

ПРЕДИСЛОВИЕ

Преподавание естественных наук в средней и старшей школе чаще всего преследует цель научить двум навыкам: «запоминания фактов» и «рассуждения», и я полагаю, что читатели уже ими владеют. Однако часто забывается, что обучение естественным наукам всего лишь закладывает необходимый фундамент профессии, и учащиеся часто запоминают лишь то, что необходимо для экзамена, результаты которого мало влияют на будущие достижения. Впрочем, усердная подготовка к экзаменам сама по себе наверняка пригодится при дальнейшем обучении, ведь сейчас в университетах готовят людей, которым придется работать еще с большим усердием, чем раньше. При этом важно не то, в какой университет вы поступите, а то, как вы распорядитесь полученными возможностями для образования. И мне бы хотелось, чтобы вы в процессе учебы ценили эти возможности и пытались взять все самое нужное.

Те из вас, кто выберут для обучения в университетах инженерно-физические специальности, связанные с проектированием, исследованием и расчетом машин и механизмов, должны быть готовы применять полученные на уроках физики знания ньютоновой механики в различных разделах физики (например, кинематика и динамика машин и механизмов, сопротивление материалов, гидродинамика, строительная механика, термодинамика). Все эти предметы развились благодаря математическим методам на основании ньютоновской механики. Даже в производстве расчеты, конструирование и изготовление продукта проводятся с постоянным использованием этих и многих других разделов механики. (В реальном производственном процессе вещи, которые нельзя рассчитать, отдаются на откуп конструктору или проектировщику. Конструктор же в будущем сможет логически обосновать свои инженерные решения при помощи компьютера.) Сопротивление материалов считается студентами одним из наиболее трудных для изучения разделов. Кажется, будто между физикой механической деформации и механикой Ньютона возведена огромная стена. Обычно студенты плохо разбираются в сопромате, но, делая корректуру этой книги, я был удивлен, как много вещей можно объяснить при помощи манги, и в то же время поразился простоте объяснений, перерисованных с помощью художника. Автор надеется, что благодаря веселому, заимствованному из манги сюжету читатели легко смогут понять даже такую скучную вещь, как сопромат, немного разобраться в механике и постичь ее суть.

Наконец, хотелось бы сердечно поблагодарить соавтора, профессора Нагасима Тосио, всех из отдела развития компании Ohmsha за помощь в дизайне и редактировании, а также за важное читательское мнение госпожу Савада Савако из Office Sava – за предложенный ей интересный сюжет и ответственность за издание манги, а также всех участников, начиная с Эммо Такэнава.

Суэмасу Хироси
Январь 2012

СОДЕРЖАНИЕ



ПРЕДИСЛОВИЕ	5
--------------------------	---

ГЛАВА 1

МЕХАНИКА ДЕФОРМАЦИИ ФИЗИЧЕСКИХ ТЕЛ	11
---	----

1. Силы, которые прикладывают к физическому телу.....	12
➔ Для чего нужны векторы? (Силы)	12
➔ Сила, которая действует вопреки (сила реакции)	15
➔ Крепко держимся (точка опоры).....	18
➔ 1 Н и 1 кгс – сколько это?.....	21
➔ Крутим туда-сюда (момент силы)	22
➔ Разговоры о качельках (основы момента).....	27
2. О равновесии сил, действующих на тело.....	29
➔ Немного порисуем (силовая диаграмма свободных тел)	29
➔ Одно уравновешивает другое (о силе и моменте силы)	32
➔ Трехмерность и степени свободы.....	37
3. Что можно сделать с палкой.....	39
➔ Представим ластик (сила и деформация)	39
➔ Давим (сила сжатия)	41
➔ Тянем-потянем (сила растяжения).....	42
➔ Крутим (изгибающий момент и сила сдвига).....	44
➔ Крутим (крутящий момент)	48

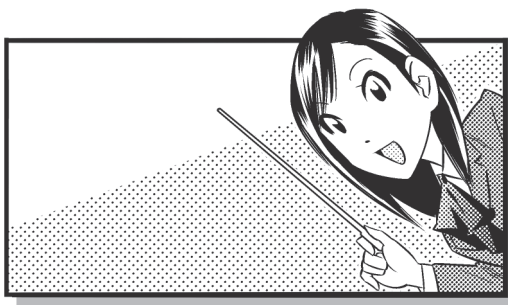
4. Приложение сил к телу и деформация.....	50
➔ Статические и нестатические задачи.....	50
➔ Деформации и конечные деформации.....	54
◆ Подробные расчеты (статически неопределимая задача)	58



ГЛАВА 2

МЕХАНИЧЕСКОЕ НАПРЯЖЕНИЕ 59

1. Силы, работающие внутри тела.....	60
➔ Взмах воображаемым ножиком (внутренняя сила и воображаемое сечение).....	60
2. Как проявляются внутренние силы?	66
➔ Что такое напряжение? (Механическое напряжение).....	66
➔ Смотрим на направление (напряжение растяжения, напряжение сжатия).....	70
➔ Напряжение, возникающее при сдвиге (сдвиговое напряжение).....	72
3. Откуда появляется напряжение	76
➔ Раскладываем вектор напряжения (нормальное напряжение и касательное напряжение).....	76
➔ Круги Мора	80
4. Напряжение разное в различных точках внутри тела	84
➔ Только не режь вдоль! (Как найти напряжение)	84
➔ Как выразить напряжение с помощью дельты?	85



ГЛАВА 3

О ДЕФОРМАЦИИ 89

1. Как подсчитать деформацию? 92
 - ➔ Что такое относительная деформация (относительная деформация) 92
 - ➔ Что бывает с длиной и диаметром при сжатии и растяжении (нормальная деформация) 96
 - ➔ Деформация формы (сдвиговая деформация) 99
2. Как рассчитать деформацию..... 102
 - ➔ Соотношение между кручением и сдвиговой деформацией..... 102
 - ➔ Изгиб и нормальная деформация 106

ГЛАВА 4

ПРЕДЕЛ ПРОЧНОСТИ

И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МАТЕРИАЛА 115

1. Пропорция силы и деформации..... 116
 - ➔ Вещи, которые не ломаются (механические свойства материала)..... 116
 - ➔ Перемещение и сила пропорциональны (закон Гука) 118
 - ➔ Нормальная деформация и нормальное напряжение (модуль Юнга)..... 120
 - ➔ Отношения сдвиговой деформации и сдвигового напряжения (модуль сдвига)..... 123
 - ➔ Как измерить свойства материалов 125
2. Предельная сила..... 127
 - ➔ Пределы (разрыв/разрушение)..... 127
 - ➔ Можно ли вернуться в прошлое или нет? (Упругость и пластичность) 129
 - ➔ Стандарты конструирования (текучесть и прочность) 132
3. Вязкие и хрупкие материалы 133
 - ➔ Эластичный, хрупкий? Пластичность и хрупкость 133



ГЛАВА 5

КАК РАССЧИТАТЬ НАПРЯЖЕНИЕ 137

1. Задачи на сжатие и растяжение стержня 140
 - ➔ Расчет удлинения и отношение между нагрузкой растяжения и нормальным напряжением 141
2. Задачи на кручение стержня 144
 - ➔ Расчет угла кручения и отношение между крутящим моментом и силой сдвига 145
 - ➔ Что такое $rdrd\theta$? [Как выразить элемент площади] 153
3. Задачи на изгиб 155
 - ➔ Расчет кривизны, связь между моментом изгиба и нормальным напряжением 156

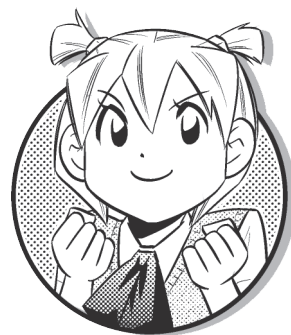
ГЛАВА 6

ПРИМЕНЕНИЕ СОПРОМАТА 169

1. Как сделать вещь, которая не сломается 172
 - ➔ Не поломаешь – не поймешь (процесс изготовления прочной вещи)..... 172
 - ➔ Напряжение в бруске с квадратным поперечным сечением 174
 - ➔ Плюхнуться на скамейку (сила удара) 178
 - ➔ Расчет толщины скамейки 182
2. Как важна устойчивость к деформации 190
 - ➔ Что такое жесткость? [Жесткость] 190
 - ➔ Как сделать материал жестче (потеря устойчивости) 192
3. Насколько безопасна конструкция? 196
 - ➔ Предвидеть невозможное [коэффициент запаса] 196
 - ➔ Как снизить вероятность аварии 201

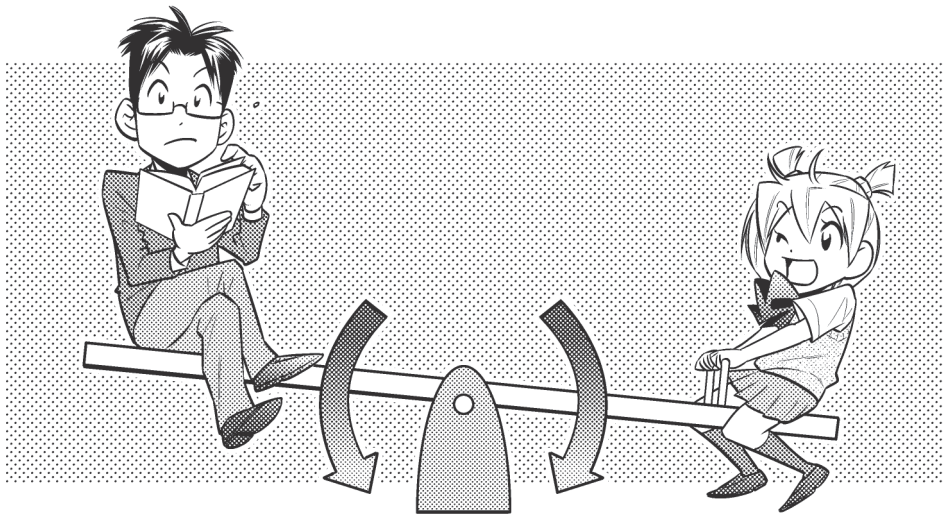


ПРИЛОЖЕНИЕ	213
◆ Буквы греческого алфавита	213
◆ Приставки в соответствии с системой СИ.....	214
◆ Значения моментов инерции сечения и моментов нагрузки для разных видов сечений.....	215
◆ Подробные расчеты (статически неопределенная задача для балки).....	216



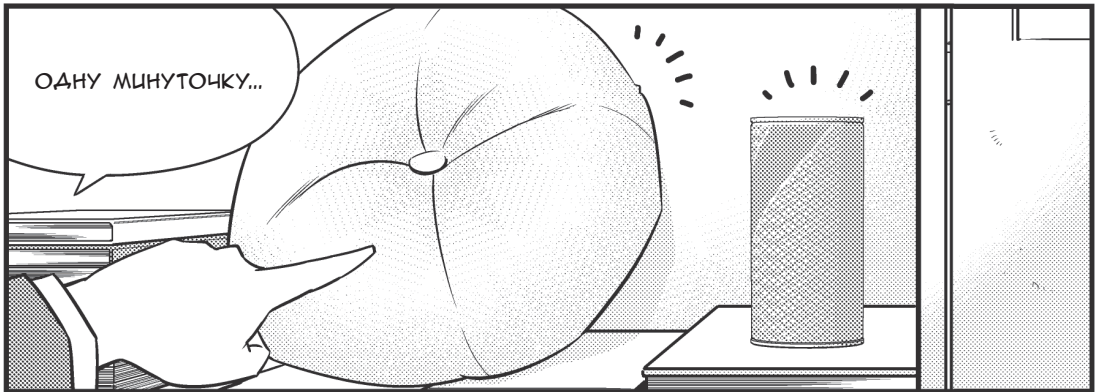
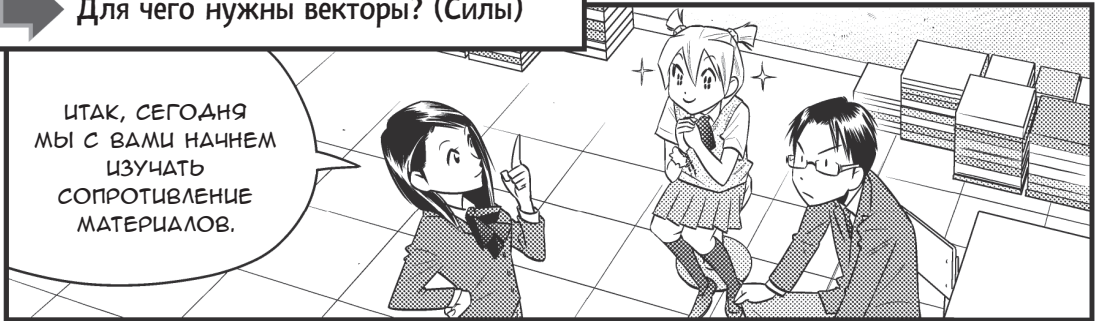
ГЛАВА 1

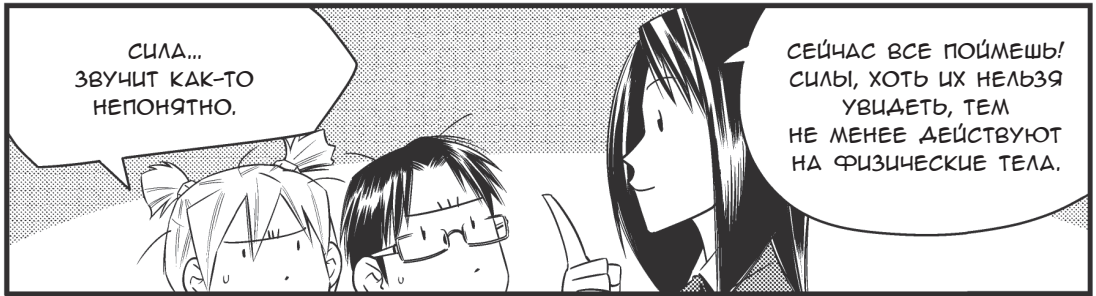
МЕХАНИКА ДЕФОРМАЦИИ ФИЗИЧЕСКИХ ТЕЛ



1. СИЛЫ, КОТОРЫЕ ПРИКЛАДЫВАЮТ К ФИЗИЧЕСКОМУ ТЕЛУ

➔ Для чего нужны векторы? (Силы)





СИЛА...
ЗВУЧИТ КАК-ТО
НЕПОНЯТНО.

СЕЙЧАС ВСЕ ПОЙМЕШЬ!
СИЛЫ, ХОТЬ ИХ НЕЛЬЗЯ
УВИДЕТЬ, ТЕМ
НЕ МЕНЕЕ ДЕЙСТВУЮТ
НА ФИЗИЧЕСКИЕ ТЕЛА.



СМОТРИ, КОГДА
Я ТЫКАЮ ПАЛЬЦЕМ
В ПОДУШКУ, ОНА
МЕНЯЕТ ФОРМУ ПОД
ДЕЙСТВИЕМ СИЛЫ.



А ТЕПЕРЬ, КОГДА
Я ТЫКАЮ ПАЛЬЦЕМ
В КОНСЕРВНУЮ БАНКУ
И ОНА ДВИГАЕТСЯ, -
ЭТО ТОЖЕ ДЕЙСТВИЕ
СИЛЫ.

ТЫК

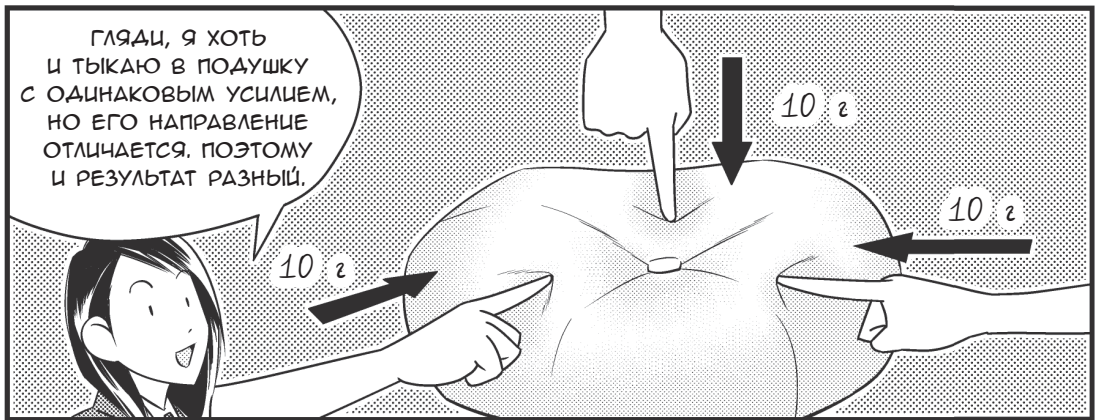


А-А-А, ТО ЕСТЬ ЭТО
БЛАГОДАРЯ СИЛЕ ФИЗИЧЕСКИЕ
ТЕЛА МОГУТ МЕНЯТЬ ФОРМУ
И ПЕРЕДВИГАТЬСЯ, ДА?

ИМЕННО ТАК!
КСТАТИ...



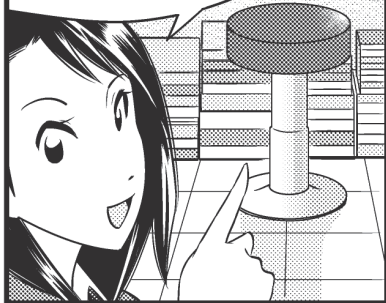
СИЛУ, КОТОРАЯ ДЕЙСТВУЕТ НА ТЕЛО
ИЛИ ЕГО ЧАСТЬ ИЗВНЕ, НАЗЫВАЮТ
ВНЕШНЕЙ СИЛОЙ, ИЛИ НАГРУЗКОЙ.



На рисунке конец стрелки называется местом приложения силы. Если сила направлена от тела (его растягивают), то это начало стрелки.

➔ Сила, которая действует вопреки
(сила реакции)

ТАК, ТЕПЕРЬ,
НИСИМОТО-КУН,
САДИСЬ-КА НА СТУЛ!

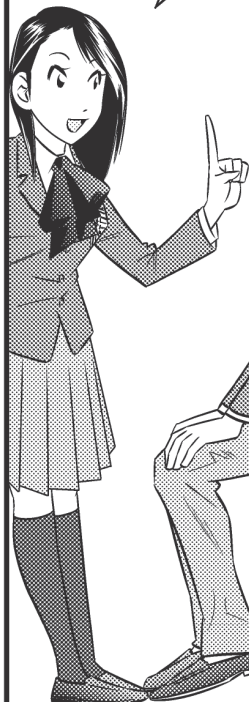


ДА!
ТАК, ЧТО ЛИ?



ПРОСТО СЯБЬ!

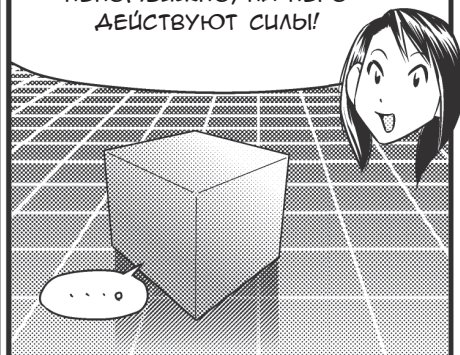
А ТЕПЕРЬ
МЫ ПОПРОБУЕМ
РАЗОБРАТЬСЯ,
КАКИЕ СИЛЫ
ДЕЙСТВУЮТ МЕЖДУ
НИСИМОТО-КУНОМ,
ПОЛОМ И СТУЛОМ!



ЧТО-О-О?
ДА ТУТ ВСЕ
СОВСЕМ ОБЫЧНО
И НИЧЕГО ВРОДЕ БЫ
НЕ ДВИЖЕТСЯ
И НЕ СЖИМАЕТСЯ...
ИЛИ ЧТО, ДАЖЕ ТУТ
ДЕЙСТВУЮТ СИЛЫ?



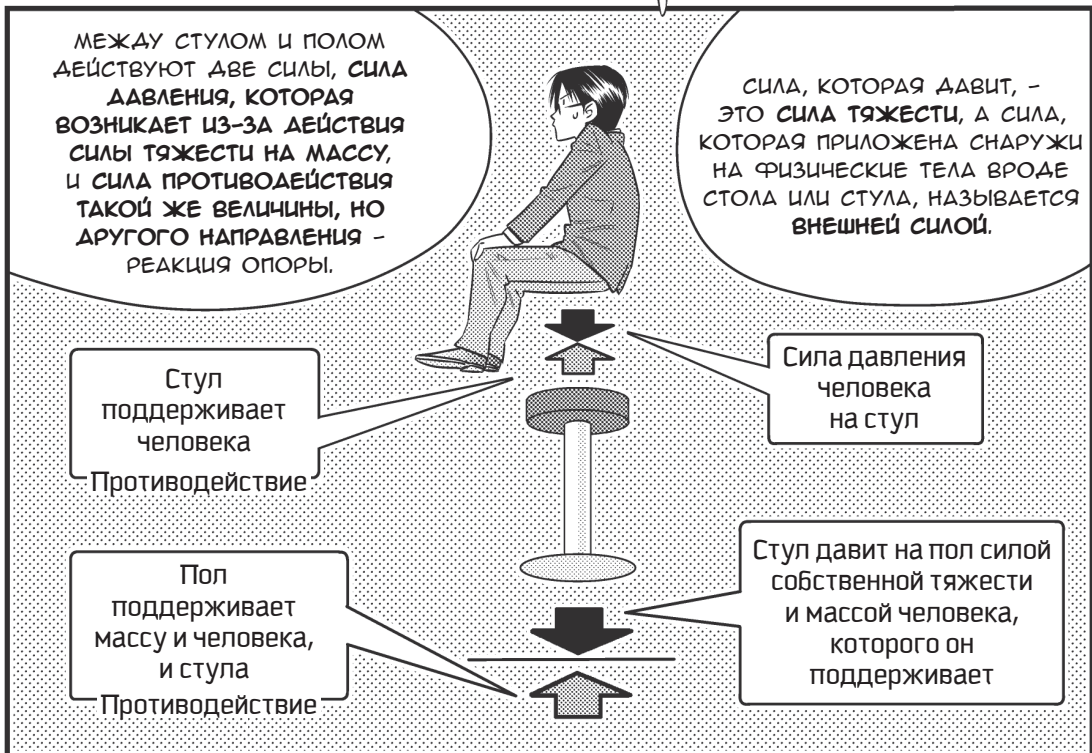
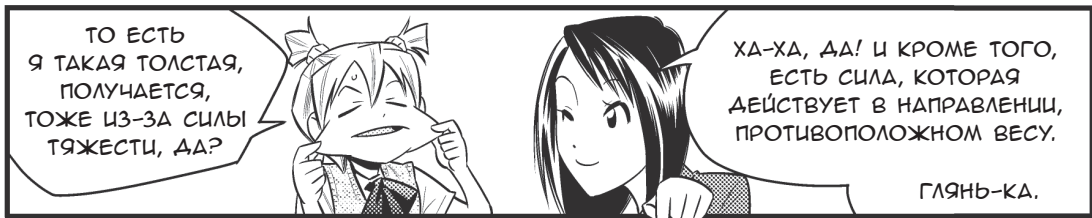
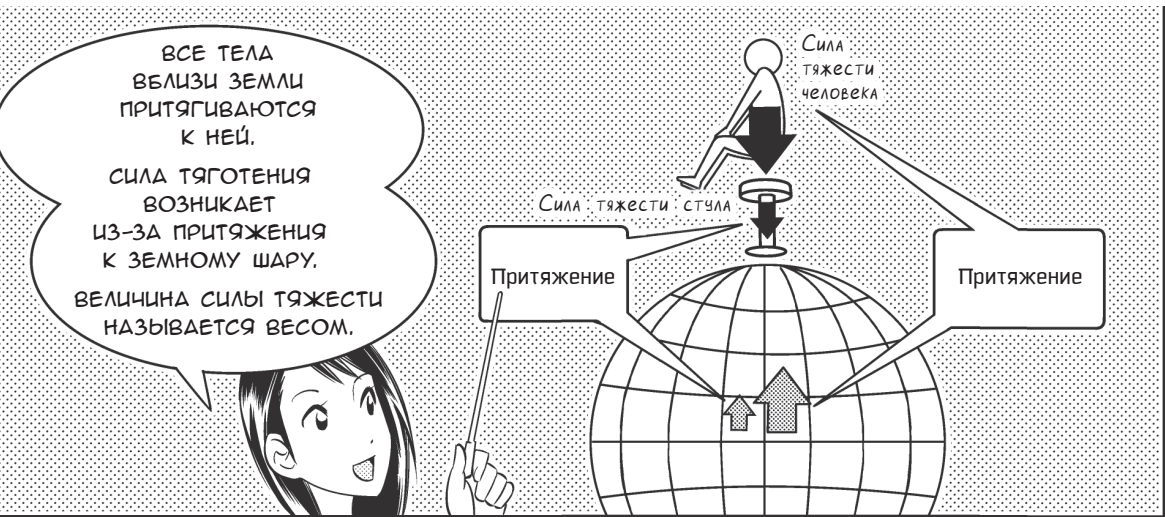
ДА! ДАЖЕ КОГДА ТЕЛО
НЕПОДВИЖНО, НА НЕГО
ДЕЙСТВУЮТ СИЛЫ!



ЭТО КАКИЕ
ТАКИЕ СИЛЫ?

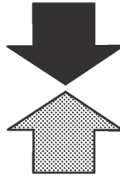


ВЫ ОБА
КОГДА-НИБУДА
О ТЯГОТЕНИИ
СЛЫШАЛИ?



ВПЕРВЫЕ СЛЫШУ
О РЕАКЦИИ ОПОРЫ!

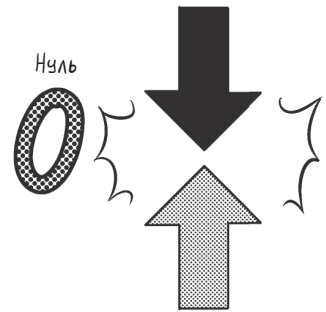
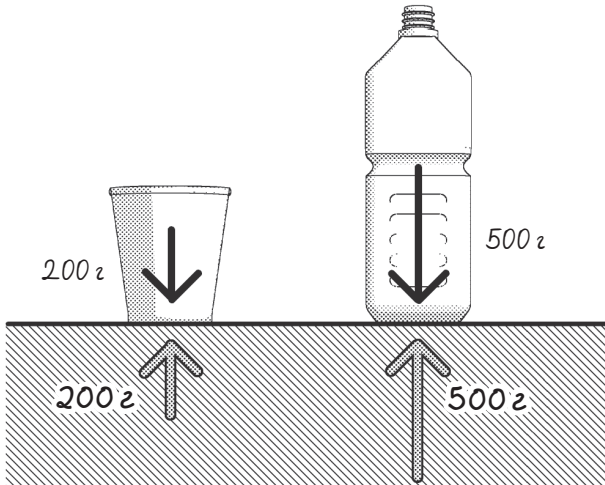
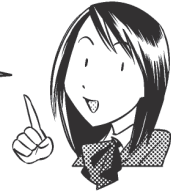
ХМ, СИЛА,
КОТОРАЯ ДЕЙСТВУЕТ,
И СИЛА КОТОРАЯ
ПРОТИВОДЕЙСТВУЕТ,
ОБОЗНАЧЕНЫ
СТРЕЛОЧКАМИ
ОДИНАКОВОЙ ДЛИНЫ.
ПОЧЕМУ ТАК,
МНЕ ИНТЕРЕСНО?



ХМ,
РЕАКЦИЯ ОПОРЫ -
ЭТО СИЛА, КОТОРАЯ
ДЕЙСТВУЕТ ВОПРОКИ?

ТЕЛО НАХОДИТСЯ
В РАВНОВЕСИИ БЛАГОДАРЯ
ТОМУ, ЧТО СИЛА ДАВЛЕНИЯ
И СИЛА РЕАКЦИИ ОПОРЫ
ОДИНАКОВЫ ПО ВЕЛИЧИНЕ
И ПРОТИВОПОЛОЖНЫ
ПО НАПРАВЛЕНИЮ!

Когда тело находится в состоянии равновесия, силы, которые на него действуют, уравниваются друг друга. Поэтому сумма сил, которые действуют на тело в равновесии, равна нулю!



Тело находится
в состоянии
равновесия

=

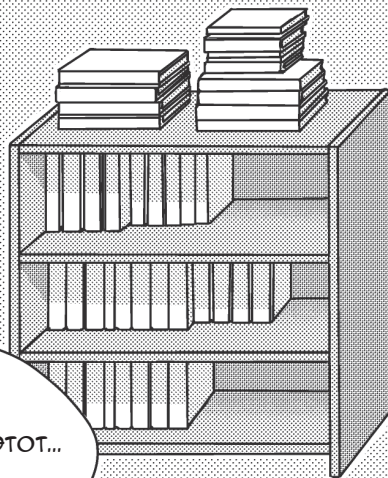
Силы находятся
в равновесии

ИСПОЛЬЗУЯ ПОНЯТИЕ
РАВНОВЕСИЯ, МОЖНО
РЕШИТЬ РАЗЛИЧНЫЕ
ЗАДАЧИ!

В МИРЕ СОПРОМАТА
РАВНОВЕСИЕ - ОЧЕНЬ
ВАЖНАЯ ШТУКА!

Э...

➔ Крепко держимся (точка опоры)



ТЕПЕРЬ ДАВАЙТЕ ПОСЛЕ СТУЛА ОБРАТИМ ВНИМАНИЕ НА КНИЖНЫЙ ШКАФ.

УРА, НАКОНЕЦ-ТО!

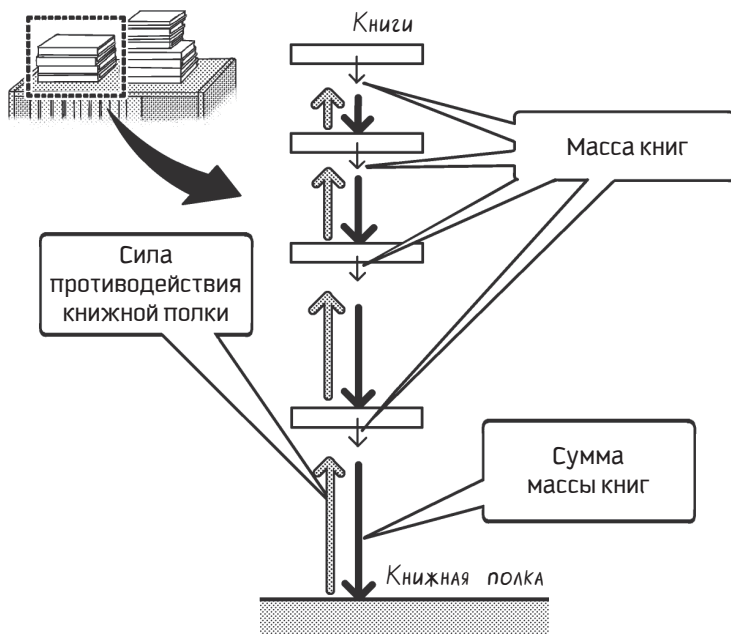
НАПРИМЕР, ВОЗЬМЕМ ВОТ ЭТОТ...

ШКАФ КАК ШКАФ.

Я ХОТЕЛ СЕБЕ ТАКОЙ ЖЕ...

ВЗГЛЯНИТЕ-КА НА ВЕРХНЮЮ ПОЛКУ!

★ На каждую из сложенных книг действуют сила давления и противодействие



А-А-А, Я ПОНЯЛА, ЕСЛИ МЫ БУДЕМ УВЕЛИЧИВАТЬ МАССУ КНИГ, ТО И СИЛА ДАВЛЕНИЯ БУДЕТ РАСТИ!

МАССА КНИГ... НО И СИЛА ТЯЖЕСТИ БУДЕТ ДЕЙСТВОВАТЬ НА ВСЮ ПОЛКУ, НЕ ТАК ЛИ?

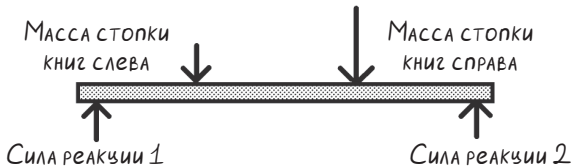
ВЕДЬ ЧЕМ БОЛЬШЕ КНИГ, ТЕМ ОНИ ТЯЖЕЛЕЕ.

ИМЕННО.
МАССА ВСЕХ КНИГ НА ПОЛКЕ
УДЕРЖИВАЕТСЯ КРЕПЛЕНИЯМИ
С ДВУХ ЕЕ СТОРОН.

ЭТО НАЗЫВАЕТСЯ
ТОЧКАМИ ОПОРЫ.

Точка
опоры

Точка
опоры



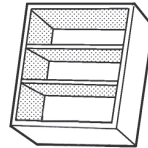
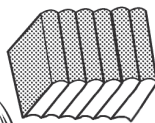
Примечания: силы противодействия слева и справа не всегда одинаковой величины. Здесь они обозначены как силы противодействия 1 и 2 соответственно.

ТО ЕСТЬ СИЛА
РЕАКЦИИ ДЕЙСТВУЕТ
НА ЭТИ ТОЧКИ
ОПОРЫ?

ВСЯ ТЯЖЕСТЬ КНИЖНОЙ
ПОЛКИ РАСПРЕДЕЛЯЕТСЯ
НА ЛЕВУЮ И ПРАВУЮ ТОЧКИ
ОПОРЫ, И ПОЛКИ С ОБЕИХ
СТОРОН СООБЩАЮТ ЭТУ
ТЯЖЕСТЬ ПОЛУ.

СИЛА НИКУДА
НЕ ИСЧЕЗАЕТ,
ОНА СООБЩАЕТСЯ ВСЯ.

ДОПУСТИМ,
МАССА КНИГ - 15 КГ,
А МАССА КНИЖНОЙ
ПОЛКИ - 5 КГ



ВСЕГО 20 КГ! КНИГИ
И КНИЖНЫЙ ШКАФ
ДОЛЖНЫ ВМЕСТЕ
СООБЩИТЬ ТАКОЙ ВЕС
ПОЛУ, КОТОРЫЙ ИХ
ПОДДЕРЖИВАЕТ.

ВООБЩЕ-ТО,
С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ
МЕХАНИКИ...

Сила, действующая на пол, - 20 кгс (килограмм-сил).
При переводе в систему единиц СИ сила, которая
удерживает полку, составит 196 Н (ньютон)

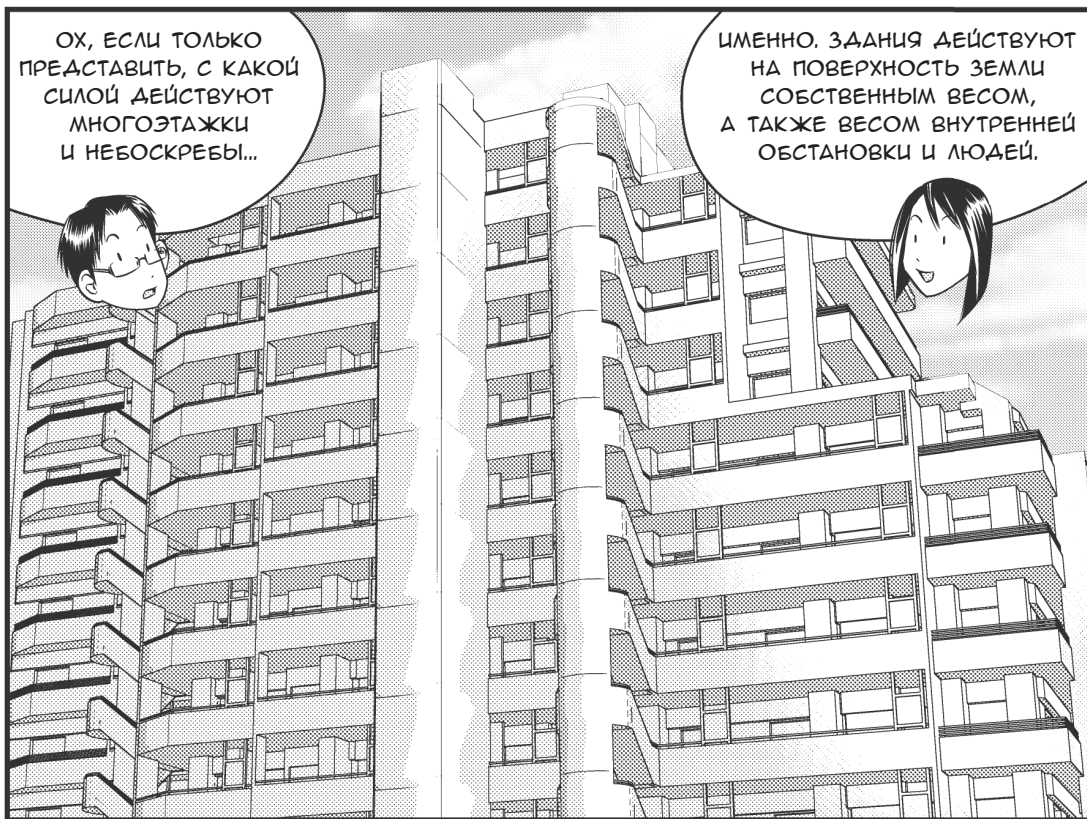
Для объяснения единиц измерения см. стр. 21.

...ЭТО
ВЫГЛЯДИТ ТАК.



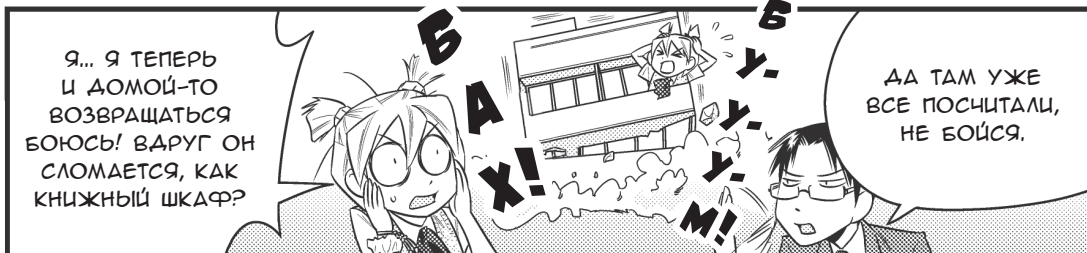
ХМ...
Я И НЕ ДУМАЛА,
ЧТО КОГДА ДЕЛАЮТ
КНИЖНЫЙ ШКАФ,
ДУМАЮТ
О ТЯЖЕСТИ КНИГ.

И КОГДА ДЕЛАЮТ
И ШКАФЫ, И СТУЛЬЯ...
РАССЧИТЫВАЮТ СИЛЫ,
КОТОРЫЕ НА НИХ БУДУТ
ДЕЙСТВОВАТЬ, И КАК ОНИ
БУДУТ РАСПРЕДЕЛЯТЬСЯ.



ОХ, ЕСЛИ ТОЛЬКО
ПРЕДСТАВИТЬ, С КАКОЙ
СИЛОЙ ДЕЙСТВУЮТ
МНОГОЭТАЖКИ
И НЕБОСКРЕБЫ...

ИМЕННО. ЗАДАНИЯ ДЕЙСТВУЮТ
НА ПОВЕРХНОСТЬ ЗЕМЛИ
СОБСТВЕННЫМ ВЕСОМ,
А ТАКЖЕ ВЕСОМ ВНУТРЕННЕЙ
ОБСТАНОВКИ И ЛЮДЕЙ.



Я... Я ТЕПЕРЬ
И ДОМОЙ-ТО
ВОЗВРАЩАТЬСЯ
БОЮСЬ! ВАРУГ ОН
СЛОМАЕТСЯ, КАК
КНИЖНЫЙ ШКАФ?

ДА ТАМ УЖЕ
ВСЕ ПОСЧИТАЛИ,
НЕ БОЙСЯ.

➔ 1 Н И 1 КГС - СКОЛЬКО ЭТО?



Изучая механику, важно помнить об единицах измерения.

Например, надо знать, что $1 \text{ кгс} = 9,8 \text{ Н}$.

А теперь давайте разберемся с этим вместе с Ноно!

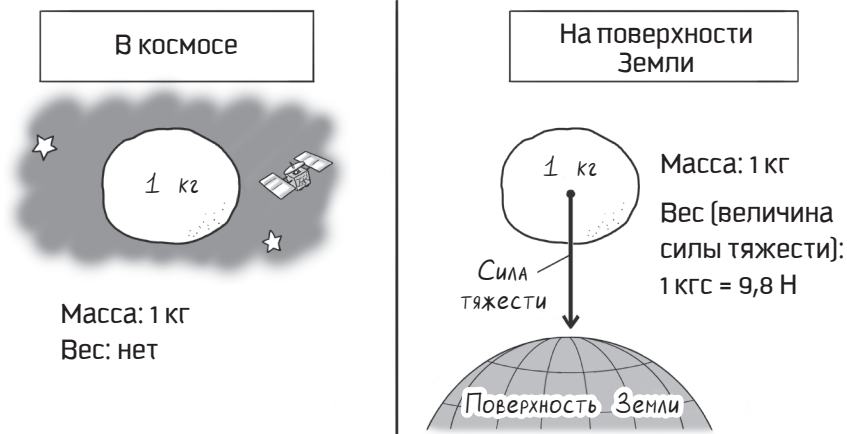
Сила тяжести, действующая на тело массой 1 кг на поверхности Земли, называется 1 кгс . Это сокращение от килограмм-силы. Например, когда мы говорили о книжной полке, мы использовали понятие килограмм-силы, чтобы отличить вес от массы.

В то же время 1 Н (ньютон) – это сила, которая сообщает телу массой 1 кг ускорение 1 м/с^2 и является единицей Международной системы единиц (СИ).

СИ – универсальная всемирная система измерения, однако нам проще воспользоваться другой системой единиц для выражения силы тяжести.

1 Н составляет примерно равен $0,102 \text{ кгс}$, следовательно, 1 Н – это сила тяжести, действующая на предмет массой в 102 г .

Сила величиной в 1 кгс , действующая на физическое тело массой в 1 кг , примерно равна $9,8 \text{ Н}$. Запомните, что $1 \text{ кгс} = 9,8 \text{ Н}$.

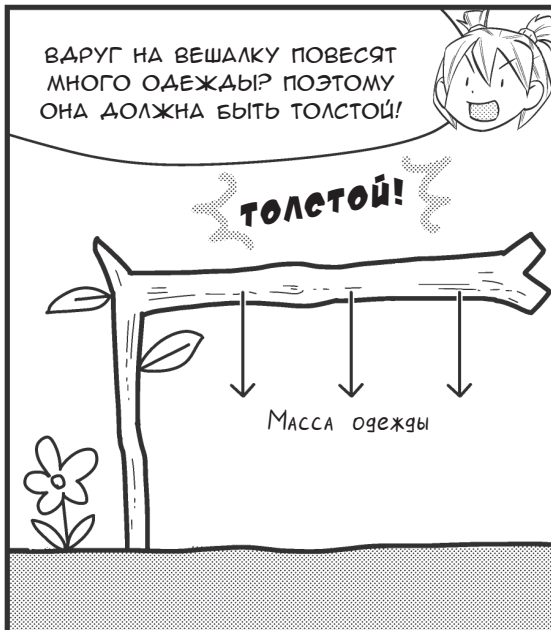
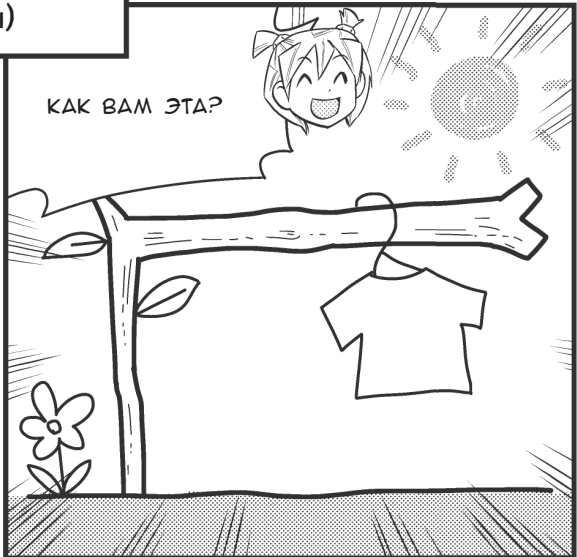


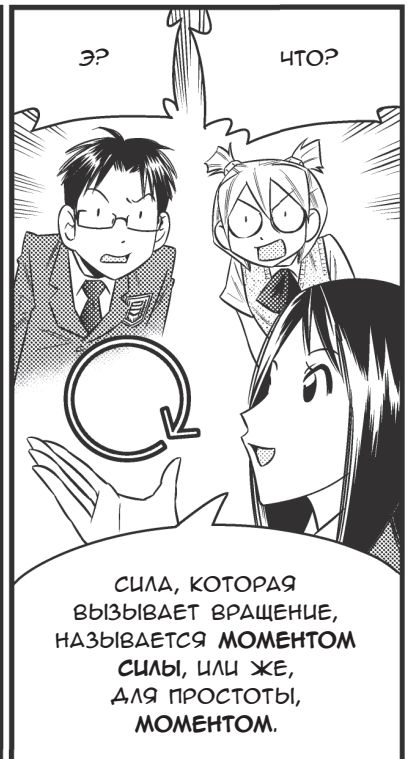
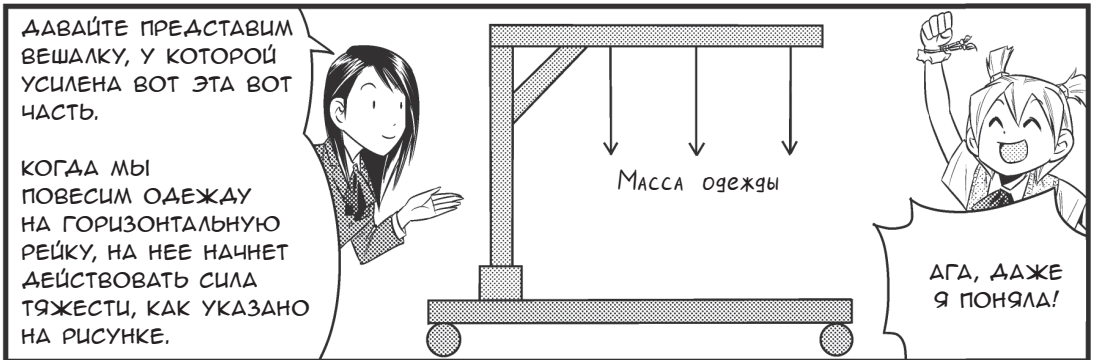
Ускорение – изменение скорости за единицу времени.

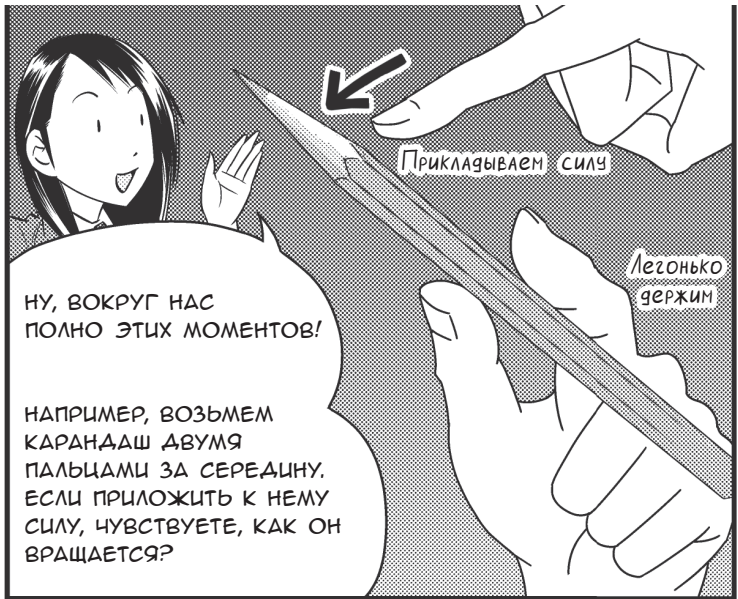
С изменением скорости тела двигаются быстрее или медленнее. Тела, которые находились в состоянии покоя, начинают движение.



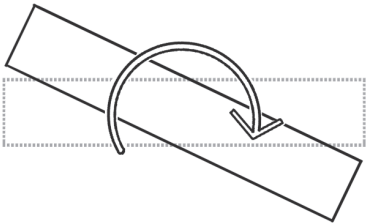
Крутим туда-сюда (момент силы)



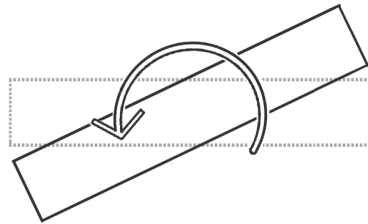




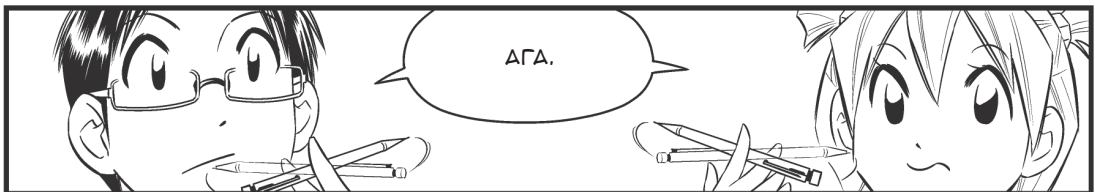
По часовой стрелке

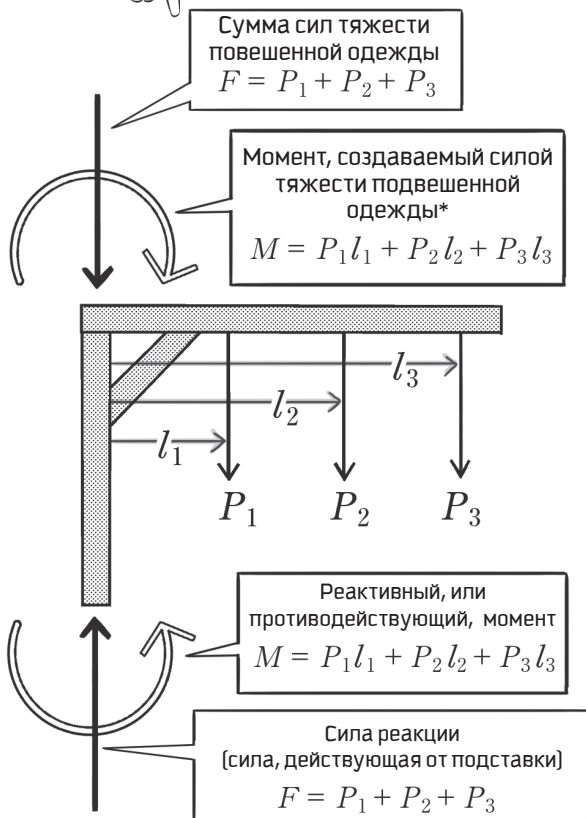
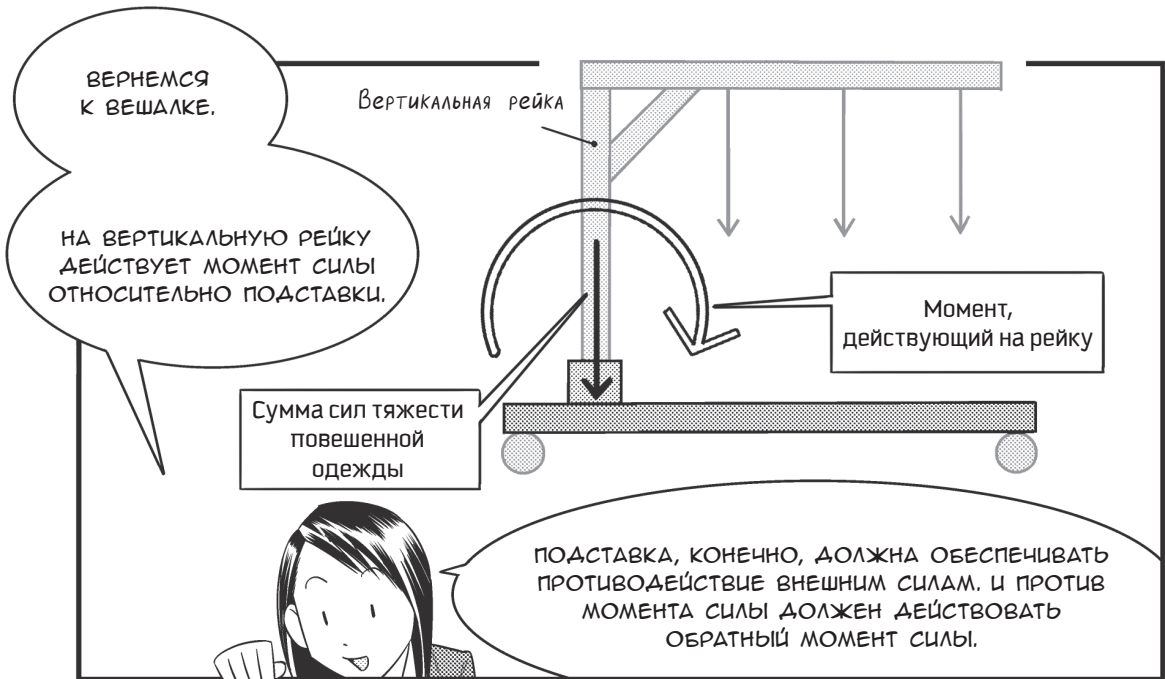


Против часовой стрелки



И то, и то – момент!





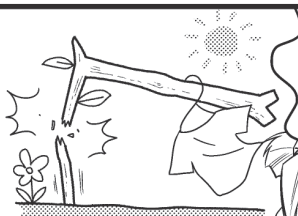
* Для расчета формулы момента см. стр. 27.

ПОЭТОМУ, ЧТОБЫ ИЗ-ЗА СИЛЫ И МОМЕНТА ГОРИЗОНТАЛЬНАЯ РЕЙКА И БОКОВАЯ ПОДАСТAVKA ВЕШАЛКИ НЕ СЛОМАЛИСЬ, НАДО ОБРАЩАТЬ ВНИМАНИЕ ВОТ СЮДА И СЮДА.

КОНЕЧНО, И ГОРИЗОНТАЛЬНАЯ РЕЙКА, И ПОДАСТАВКА ДОЛЖНЫ БЫТЬ ПРОЧНЫМИ, ЧТОБЫ БЫТЬ УСТОЙЧИВЫМИ.



ДЕЙСТВИТЕЛЬНО... ЕСЛИ ОНИ БУДУТ СЛИШКОМ ТОНКИМИ, ТО СОЕДИНЯЮЩАЯ ИХ ЧАСТЬ БУДЕТ НЕДОСТАТОЧНО ПРОЧНОЙ И ВСЯ КОНСТРУКЦИЯ РАЗВАЛИТСЯ.



УХ... ЖАЛЬ, Я ЭТО УЖЕ ПРЕДСТАВИЛА.

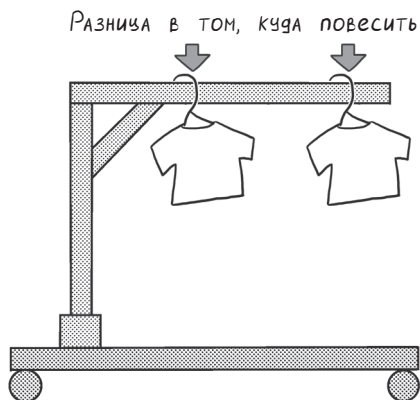
ПОЭТОМУ ПЕРВЫМ ДЕЛОМ РАССЧИТЫВАЮТ СИЛЫ И МОМЕНТЫ, КОТОРЫЕ БУДУТ ДЕЙСТВОВАТЬ НА КОНСТРУКЦИЮ.



РАЗГОВОРЫ О КАЧЕЛЬКАХ (ОСНОВЫ МОМЕНТА)



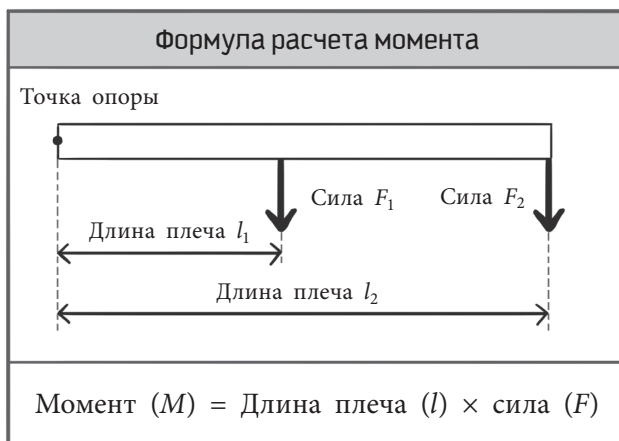
А теперь давайте поговорим о моменте силы. Например, в случае вешалки в зависимости от места расположения одежды момент тоже меняется.



Э, даже если у одежды одинаковая масса?



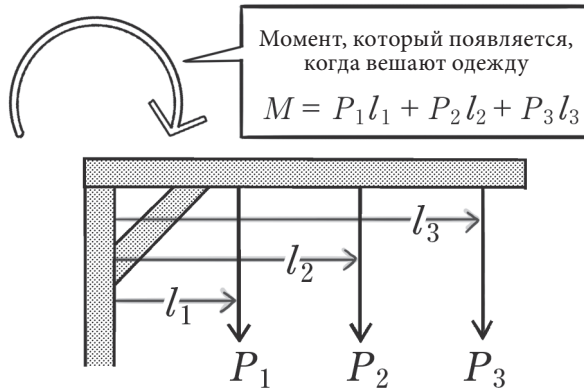
Да. Когда вы увидите формулу расчета момента, то все поймете. Расстояние от точки опоры называют **длиной плеча рычага**, запомните это.



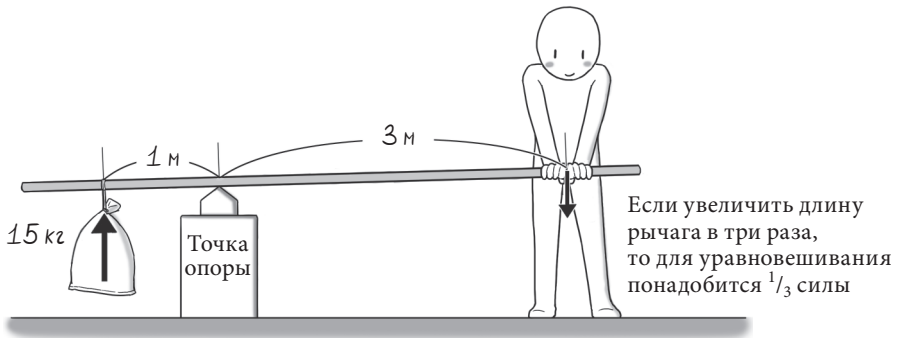
А, то есть чем дальше от точки опоры, тем больше момент!



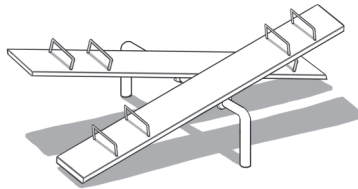
Хм, то есть длина рычага тоже важна? Теперь я понимаю, откуда берется момент силы вешалки.



Моменты бывают разные. В принципе рычага используют разницу его длин.



А причем тут качельки?



А... Все зависит от того, куда на качельках сядешь. Чем дальше от точки опоры, тем больше момент. Так, выбирая место, дети с разным весом могут весело качаться на них вместе с друзьями.