



§ 21.

Сила

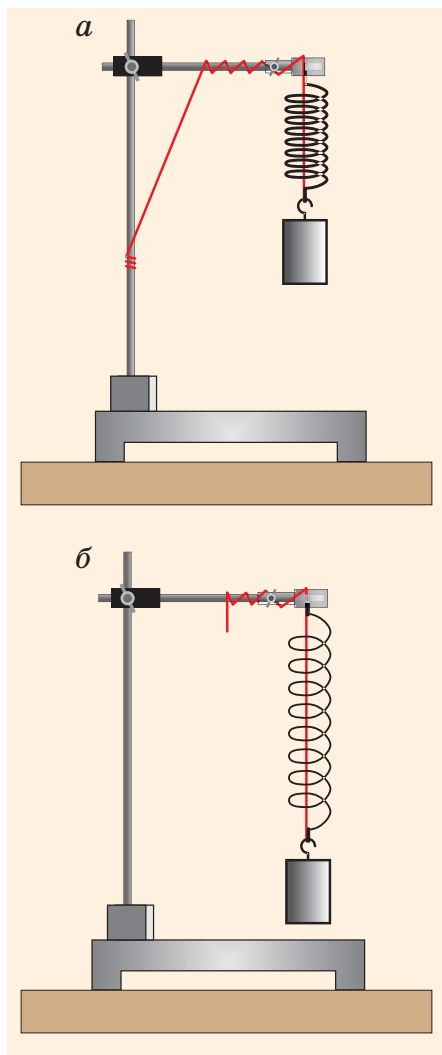


Рис. 120

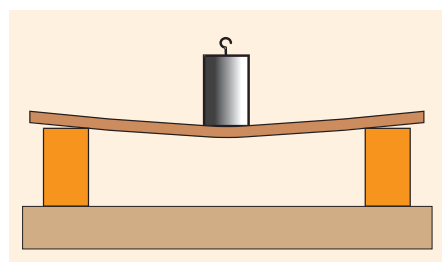


Рис. 121

Изменить скорость движения тела можно действием на него другого тела. Чем больше это действие, тем сильнее изменяется скорость. Напрягая мышцы рук, вы увеличиваете скорость тележки. Ваш старший брат или отец может сильнее подействовать на тележку и увеличить скорость ее движения больше.

С помощью какой физической величины можно количественно определить, насколько сильно одно тело действует на другое, например человек на тележку? Такой величиной является сила.

Сила — количественная мера действия одного тела на другое.

В приведенном примере результатом действия является изменение скорости, значит, **сила — причина изменения скорости движения тела.**

Однако действие одного тела на другое приводит не только к изменению скорости. Соединим зафиксированную нить пружину с гирей (рис. 120, а). Перережем нить. Действие гири на пружину вызовет ее удлинение (рис. 120, б). Гиря, стоящая на тонкой доске (рис. 121), прогибает ее. Сжимая пальцами ластик, вы изменяете его форму. В этих случаях действие одного тела на другое, т. е. сила, вызывает изменение размеров или формы тела.

Изменение размеров или формы тела называется деформацией. Значит, **сила является причиной не только изменения скорости, но и деформации тела.** Чем больше сила, тем больше деформация. Действительно, подействуйте на пружину большей силой, и растяжение пружины будет больше (рис. 122).

Сила не может существовать сама по себе. Если мы говорим, что на тело действует сила, это означает то, что на тело действует другое тело.

Обычно силу обозначают буквой F и изображают в виде стрелки. Направление стрелки указы-

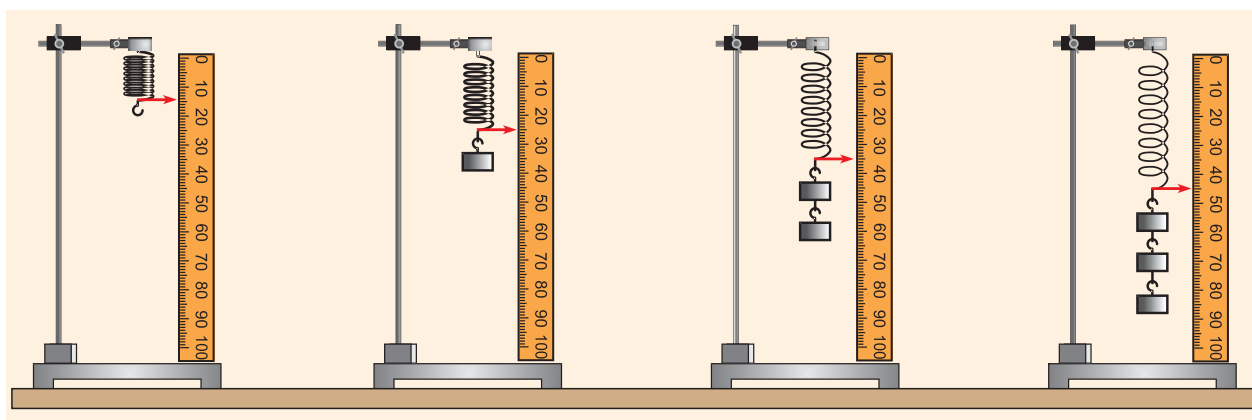


Рис. 122

вает направление действия силы. Начало стрелки совпадает с точкой приложения силы. Абсолютное число, выражающее длину стрелки, называют модулем силы.

Итак, **сила характеризуется модулем, направлением и точкой приложения**. Пусть на одинаковые пружины действуют две одинаковые гири (рис. 123). Одна пружина растягивается под действием гири, другая — сжимается. Модули действующих на пружины сил одинаковы, но направления у сил разные.

На рисунке 124 изображены два тела (арбуз и яблоко), действующие на стол с одинаково направленными, но имеющими разные модули силами. Эти силы приложены к крышке стола в точках O_1 и O_2 и направлены вертикально вниз. Модуль силы F_1 больше модуля силы F_2 .

Чаще всего тело испытывает не одно, а сразу два или более действий, причем иногда противоположного направления. Как изменится скорость движения тела в этом случае? Если модули противоположно направленных сил равны, то, как и в математике при сложении равных по модулю, но противоположных по знаку чисел, мы получим в результате нуль. Такие силы мы будем называть **компенсирующими** друг друга. В этом случае, как и при отсутствии сил, скорость движения тела изменяться не будет. На рисунке 125 силы, приложенные к одному и тому же телу (ветке), компенсируют друг друга. Тело (ветка) находится в состоянии покоя.

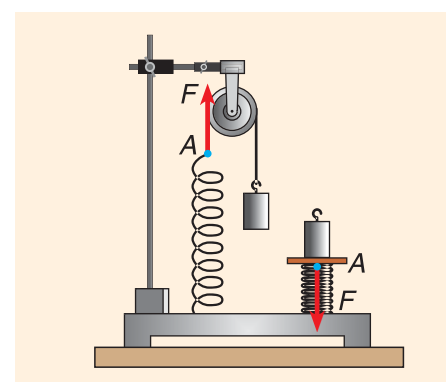


Рис. 123

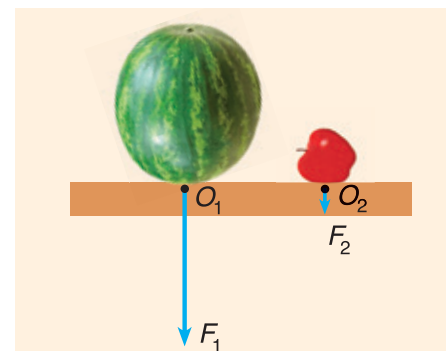


Рис. 124

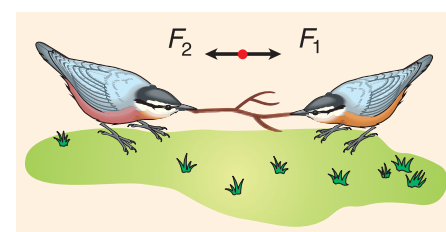


Рис. 125

▼ Для любознательных

В повседневной жизни слово «сила» часто используется в сочетаниях «сила огня», «сила духа», «сила воли» и т. д. В физике слово «сила» употребляется только в смысле количественной меры такого действия, которое либо меняет скорость движения тела, либо деформирует его, либо вызывает то и другое одновременно. Действие даже самой малой силы обязательно приводит к тому или иному результату. От нажатия на стол пальцем крышка стола неизбежно прогнется, хотя это не всегда заметно.

▣ Главные выводы

1. Сила является количественной мерой действия одного тела на другое.
2. Сила является причиной изменения скорости движения тела и его деформации.
3. Сила характеризуется модулем, направлением и точкой приложения.

? Контрольные вопросы

1. К каким результатам может привести действие на тело других тел?
2. Как количественно выразить действие одного тела на другое?
3. Чем характеризуется сила?
4. Футболист бьет по мячу. Каковы результаты действия силы удара ноги футболиста?

➔ Домашнее задание

Привяжите к перекладине резиновый жгут. Отметьте положение конца жгута. Подвесьте к концу жгута яблоко и определите удлинение жгута. Повторите опыт с яблоком другой массы. По результатам опытов определите, во сколько раз отличаются массы яблок.



§ 22.

Явление тяготения. Сила тяжести

Посмотрите на глобус. Это модель Земли. Земля имеет форму, близкую к форме шара. Нам это кажется естественным. Но каково было недоумение людей, впервые услышавших об этом! Они никак не могли поверить, что люди, живущие на противоположной стороне Земли (рис. 126), не падают в бездну.

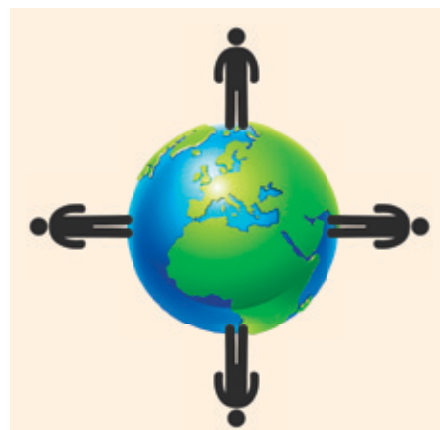


Рис. 126

Почему люди одинаково устойчивы в любом месте Земли? Земля притягивает к себе все тела.

Если бы Земля не обладала притяжением, брошенные горизонтально или вверх тела, двигаясь по инерции, никогда не вернулись бы на Землю. Тем не менее мяч, брошенный вертикально вверх, возвращается обратно (рис. 127, а). Траектория мяча, брошенного горизонтально, по мере движения искривляется (рис. 127, б). Спутник движется вокруг Земли по круговой орбите (рис. 127, в). Искривление траектории мяча, спутника есть также результат притяжения этих тел к Земле.

Сила, с которой Земля притягивает к себе тело, называется силой тяжести.

Зависит ли сила тяжести от массы тела? Конечно, да. Из жизненного опыта мы хорошо знаем, что, чем больше масса налитой в ведро воды, тем труднее его удерживать. Слона Земля притягивает гораздо сильнее, чем зайца (рис. 128).

Во сколько раз увеличивается масса тела, во столько раз возрастает сила тяжести F_T . Иначе говоря, действующая на тело сила тяжести прямо пропорциональна массе тела:

$$F_T = gm,$$

где g — коэффициент пропорциональности (о его числовом значении вы узнаете из § 25).

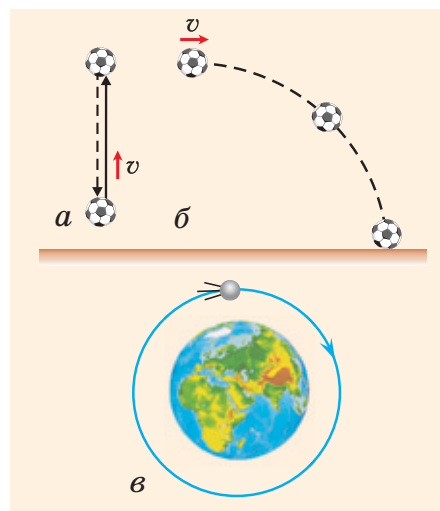


Рис. 127

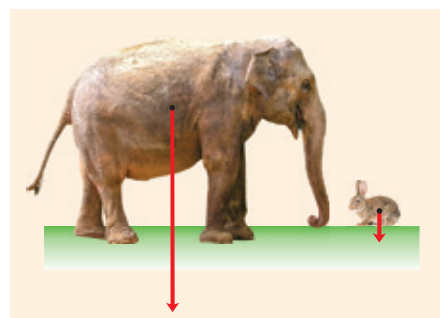


Рис. 128

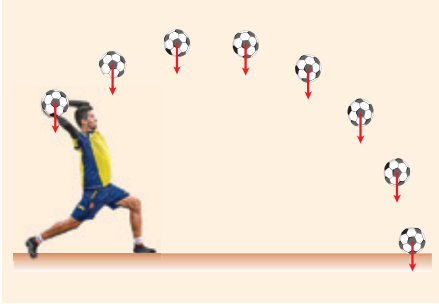


Рис. 129

Сила тяжести направлена вертикально вниз (рис. 129) и приложена к центру однородного тела.

А обладают ли другие планеты притяжением, как Земля? Английский физик и математик Исаак Ньютон пришел к выводу, что притяжение свойственно всем планетам и вообще любому телу, обладающему массой, т. е. всем телам Вселенной. Поэтому явление взаимного притяжения тел названо *всемирным тяготением*.

Сила тяжести зависит не только от массы тела, которое притягивается, но и от массы того тела, которое притягивает (Земля, Луна и др.).

Все небесные тела притягивают к себе любые другие тела. Но так как массы и размеры небесных тел различны, то разной будет и действующая сила притяжения. Так, на Луне сила тяжести, действующая на тело, будет почти в 6 раз меньше, чем на Земле.

Масса Земли очень большая: $m \approx 6\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,\text{т} = 6 \cdot 10^{21}\,\text{т}$, поэтому ее притяжение так велико. Земля притягивает не только тела, находящиеся на ее поверхности, но и удаленные от нее (искусственные спутники, Луну). По мере удаления сила притяжения уменьшается (уменьшается g), но сохраняется прямо пропорциональная зависимость силы тяжести от массы тела.

Еще сильнее притяжение Солнца, так как его масса примерно в 300 000 раз больше массы Земли. Именно поэтому Земля и другие планеты движутся вокруг Солнца.

1. Все тела во Вселенной обладают свойством притягивать к себе другие тела.
2. Сила, с которой Земля притягивает к себе тело, называется силой тяжести.
3. Сила тяжести, действующая на тело, прямо пропорциональна его массе.

1. Какую силу называют силой тяжести?
2. Какие явления объясняются действием на тело силы тяжести?
3. Как направлена сила тяжести?
4. От чего зависит значение силы тяжести?



Пример решения задачи

Плотность железного бруска в k раз больше плотности деревянного. Объем железного бруска в n раз меньше объема деревянного. Во сколько раз отличаются силы тяжести, действующие на бруски?

Дано:

$$\frac{\rho_{\text{ж}}}{\rho_{\text{д}}} = k$$

$$\frac{V_{\text{д}}}{V_{\text{ж}}} = n$$

$$\frac{F_{\text{ж}}}{F_{\text{д}}} = ?$$

$$\frac{F_{\text{ж}}}{F_{\text{д}}} = ?$$

$$\frac{F_{\text{ж}}}{F_{\text{д}}} = ?$$

$$\frac{F_{\text{ж}}}{F_{\text{д}}} = ?$$

$$\frac{F_{\text{ж}}}{F_{\text{д}}} = ?$$

$$\frac{F_{\text{ж}}}{F_{\text{д}}} = ?$$

$$\frac{F_{\text{ж}}}{F_{\text{д}}} = ?$$

$$\frac{F_{\text{ж}}}{F_{\text{д}}} = ?$$

$$\frac{F_{\text{ж}}}{F_{\text{д}}} = ?$$

$$\frac{F_{\text{ж}}}{F_{\text{д}}} = ?$$

$$\frac{F_{\text{ж}}}{F_{\text{д}}} = ?$$

$$\frac{F_{\text{ж}}}{F_{\text{д}}} = ?$$

$$\frac{F_{\text{ж}}}{F_{\text{д}}} = ?$$

$$\frac{F_{\text{ж}}}{F_{\text{д}}} = ?$$

$$\frac{F_{\text{ж}}}{F_{\text{д}}} = ?$$

$$\frac{F_{\text{ж}}}{F_{\text{д}}} = ?$$

$$\frac{F_{\text{ж}}}{F_{\text{д}}} = ?$$

$$\frac{F_{\text{ж}}}{F_{\text{д}}} = ?$$

$$\frac{F_{\text{ж}}}{F_{\text{д}}} = ?$$

$$\frac{F_{\text{ж}}}{F_{\text{д}}} = ?$$

$$\frac{F_{\text{ж}}}{F_{\text{д}}} = ?$$

$$\frac{F_{\text{ж}}}{F_{\text{д}}} = ?$$

$$\frac{F_{\text{ж}}}{F_{\text{д}}} = ?$$

$$\frac{F_{\text{ж}}}{F_{\text{д}}} = ?$$

$$\frac{F_{\text{ж}}}{F_{\text{д}}} = ?$$

$$\frac{F_{\text{ж}}}{F_{\text{д}}} = ?$$

$$\frac{F_{\text{ж}}}{F_{\text{д}}} = ?$$

$$\frac{F_{\text{ж}}}{F_{\text{д}}} = ?$$

$$\frac{F_{\text{ж}}}{F_{\text{д}}} = ?$$

Решение

Силы тяжести, действующие на бруски, равны:

$$F_{\text{ж}} = g m_{\text{ж}}; F_{\text{д}} = g m_{\text{д}}.$$

Массы брусков равны: $m_{\text{ж}} = \rho_{\text{ж}} V_{\text{ж}}; m_{\text{д}} = \rho_{\text{д}} V_{\text{д}}.$

Отношение сил:

$$\frac{F_{\text{ж}}}{F_{\text{д}}} = \frac{g \rho_{\text{ж}} V_{\text{ж}}}{g \rho_{\text{д}} V_{\text{д}}} = \frac{k}{n}.$$

$$\text{Ответ: } \frac{F_{\text{ж}}}{F_{\text{д}}} = \frac{k}{n}.$$

Упражнение 7

1. Параллельны ли траектории двух тел, одно из которых падает на Северном полюсе, другое — на экваторе?

2. Во сколько раз отличаются силы тяжести, действующие на камни массами $m_1 = 2$ кг и $m_2 = 4$ кг, лежащие на земле?

3. Во сколько раз сила тяжести, действующая на 1 л воды, отличается от силы тяжести, действующей на 1 л ртути?

4. На весах (рис. 130) уравновешены два однородных кубика. Сравните: а) силы тяжести, действующие на кубики; б) плотности веществ, из которых изготовлены кубики.

5. Силы тяжести, действующие на две чугунные детали, отличаются в 4 раза. Во сколько раз отличаются их объемы? Массы?

6. Плотность вещества и объем одной детали в k раз больше, чем плотность вещества и объем другой. Во сколько раз отличаются действующие на них силы тяжести?

7. В одной из работ И. Ньютона приведены рассуждения о движении бросаемых тел. Суть этих рассуждений отражена на рисунке 131. Самостоятельно воспроизведите смысл рассуждений И. Ньютона.

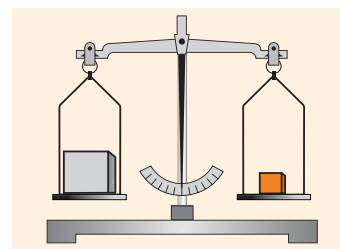


Рис. 130

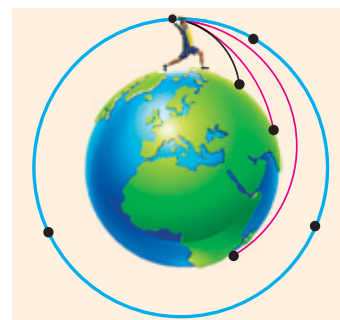


Рис. 131



§ 23.

Сила упругости

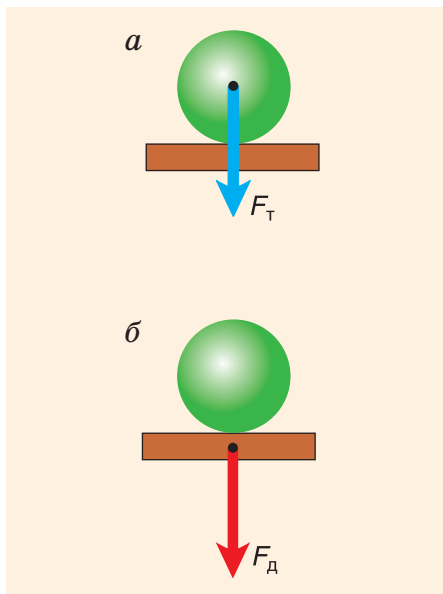


Рис. 132

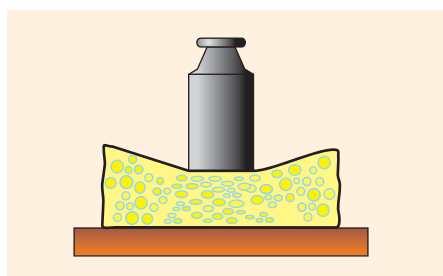


Рис. 133

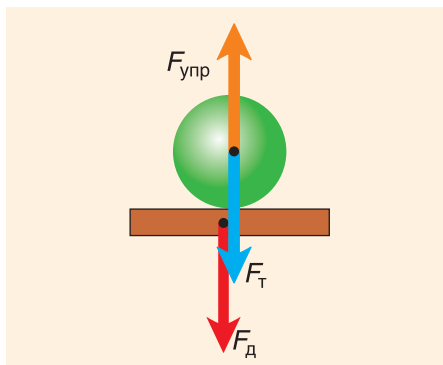


Рис. 134

На горизонтальном столе лежит шар. Как и на всякое тело, на него действует сила тяжести F_T (рис. 132, а). Но почему он не падает вниз? Этому препятствует опора (крышка стола). В чем выражается действие опоры на лежащее на ней тело?

Из § 21 известно, что приложенная к телу сила (даже очень большая) не вызывает изменения скорости движения тела, если она скомпенсирована (уравновешена) приложенной к нему противоположно направленной другой силой. Как возникает эта другая сила? В приведенном примере шар, притягиваясь Землей, давит на крышку стола. Сила давления $F_д$ приложена к крышке стола и направлена вниз (рис. 132, б). Действуя на крышку, эта сила прогибает ее, т. е. деформирует крышку, хотя данная деформация и не заметна для глаз.

Вас не должно удивлять утверждение, что любая, даже незначительная, сила давления (например, сила давления мухи, севшей на стол) вызывает деформацию. Деформации поверхности стола, на которую давит гиря, не видно. Но попробуйте положить под гирю поролон (рис. 133), и вы заметите его прогиб, т. е. деформация станет очевидной.

Вернемся к примеру с шаром. Деформированная опора, стремясь распрямиться, действует на шар с силой, направленной вверх (рис. 134), — **силой упругости**. Именно сила упругости $F_{упр}$ и компенсирует действие силы тяжести F_T .

Проделаем еще один опыт. Подвесим шар к пружине, укрепленной на штативе. Шар, притягиваясь к Земле (рис. 135, а), движется и растягивает (деформирует) пружину. Деформирую-

щая сила $F_{\text{деф}}$ приложена к пружине и направлена вниз. Но движение шара не продолжается неограниченно. Что же препятствует движению?

Как и в случае с лежащим шаром, действует сила упругости $F_{\text{упр}}$. Она приложена к висящему шару, направлена противоположно деформирующей силе и равна ей по числовому значению.

А теперь поместим шар на пружину сверху (рис. 135, б). Пружина сожмется под действием силы давления $F_{\text{д}} = F_{\text{деф}}$, приложенной к ней. Препятствовать движению шара будет сила упругости $F_{\text{упр}}$, с которой пружина действует на шар.

Итак, **сила, действующая на тело со стороны деформированной опоры или подвеса, называется силой упругости.**

Вы заметили закономерность? Сила упругости $F_{\text{упр}}$ приложена к телу, вызвавшему деформацию опоры или подвеса. Она противоположна по направлению и численно равна деформирующей силе $F_{\text{деф}}$. Деформирующая сила приложена к опоре или подвесу. Но стоит убрать деформирующую силу — и растяжение, сжатие или прогиб исчезают, т. е. деформированное тело (пружина, стол) восстанавливает свои первоначальные размеры и форму. Поскольку сила упругости возникает в ответ на действие (опора, подвес реагируют на действие), то силу упругости часто называют еще *силой реакции*.

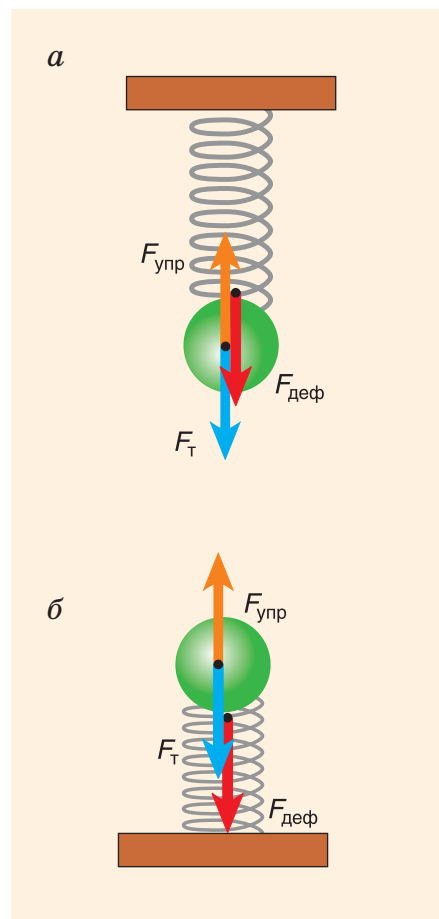


Рис. 135

■ Главные выводы

1. Сила упругости (сила реакции) возникает в ответ на действие деформирующей силы.
2. Сила упругости приложена к телу, вызвавшему деформацию опоры или подвеса.
3. Деформирующая сила приложена к опоре или подвесу.
4. Сила упругости противоположна деформирующей силе. Их модули равны.

? Контрольные вопросы

1. Когда возникает сила упругости?
2. Как направлена сила упругости?
3. Какой силе противодействует сила упругости?
4. К чему приложены сила упругости и деформирующая сила при растяжении горизонтальной пружины двумя руками за ее концы?



Рис. 136



Рис. 137

Упражнение 8

1. Книга лежит на столе (рис. 136). Изобразите все силы, действующие на книгу. Какая из них является силой упругости?

2. Какие силы действуют на плиту, которую равномерно поднимает подъемный кран (рис. 137)? Изобразите их и определите, взаимодействие каких тел они выражают.

3. Шар, подвешенный на нити AB (рис. 138), опирается о гладкую вертикальную стену. Изобразите все силы, приложенные к шару.



4. Два одинаковых шара подвешены на нитях AB и BC (рис. 139). Что можно сказать о силах упругости, возникающих в нитях? Изобразите их на рисунке в тетради.

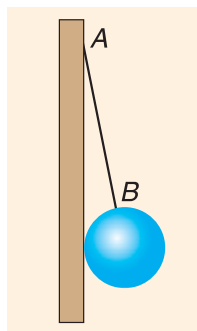


Рис. 138

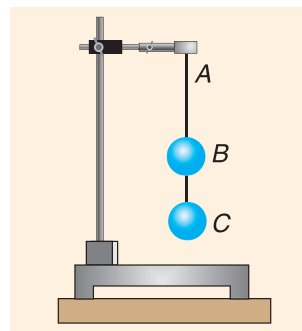


Рис. 139



§ 24.

Вес тела

При взаимодействии тел на каждое из них со стороны другого действует сила. Рассмотрим действие друг на друга тела и его горизонтальной опоры или тела и его вертикального подвеса.

На рисунке 140 представлены различные тела. Каждое из этих тел, притягиваясь к Земле, действует на опору или подвес с силой, которая вам знакома (§ 23) как деформирующая сила. Это сила давления на опору или сила натяжения подвеса. Иначе эту силу называют *весом тела*.

Почему тело действует на опору или подвес? Потому что его притягивает Земля. Неподвижные опора или подвес не позволяют телу падать и сами испытывают действие силы.

Вес — это сила, с которой тело вследствие притяжения Земли действует на опору или подвес.

Обозначим вес буквой P и укажем вес каждого тела на рисунке 140. Вес мяча приложен к опоре (крышке стола), направлен вниз и является уже известной вам силой давления. Вес собаки приложен к земле в местах соприкосновения ее лап с землей и равен сумме четырех сил:

$$P = P_1 + P_2 + P_3 + P_4.$$

Определите сами и изобразите вес всех остальных тел, представленных на рисунке 140.

А теперь еще раз сравним силу тяжести и вес тела. У этих сил есть общее: они вызваны притяжением Земли. Эти силы очень часто (подчеркиваем — часто, но не всегда) численно равны друг другу. Но у силы тяжести и веса есть различия.

Во-первых, они приложены к разным телам: сила тяжести — к телу (шару), а вес — к опоре или подвесу (крышке стола, нити) (рис. 141, а, б).

Во-вторых, сила тяжести в данном месте Земли имеет строго определенное значение $F = gt$,

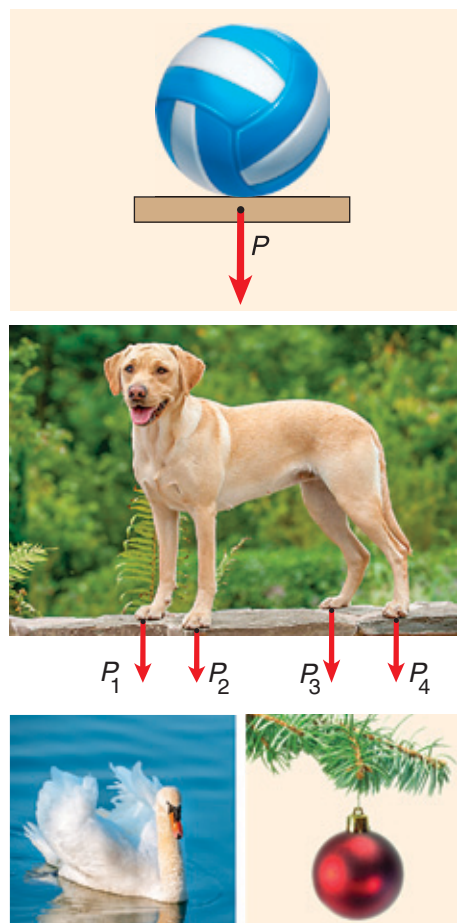


Рис. 140

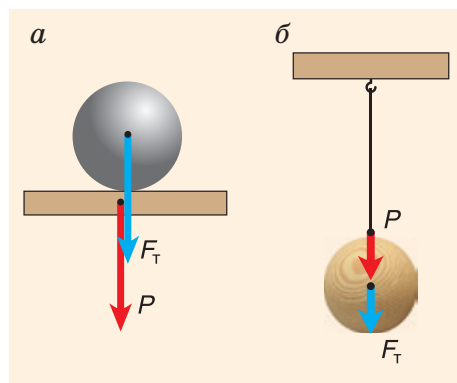


Рис. 141

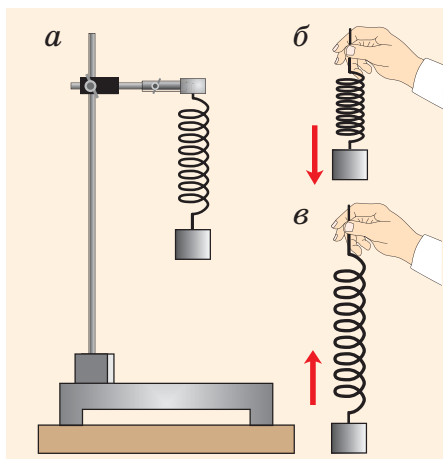


Рис. 142

а вес тела может быть не только равен, но и больше или меньше этого значения.

Докажем это с помощью опыта. Подвесим груз на пружине (рис. 142, а). Если мы будем **равномерно** поднимать и опускать этот груз, то удлинение пружины, а значит, и сила упругости, и вес груза будут оставаться такими же, как в случае неподвижного груза. Но если мы **неравномерно** (резко) опустим (рис. 142, б) или поднимем (рис. 142, в) груз в вертикальном направлении, то будут наблюдаться изменения в растяжении пружины. Это указывает на изменения веса тела: уменьшение (рис. 142, б) или увеличение (рис. 142, в).

▼ Для любознательных

Вам известно, что действующая на тело сила тяжести на других планетах может быть как больше, так и меньше, чем на Земле. Значит, и вес тела на этих планетах будет другим.

А может ли тело вообще потерять вес? Космонавты и все тела в космическом корабле свободно парят, не оказывая действия на опору или подвес, т. е. их вес $P = 0$. Это состояние тела называется *невесомостью*.

Невесомость можно создать и на Земле. Пустим свободно падать груз вместе с пружиной. Пружина не растягивается, а, значит, вес груза равен нулю. Это и есть невесомость.

■ Главные выводы

1. Вес тела — сила, приложенная к опоре или подвесу.
2. Вес неподвижного или равномерно движущегося тела численно равен силе тяжести.
3. Вес тела, движущегося неравномерно, может изменяться и быть больше силы тяжести, меньше и даже равным нулю.

? Контрольные вопросы

1. Что называют весом тела? К чему он приложен?
2. В чем отличие веса тела от силы тяжести?
3. В каком случае вес тела численно равен действующей на него силе тяжести?
4. Были ли вы в состоянии невесомости? Аргументируйте свой ответ.

