

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 причастных, начиная с Эммо Такэнава.

Суэмасу Хироси
Январь 2012

СОДЕРЖАНИЕ



ПРЕДИСЛОВИЕ	v
--------------------------	---

ГЛАВА 1

МЕХАНИКА ДЕФОРМАЦИИ ФИЗИЧЕСКИХ ТЕЛ 1

1. Силы, которые прикладывают к физическому телу.....	2
➔ Для чего нужны векторы? (Силы)	2
➔ Сила, которая действует вопреки (сила реакции)	5
➔ Крепко держимся (точка опоры).....	8
➔ 1 Н и 1 кгс – сколько это?.....	11
➔ Крутим туда-сюда (момент силы)	12
➔ Разговоры о качельках (основы момента).....	17
2. О равновесии сил, действующих на тело.....	19
➔ Немного порисуем (силовая диаграмма свободных тел)	19
➔ Одно уравновешивает другое (о силе и моменте силы)	22
➔ Трехмерность и степени свободы.....	27
3. Что можно сделать с палкой.....	29
➔ Представим ластик (сила и деформация)	29
➔ Давим (сила сжатия)	31
➔ Тянем-потянем (сила растяжения).....	32
➔ Крутим (изгибающий момент и сила сдвига).....	34
➔ Крутим (крутящий момент)	38

4. Приложение сил к телу и деформация.....	40
➔ Статические и нестатические задачи.....	40
➔ Деформации и конечные деформации.....	44
◆ Подробные расчеты (статически неопределимая задача)	48



ГЛАВА 2

МЕХАНИЧЕСКОЕ НАПРЯЖЕНИЕ 49

1. Силы, работающие внутри тела.....	50
➔ Взмах воображаемым ножиком (внутренняя сила и воображаемое сечение).....	50
2. Как проявляются внутренние силы?	56
➔ Что такое напряжение? (Механическое напряжение).....	56
➔ Смотрим на направление (напряжение растяжения, напряжение сжатия).....	60
➔ Напряжение, возникающее при сдвиге (сдвиговое напряжение).....	62
3. Откуда появляется напряжение	66
➔ Раскладываем вектор напряжения (нормальное напряжение и касательное напряжение).....	66
➔ Круги Мора	70
4. Напряжение разное в различных точках внутри тела	74
➔ Только не режь вдоль! (Как найти напряжение)	74
➔ Как выразить напряжение с помощью дельты?	75



ГЛАВА 3

О ДЕФОРМАЦИИ 79

1. Как подсчитать деформацию? 82
 - ➔ Что такое относительная деформация (относительная деформация) 82
 - ➔ Что бывает с длиной и диаметром при сжатии и растяжении (нормальная деформация) 86
 - ➔ Деформация формы (сдвиговая деформация) 89
2. Как рассчитать деформацию..... 92
 - ➔ Соотношение между кручением и сдвиговой деформацией..... 92
 - ➔ Изгиб и нормальная деформация 96

ГЛАВА 4

ПРЕДЕЛ ПРОЧНОСТИ

И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МАТЕРИАЛА 105

1. Пропорция силы и деформации..... 106
 - ➔ Вещи, которые не ломаются (механические свойства материала)..... 106
 - ➔ Перемещение и сила пропорциональны (закон Гука) 108
 - ➔ Нормальная деформация и нормальное напряжение (модуль Юнга)..... 110
 - ➔ Отношения сдвиговой деформации и сдвигового напряжения (модуль сдвига)..... 113
 - ➔ Как измерить свойства материалов 115
2. Предельная сила..... 117
 - ➔ Пределы (разрыв/разрушение)..... 117
 - ➔ Можно ли вернуться в прошлое или нет? (Упругость и пластичность) 119
 - ➔ Стандарты конструирования (текучесть и прочность) 122
3. Вязкие и хрупкие материалы 123
 - ➔ Эластичный, хрупкий? Пластичность и хрупкость 123



ГЛАВА 5

КАК РАССЧИТАТЬ НАПРЯЖЕНИЕ 127

1. Задачи на сжатие и растяжение стержня 130
 - ➔ Расчет удлинения и отношение между нагрузкой растяжения и нормальным напряжением 131
2. Задачи на кручение стержня 134
 - ➔ Расчет угла кручения и отношение между крутящим моментом и силой сдвига 135
 - ➔ Что такое $rdrd\theta$? [Как выразить элемент площади] 143
3. Задачи на изгиб 145
 - ➔ Расчет кривизны, связь между моментом изгиба и нормальным напряжением 146

ГЛАВА 6

ПРИМЕНЕНИЕ СОПРОМАТА 159

1. Как сделать вещь, которая не сломается 162
 - ➔ Не поломаешь – не поймешь (процесс изготовления прочной вещи) 162
 - ➔ Напряжение в бруске с квадратным поперечным сечением 164
 - ➔ Плюхнуться на скамейку (сила удара) 168
 - ➔ Расчет толщины скамейки 172
2. Как важна устойчивость к деформации 180
 - ➔ Что такое жесткость? [Жесткость] 180
 - ➔ Как сделать материал жестче (потеря устойчивости) 182
3. Насколько безопасна конструкция? 186
 - ➔ Предвидеть невозможное [коэффициент запаса] 186
 - ➔ Как снизить вероятность аварии 191

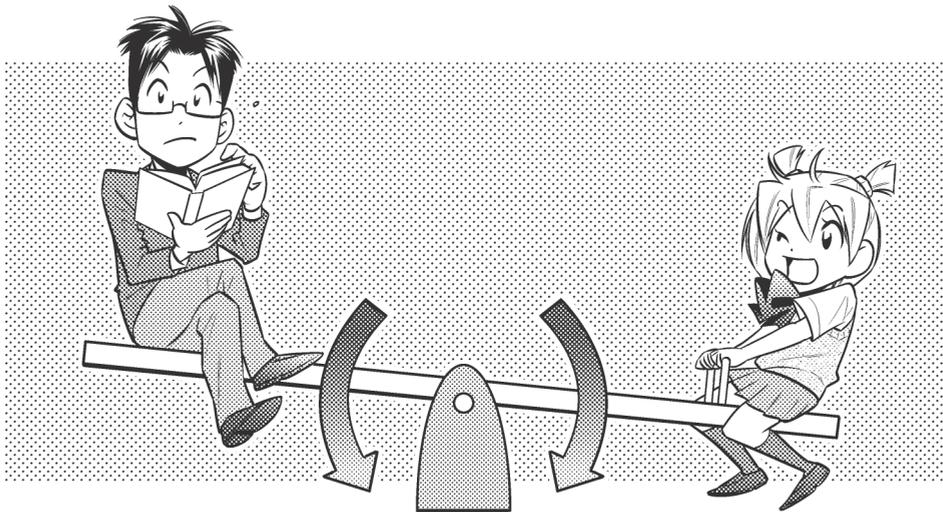


ПРИЛОЖЕНИЕ	203
◆ Буквы греческого алфавита	203
◆ Приставки в соответствии с системой СИ.....	204
◆ Значения моментов инерции сечения и моментов нагрузки для разных видов сечений.....	205
◆ Подробные расчеты (статически неопределенная задача для балки).....	206
ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ	208



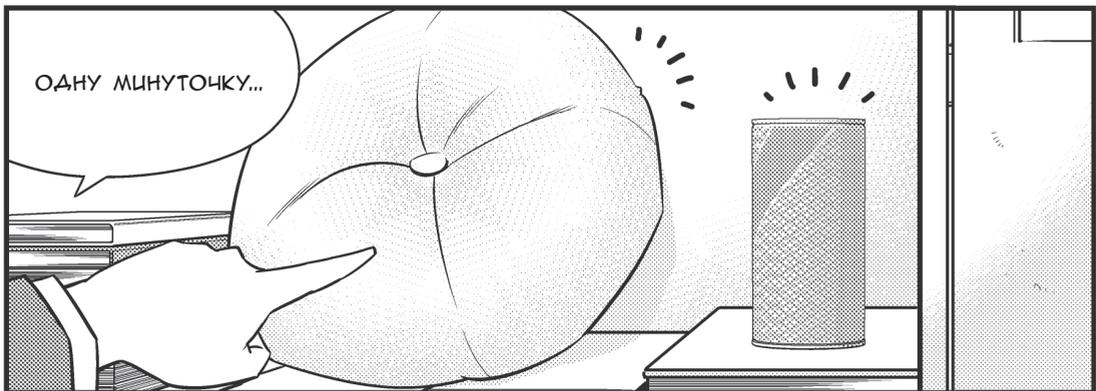
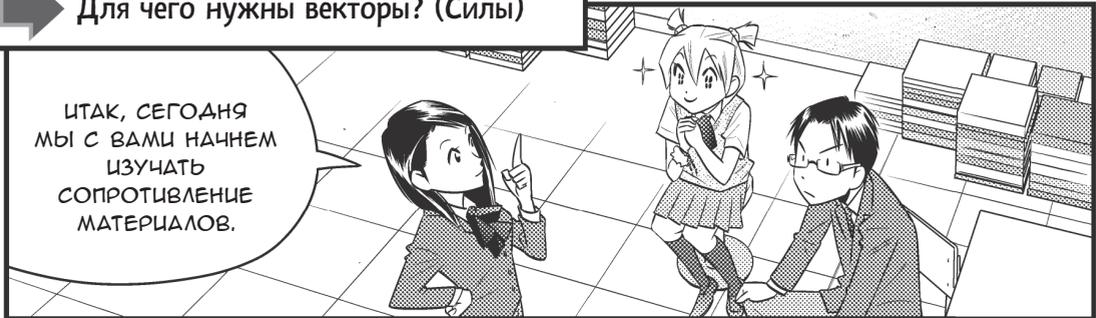
ГЛАВА 1

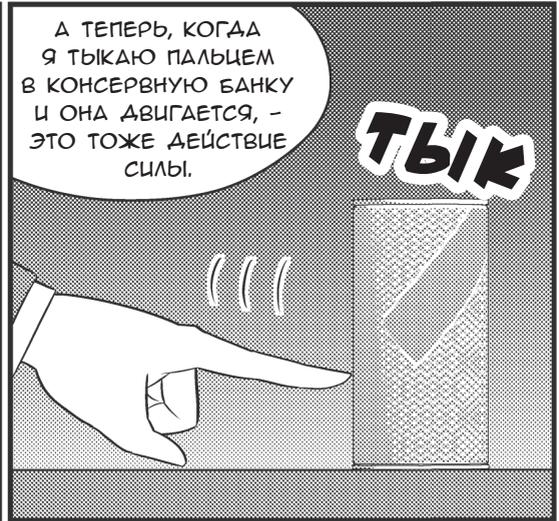
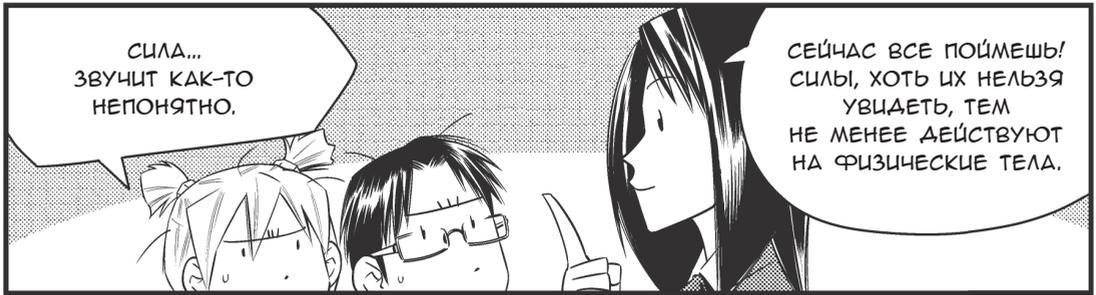
МЕХАНИКА ДЕФОРМАЦИИ ФИЗИЧЕСКИХ ТЕЛ

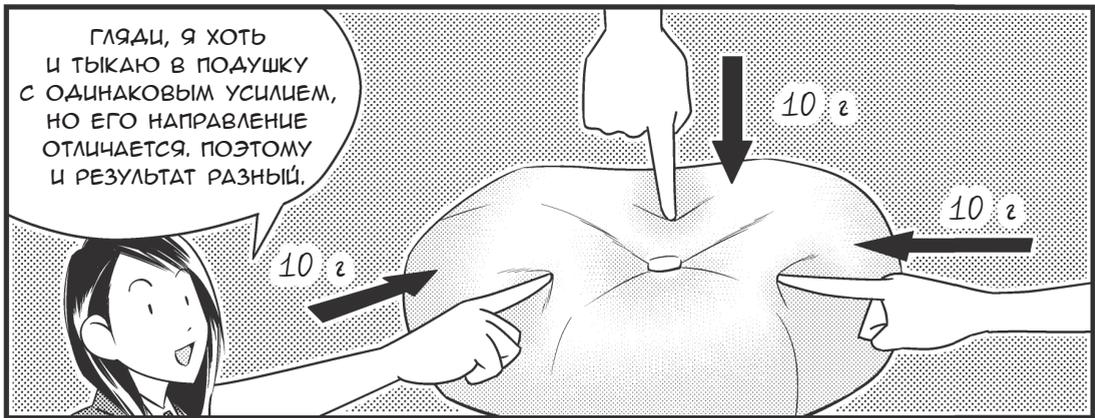


1. СИЛЫ, КОТОРЫЕ ПРИКЛАДЫВАЮТ К ФИЗИЧЕСКОМУ ТЕЛУ

➔ Для чего нужны векторы? (Силы)



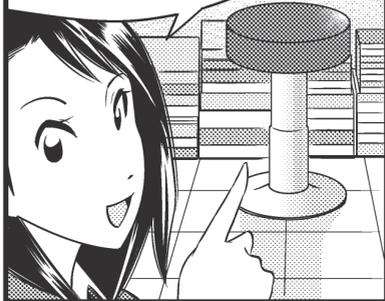




На рисунке конец стрелки называется местом приложения силы. Если сила направлена от тела (его растягивают), то это начало стрелки.

➔ Сила, которая действует вопреки
(сила реакции)

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



ДА!
ТАК, ЧТО ЛИ?



ПРОСТО СЯДЬ!

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?



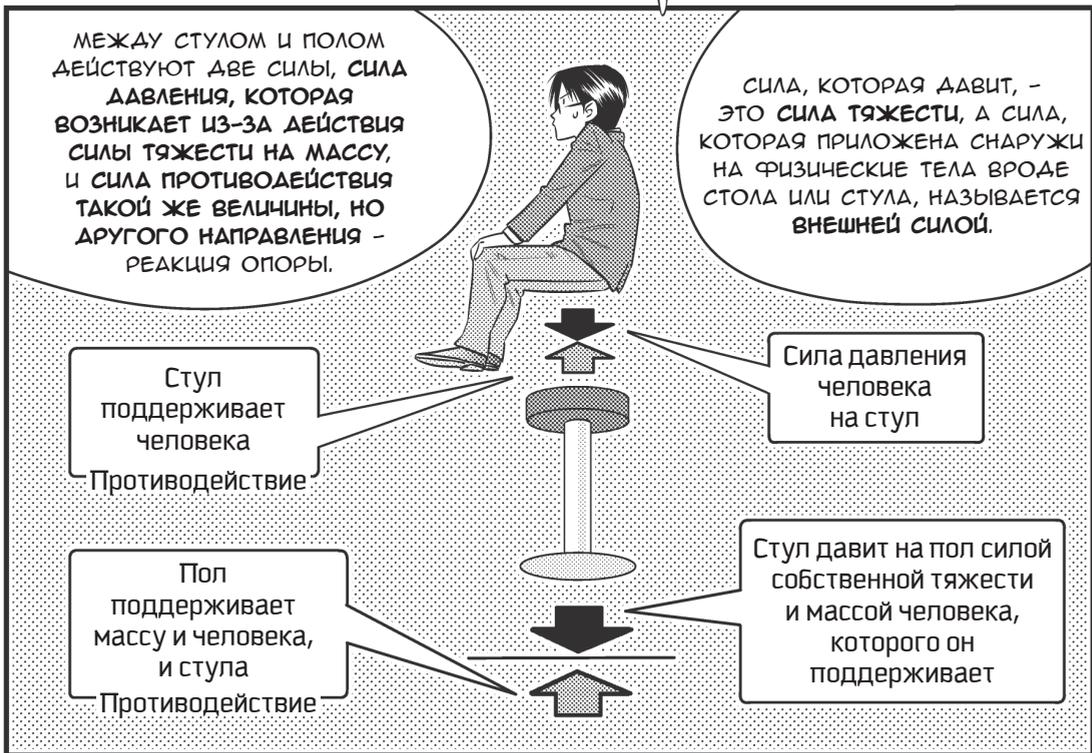
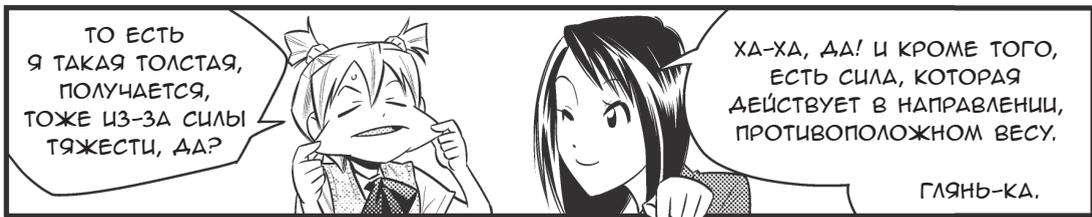
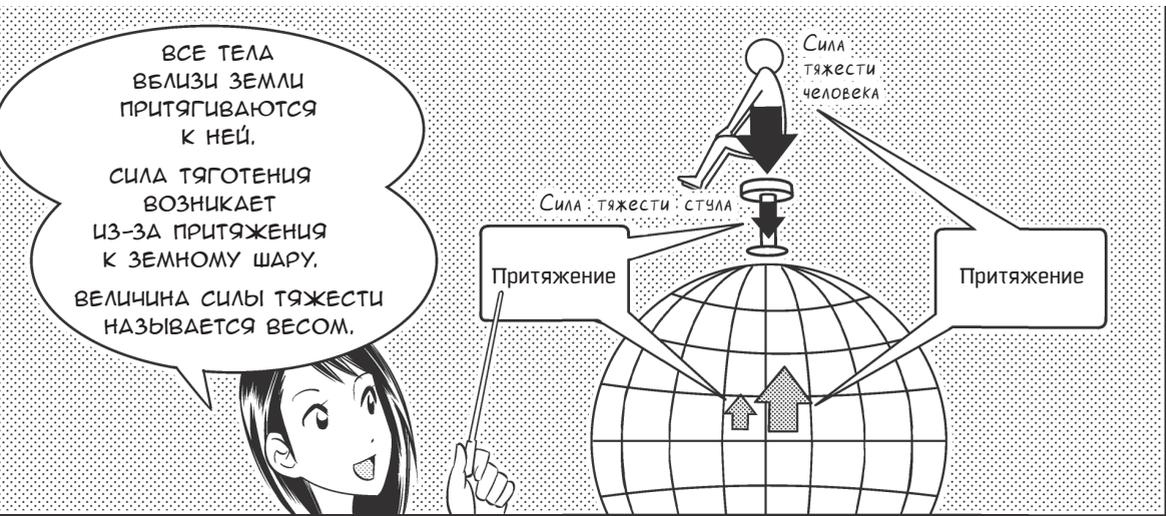
ДА! ДАЖЕ КОГДА ТЕЛО
НЕПОДВИЖНО, НА НЕГО
ДЕЙСТВУЮТ СИЛЫ!



ЭТО КАКИЕ
ТАКИЕ СИЛЫ?

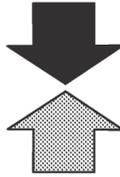


ВЫ ОБА
КОГДА-НИБУДЬ
О ТЯГОТЕНИИ
СЛЫШАЛИ?



ВПЕРВЫЕ СЛЫШУ
О РЕАКЦИИ ОПОРЫ!

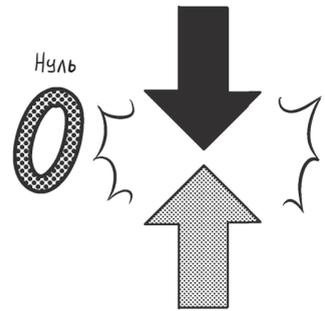
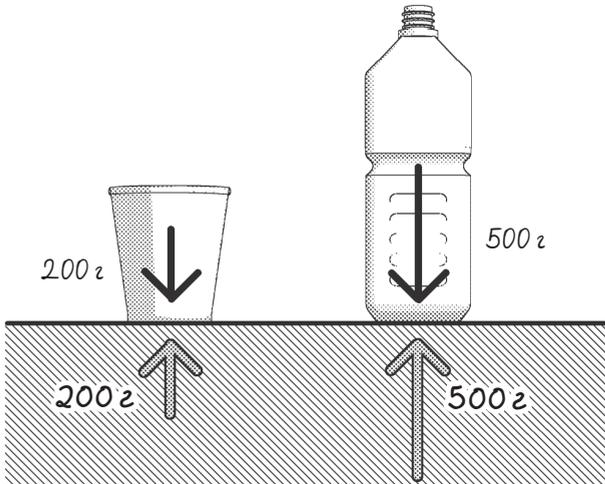
ХМ, СИЛА,
КОТОРАЯ ДЕЙСТВУЕТ,
И СИЛА КОТОРАЯ
ПРОТИВОДЕЙСТВУЕТ,
ОБОЗНАЧЕНЫ
СТРЕЛОЧКАМИ
ОДИНАКОВОЙ ДЛИНЫ.
ПОЧЕМУ ТАК,
МНЕ ИНТЕРЕСНО?



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!

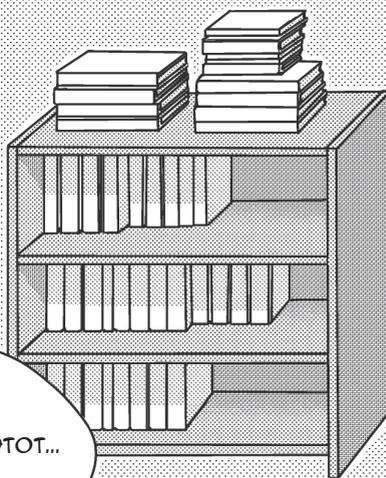
Э...

➔ Крепко держимся (точка опоры)

ТЕПЕРЬ ДАВАЙТЕ ПОСЛЕ СТУЛА ОБРАТИМ ВНИМАНИЕ НА КНИЖНЫЙ ШКАФ.

УРА, НАКОНЕЦ-ТО!

НАПРИМЕР, ВОЗЬМЕМ ВОТ ЭТОТ...

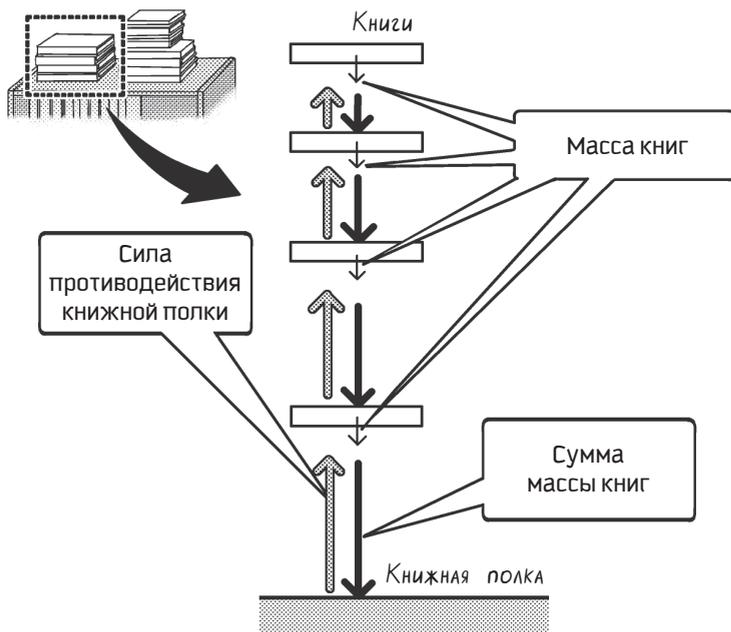


ШКАФ КАК ШКАФ.

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?

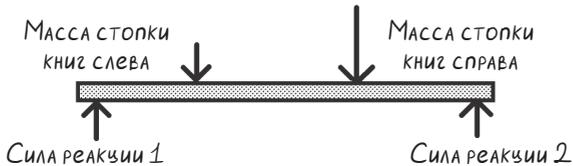
ВЕДЬ ЧЕМ БОЛЬШЕ КНИГ, ТЕМ ОНИ ТЯЖЕЛЕЕ.

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

ЭТО НАЗЫВАЕТСЯ
ТОЧКАМИ ОПОРЫ.

Точка
опоры

Точка
опоры



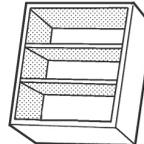
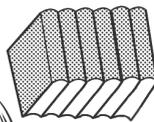
Примечания: силы противодействия слева и справа не всегда одинаковой величины. Здесь они обозначены как силы противодействия 1 и 2 соответственно.

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 ТАКОЖЕ 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. 11.

...ЭТО
ВЫГЛЯДИТ ТАК.

➔ 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!

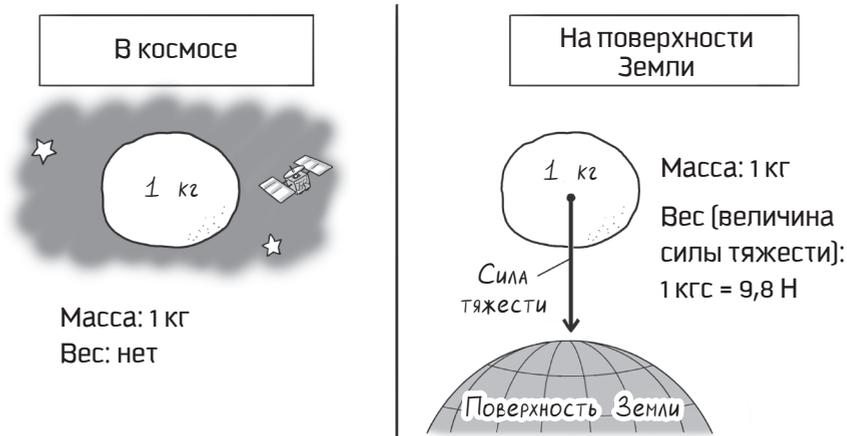
Сила тяжести, действующая на тело массой 1 кг на поверхности Земли, называется 1 кгс . Это сокращение от килограмм-силы. Например, когда мы говорили о книжной полке, мы использовали понятие килограмм-силы, чтобы отличить вес от массы.

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 $1 \text{ кгс} = 9,8 \text{ Н}$.

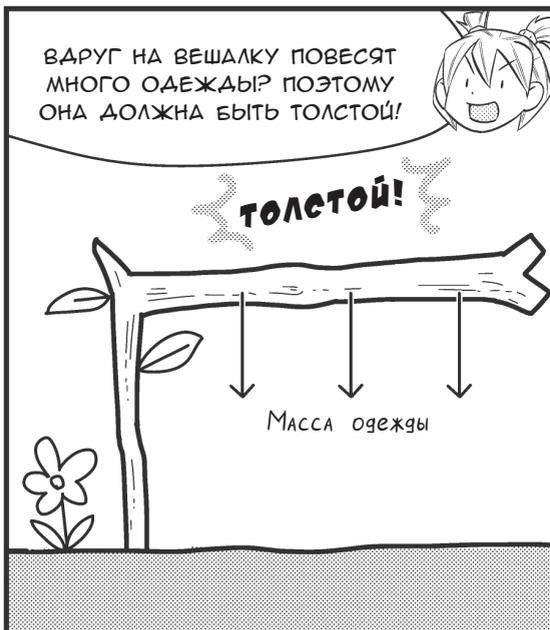
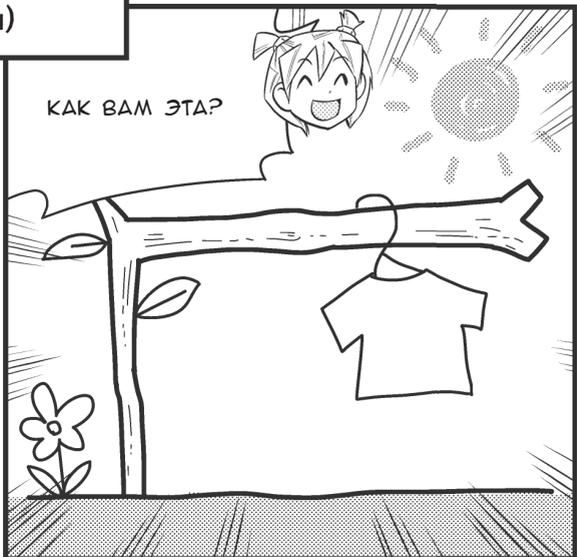


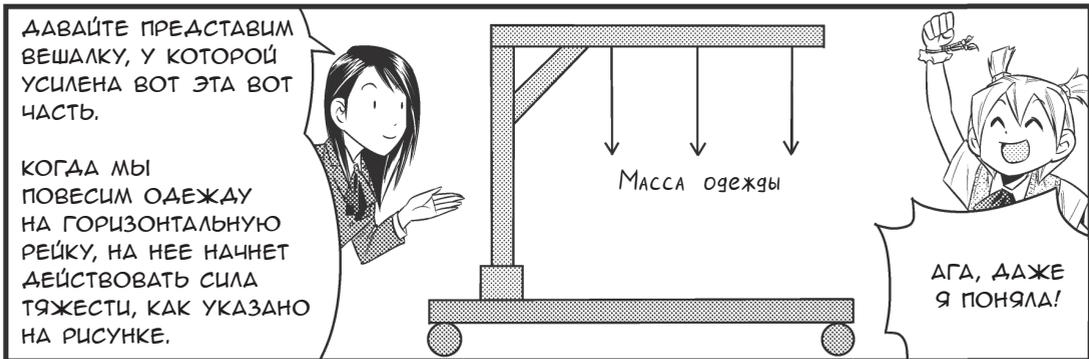
Ускорение – изменение скорости за единицу времени.

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



Крутим туда-сюда (момент силы)





Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

e-Univers.ru