

Крис Вудфорд



# АТОМЫ

*у нас дома*

Удивительная наука  
за повседневными  
вещами

Купить книгу на сайте [kniga.biz.ua](http://kniga.biz.ua) >>>

# ОГЛАВЛЕНИЕ

---

<b>ВВЕДЕНИЕ</b>	7
<b>ГЛАВА 1.</b> Прочные основания .....	10
<b>ГЛАВА 2.</b> Вверх и вниз по лестнице .....	27
<b>ГЛАВА 3.</b> Супергерои .....	45
<b>ГЛАВА 4.</b> Красота велосипедов .....	59
<b>ГЛАВА 5.</b> Сумасшествие вокруг машин .....	73
<b>ГЛАВА 6.</b> Липкое дело .....	86
<b>ГЛАВА 7.</b> Внутренняя история .....	98
<b>ГЛАВА 8.</b> Это удивительное стекло .....	113
<b>ГЛАВА 9.</b> Продавленные диваны, скрипящие полы .....	128
<b>ГЛАВА 10.</b> Как прекрасен этот свет .....	143
<b>ГЛАВА 11.</b> Радио «Туфта» .....	158
<b>ГЛАВА 12.</b> Цифровая жизнь .....	173
<b>ГЛАВА 13.</b> Из жары в холод .....	189
<b>ГЛАВА 14.</b> Километры еды .....	208
<b>ГЛАВА 15.</b> Как всё в мире перемешано .....	224

<b>ГЛАВА 16.</b> Вода, кругом вода .....	237
<b>ГЛАВА 17.</b> Игры в пятнашки .....	252
<b>ГЛАВА 18.</b> Как одеваться, чтобы произвести впечатление .....	265
<b>ПРИМЕЧАНИЯ</b> .....	280
<b>ЧТО ЕЩЕ ПОЧИТАТЬ</b> .....	313
<b>БЛАГОДАРНОСТИ</b> .....	316
<b>ОБ АВТОРЕ</b> .....	317

## ВВЕДЕНИЕ

---

Как вы считаете, много ли у вас общего с великим ученым Альбертом Эйнштейном — родившимся в Германии гением, автором идей, достойных Флэша Гордона\*, среди которых — атомная бомба и солнечная энергия? Скорее всего, вы с ходу ответите: «Нет, немного». А я вас удивлю. Ваша ДНК на 99,9% совпадает с ДНК Эйнштейна (а еще на 90% с ДНК шимпанзе и на 50% с ДНК банана, но эти не слишком приятные подробности можно не учитывать). Вы не навидели школу? Эйнштейн тоже. Он был очень способным учеником, но бросил школу в выпускном классе — правда, через год продолжил обучение в техническом училище. Вы проваливались на важных экзаменах? И Эйнштейн провалился на вступительных экзаменах в Цюрихский политехнический институт, хотя проявлял блестящие таланты в математике и физике. Он снова вынужден был отложить обучение. Вам было трудно получить желанную работу? Эйнштейн бы вам посочувствовал: по окончании института он безуспешно отправлял заявления на разные преподавательские и научные должности, даже хотел стать страховым агентом, чтобы

---

\* Флэш Гордон — вымышленный персонаж одноименного научно-фантастического комикса, впервые появившийся в «Стрипе» 7 января 1934 года. Создан художником Алексом Рэймондом. Позже о данном персонаже на основе комиксовых историй был создан ряд теле- и мультсериалов, полнометражных фильмов и мультиков, романов, радиоспектаклей и компьютерных игр. *Прим. перев.*

содержать семью, и в конце концов получил скучнейшую работу в патентном бюро. Один из самых выдающихся и неординарных учёных XX века во многом был таким же неудачником, как и мы с вами<sup>1</sup>.

Мы восхищаемся Эйнштейном не потому, что он безмерно талантлив, а потому, что он гений с присущими человеку недостатками. Он был достаточно умен, чтобы знать *всё*, и в то же время достаточно мудр для того, чтобы *не знать ничего*. Благодаря его неровным и равнанным каракулям на доске человек проник в миры материи, энергии, света и гравитации — узнал фундаментальные научные концепции, которые стали частью удивительной теории относительности, показавшей эластичность времени и пространства. При этом Эйнштейн понял, что наука — это, по существу, просто другой взгляд на мир, а научные идеи, оторванные от радостей и горестей повседневной жизни, мало что значат для большинства из нас. «Сила притяжения, — мудро сказал он однажды, — никак не связана с тем, что нас притягивает к себе любовь».

Наука была для Эйнштейна всей жизнью. Но она, скорее всего, не стала таковой для вас. Вы можете прожить и три, и десять лет, ни разу не задумавшись о ней. Но вы не проживете и долю секунды без *использования* науки. Она обеспечивает появление новых технологий — от интернета до теплосберегающих окон, от сканирования мозга до ультразвукового исследования плода, — которые делают нашу жизнь всё более осмысленной и совершенной. Бытовые явления часто ставят нас в тупик, хотя каждый из нас много лет изучал разные науки в школе. Последние опросы показывают, что 80–90% респондентов «испытывают к науке интерес» и признают ее важность. При этом 30–60% считают современную науку слишком узкоспециализированной и непонятной, а две трети 14-летних подростков — «неинтересной». Мы путаем понятия озонового слоя и глобальных климатических изменений. Мы думаем, что атомная энергия гораздо более опасна, чем переход через улицу. 70% из нас полагают, что СМИ раздувают из науки сенсацию на ровном месте, но 86% людей черпают информацию о ее развитии как раз из этих ненадежных источников<sup>2</sup>.

Цель этой книги как раз в том, чтобы помочь читателю правильно понять окружающий мир, объяснив научные явления в жизни интересным и доступным языком. Пропутешествовав с ней по своему

дому, вы найдете удивительные и увлекательные научные объяснения тому, с чем вы сталкиваетесь каждый день: от булькающих труб и скрипящих полов до заварного крема и блестящих ботинок.

Сделаю важную оговорку. Эта книга — не для ученых, поэтому я использовал минимум детальных пояснений, формул и чертежей. По возможности я избегал математики. Вы найдете в тексте много ссылок на пояснения в разделе «Примечания».

Почему упасть с переносной лестницы так же опасно, как попасть в зубы крокодила? Как лучше строить небоскребы — как желеобразные подвижные структуры или как пирамиду из шоколадного печенья? Сколько атомов нужно расщепить, чтобы зажечь электрическую лампочку? Правильно ли с научной точки зрения вы размешиваете чай? В ответах на эти вопросы нет ничего сверхсложного или озадачивающего; в конце концов, это же не ракетостроение (даже если именно ракетами вы и интересуетесь). В книге мало математики, и вам не будет слишком трудно или скучно. Чтобы понять, о чем здесь идет речь, не обязательно быть Эйнштейном.

Я тоже не Эйнштейн, но читал некоторые из его оригинальных работ и в удивлении почесывал голову над его изящными уравнениями. На мой взгляд, одна из самых глубоких и искренних его мыслей была высказана в одном простом предложении, которое может понять каждый: «Вся наука является не чем иным, как усовершенствованием повседневного мышления». О последнем и пойдет речь в этой книге. Если угодно, это наука для всех нас.

# ГЛАВА 1

---

## ПРОЧНЫЕ ОСНОВАНИЯ

*Из этой главы вы узнаете...*

*Сколько весит дом — и почему он не уходит под землю.*

*Почему ваши коленки работают почти столько же, сколько фундамент дома.*

*Какой высоты могут быть здания — и почему они падают.*

*Почему небоскребы должны колыхаться, как желе.*

Есть много дел, которые подвластны только человеку: написание романов, создание живописных портретов, молниеносное касание клавиш фортепиано при исполнении сонат Бетховена. Но строительство не относится к уникальным человеческим дарованиям. Никто не отрицает, что архитекторы создают одни из самых заметных продуктов человеческой деятельности. Но суть их искусства — проектирование укрытий для человека, которые не может разрушить сила земного тяготения, — близко к тому, что делают и другие представители животного мира. Строительством укрытий — от снежных берлог медведя-гризли до сложных плотин, возводимых бобрами для регулирования скорости водных потоков, — занимаются почти все виды животных на Земле.

Что отличает человека от других строителей? Мы создаем небоскребы 400 м высотой и ангары для сборки гигантских ракет. Человечество гордится каменными пирамидами, которые молчаливо и величественно стоят вот уже 5000 лет. Каждый из нас хоть раз пытался построить карточный домик, который рассыпался за несколько секунд.

Мы построили офисные здания, в каждом из которых 50 000 человек одновременно могут стучать по клавишам компьютера или обмениваться шутками у диспенсера с водой. И у нас есть мобильные телефоны, достаточно миниатюрные, но таящие в себе большие секреты. И всё же, несмотря на творческие хитрости и оригинальность наших архитектурных творений, которые мы так тщательно проектируем и возводим, по сути они принципиально не отличаются от убежищ, которые строят для себя животные из веток и глины. Дело в том, что все здания — это убежища; а все убежища — как человека, так и животных — имеют нечто общее: строители применяют фундаментальные научные законы, чтобы побеждать в борьбе с силой земного тяготения, ветром, землетрясениями и старением.

## НАДЕЖЕН, КАК ДОМ?

Возможно, вы не доверяете каждому встречному. Но вы почти всегда убеждены в прочности любого здания, в которое входите. Крайне редко вас посещает мысль: «А оно не развалится?» Люди внушают доверие *иногда*, а здания — всегда. Немногие из нас живут дольше 90 лет, но многие из существующих в мире архитектурных объектов стоят в 100 раз дольше. Мы говорим: «Надежен, как дом», — веря, что мало что на Земле может быть надежнее. Вочных кошмарах нас часто посещают видения о том, как мы куда-то падаем. Но, если вы не живете на скользком склоне горы или в особо опасной сейсмической зоне в Тихом океане, вы имеет огромный шанс проснуться — благодаря вашему замечательному дому — именно там, где вчера пожелали спокойной ночи своим близким.

Наша уверенность в прочности зданий может быть твердой, как сталь. И в ее основе лежат впечатляющие научные законы и открытия. Но внешне незыблемая природа наших домов, офисных центров и других сооружений порой весьма обманчива. За нашей уверенностью в их устойчивости стоит реальная действительность: они ведут невидимую, но постоянную войну с силами гравитации, давления ветра и сотрясений почвы. Кажущиеся устойчивыми

здания пребывают в состоянии постоянно меняющегося равновесия. В большинстве случаев оно выглядит как взаимная компенсация противоположными силами друг друга. Здания никуда не двигаются (ни быстро, ни медленно), потому что силы, пытающиеся их опрокинуть, и силы, удерживающие их в одном положении, находятся в состоянии абсолютного равновесия. И на самом деле трудностей тут гораздо больше, чем нам кажется. Они проявляются внешне только в тех редких случаях, когда гигантские сооружения внезапно падают. Многие ли из нас хотя бы когда-нибудь давали себе труд, несясь на лифте в офисном конгломерате, представить себе хотя бы на секунду все миллионы тонн стали, бетона и стекла, которые нависают над нашими головами, и то, что может произойти, если они в какой-то момент свалятся на нас? Тот факт, что здания разрушаются редко, лишний раз доказывает оправданность нашей веры в науку.

## НАСКОЛЬКО НАПРЯЖЕННО ТРУДЯТСЯ ЗДАНИЯ?

По научному определению сила — механическое воздействие на предмет, заставляющее его двигаться в определенном направлении. Удар ногой по мячу, переноска мешка с картошкой в багажник автомобиля, откусывание куска шоколадки и забивание гвоздей в стену — типичные примеры применения силы в быту. Сила, которая доминирует в нашей жизни и которая никому из нас не удается избежать, — это сила гравитации, в нашем случае — земного притяжения. Это сила, с которой притягивает к себе Земля, имеющая массу  $6\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000$  кг (6 септиллионов килограммов), всё, что находится поблизости от нее. Сила гравитации создает вес — нашу повседневную весомость, которую мы умудряемся почти не замечать, если не озабочены проблемами похудения. Если вы типичный взрослый мужчина, масса вашего тела должна быть где-то в пределах 75 кг. Вы ее даже не замечаете — разве что если представите себе, как носите ее в руках целый день. Вы бегаете

вверх и вниз по ступенькам или трусцой, прыгаете, танцуете зажигательную латиноамериканскую сальсу, по сути держа 75-кг пачку сахара на своих коленях.

Звучит пугающе, пока вы не возьмете карандаш и не произведете кое-какие подсчеты. Конечно, толщина коленей важна: пара крепких стволов деревьев будет держать ваш вес лучше, чем два карандаша. Я только что обмерил свои колени и выяснил, что окружность каждого составляет 22 см. Соответственно, площадь одной моей коленки (если представить ее себе в виде круга после мысленного сканирования моей ноги) составляет где-то порядка  $40 \text{ см}^2$ . Для удобства отвлечемся от реального строения человеческого тела — тканей, костей и того, как это всё подарочно упаковано в кожу, — и представим себе, что наши ноги — массивные стержни вроде стволов деревьев. Если я вешу 75 кг, то давление на обе мои ноги будет равно силе, давящей на них, деленной на площадь, на которую воздействует эта сила. Это примерно равно атмосферному давлению (давлению воздуха на всё, что нас окружает). Выходит около 1 кг на  $1 \text{ см}^2$ , и это примерно половина обычного давления в шинах автомобиля. Или, более наглядно, 7 кг сахарного песка на площадь почтовой марки (когда в следующий раз вы увидите кого-то, хромающего на распухших коленках, то поймете причину). Понятно, что нагрузка на каждую мою коленку — только половина моего веса, и это не так уж плохо. Всё зависит и от того, на чём я стою. Стопа за счет своего размера распределяет этот вес на большую площадь и снижает давление нашего тела на то, что лежит под нами. Асфальт или бетон легко выдерживают вес человека. Мягкий снег или мокрый песок на берегу могут просесть на несколько сантиметров, и на нем останутся наши следы, на которые так весело оглядываться. Зато в грязь или мягкий грунт наши ноги сразу провалятся по щиколотку.

## **ЧТО МОЖНО СРАВНИТЬ СО ЗДАНИЕМ?**

У домов, конечно, коленей нет: весь вес здания и всего, что внутри, не поконится на двух относительно тонких колоннах в его основании. Большинство домов (и сооружений в целом) возводятся как прямые конструкции, перпендикулярные плоскости земли, поэтому чаще

всего в разрезе они имеют примерно одинаковую площадь по всей высоте. Небоскребам вроде Эмпайр-стейт-билдинг часто для пущей устойчивости придают конусообразную форму: основания шире последующих этажей, и всё здание сужается кверху. Как можно сравнить приведенные выше показатели с показателями Эмпайр-стейт-билдинг? Вы можете ожидать, что это 102-этажное здание высотой 380 м с колоссальной силой воздействует на свое основание. Так и есть.

Но, как и в случае с нашим телом, главное здесь — не сила, а *давление*, определяемое площадью, на которую воздействует эта сила. Площадь основания Эмпайр-стейт-билдинг составляет примерно 8000 м<sup>2</sup>, а общая масса здания оценивается в 330 000 т. Столько же весят 4,5 млн человек, или население всего города Калькутта в Индии<sup>3</sup>. Что примечательно, благодаря большой площади пятна застройки этот вес оказывает на почву давление всего лишь в четыре раза больше атмосферного<sup>4</sup>. Конечно, здесь необходимо внести корректировки: здание, как правило, не является монолитным блоком, стоящим на основании. В простейшем случае это некоторые объемы или пустоты, которые покоятся на опорах, установленных по периметру фундамента. Но давайте не углубляться в технические детали того, что поддерживает здание. Допустим, что 10% его «отпечатка» на земле — это стены, а остальное — пустое пространство. Тогда показатель давления здания на землю нужно увеличить примерно в 10 раз, и он составит приблизительно 40 атмосфер<sup>5</sup>. Звучит очень солидно. Неудивительно, поскольку мы говорим об одном из самых больших, высоких и тяжелых зданий в мире.

Попробуем теперь понять, какое давление на землю оказывает обычный жилой дом. Нам, конечно, необходимо знать, сколько он весит, но вычислить это не так-то легко. Пролистывая архивные подшивки журнала «Популярная механика» (Popular Mechanics), я нашел статью за 1956 год, в которой масса среднего жилого дома оценивалась в 122 т<sup>6</sup>. Несколько лет назад колумнист газеты Seattle Times Дэррел Хэй оценил массу типичного американского жилого дома в 160 т<sup>7</sup>. Сделаем допущение в большую сторону и будем считать, что масса такого дома составляет 200 т, если прибавить и весь тот хлам, который будет находиться внутри. Это солидно. Взрослый слон весит 5–7 т, так что речь примерно о 30–40 слонах, которые расплющивают ваш дом.

Если площадь его застройки представляет собой квадрат со стороной в 10 м и, как и раньше, мы предположим, что основную часть нагрузки несут стены, мы вычислим, что дом давит на участок под ним с силой, равной примерно двукратному атмосферному давлению — или вдвое больше веса, который должны выдерживать ваши ноги. Так что, как ни удивительно, ваши хилые коленки испытывают на себе давление вдвое меньшее, чем стены дома.

## ПОЧЕМУ ДОМА НЕ УХОДЯТ ПОД ЗЕМЛЮ?

Это вопрос из разряда тех, которыми дети всё время донимают взрослых. Как ни странно, многие из нас вполне довольны своим ответом вроде «потому что у дома есть фундамент». Но очень часто он не помогает отделаться от любознательного семилетнего мальчугана, который, скорее всего, задаст следующий вопрос: «А почему тогда не уходят под землю фундаменты?» Тот факт, что в абсолютном большинстве случаев дома остаются стоять именно там, где их построили, показывает нам нечто очень важное с точки зрения взаимодействия действующих на них сил: эти силы бывают двух видов. Есть **статические** (которые объясняют неподвижность домов и сооружений) и **динамические** (которые объясняют, почему скейтборды и ракеты движутся). А правильно понял законы их взаимодействия мрачноватый английский математик с переменчивым характером, чье имя слышал всякий и которого многие считают величайшим ученым в истории человечества: сэр Исаак Ньютон.

### ЭТО ЗАКОН ПРИРОДЫ!

Из всех идей, которыми Ньютон обогатил современную физику, лучшие и гениальные касаются взаимодействия различных сил. А самые простые и фундаментальные изложены в трех уравнениях,

которые называются законами движения. Первая из них (она же первый закон Ньютона) утверждает, что объект находится в состоянии покоя до тех пор, пока на него не начнет действовать какая-то сила. Этот закон следует помнить, когда вы забываете, куда положили ключи от машины или очки: вещи сами по себе не двигаются. Второй закон Ньютона рассказывает, что происходит с объектами, когда к ним прикладывается сила, заставляющая их двигаться. Вы бьете ногой по мячу (прикладываете к нему силу), и он взмывает в воздух, приобретая ускорение. Третий закон во многих смыслах самый интересный. Он гласит, что, когда на объект действует какая-нибудь сила, ей противодействует точно такая же по величине сила. Часто этот закон записывается в такой форме: «Все тела действуют друг на друга с силами, равными по модулю и противоположными по направлению»<sup>8</sup>.

Как это применимо к зданиям? В случае небоскреба, который высится всей своей громадой в центре города и никуда не двигается, первый и второй законы Ньютона позволяют сделать вывод, что на него не воздействуют никакие силы. Первый закон гласит, что на тела в состоянии покоя никакие силы не действуют. Второй утверждает, что тело начинает двигаться только под действием каких-то сил. Вместе оба закона позволяют сделать вывод, что небоскреб остается в состоянии покоя, потому что на него не действуют никакие силы. Но мы знаем, что гравитация — сила земного притяжения — существует на здание постоянно. Если Ньютон был прав, то мы можем сказать, что все здания должны были бы под воздействием гравитации всё время «вгрызаться» в Землю. Хотя бы до того времени, пока их не растопит в кипящий суп чудовищный жар ядра нашей планеты.

Так почему этого не случается? Когда сила земного тяготения действует на тело строго вертикально вниз, земля с такой же силой противодействия выталкивает здание вверх. Две силы компенсируют друг друга, и здание никуда не двигается. Почему же его фундамент не уходит в землю? Потому что земля выталкивает его наверх. Даже самые высокие и тяжелые небоскребы редко дают усадку сверх допустимой. Многие из них покоятся на сваях, забитых глубоко в грунт. Эти сваи обычно либо достигают прочных скальных слоев, либодерживаются на месте за счет высокой силы трения между их поверхностью и грунтом. Движение возникает только тогда, когда противоположные силы перестают компенсировать друг

друга. Если здание начинает «плыть» в мягком грунте, то, с точки зрения физики, объясняется это тем, что он не создает достаточной противодействующей силы, которая удерживала бы здание от ухода под землю. Излишек силы, которая действует по направлению вниз (разница между весом здания и выталкивающей его вверх силой), и создает то движение, которое обеспечивает «усадку».

## ОТКУДА ПОЯВЛЯЮТСЯ ЭТИ СИЛЫ?

Если фундаменты не предотвращают падение зданий, откуда берутся силы, которые не дают им уйти под землю? Всё в мире построено из примерно 100 разных видов атомов — кирпичиков конструктора жизни, которые мы знаем как химические элементы (например, железо, серебро, углерод и кислород). Группы атомов составляют более крупные структуры, называемые молекулами: например, два атома водорода и один атом кислорода образуют молекулу воды ( $H_2O$ ). Большинство сил, с которыми мы встречаемся каждый день, возникают между атомами, внутри молекул или между молекулами. Об атомах и молекулах будет больше рассказано в следующих главах, а сейчас вкратце рассмотрим, как они могут создавать силы внутри зданий.

### КАК АТОМЫ ПРОТИВОДЕЙСТВУЮТ АТАКЕ

Представьте себе, что вы строите дом на огромном куске железа. Он состоит из атомов железа, выстроенных в очень жесткую структуру, подобную той, которая получилась бы, если бы мы плотно подгнали сотни мраморных шариков один к одному в коробке. Каждый атом похож на шарик. Внутри него обычно заключено пустое пространство, но, как в большинстве сладостей, самое интересное начинается ближе к центру. На границах атомов есть «мягкие» облака электронов с отрицательным электрическим зарядом (как нижний конец батарейки). В центре атома расположено ядро, состоящее из очень плотно взаимосвязанных протонов и нейтронов и имеющее

положительный заряд (как верх батарейки). Отрицательно и положительно заряженные части атомов не дают им слишком близко подойти друг к другу. Вы не можете сколь-нибудь заметно сжать кусок железа, потому что отрицательно заряженное электронное облако одного атома не может существовать вблизи такого же облака другого атома. Атомы взаимно отталкиваются друг от друга, как однотипно заряженные полюса магнита. Чем ближе вы придвигаете атомы друг к другу, тем труднее их сжать.

### АТОМЫ ПОД ВАШИМИ НОГАМИ

Если вы построите дом на огромной железной плите, то немного сближите его атомы друг с другом, но лишь настолько, насколько они позволяют. В этот момент вес вашего дома, давящий вниз, будет компенсирован противоположной силой, которая возникает между атомами и действует по направлению вверх. Мы обычно не строим дома на железных плитах, но тот же принцип действует и в случаях скального грунта, почвы и других жестких оснований. Вы можете уплотнить почву, поскольку она состоит из частиц, между которыми есть небольшие «карманчики» воздуха. Вы можете сжать песок, потому что «цепкие» песчинки способны двигаться друг относительно друга. Однако настанет момент, когда земля будет максимально уплотнена и «сжать» ее еще больше не получится. Дальнейшие попытки уплотнить ее — сизифов труд. Другие виды сил (имеющие отношение к электричеству, магнетизму или ядерной энергии) тоже возникают внутри атомов.

**▲ Четыре способа, которыми атомы помогают удерживать здание от разрушения.** 1. Атомы в фундаменте отталкиваются от атомов в почве или скальном грунте. 2. Атомы в фундаменте по периметру здания сопротивляются «скольжению» мимо атомов почвы. Дом как будто «подвисает» в почве благодаря силе трения. 3. Верхняя часть поперечных балок слегка сжимается под весом, который на нее воздействует, но атомы внутри нее сопротивляются излишнему сближению. 4. Нижняя часть поперечных балок несколько выгибается от напряжения, но прочные атомные связи внутри них не позволяют им слишком отдаляться друг от друга.

Каждый материал сжимается под действием сил на него, даже если сжатие микроскопическое и сопоставимо с диаметрами нескольких атомов. Интересно, что высотное офисное здание в центре города выше на микроскопическую величину ночью, когда оно пустое, чем днем, когда в нем находятся тысячи людей, вес которых добавляется к весу здания и вместе с ней давит вниз на основание. Насколько короче может быть здание днем? Для обычного небоскреба около 400 м высотой с примерно 50 000 людей внутри сжатие может составить порядка 1,5 мм<sup>9</sup>.

## *Почему разрушаются дома?*

Прочное основание крепко поддерживает ваш дом, но не всегда обеспечивает его полную устойчивость. Представьте себе простейший дом, который вы можете построить: из уложенных друг на друга камней или плотно утрамбованного песка на пляже. На этих примерах легко увидеть, как различные силы удерживают вместе разные вещи. Обычный дом — целый набор материалов, каждый из которых обладает собственным весом в результате гравитации — силы, которая действует на него вертикально вниз. Иными словами, дом в основном стоит за счет сил **сжатия**, которые вжимают стены в землю, а атомы земли выталкивают сооружение вверх.

В доме не могут быть одни только стены. Между ними много связующих элементов: балок, полов, обрешетки крыши и т. д. Все эти горизонтальные структуры испытывают **напряжение** (под которым их нижние части выгибаются) и сжатие (под которым их верхние части сгибаются) и передают свой вес и другую нагрузку на стены, придавая дому большую жесткость. Многие здания и сооружения стоят десятилетиями и даже столетиями, потому что применяемые при их строительстве материалы — дерево, камень и бетон — чрезвычайно прочны на сжатие. Это их свойство хорошо иллюстрируется конструкторами Lego, где используются плотно соединяемые пластиковые «кирпичики». Конструктор способен выдержать вес 375 000 таких кирпичиков, поставленных друг на друга. При этом высота конструкции может достичь 3,5 км.

С точки зрения понятий силы каждый маленький строительный блок Lego может выдержать давление массы в 350 кг (вес в примерно 3500 Н)\*, то есть вес 4–5 человек<sup>10</sup>. «Да, впечатляет», — подумаете вы, если только не наступили случайно на один из таких «кирпичиков» голой ногой, убирая конструктор за малышом.

### *Признаки слабости*

Здания падают по разным причинам, но в основе лежит одна: какой-то разрушительный фактор создает силу, большую, чем та, что связывает строение. Пожары так поражают конструкцию зданий потому, что огонь прежде всего разрушает деревянные несущие балки полов, обрешетку крыш и даже (при очень высоких температурах) стальные конструкции. Вес самих перекрытий и нагрузка, которую они несут, становится непосильной, и рушится прежде всего внутренняя конструкция здания. Внешние стены относительно редко разваливаются в результате пожаров, но сильно страдают от падающих вниз тяжелых фрагментов кровли. Часть несущей балки обычно падает первой и какое-то время свисает. Когда следом отрывается вторая часть, возникает эффект рычага, и балка с огромной силой разбивает стены здания.

Обычно первыми начинают рушиться крыши, но стены тоже могут оказаться слабыми местами. Когда сильный ветер налетает на дом, скатная крыша обычно позволяет ветру обтекать строение без особых последствий. Так же устроен обтекатель кабины у больших грузовиков. У небоскребов всё происходит несколько иначе: чем выше их парусность, тем большую преграду представляют они

\* В разговорном русском языке принято говорить, например, «Вася весит 75 кг», «лишний вес» и т. п., и в этой книге для простоты изложения часто используются те же конструкции. Хотя, если придерживаться строгой научной терминологии, речь все же идет о массе (то есть Васина масса составляет 75 кг). Вес же (если речь о теле, находящемся в состоянии покоя) — произведение массы на ускорение свободного падения ( $g$ ), на Земле равное  $9,81 \text{ м/с}^2$ . Для простоты расчетов в этой книге значение  $g$  округлено до 10. Иными словами, вес Васи, масса которого составляет 75 кг, будет равен  $750 \text{ кг} \times \text{м/с}^2$ , или 750 ньютонов (Н). *Прим. ред.*

для ветра и с тем большей силой он воздействует на них. Часть этого воздушного потока спускается вдоль стен к основанию здания и образует там мощные вихри, которые могут сбивать людей с ног; часть же ветра давит на здание с такой силой, что раскачивает его вперед и назад.

### *Унесенные ветром*

Обычно дома способны выдерживать сильнейшие порывы ветра. Но и они могут не устоять под давлением воздушных масс во время ураганов. Многие на Среднем Западе США, где ураганы — частое явление, убеждены, будто если во время урагана открывать окна дома, то давление снаружи и внутри сравняется и риск разрушения станет меньше. Это ошибка, основанная на неправильном логическом построении, и не имеет ничего общего с наукой. Если вы откроете в доме окна и он выстоит под ураганом, это не значит, что именно открытые окна спасли строение. Инженеры выяснили, что открытие окон в сильный ветер облегчает доступ турбулентных потоков с высоким давлением внутрь здания и может привести к срыву крыши (а тогда и стены скорее разрушатся)<sup>11</sup>.

При взрыве газа всё работает наоборот. Большинство из нас представляет себе картину взрыва по кинокадрам: большое облако пламени. Но пламя при взрыве возникает обычно случайно. Взрыв — одномоментная сильная химическая реакция, в результате которой за долю секунды высвобождаются огромные объемы горячих газов. Нитроглицерин, например, является таким опасным взрывчатым веществом, потому что легко превращает жидкость в газ, объем которого может в 3000 раз превышать исходный объем жидкости. Взрывчатка, которую часто используют террористы, генерирует поток горячих газов, движущихся со скоростью до 30 000 км/ч, то есть в 30 раз быстрее, чем обычно летает самолет Boeing-747. Когда в доме происходит взрыв бытового газа или бомбы, это похоже на то, как будто кто-то «хлопнул» огромный бумажный пакет с воздухом за долю секунды. Именно высвободившиеся при этом газы и уничтожают стены, а не высокая температура или пожар, которые возникают уже как последствия взрыва.

## КАК УРАВНИВАЮТСЯ РАЗЛИЧНЫЕ СИЛЫ?

Многие художественные галереи, библиотеки и другие общественные здания часто называют в честь людей, которые внесли наибольший вклад в их создание. А в метрической системе измерений присутствуют имена ученых, которые внесли заметный вклад в соответствующую область науки. Выдающийся вклад Исаака Ньютона в изучение сил, действующих в природе, отмечен так же. В современной науке многие силы измеряются в ньютонах (Н).

Как же понимается эта единица измерения? Известна история о том, что Ньютон создал закон притяжения, когда яблоко сорвалось с дерева и упало ему на голову (многие считают эту историю выдумкой). Если яблоко весит в среднем около 100 г, сила притяжения, действующая на нее, составляет около 1 Н. Если вспомнить то, что мы говорили выше о взаимной компенсации сил, то, положив яблоко на ладонь своей руки и удерживая его в таком положении, вы будете прилагать в направлении вверх силу в 1 Н.

Мы можем перевести массу в вес, умножив соответствующее значение на 10. Ведь Земля притягивает к себе любой объект весом 1 кг с силой в 10 Н. Если ваша масса составляет 75 кг, то сила земного притяжения, действующая на вас, составит 750 Н. Вроде всё просто. А как насчет других объектов, встречающихся нам в повседневной жизни? Если ваш дом имеет массу 200 т (200 000 кг), на него действует сила земного притяжения, равная 2 млн Н (2 меганьютонам). В табл. 1 для сравнения приведены и другие примеры.

**Таблица 1.** Сравнение сил. Силы — разнонаправленные внешние воздействия, которые заставляют объекты двигаться. Если они взаимно компенсируются, объект остается в состоянии покоя. В таблице приведены силы различных размеров

Источник силы	Мера силы, Н
Вес яблока	1
Вес мешка сахара	10
Сила укуса человеческих зубов	≈ 50–100
Сила тяги двигателя микролитражки при обгоне	2000
Сила, необходимая для того, чтобы сломать человеческую кость	3000–5000
Сила укуса крокодила	16 000
Сила, возникающая при столкновении автомобиля с препятствием	50 000
Сила, движущая обычный пассажирский самолет (четырехмоторный)	300 000
Вес обычного дома с его содержимым	2 млн
Сила тяги космического челнока при старте	32,4 млн

## *Почему небоскребы не сдувают ветром?*

Если обычные дома пугают, потому что могут провалиться сквозь землю, то высотные здания создают другую причину для переживаний: а вдруг их может повалить ветер?

### *Крепкие ноги*

Небоскребы обычно поражают своей высотой. Если вас спросить, во сколько раз небоскреб выше своей ширины, что вы ответите? 10 раз? 15? 20? Еще больше? К удивлению большинства людей, оказывается, что высота даже самых высоких зданий редко превышает их ширину в основании более чем в семь раз.

Секрет небоскребов в том, что мы обычно не замечаем их «крепких ног». Эмпайр-стейт-билдинг имеет ширину в основании около 100 м и 380 м в высоту. Соотношение высоты к ширине составляет всего лишь 4 : 1. А у Эйфелевой башни это соотношение еще меньше — всего 2,4 : 1.

Ваше «основание» с расставленными на ширину плеч ногами обычно составляет 30–50 см, так что в качестве «небоскреба» вы в четыре-пять раз больше ширины в основании. За указанные выше пределы таких соотношений выходят очень немногие небоскребы. «Костлявый» жилой Хайклифф в Гонконге имеет удивительное соотношение 20 : 1. При таком показателе для удержания здания необходимо уже не только большое основание, но и особые инженерные решения.

### *Секреты городских ветров*

Удивительнее всего в небоскребах не то, что они остаются на месте, где их построили, а то, что они как раз «не стоят на одном месте». По причинам, о которых мы расскажем в главе 15, скорость перемещения воздушных масс стремительно увеличивается с ростом высоты. Так что здание, возвышающееся на 500 м и одновременно

достаточно широкое для того, чтобы быть устойчивым, представляет собой очень привлекательную цель для всех кружащих вокруг него ветров. Закрепленный намертво у земли, но подверженный воздействию мощных сил наверху (прежде всего силы ветра), которые давят на него горизонтально, небоскреб почти все время представляет собой гигантский рычаг. Достаточно сильный порыв ветра может разломать его пополам или вырвать с корнем, как дерево.

Казалось бы, из этого можно сделать вывод, что нам нужно строить здания, максимально устойчивые и жесткие к внешним воздействиям. Но оказывается, что колеблющееся высотное сооружение имеет гораздо больше шансов выжить. На интуитивном уровне вы можете понять это, если сравните эффект от колебаний желе на длинной палочке и вертикальной пирамиды из печенья. Как и желе, небоскребы спроектированы так, чтобы медленно колебаться под порывами ветров. «Башни-близнецы», например, были известны тем, что амплитуда колебательных движений в их верхней точке составляла целый метр, а «Тайбэй 101» (гораздо более новое и не такое известное высотное здание на Тайване) имеет в своей высшей точке колебания порядка 8 см<sup>12</sup>.

### *Использование в небоскребах противовесов*

Наиболее важен с точки зрения устойчивости небоскребов не столько сам предел их колебаний и их скорость. Небоскребы раскачиваются из стороны в сторону через определенные и предсказуемые промежутки времени. Высотное здание в Чикаго Башня Джона Хэнкока совершает одно колебание за 8,3 секунды (то есть колеблется с частотой в восемь раз меньшей частоты вращения секундной стрелки часов)<sup>13</sup>. Если колебания будут чаще, то у находящихся в здании людей может начаться морская болезнь. Небоскребы не падают, потому что ветер и подземные толчки заставляют их раскачиваться на манер маятников. По мере таких движений воздействующие на них силы исчезают, и небоскребы снова встают во весь свой «рост».

▲ Демпфирование (подавление) колебаний небоскреба на примере здания «Тайбэй 101». Огромный железный шар массой 660 т, который называется «инерционный демпфер», используется для придания устойчивости и противодействия силе ветра в небоскребе «Тайбэй 101». Шар динамично закреплен в верхней части строения с помощью гидравлических амортизаторов, работающих по принципу автомобильных. При сильных порывах ветра, ударяющих в здание слева или справа, тяжелый виброгаситель стремится прийти в исходное положение, отклоняясь на гигантских амортизаторах в сторону, противоположную наклону здания. Это позволяет компенсировать колебания здания, чтобы предотвратить приступы морской болезни у обитателей верхних этажей<sup>14</sup>.