И прежде чем двинуться дальше, мы введем новое определение — «энергия». Энергия — это такое свойство тела, которое характеризует его способность совершать работу. (Слово «энергия» к нам пришло из греческого языка, где оно означает «работа внутри, скрытая работа». Так что внутри тел, которые обладают энергией, содержится скрытая работа.)

Что дает возможность какому-нибудь телу совершать работу? Это может быть структура молекул, из которых оно состоит, или электрический ток, проходящий через тело, это может быть магнитное поле, пронизывающее тело, или тепло, заключенное в нем, могут быть и совершенно другие факторы. Все это разные виды энергии, которые приводят к совершению работы. Еще в XIX веке физики обнаружили, что различные формы энергии переходят одна в другую и каждая форма энергии превращается в работу. И наоборот, работа может превращаться в различные виды энергии.

Вот наглядный пример. Вы сжигаете уголь, химическая энергия угля и кислорода превращается в тепло и свет. Какое-то количество тепла может перейти в воду, превращая ее в пар, а горячий пар содержит гораздо больше энергии, чем холодная вода. Теперь тепловую энергию пара можно превратить в кинетическую энергию (или в энергию движения), для этого нужно направить расширяющийся пар так, чтобы он двигал поршень, а поршень заставит вращаться вал генератора. (Не вся энергия пара переходит в движение поршня и генератора.



Преобразование энергии в работу

Большая часть энергии выделяется в виде тепла.)

При вращении генератора часть его кинетической энергии превращается в электрическую (и снова часть энергии выделяется в виде тепла). Электроэнергия передается по проводам к тому месту, где она превращается в кинетическую, например, с ее помощью приводится в действие мотор (но опять с потерями в виде тепла), мотор передает свою механическую энергию, например, электрической пиле, которая пилит кусок дерева, преодолевая его сопротивление. Энергия, которая расходуется при выполнении этой работы, частично идет на превращение массивного дерева в опилки (опилки заключают в себе больше энергии, чем кусок дерева, из которого они получены), но большая ее часть превращается в тепло.

Энергия претерпевает все эти изменения, включая выделение тепла, но общее ее количество остается одним и тем же на каждом этапе превращения.

Поэтому физики рассматривают работу и все формы энергии просто как различные стороны одного и того же явления. Любые единицы, которые можно использовать для измерения работы, применяют для измерения разнообразных форм энергии, и, наоборот, единицы, которые можно применять для какого-то вида энергии, можно использовать для измерения всех остальных видов энергии и работы.

Следовательно, единицу измерения *г* $см^2$/$сек^2$ можно использовать как для измерения энергии, так и для измерения работы. К счастью, ученые придумали односложное слово для определения работы. Это слово «*эрг*», и происходит оно от греческого слова и означает «*работа*», а кроме того, это средний слог в слове «*энергия*». В общем, слово «эрг» хорошо отражает оба понятия.

Теперь мы можем сказать, что:

$$1\ эрг = 1\ дин\text{-}см = 1\ г\ см^2/сек^2$$

С другой стороны, в системе *кг-м-сек* единицей работы или энергии является *кг* $м^2$/$сек^2$, и эту величину назвали джоулем (дж) в честь английского физика Джеймса Прескотта Джоуля, который еще в 1840-е годы доказал, что работа может превращаться в энергию и что определенное количество работы всегда превращается в определенное количество энергии. Опыты Джоуля наглядно продемонстрировали, что энергию нельзя ни создать, ни уничтожить. Ее можно только перевести из одной формы в другую. Это утверждение и стало *законом сохранения энергии*, одним из фундаментальных законов современной науки. Так что Джоуль вполне заслужил, чтобы его именем называлась одна из физических единиц измерения.

Теперь мы можем сказать, что:

$$1 \text{ джоуль} = 1 \text{ ньютон-м} = 1 \text{ кг м}^2/\text{сек}^2$$

В предыдущей главе мы выяснили, что 1 ньютон равен 100 000 динам. А поскольку 1 м = 100 см, то 1 ньютон-м должен равняться (100 000 дин) × (100 см), или 10 000 000 дин-см, а раз ньютон-м — это джоуль, а дин-см — это эрг, то:

1 джоуль = 10 000 000 эрг.

Здесь мы снова видим, насколько удобны две системы, использующие метрические единицы. Эрг — это очень маленькая величина, которую удобно использовать при измерении малых величин, а джоуль намного больше, и эту единицу удобно использовать в повседневной жизни.

А теперь рассмотрим стандартные единицы измерения работы в системе *фунт-фут-сек*, размерность работы *фунт* $фут^2/сек^2$, или *паундал-фут,* но эти единицы используются сравнительно редко. Вместо них используют *фунт (веса)* × *фут*. Разумеется, фунт веса — это единица силы, это я уже объяснял в предыдущей главе. При умножении фунта веса на фут (единицу расстояния) мы получаем единицу энергии. Но тут мы встречаемся с некоторым неудобством. Часто забывают, что в данном случае фунт — это фунт веса, а не массы. Единицу *фунт (веса)* × *фут* обычно называют просто «*фут-фунт*», и естественно, часто считают, что «*фунт*» в единице «*фут-фунт*» — это обычный фунт массы. Но если бы это было так, то единица «*фут-фунт*» представляла бы собой единицу длины, помноженную на единицу массы и имела бы размерность ML, а это совсем не размерность работы или энергии.

В нашей книге я пользуюсь обозначением «*фунт (веса)* × *фут*», а не «*фут-фунт*». Возможно, это может смутить тех, кто привык к обозначению «*фут-фунт*», но это как раз тот случай, когда надо использовать более четкое, хотя и менее привычное обозначение.

1 фунт веса равен 32,17 паундала-фут, а поскольку 1 паундал равен 13 825,4 дина, а фут равен 30,48 см, то:

1 фунт (вес) фут = 32,17 паундал фут.

Поскольку 1 паундал равен 13 825,4 дина, а 1 фут равен 30,48 см, то:

1 фунт (вес) фут = 13 580 000 эрг,

а поскольку 1 джоуль равен 10 000 000 эргов, то

1 фунт (вес) фут = 1,358 джоуля.

ГРЕЕМ ВОДУ

В XIX веке физики ввели единицу измерений нового рода для изучения свойств пара. Им нужно было оценить количество тепла, которое потребуется, чтобы поднять температуру воды до определенного уровня.

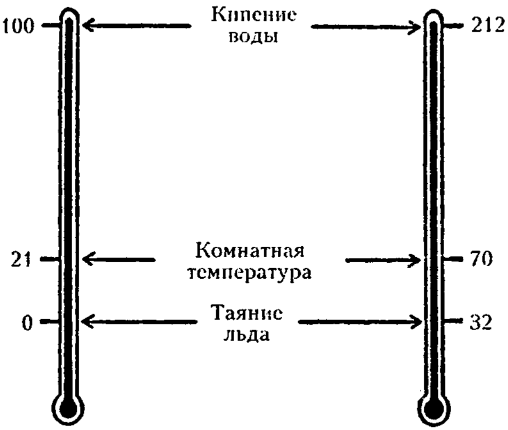
Но сначала мне хотелось бы сказать несколько слов о температуре. В нашей книге мы в основном занимались системой масса-длина-время (MLT). Но нам так часто приходится измерять температуру, что, пожалуй, следует обсудить этот вопрос подробно.

Для того чтобы точно измерить температуру, необходимо найти какое-то физическое изменение, которое мы можем измерить и которое сопровождает изменение температуры. Например, мы знаем, что при повышении температуры многие объекты расширяются, а при понижении — сужаются.

Представим маленькую колбочку, наполненную какой-то жидкостью. К колбе присоединена узкая трубка, запаянная с одной стороны, из которой откачан воздух. Если колбу нагреть, жидкость будет медленно расширяться и какая-то ее часть пройдет в трубку. Если трубка достаточно узкая, то жидкость поднимется на довольно большую высоту. Высота столбика жидкости в трубке будет заметно изменяться даже при небольших изменениях температуры.

В XVII веке изобрели термометры, в которых использовали воду или спирт. Однако спирт закипал, когда температура поднималась до определенной величины, а вода при сильном охлаждении замерзала. В 1714 году немецкий физик Габриель Даниэль Фаренгейт предложил использовать в качестве жидкости ртуть. Она оставалась жидкостью, когда вода уже замерзала или когда спирт начинал кипеть.

Фаренгейт поместил колбу своего ртутного термометра в смесь соли и льда, подождал, пока ртуть в трубке остановилась на постоянном уровне, сделал отметку на стенке трубки и обозначил эту отметку как «0». Затем он поместил термометр в кипящую воду, подождал, пока уровень ртути в трубке остановился на новом уровне, и отметил его как «212». Расстояние между этими двумя метками он разбил на равные отрезки, которые назвал градусами (от латинского слова «down steps» — маленькие шаги).



Шкала термометра

Это и есть шкала температур Фаренгейта, которая широко используется во всем англоязычном мире. Она очень удобна для того, чтобы следить за погодными изменениями. Какой бы ни была холодной зима, температура в крупнейших городах Европы и Америки редко падает ниже нуля градусов по Фаренгейту, а самым жарким летом она очень редко превышает 100 градусов по Фаренгейту. Точка замерзания воды по такой шкале — 32 градуса.

В 1742 году шведский астроном Андерс Цельсий предложил другую температурную шкалу. За ноль он принял точку замерзания воды, а за 100 градусов — точку кипения воды. Эта шкала получила в России название стоградусной, или шкалы Цельсия (centigrade от латинского «сто шагов»). Эта шкала используется учеными по всему миру, так как интервал температуры от 0 до 100 градусов — это как раз тот интервал, в пределах которого вода является жидкостью. Ученые, главным образом химики, работают как раз в этом температурном интервале, так как им удобно использовать десятичную шкалу. В быту эта шкала тоже широко применяется — во всех странах, за исключением тех, где говорят по-английски. Температура обозначается °F, когда используется шкала Фаренгейта, или °С, когда используется шкала Цельсия. Температура замерзания воды равна 32° F, или 0° С, а точка кипения воды — это 212° F, или 100° С.

Интервал между точкой кипения воды и точкой замерзания составляет по шкале Фаренгейта 212 — 32 = 180 градусов. Тот же интервал по шкале Цельсия составляет 100 — — 0 = 100 градусов. Следовательно, 180° F = =100° С, или $^{14}/_{5}$ градуса Фаренгейта равны 1 градусу шкалы Цельсия, или же $^{5}/_{9}$ градуса Цельсия равны 1 градусу Фаренгейта.

Теперь мы можем вернуться к задаче измерения количества тепла по повышению температуры.

За единицу принято такое количество тепла, которое необходимо для повышения температуры 1 грамма воды на 1 градус Цельсия. Но это количество тепла немного изменяется с изменением температуры, поэтому позже было установлено, что имеется в виду нагрев от 14,5° С до 15,5° С.

Это количество тепла назвали калорией (кал) (от латинского слова «калория» — тепло). Вскоре выяснилось, что эта величина слишком мала, и поэтому химикам и биологам неудобно пользоваться такой единицей измерения. Тогда было решено использовать единицу измерения равную 1000 калорий. Теперь можно с помощью обычной в метрической системе приставки «кило» получить еще одну единицу измерения тепла — килокалорию (ккал).

С этими двумя единицами часто возникает путаница. В быту мы часто используем слово «калории», но на самом деле имеются в виду «килокалории». Иногда, чтобы разделить эти две единицы измерения, говорят «большие калории» вместо килокалорий и «малые калории» вместо калорий, но чаще всего даже не уточняется, какую единицу используют, и путаница правит бал.

Вот вам наглядный пример. Диетологи и те из нас, кто придерживается определенной диеты, часто говорят, что одна унция сливочного масла содержит 210 калорий или что при сидячем образе жизни человек должен потреблять 2500 калорий в день. Но на самом деле имеются в виду килокалории.

В нашей книге, когда я говорю «калории», я имею в виду «малые калории», и только «малые». А «килокалории» — это всегда «большие калории».

Обратите внимание, что для получения размерности «калория» используется 1 грамм воды и 1° С. Поэтому в Америке и в Англии, где принята температурная шкала Фаренгейта, инженеры часто используют другую единицу измерения тепла. Они приняли за единицу количество тепла, которое понадобится для нагрева 1 фунта воды (1 фунт) на 1 градус (1° F) (от 59,5° F до 69,5° F, чтобы быть точным). Эта единица получила название «британская единица тепла», или сокращенно BTU.

Вспомним, что 1 фунт = 453,592 г, а 1° F = = 0,545° С. Это означает, что когда мы используем BTU, то нагреваем в 453,592 раза больше воды.

Таким образом, 1 BTU = 453,592×0,545, или:

1 BTU = 252,0 калории,
1 BTU = 0,252 килокалории,

или по-другому:

1 килокалория = 3,97 BTU.

Как только ученые поняли, что тепло — это просто один из видов энергии, стало очевидным, что единицы измерения тепла (калории и BTU) можно пересчитать в эрги, джоули и фунты(вес)-футы и так далее.

При помощи прямых измерений Джоуль установил, что 41 850 000 эргов можно превратить в 1 калорию тепла. Из этого соотношения, используя различные коэффициенты перевода, приведенные в нашей книге, можно получить следующие соотношения:

1 калория	=	41 850 000 эргов = = 4185 джоулей
1 килокалория	=	41 850 000 000 эргов = = 4185 джоулей
1 BTU	=	10 550 000 000 эргов = = 1055 джоулей.

Поскольку 1 фунт(вес)-фут равен 1,358 джоулей,

1 калория	=	3,082 фунта(вес)-фута
1 килокалория	=	3082 фунта(вес)-фута
1 BTU	=	778 фунтов(вес)-футов.

Теперь ясно, почему так трудно похудеть только при помощи гимнастических упражнений. Чтобы израсходовать 1 фунт(вес)-фут энергии, вам надо поднять вес, равный 1 фунту, и повторить это 3082 раза, поскольку 1 килокалория равна 3082 фунтам (вес)-футам.

Или, если вы весите 154 фунта (вес), вам надо подпрыгнуть на 1 фут вверх 20 раз, поскольку 154 фунта×1 фут×20 = 3080 фунтов (вес)-футов. Или можно то же самое представить по-другому. Вам нужно взбежать вверх на два пролета лестницы высотой по 10 футов каждый, чтобы израсходовать 1 килокалорию при условии, что вы весите 154 фунта.

Поскольку порция сливочного масла содержит 50 килокалорий энергии, вам придется подняться на 100 пролетов такой лестницы, чтобы израсходовать эту энергию. По-моему, проще совсем не есть масла. (Нет-нет, я не пытаюсь проповедовать умеренность в еде. Обычно люди глухи к подобным призывам, да я и сам вешу больше, чем следует.)

СИЛА ЛОШАДИ И ЛОШАДИНАЯ СИЛА

Энергию (или работу) можно доставлять с различной скоростью. Представьте себе, что вам нужно подняться на один пролет вверх по лестнице. Если ваш вес 150 фунтов, а высота пролета — 10 футов, то вы затратите 1500 фунтов(весовых)-футов на этот подъем.

И совершенно не важно, сколько времени вы будете подниматься — одну минуту или целый день. Количество затраченной вами энергии зависит только от того веса, который вам надо поднять (или израсходованной силы) и от расстояния, на которое надо поднять данный вес (или на котором расходуется сила).

(Конечно, при подъеме по лестнице мы будем тратить энергию и в других формах: энергия поглощается при дыхании, она нужна, чтобы поддерживать биение вашего сердца и работу почек, и так далее. Но я сейчас говорю только о той энергии, которая расходуется на подъем вашего тела вверх по лестнице.)

И хотя вы тратите одну и ту же энергию, независимо от времени, которое затрачиваете на подъем, существует все-таки некоторое отличие. Если вы поднимаетесь медленно, за несколько минут, то вы добираетесь до верха без усталости. Но если вы взбегаете стремительно, за несколько секунд, вы начинаете задыхаться, пот льется ручьем, в общем, состояние не из лучших.

Когда вы бежите вверх по лестнице, тратите столько энергии и проделываете ту же самую работу, как и в том случае, когда поднимаетесь медленно и чинно. Но при этом вы двигаетесь (или работаете) с другой мощностью. Точно так же и любая машина, которая может поднять определенный вес на заданную высоту (или сделать любую другую работу) быстрее, имеет большую мощность, чем та, которая делает ту же работу за большее время.

Таким образом, *мощность* — это работа, выполняемая в единицу времени. Размерность работы — это ML^2/T^2, значит, размерность работы в единицу времени равна $ML^2/T^2/T$, или ML^2/T^3.

В трех системах измерений, о которых я вам рассказывал, единицы мощности можно выразить как *г см²/сек³*, *фунт фут²/сек³* и *кг м²/сек³*.

Для определения размерности мощности можно использовать специальные названия для определения работы, которые уже разработаны. Например, в системе г-см-сек работу измеряют в эргах, значит, в этой системе мощность будет выражена в эргах в секунду (*эрг/сек*). А в двух других системах мощность будет выражена в фунталах, помноженных на фут в секунду (*фунтал-фут/сек*), и в джоулях за секунду (*дж/сек*).

Создавая единицу мощности, мы с вами во всех трех системах добавляли только выражение «в секунду» к единице измерения работы. Значит, и коэффициенты перевода из одной системы в другую будут такими же, как и для единиц работы. Другими словами, раз 1 джоуль равен 10 000 000 эргов, значит, 1 джоуль в секунду равен 10 000 000 эргов в секунду (1 *дж/сек* = 10 000 000 *эрг/сек*).

Но эти единицы измерения мощности совсем не самые популярные, особенно в англоязычных странах. Там пользуются той единицей, которую предложил Джеймс Уатт (Ватт), изобретатель парового двигателя.

Паровой двигатель Уатта в первый раз был использован, когда понадобилось откачать воду из шахты. Раньше эту работу делали лошади. Уатт решил сравнить возможности своего двигателя с возможностями лошади. (Им надо было не только поднимать воду из шахты, но и делать это достаточно быстро, чтобы подземные воды не успевали заполнять шахту. Поэтому учитывалась именно мощность, а не работа.)

Уатт использовал сильных ломовых лошадей, предназначенных для того, чтобы поднимать тяжести. По результатам измерений он подсчитал, что сильная здоровая лошадь может работать со скоростью 550 фунтов (веса), помноженных на футы в секунду.

Эту скорость выполнения работы Уатт и назвал *«лошадиной силой»* (хотя редкая лошадь может работать так интенсивно). Уатт оценил мощность своих паровых двигателей в лошадиных силах. Прошло много лет, а мы по-прежнему используем *«лошадиные силы»* для измерения мощности двигателей для автомобилей и самолетов.

Посмотрим теперь, чему равна *«лошадиная сила»* в стандартных единицах тех систем, которые мы с вами изучили. В первой главе мы выяснили, что один фунт веса, помноженный на фут, равен 32,17 паундала, помноженных на фут. Следовательно, 550 фунтов веса, помноженных на фут, равны (550×32,17 *паундала × фут)/сек*, значит:

1 лошадиная сила = 17 690 паундал-фут/сек.

Поскольку 1 фунт веса, помноженный на фут, равен 13 580 000 эргов, или 1,358 джоуля (1 фунт(вес)-фут = 13 580 000 эрг = 1,358 дж), то одна лошадиная сила (1 л. с. = 550 фунт (вес)-фут) должна равняться (550 *фунт (вес)-фут* × 1,368 *дж)/сек*. Или

1 лошадиная сила = 7 460 000 000 эрг/сек
1 лошадиная сила = 746 дж/сек.

Не только в англоязычных странах используют подобные единицы для измерения мощности, но и во многих странах, где принята метрическая система мер. Во Франции используют единицу, которая называется «cheval-vapeur» (лошадь-пар), или метрическая лошадиная сила. Это та же самая «лошадиная сила», только при ее определении вместо футов и фунтов веса используют метры и килограммы веса.

Метрическая лошадиная сила равна 4500 *кг веса-м/мин, или* 75 *кг веса-м/сек.*

Поскольку 1 *м* = 3,28 *фт* и 1 *кг веса* = = 2,205 *фунта веса*, одна метрическая лошадиная сила равна (75×3,28 *фт* × 2,205 *фунта веса)/сек,* или 75×3,28×2,205) *фунт веса фт/сек,* следовательно:

1 метрическая лошадиная сила (метрическая л. с.) = 542,4 фунта веса фт/сек.

Но обычная лошадиная сила равна 550 фунтам веса фт/сек, то есть она немного больше метрической лошадиной силы. Таким образом, одна лошадиная сила равна 550/542,4 метрической лошадиной силы, или:

1 лошадиная сила (метрическая л. с.) = = 1,014 метрической лошадиной силы (метрической л. с.).

Поскольку 1 лошадиная сила равна 746 дж/сек, то 1 метрическая лошадиная сила равна 746/1,014 дж/сек, или:

1 метрическая лошадиная сила (метрическая л. с.) = 735,5 дж/сек.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЛАМПОЧКИ И ЧЕЛОВЕЧЕСКИЕ СУЩЕСТВА

Размерность «джоуль/сек» получила специальное название, увековечившее, и совершенно справедливо, имя человека, который впервые провел систематические измерения энергии. Джоуль/сек называется «ваттом». На наше счастье, Джеймс Уатт (или Ватт) был достаточно благоразумен, чтобы носить односложную фамилию. Таким образом:

$$1 \text{ ватт} = 1 \text{ дж/сек} = 1 \text{ кг м}^2/\text{сек}^3.$$

Так что во всех преобразованиях, которые мы с вами проделали в предыдущих главах, можно заменить дж/сек на ватты. Таким образом, мы получаем:

$$\begin{aligned} 1 \text{ ватт} &= 10\,000\,000 \text{ эрг/сек} \\ 1 \text{ л. с.} &= 746 \text{ ватт.} \end{aligned}$$

Размерность «ватты» нам хорошо знакома. Мы встречаем ее, когда имеем дело с электрическим оборудованием. Лампочка в 100 ватт поглощает электрическую энергию и выделяет световую и тепловую энергию со скоростью 100 дж/сек.

Ватты — это метрическая единица, в которую входят килограммы и метры. (Вы помните, что в англоязычных странах к метрическим единицам относятся весьма прохладно, и это одна из немногих метрических единиц, которую там охотно используют. Видимо, только потому, что там мало кто догадывается, что «ватты» — все-таки метрическая единица.) Следовательно, в этом случае можно использовать обычные приставки, свойственные в метрической системе: существуют дециватты, сантиватты и, конечно, хорошо всем знакомые киловатты:

1 киловатт = 1000 ватт.

Поскольку 1 л. с. (лошадиная сила) равна 746 ватт, то киловатт равен 1000/746 л. с. Другими словами:

1 киловатт = 1,34 л. с.

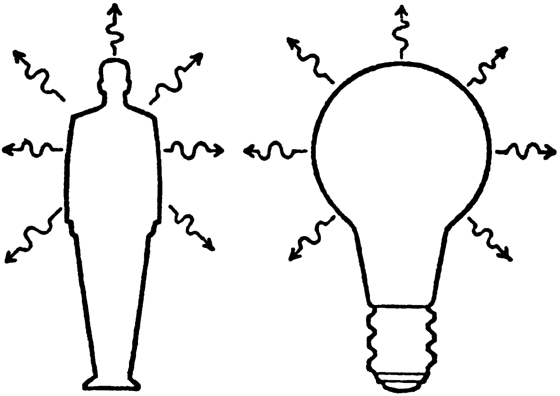
Мы можем пойти от мощности к энергии, если умножим единицу энергии на время. Таким образом, 1 дж/сек×1 сек = 1 дж сек/сек, или, после сокращения секунд, получим 1 дж. Поскольку 1 дж/сек = 1 ватт, можно сказать, что

1 ватт/сек = 1 дж.

Чаще используется единица, которую называют киловатт-час. Итак, поскольку 1 киловатт равен 1000 ватт, а 1 час равен 3600 секунд, то 1 киловатт-час равен 1000×3600 или 3 600 000 ватт-сек. Тогда можно сказать, что

1 кВт-час = 3 600 000 дж.

Киловатт-час — это самая большая единица энергии из тех, которые мы изучали в этой книге.



Эквиваленты энергии

Поскольку 1 килокалория = 4185 джоулей и 1 киловатт-час равен 3 600 000/4185 килокалорий, то:

1 киловатт-час = 860 килокалорий.

Для того чтобы обычному человеку чувствовать себя хорошо и комфортно, ему нужно поглощать в день около 2500 килокалорий. Это эквивалентно 2500/860 или как раз около 3 киловатт-часов за 1 день. Всю эту энергию человек вновь выбрасывает в окружающую среду, в основном в виде тепла.

А теперь посмотрим, сколько тепла выделяет 125-ваттная электрическая лампочка за 24 часа. Для этого надо перемножить 125 на 24, и мы получим 3000 ватт-часов, то есть 3 киловатт-часа.

Итак, человек выделяет в окружающую среду примерно столько же тепла, сколько

125-ваттная электрическая лампочка. И если вам когда-нибудь приходилось оказаться в жаркий день среди толпы народа, вы, конечно, могли оценить, что это такое.

ПОДВЕДЕМ ИТОГИ

По-моему, прежде, чем открывать последнюю главу, стоит остановиться на минуту и оглянуться назад на пройденный путь.

Мы начали с длины (L), массы (M) и времени (T).

Расстояние измеряется в единицах длины, значит, его размерность L. Скорость — это количество пути (в любом направлении), проделанное за определенный промежуток времени. Другими словами, это расстояние в единицу времени, или L/T.

Ускорение — это изменение скорости в единицу времени, то есть (L/T)/T, или L/T^2.

Сила — это то, что производит определенное ускорение, или $M \times L/T^2$, или ML/T^2.

Работа — это мера силы, действующей на определенном расстоянии и преодолевающей определенное сопротивление. Другими словами, это сила, помноженная на расстояние, или $ML/T^2 \times L$, или ML^2/T^2.

И наконец, энергия — это количество работы, сделанной за определенный промежуток времени. Это работа в единицу времени, или $(ML^2/T^2)/T^2$, или ML^2/T^3.

Глава 10
ПУАЗЫ И КВАНТЫ

КОНСТАНТЫ

Конечно, в этой книжке я рассказал далеко не обо всех единицах измерения, которыми пользуются ученые. Я уже упоминал о температуре, но мы не обсуждали подробно единицы измерения температуры. Существуют также единицы для измерения интенсивности света, интенсивности звука, а также большая группа единиц для измерения электрических и магнитных свойств вещества. Но в этой книжке мы не сможем обсудить их — у нас просто не осталось места.

Все можно уложить в логическую систему и описать. Для этого нам не понадобятся новые принципы, мы сможем распространить старые принципы на новую область.

Прежде чем закончить свой рассказ, я продемонстрирую вам на примерах, какую роль играют единицы измерений в фундаментальных соотношениях, открытых учеными.

Ученые предпочитают описывать Вселенную при помощи как можно более простых соотношений. Особенно удачным они считают такое положение, когда удается организовать серию таких измерений, когда результат не меняется при изменении величины отдельно взятого измерения.

Измерения, которые изменяются, называются *переменными*, а результат, который остается постоянным, называется *константой* (или постоянной).

Простой пример, на котором можно понять, что такое переменная и постоянная величина, мы найдем в седьмой главе, где обсуждалась плотность.

Давайте рассмотрим воду. Мы можем отмерить любое количество воды, 1 грамм, 10 граммов, 1000 граммов или 1 000 000 000 граммов. Масса воды — это переменная величина, и чтобы узнать массу каждой отдельной порции воды, ее надо взвешивать.

Точно так же можно отобрать любой объем воды: 1 $см^3$, 10 $см^3$, 1000 $см^3$ или 1 000 000 000 $см^3$. Это еще одна переменная, и ее величину тоже придется определять для каждой отдельной порции.

Теперь определим плотность образцов воды, разделив массу образца на его объем. Оказывается, что 1 грамм воды занимает объем 1 $см^3$, 10 граммов — 10 $см^3$, 1000 граммов — 1000 $см^3$, а 1 000 000 000 граммов — 1 000 000 000 $см^3$ и так далее. И в каждом случае, когда мы делим массу на объем, то получаем одну и ту же величину 1 $г/см^3$.

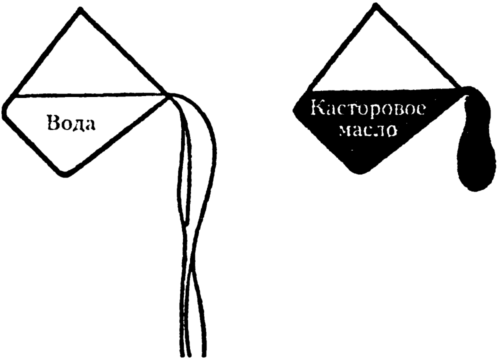
Таким образом, плотность является константой, во всяком случае для данного вещества при данных условиях. Ели вам передают контейнер с водой, вы не знаете ни ее точного объема, ни массы. Их надо еще измерить. Зато вы четко знаете ее плотность.

А теперь рассмотрим более сложный случай. Из опыта вы знаете, что одни жидкости более текучие, а другие — менее текучие. Наклоните стакан с водой, и она тут же польется струйкой. А теперь наклоните стакан с касторовым маслом, и вы увидите, как медленно польется масло.

Когда мы выливаем жидкость, одни молекулы жидкости скользят по другим под действием силы тяжести. Чем легче проходит скольжение, тем быстрее вытекает жидкость. Молекулы воды гораздо легче скользят относительно друг друга по сравнению с молекулами касторового масла, поэтому вода выливается быстрее масла.

Но для ученых такой информации недостаточно. Они не могут сказать «легче вытекает», им надо найти точный метод измерения степени легкости скольжения молекул различных жидкостей относительно друг друга. Они проводят специальные опыты, которые помогают им узнать, от чего зависит эта легкость.

Представьте себе два слоя жидкости в форме квадратов определенной площади. Эти слои расположены параллельно друг другу и находятся на определенном расстоянии. А теперь представьте, что эти слои под



Вязкость

действием какой-то силы начинают двигаться относительно друг друга с какой-то скоростью.

Результаты опытов показали, что если умножить величину силы на расстояние между слоями, а потом разделить результат на произведение скорости движения слоев относительно друг друга и площади слоев, то результат будет всегда неизменным для одной и той же жидкости при одной и той же температуре. Другими словами:

$$\frac{\text{сила} \times \text{расстояние}}{\text{скорость} \times \text{площадь}} = \text{константа.}$$

Эта константа называется вязкостью. Данная величина характеризует, насколько легко или трудно молекулы скользят относительно друг друга в какой-то определенной жидкости. Эта константа для касторового масла выше, чем для воды, то есть можно сказать, что вязкость касторового масла выше, чем вязкость воды, или что касторовое масло более вязкое.

Вязкость используют в самых разнообразных вычислениях, например при расчетах различных химических процессов. Но чтобы использовать эту величину, необходимо знать ее размерность. Как же это сделать?

Мы используем то выражение для вязкости, которое только что получили (смотрите выше), подставим в него размерности каждого из членов выражения и получим размерность вязкости.

Размерность силы — это ML/T^2, размерность расстояния — L, размерность скорости — L/T, а размерность площади — L^2. Теперь если мы перемножим размерность силы на размерность расстояния между слоями, а потом поделим результат на произведение размерности скорости движения слоев относительно друг друга и размерности площади слоев, то получим размерность вязкости:

$$\frac{ML/T^2 \times L}{L/T \times L^2} = M/LT.$$

Я хочу вам напомнить, что эти буквы являются символами, и с ними можно проводить такие же действия, как и с обычными алгебраическими символами. Конечно, вы, может быть, захотите проверить это утверждение. Давайте сделаем это на простом примере. Если вы умножите 4 фута на 6 футов, то получите 24 квадратных фута. Это можно записать в виде символов:

$$24\ \textit{фут}^2 = 4\ \textit{фут} \times 6\ \textit{фут}.$$

Но это уравнение можно преобразовать делением обеих его частей на один из членов уравнения. Тогда вы получаете новое соотношение, которое можно записать в виде символов следующим образом:

$$24\ \textit{фут}^2/4\ \textit{фут} = 6\ \textit{фут}.$$

Чтобы получить в ответе 6, нужно только разделить 24 на 4 и убедиться, что уравнение верно. Что же касается единиц, то можно только сказать, что $\textit{фут}^2/\textit{фут} = \textit{фут}$, так же как $x^2/x = x$. Если вы рассмотрите другие соотношения, куда входят единицы измерений, то увидите, что символы, обозначающие единицы измерений, ведут себя так же, как и обычные алгебраические символы.

Размерность вязкости (полученная при помощи элементарной алгебры) — M/LT, в тех трех системах единиц, которые мы обсуждали, единицей вязкости является *г/см сек*, *кг/м сек* и *фунт/фут сек*.

Первое серьезное и методичное исследование вязкости провел французский ученый Жан Луи Мари Пуазейль. Его имя было присвоено единице вязкости в системе *г-см-сек,* но (к счастью для всех тех, кто не владеет французским языком) используется только первый слог его фамилии, то есть единица вязкости называется «пуаз». Следовательно:

1 *г/см сек* = 1 *пуаз.*

На практике пуаз слишком большая величина и ею неудобно пользоваться, поэтому чаще используют одну сотую пуаза, или сантипуаз. Например, вязкость воды при комнатной температуре равна примерно одному сантипуазу, а вязкость касторового масла при комнатной температуре равна приблизительно 1000 сантипуаз, или 10 пуаз.

А вот вязкость воздуха при комнатной температуре составляет примерно 185 микропуаз. Микропуаз — это одна миллионная доля пуаза, или одна десятитысячная доля сантипуаза. Таким образом, 185 микропуаз равно 0,0185 сантипуаза.

НЬЮТОН И КАВЕНДИШ

А теперь вернемся назад, в 1683 год, когда Исаак Ньютон опубликовал книгу «*Principia Mathematica*», в которой он изложил открытые им законы движения. О первом законе движения вы узнали ранее. В этой же книге Ньютон провозгласил закон всемирного тяготения.

Чтобы разобраться в том, как работает этот закон, мы рассмотрим два тела. Это могут быть два любых тела, скажем два стальных шарика, находящиеся на расстоянии дюйма друг от друга, или Земля и Луна, или Солнце и звезда, находящаяся от него на огромном расстоянии, в общем, два каких-то тела. Согласно предположению Ньютона, между этими телами существует сила притяжения, которая зависит от массы каждого тела и от квадрата расстояния между ними. (Сила увеличивается при увеличении массы тел и уменьшается с ростом расстояния.)

Далее Ньютон установил, что если силу притяжения (гравитации) между двумя телами умножить на квадрат расстояния между ними и разделить на произведение масс этих двух тел, то результатом будет постоянная величина, константа.

Это можно записать таким образом:

$$\frac{\text{сила гравитации} \times \text{расстояние}^2}{\text{масса тела 1} \times \text{масса тела 2}} = \text{константа.}$$

Ньютон доказал, что гравитационная постоянная имеет одну и ту же величину и для Земли и Луны, и для Земли и яблока, падающего с дерева. Это была его догадка — у него не было средств доказать, что гравитационная постоянная неизменна в любом месте Вселенной. В XVIII столетии некоторые астрономы подтвердили догадку Ньютона. Было доказано, что гравитационная постоянная действительно постоянна во всей Солнечной системе, поскольку только при этом условии можно было объяснить законы движения планет вокруг Солнца. Позже, в XIX веке, ученые проверили законы движения двойных звезд вокруг друг друга и доказали, что гравитационная постоянная — это постоянная величина по всей Галактике.

Теперь давайте определим, какой должна быть размерность этой константы, которая нужна для описания каждого материального объекта. Мы можем определить размерность этой константы из уравнения, определяющего эту константу, если подставим в него размерности всех входящих в него переменных.

Например, размерность силы притяжения (силы гравитации) такая же, как и размерность любой силы, то есть ML/T^2. Размерность расстояния — это L, следовательно, размерность квадрата расстояния — L^2. Размерность массы — это M, а размерность массы одного тела, умноженная на массу другого тела, равна M^2.

Теперь подставим эти значения в уравнение и получим:

$$\frac{ML/T^2 \times L^2}{M^2} = \frac{L^3.}{MT^2}$$

Единицу измерения гравитационной постоянной можно определить по любой части этого уравнения. По правой стороне (L^3/MT^2) посчитать проще. И в системе *г/см/сек* гравитационная постоянная будет измеряться в единицах *см*^{3}/*г сек*^{2}.

Но чаще используется левая сторона. Поскольку ML/T^2 — это размерность силы, мы получим для гравитационной постоянной размерность *дин см*/*г*^{2}.

Ньютон так и не смог узнать точной величины гравитационной постоянной. Первым ее определил английский ученый Кавендиш. В 1798 году он измерил величину притяжения между двумя металлическими шариками и вычислил по ней гравитационную постоянную. Величина гравитационной постоянной, вычисленная в наши дни современными методами, составляет 0,0000000667 *дина-см*/*г*^{2}.

Это означает, что если два тела весом по 1 грамму каждое поместить на расстояние 1 сантиметра друг от друга (имеется в виду расстояние от центра одного шарика до центра другого), то они будут притягиваться друг к другу с силой 0,0000000667 *дина*. Поскольку 1 дин эквивалентен 1,02 миллиграмма веса, или 0,00102 грамма веса, это означает, что если во Вселенной существовали бы только эти два тела, то каждое из них весило бы по 0,000000000068 грамма под действием гравитационной силы, создаваемой каждым из них.

Но каждое из этих тел весит по 1 грамму под действием гравитационного притяжения Земли, правда, расстояние до центра Земли составляет 4000 миль от этих тел, и, таким образом, сила притяжения несколько ослабляется. Но если наша планета на таком огромном расстоянии притягивает тела с такой силой, значит, масса ее огромна. Действительно, массу Земли можно вычислить по разнице в гравитационной силе. Она равна: 6 000 000 000 000 000 000 000 000 000 граммов.

Если вы заглянете внимательно на предыдущие страницы, то поймете, что массу Земли невозможно было вычислить, пока не была определена гравитационная постоянная. Поэтому Кавендиш был не только первым, кто определил гравитационную постоянную, он был первым человеком, «который взвесил Землю».

ПЛАНК

В 1900 году немецкий физик Макс Планк представил миру квантовую теорию, которая преобразила науку. Согласно теории Планка энергия может существовать только в виде маленьких порций или квантов, причем число этих квантов может быть только целым. Другими словами, я могу получить 1 квант энергии, или 2, или 3 кванта, но я никогда не смогу получить $1^1/_2$ или $2^1/_2$ кванта. После появления теории Планка пришлось пересмотреть все теории, в которых использовалась концепция энергии, поскольку раньше ученые считали, что энергию можно делить на любые, какие угодно малые количества.

Конечно, квант — это настолько сверхмаленькая порция энергии, что в обычной жизни мы просто не можем заметить, что существуют такие количества энергии, которые мы не можем получить. Самая малая порция энергии, которую мы можем заметить, состоит из огромного количества квантов — многих триллионов. Вряд ли можно заметить, что мы можем получить 1 000 000 000 000 квантов энергии или 1 000 000 000 001 квантов энергии, но никак не 1 000 000 000 000$^1/_2$ кванта.

В теории Планка также рассматривается вопрос о том, какова величина самого кванта. (Слово «квант» — «quantum» — латинского происхождения и означает «сколько»). Планк пришел к выводу, что величина кванта зависит от типа энергии. Например, величина кванта красного света составляет только половину кванта фиолетового света.

Красный и фиолетовый свет — это формы энергии излучения, которые ведут себя так, будто состоят из маленьких волн, которые распространяются в пространстве. Чем меньше длина волны, тем больше волн может образоваться в одну секунду при распространении света. Число волн, образующихся в одну секунду, называется частотой.

Длина волны фиолетового света равна примерно половине длины волны красного света. Следовательно, фиолетовый свет может образовать в одну секунду вдвое больше таких «полуразмерных» волн, чем красный свет полноразмерных волн.

Таким образом, мы видим, что частота фиолетового света в два раза больше частоты красного света.

Планк показал, что чем больше частота, тем больше квант световой волны, который образует эту частоту, причем зависимость прямо пропорциональная. Если частота уменьшается на столько же, то вдвое уменьшается и величина кванта; если одна из этих величин увеличивается вдвое, то ровно вдвое увеличивается и другая, и так далее.

Это означает, что частное, полученное при делении величины кванта на частоту данного вида энергии, является постоянной величиной, или константой. Эта константа получила название *константы Планка.*

Какая же размерность у кванта? Та же, что и у энергии, ведь квант — это просто маленькая частичка энергии. Таким образом, размерность кванта — ML^2/T^2. Размерность частоты, которая показывает нам «количество длин волн в секунду», такая же, как в том случае, который описан в главе, где речь шла о количестве оборотов в минуту. Это то же самое, что обратные секунды, и, следовательно, размерность частоты $1/T$.

Чтобы получить константу Планка, нам надо разделить величину кванта на частоту энергии. Значит, надо разделить ML^2/T^2 на $1/T$, в результате деления мы получаем ML^2/T.

Измерения, которые дают нам такую размерность, выражаются в единицах *«дей-*

ствия». Константа Планка («квант действия») имеет размерность г×см²/сек в системе *г-см-сек*.

Один эрг равен *г×см²/сек²*, и если мы умножим 1 эрг на время, то получим *г×см²/сек²×сек = г×см²/сек*. (Таким образом, энергия × время = действие.) Следовательно, в системе *г-см-сек* единицы константы Планка могут быть выражены в *эрг-сек*.

Частота фиолетового света оказывается огромной величиной, она равна приблизительно 750 000 000 000 000 $^{1}/_{сек}$. В то же время константа Планка, напротив, очень маленькая величина. Она равна 0,000000000000000000000000006624 *эрг-сек*. Умножим теперь эту величину на частоту фиолетового света: 750 000 000 000 000 $^{1}/_{сек}$× ×0,000000000000000000000000006624 *эрг-сек*= = 0,000000000005 *эрг*. Это и есть количество энергии, которое содержится в 1 кванте фиолетового света. А отсюда следует, что 1 эрг фиолетового света содержит 200 000 000 000 квантов.

Поскольку частота красного света вдвое меньше частоты фиолетового света, величина 1 кванта энергии красного света вдвое меньше 1 кванта фиолетового света. Это означает, что 1 эрг красного света содержит 400 000 000 000 квантов.

Важно не столько количество квантов, которые ударяются о поверхность вещества в единицу времени, сколько размер самих квантов. Вот почему фиолетовый свет воздействует на обычную фотопластинку, а красный свет — нет. Поэтому мы можем работать в темной комнате, освещенной красным светом, и не засветить фотопленку.

Если частота света выше частоты фиолетового света, то и кванты энергии тоже будут больше. Квант ультрафиолетового света больше, чем квант фиолетового света. Квант рентгеновского излучения еще больше, а квант гамма-излучения еще больше. Кванты некоторых гамма-лучей могут быть в биллионы раз больше квантов фиолетового света.

Именно эти большие кванты энергии заставляют нашу кожу краснеть под воздействием ультрафиолетового света, а большие кванты рентгеновских и гамма-лучей проникают внутрь вещества и могут оказаться смертельно опасными для человека. Чтобы представить себе соотношение между силой воздействия гамма-лучей и обычного красного света, можно представить, что на тебя падают тяжелые футбольные мячи — это гамма-лучи или легкие перышки — это красный свет.

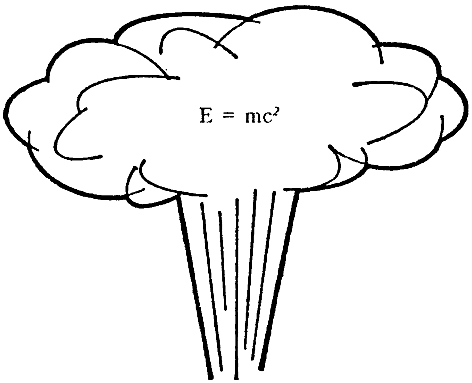
ЭЙНШТЕЙН

В 1905 году немецкий теоретик Эйнштейн разработал теорию относительности, в которой, помимо прочего, доказал, что масса может превращаться в энергию и наоборот.

Далее Эйнштейн показал, что определенное количество массы превращается в точно определенное количество энергии. Удвойте количество массы, и количество полученной энергии также удвоится. То же самое можно сформулировать и по-другому. Если вы разделите количество полученной энергии на количество массы, которая пошла на ее образование, то вы всегда получите одну и ту же постоянную величину, то есть константу.

А теперь выясним, какая размерность у этой константы. Чтобы получить эту константу, делим энергию на массу. Размерность энергии — ML^2/T^2, размерность массы — M. Если мы разделим ML^2/T^2 на M, получим L^2/T^2, то есть размерность *константы Эйнштейна*.

Зная, что размерность скорости L/T и что величина L^2/T^2 как раз равна квадрату L/T, определяем, что размерность константы Эйнштейна равна квадрату размерности скорости. Эйнштейн доказал, что величина скорости, которую надо возводить в квадрат, — это скорость света. Следовательно, если разделить величину энергии на величину массы, то получится скорость света. Теперь обозначим энергию *e*, массу как *m*, а скорость света как *c*, и тогда утверждение (соотношение, которое мы получили) можно представить как $e/m = c^2$. А теперь если вы преобразуете это выражение в соответствии с правилами алгебры, то полу-



Доказательство уравнения

чите всем известное уравнение Эйнштейна $e = mc^2$. (Обратите внимание, что символ *m* может обозначать как массу, так и метр. Такие совпадения в науке встречаются довольно часто и, конечно, вносят определенную путаницу. При подготовке этой книги я всячески старался избежать таких накладок, но в конце концов тоже попался в ловушку.)

Если мы используем систему *г-см-сек*, то скорость света будет у нас иметь размерность *см/сек* и будет равна 30 000 000 000 *см/сек*. Квадрат этой величины составляет 900 000 000 000 000 000 000 *см²/сек²*, так что видно, что константа Эйнштейна и в самом деле величина немаленькая.

Если мы умножим константу Эйнштейна на 1 грамм, то получим 900 000 000 000 000 000 000 *г см*^{2}/*сек*^{2}. А поскольку *г см*^{2}/*сек*^{2} равны 1 эргу (*эрг*), мы можем сказать, что согласно уравнению Эйнштейна

1 *г* = 900 000 000 000 000 000 000 *эрг*.

Трудно поверить в то, что можно получить 9 биллионов эргов энергии всего из 1 грамма вещества, но у нас есть неопровержимое и чудовищное доказательство этого факта — водородная бомба. Ее действие — результат превращения определенного количества массы в энергию, и оно доказывает правильность теории Эйнштейна.

Используя систему *кг-м-сек*, мы должны выражать скорость света в м/сек, то есть скорость света будет равна 300 000 000 м/сек. Тогда квадрат скорости света равен 90 000 000 000 000 000 м^2/сек^2. Умножим эту величину на 1 килограмм и получим 90 000 000 000 000 000 кг^2/сек^2. Эта единица эквивалентна джоулю, поэтому

1 кг = 90 000 000 000 000 000 дж.

Поскольку 1 киловатт-час равен 3 600 000 джоулей, 1 килограмм массы эквивалентен 90 000 000 000 000 000/3 600 000 киловатт-часов. Следовательно:

1 кг = 25 000 000 000 киловатт-часов

и, конечно,

1 г = 25 000 000 киловатт-часов.

Это означает, что если 1 грамм массы полностью превратится в энергию, то произведенной энергии будет достаточно для того, чтобы поддерживать горение 1000-ваттной лампочки в течение 25 000 000 часов, или около 2850 лет.

Теории Ньютона, Планка и Эйнштейна — основа теоретической физики. Теперь вы убедились в том, что даже на горных высотах научной мысли очень важно и полезно правильно использовать единицы измерения — так же важно, как и в древние времена, когда крестьянин определял границы своих владений.

СОДЕРЖАНИЕ

Научно-популярное издание

Айзек Азимов

МИР ИЗМЕРЕНИЙ

От локтей и ярдов к эргам и квантам

Ответственный редактор *Ю.И. Шенгелая*

Художественный редактор *И.А. Озеров*

Технический редактор *Н.В. Травкина*

Корректор *Т.В. Вышегородцева*

Подписано в печать с готовых диапозитивов 30.01.2003.
Формат $76\times90^1/_{32}$. Бумага офсетная. Гарнитура «Петербург»
Печать офсетная. Усл. печ. л. 8,82. Уч.-изд. л. 7,76.
Тираж 7 000 экз. Заказ № 613

ЗАО «Центрполиграф»
125047, Москва, Оружейный пер., д. 15, стр. 1,
пом. ТАРП ЦАО

Для писем:
111024, Москва, 1-я ул. Энтузиастов, 15
E-MAIL: CNPOL@DOL.RU

ООО Издательство «Внешторгпресс»
103051, Москва, ул. Трубная, 24, корп. 3

Отпечатано с готовых диапозитивов
в ФГУП ИПК «Ульяновский Дом печати»
432980, г. Ульяновск, ул. Гончарова, 14

Оцифровка - Давид Титиевский, ноябрь 2016 г., Хайфа

Книга-почтой

Айзек Азимов
КРАТКАЯ ИСТОРИЯ БИОЛОГИИ

Знаменитый писатель-фантаст, ученый с мировым именем, великий популяризатор науки, автор около 500 научно-популярных, фантастических, детективных, исторических и юмористических изданий приглашает вас в увлекательное путешествие по просторам науки о живой природе, географии, истории, языкознанию.

В книге повествуется о сложном пути развития биологии со времен глубокой древности до наших дней. Вы узнаете о врачах и философах античности, о монахах и алхимиках Средневековья, о физиках, геологах и палеонтологах века Просвещения, о современных ученых, внесших огромный вклад в науку, которая стала родоначальницей многих суперсовременных научных направлений. В книге также много интересных и остроумных историй об иллюзиях и суевериях, открытиях и феноменах, гипотезах и перспективах сложной науки биологии.

Книги А. Азимова — это оригинальное сочетание научной достоверности, яркой образности, мастерского изложения.

Также вышли в свет:

Занимательная мифология
Ближний Восток
Краткая история химии

Твердый переплет,
формат 104×186 мм, объем 208—336 с.

ЦЕНТРПОЛИГРАФ

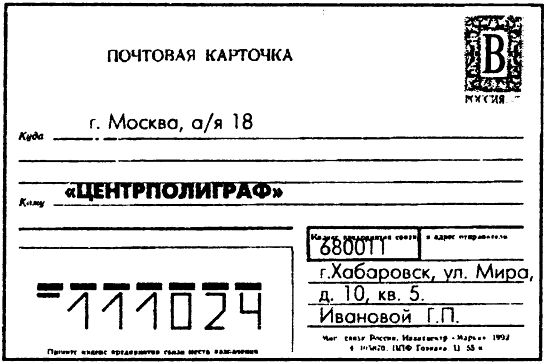
Книга-почтой

Если Вы желаете приобрести книги издательства «Центрполиграф» без торговой наценки, то можете воспользоваться услугами отдела «Книга-почтой»

Все книги будут рассылаться наложенным платежом без предварительной оплаты. Заказы принимаются на отдельные книги, а также на целые серии, выпускаемые нашим издательством. В последнем случае Вы будете регулярно получать по 2 новых книги выбранной серии в месяц.

Для этого Вам нужно только заполнить почтовую карточку по образцу и отправить по адресу:

111024, Москва, а/я 18, «Центрполиграф»


ПОЧТОВАЯ КАРТОЧКА

Куда г. Москва, а/я 18

Кому **«ЦЕНТРПОЛИГРАФ»**

111024

680011

г.Хабаровск, ул. Мира, д. 10, кв. 5.

Ивановой Г.П.

На обратной стороне открытки необходимо указать, какую книгу Вы хотели бы получить или на какую из серий хотели бы подписаться. Укажите также требуемое количество экземпляров каждого названия.

Стоимость пересылки почтового перевода наложенного платежа оплачивается отделению связи и составляет 10—20% от стоимости заказа.

Книги оплачиваются при получении на почте.

К сожалению, издательство не может долго удерживать объявленные цены по не зависящим от него причинам, в связи с общей ситуацией в стране. Надеемся на Ваше понимание.

МЫ РАДЫ ВАШИМ ЗАКАЗАМ!

Айзек Азимов

МИР ИЗМЕРЕНИЙ

Знаменитый писатель-фантаст, ученый с мировым именем, великий популяризатор науки, автор около 500 научно-популярных, фантастических, детективных, исторических и юмористических изданий приглашает вас в увлекательное историческое путешествие к истокам точных наук.

С развитием науки и техники значение единиц измерений неуклонно росло. В этой книге рассказано о пути их развития со времен глубокой древности до наших дней. Человек, как считали древние, сам является мерой всех вещей. Но чтобы создать в мире порядок, людям пришлось все измерить. Первыми единицами измерения стали пальцы, локти и ступни. Вы узнаете, почему фут равен величине ступни Карла Великого, а единицы измерения в Британии и Америке отличаются от европейской системы, в основу которой положен метр. Сможете разобраться с переводом одних единиц измерений в другие. Поймете всю важность значения единых стандартов, без которых наша цивилизация не смогла бы существовать. Разберетесь с тонкой материей взаимоотношений различных единиц веса, объема и массы. Оцените огромное значение тех знаний, которым мы обязаны Эйнштейну, Планку и другим современным ученым.

Книги А. Азимова – это оригинальное сочетание научной достоверности, яркой образности, мастерского изложения.

ISBN 5-9524-0346-8
9 785952 403468

ЦЕНТРПОЛИГРАФ