



§ 25.

Единица силы. Измерение силы. Динамометр

Сила характеризуется числовым значением (модулем), направлением и точкой приложения. Чтобы определить числовое значение силы, нужно измерить ее, т. е. сравнить с другой силой, принятой в качестве единицы силы. Что принято за единицу силы?

Главный результат действия силы — изменение скорости движения тела, которая сама по себе никогда не изменяется. Исходя из этого, была выбрана в СИ основная единица силы — 1 ньютон (1 Н), названная в честь английского ученого Исаака Ньютона. Существуют кратные и дольные единицы силы. Например: 1 кН = 1000 Н, 1 мН = 0,001 Н.

Сила, как вы знаете, может не только изменить скорость, но и вызвать деформацию тела. Пружина растягивается (рис. 143), потому что на нее действует вес груза, который притягивает Земля.

Какой массой должно обладать тело, чтобы действующая на него сила тяжести равнялась 1,0 Н? Исследования показали, что с силой $F = 1,0$ Н Земля притягивает тело массой $m = 0,102$ кг.

Определим значение коэффициента g , входящего в формулу силы тяжести $F = gm$. Из формулы видно, что $g = \frac{F}{m}$. Так как на тело массой 0,102 кг Земля действует с силой $F \approx 1,0$ Н, то:

$$g = \frac{1,0 \text{ Н}}{0,102 \text{ кг}} \approx 9,8 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}.$$

Значит, если масса тела равна 1,0 кг, то действующая на него сила тяжести $F = gm = 9,8$ Н. Следовательно, и вес этого тела (если оно находится в состоянии покоя или движется равномерно) $P = 9,8$ Н.

Ни в коем случае нельзя приравнивать вес и массу, что, к сожалению, часто встречается в быту. Это разные физические величины, и единицы у них разные. Масса измеряется в килограммах, вес — в ньютонах (рис. 144). Если ваша масса $m = 50$ кг, то ваш вес $P \approx 500$ Н.

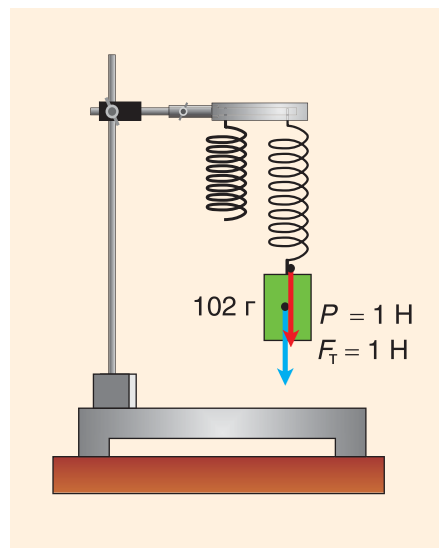


Рис. 143



Рис. 144



Рис. 146

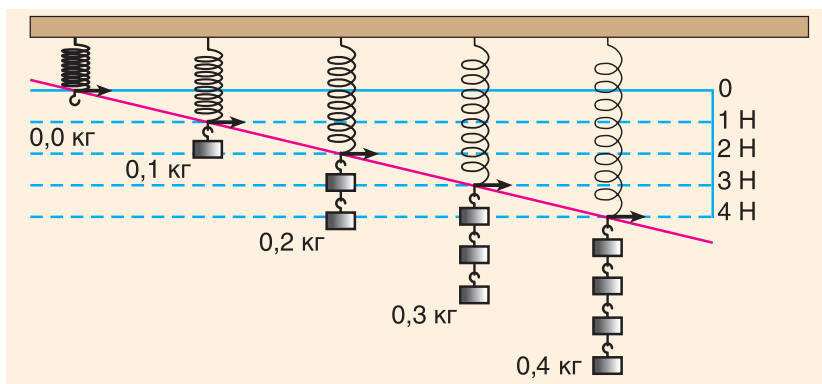


Рис. 145

Как измерить силу? Для этого нужно создать измерительный прибор. Будем подвешивать к пружине сначала одну гирю массой $m = 102 \text{ г} = 0,102 \text{ кг}$, затем две, три и т. д. Отметим штрихами положения указателя (рис. 145), напротив которых поставим значения 1 Н, 2 Н, 3 Н и т. д.

Пружина с указателем и шкалой (рис. 146) представляет собой прибор для измерения сил — *динамометр* (от греч. *dynamis* — сила и *metreo* — измеряю). Динамометром можно измерять не только вес тела, но и любые силы.

Динамометры бывают различных типов и размеров. Это зависит от того, для измерения каких сил они предназначены. Для измерения мускульной силы руки используют *динамометр-силомер* (рис. 147, а). Определить силу тяги трактора позволяет *тяговый динамометр* (рис. 147, б).

Для проведения различных исследований удобен *динамометр с реечной передачей* (рис. 148). Он позволяет измерять не только силу, направленную вниз. Например, силу, создаваемую лежащим на столике А телом (рис. 148, а), или вес подвешенного к подвесу Б тела. Таким динамометром можно измерить и силу, направленную вверх (рис. 148, б).

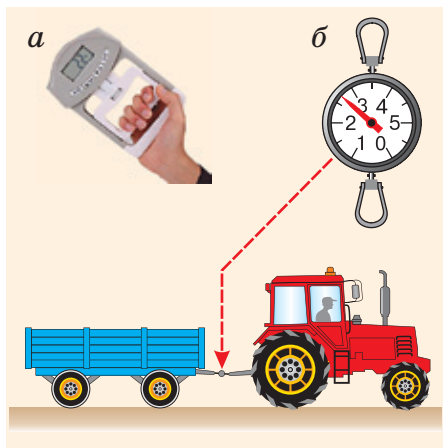


Рис. 147

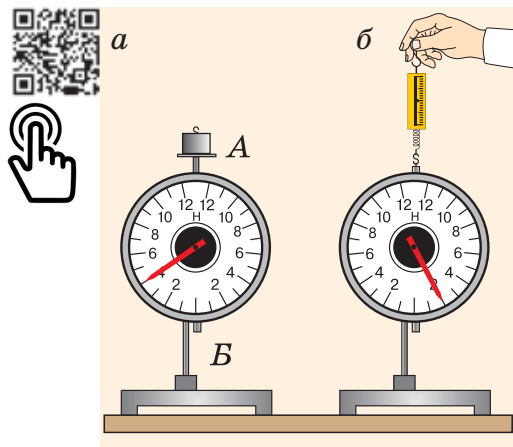


Рис. 148

▼ Для любознательных

Значение коэффициента g , равное $9,8 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$, характерно только для Земли. Оно несколько изменяется в зависимости от географической широты места и от высоты подъема тела над поверхностью Земли. С увеличением высоты значение g уменьшается.

Для Луны этот коэффициент в 6 раз меньше, т. е. $g_{\text{Л}} \approx 1,6 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$, для Юпитера $g_{\text{Ю}} \approx 23 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$. Для Солнца $g_{\text{С}} \approx 274 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$ (почти в 30 раз больше, чем для Земли).

■ Главные выводы

1. В СИ основной единицей силы является 1 ньютон.
2. С силой $F = 1 \text{ Н}$ Земля притягивает тело массой $m = 0,102 \text{ кг}$.
3. Силу измеряют с помощью динамометра.
4. В формуле силы тяжести $F_{\text{Т}} = gm$, с которой Земля действует на тело, постоянный коэффициент $g \approx 9,8 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$.

? Контрольные вопросы

1. В каких единицах в СИ измеряется сила?
2. Какие свойства силы используются для ее измерения?
3. Какой массой должно обладать тело, чтобы Земля притягивала его с силой $F = 1 \text{ Н}$?
4. С какой силой вас притягивает Земля?
5. Можно ли измерить вес тела с помощью пружинного динамометра, находясь на орбите в космическом корабле?



➔ Домашнее задание

Используя подходящую пружину или резиновый жгут, самостоятельно изготовьте динамометр. Градуировку шкалы можно провести в классе. В дальнейшем вы сможете использовать свой динамометр в быту для измерений, не требующих высокой точности.



Пример решения задачи

Зависимость силы тяжести, действующей на песок в песочных часах, от его объема представлена на рисунке 149. Определите плотность песка. Коэффициент g примите равным $10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$.

Решение

Плотность песка $\rho = \frac{m}{V}$. Масса песка $m = \frac{F_T}{g}$.

Силу тяжести для данного объема песка, например $V = 4,0 \text{ см}^3 = 4,0 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$, определим по данному графика: $F_T = 100 \text{ мН} = 0,10 \text{ Н}$. Тогда

$$\rho = \frac{F_T}{gV} = \frac{0,10 \text{ Н}}{10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 4,0 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3} = 2500 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} = 2,5 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}.$$

Ответ: $\rho = 2,5 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$.

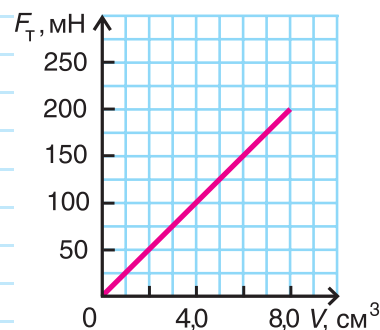


Рис. 149

Упражнение 9

1. Какие вес и силу тяжести имеют лежащие на столе яблоко, кабачок и арбуз, если их массы соответственно равны: $m_1 = 0,10 \text{ кг}$, $m_2 = 0,50 \text{ кг}$, $m_3 = 3,0 \text{ кг}$? В этой и последующих задачах считайте $g = 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$.

2. Определите действующую на лежащий на доске кирпич силу тяжести и вес кирпича объемом $V = 0,80 \text{ дм}^3$. Изобразите эти силы.

3. Какие из сил — сила тяжести, давления, упругости, вес — изменяются, если вы стоите в кабине лифта в момент: а) начала подъема; б) равномерного движения; в) торможения перед остановкой?

4. В 2008 г. белорусский штангист А. Арямнов стал победителем XXIX Олимпийских игр, установив три мировых рекорда. В толчке он поднял штангу массой $m = 236 \text{ кг}$. Определите вес штанги. Был ли он в процессе подъема и опускания штанги постоянным?

5. Картонный ящик содержит $N = 50$ плиток шоколада. Вес ящика $P = 54 \text{ Н}$. Определите массу одной плитки шоколада, если масса пустого ящика $m_0 = 0,40 \text{ кг}$.

6. Зависимость массы от объема бруска представлена на графике (рис. 150). Из какого вещества изготовлен брусок? Чему равны вес бруска, находящегося в состоянии покоя, и сила тяжести, действующая на брусок объемом $V = 1,0 \text{ дм}^3$?

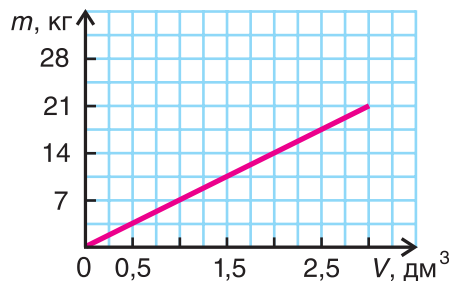


Рис. 150



§ 26.

Сложение сил. Равнодействующая сила

На любое тело действует хотя бы одна сила — сила тяжести. Но чаще всего на тело действует несколько сил. Например, на шарик (рис. 151) действуют Земля и нить (две силы). Каков результат их действия?

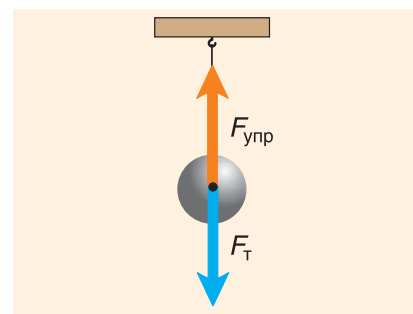
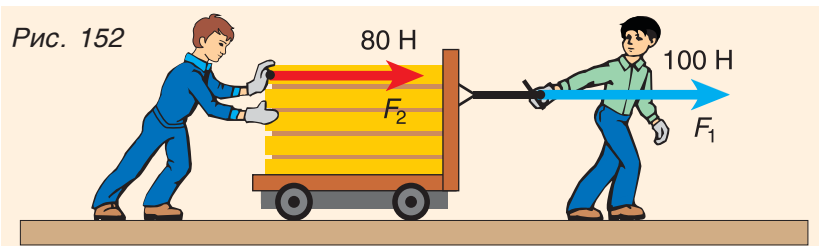


Рис. 151

Решим такую задачу. Вы с другом перевозите на тележке груз, причем один из вас тянет тележку, прикладывая силу $F_1 = 100$ Н, другой толкает ее, действуя с силой $F_2 = 80$ Н (рис. 152). Какова сила, которая двигает тележку?



Эта сила $F = F_1 + F_2 = 100 \text{ Н} + 80 \text{ Н} = 180 \text{ Н}$. А изменилось бы движение тележки, если бы ее тянул один человек, прикладывая силу $F = 180$ Н? Нет, эффект был бы таким же. Значит, одна сила F оказывает на тележку такое же действие, как две одновременно действующие силы F_1 и F_2 .

Сила, которая оказывает на тело такое же действие, как несколько одновременно действующих на него сил, называется равнодействующей этих сил.

Как направлена равнодействующая? Проведем опыт. К нижнему крючку динамометра подвесим груз весом $P_1 = F_1 = 3$ Н, а на столик (рис. 153, а) поместим груз весом $P_2 = F_2 = 1$ Н. Динамометр показывает действие на него силы $F = 4$ Н. Сила F — сумма веса нижнего и верхнего грузов. Эти силы направлены вертикально вниз. Заменим два груза одним весом 4 Н и подвесим его к динамометру (рис. 153, б). Динамометр показывает, что действие одного груза такое же, как и двух

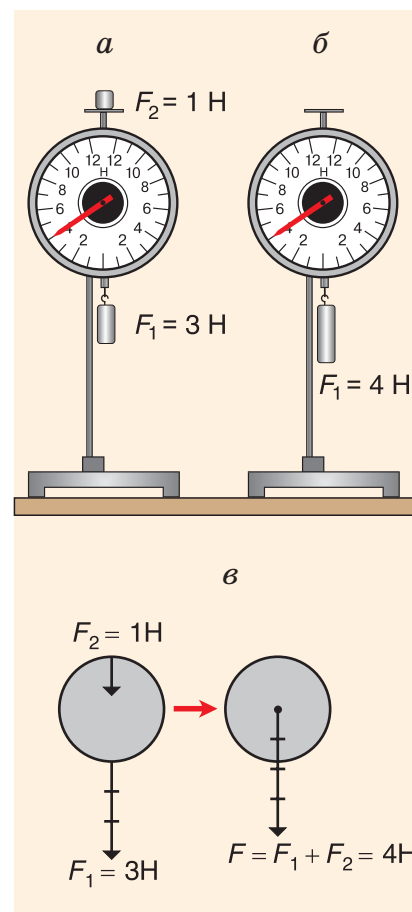


Рис. 153

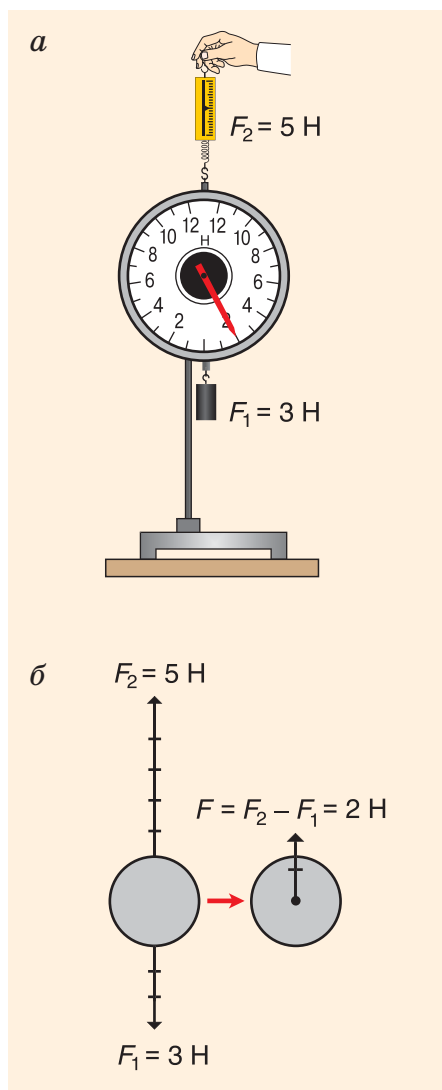


Рис. 154

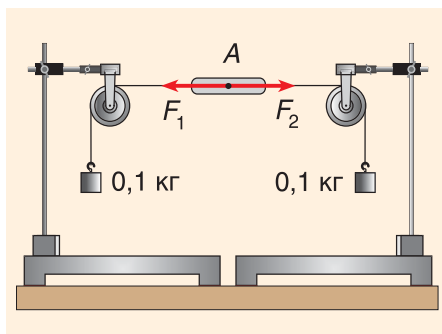


Рис. 155

грузов весом $P_1 = 3 \text{ Н}$ и $P_2 = 1 \text{ Н}$. Значит, сила $F = 4 \text{ Н} = 3 \text{ Н} + 1 \text{ Н}$ — равнодействующая двух сил, приложенных к динамометру. Изобразим эти силы схематически (см. рис. 153, в).

Модуль равнодействующей сил, действующих на тело в одном направлении по одной прямой, равен сумме модулей этих сил. Направление равнодействующей такое же, как и отдельных сил.

Изменим опыт: с помощью другого динамометра подействуем на данный динамометр вверх силой $F_2 = 5 \text{ Н}$ (рис. 154, а). Приложенные к динамометру силы направлены в противоположные стороны. Динамометр показывает силу $F = 2 \text{ Н} = 5 \text{ Н} - 3 \text{ Н}$. Это и есть равнодействующая двух противоположно направленных сил. Она направлена вверх, что подтверждается изменением направления поворота стрелки динамометра.

Значит, действие двух противоположно направленных сил можно заменить одной силой, модуль которой равен разности модулей двух приложенных сил и которая направлена в сторону большей силы (рис. 154, б).

А если силы F_1 и F_2 имеют равные модули? Тогда равнодействующая сила равна нулю. Происходит компенсация сил.

Ответим еще на один важный вопрос: как ведет себя тело при скомпенсированных силах, т. е. при значении равнодействующей $F = 0$?

Проведем опыт. Возьмем пенопластовую пластинку А очень малой массы. Подействуем на пластинку одинаковыми по модулю силами упругости нитей F_1 и F_2 (рис. 155). Других сил нет. Силой тяжести, действующей на пластинку, можно пренебречь. Равнодействующая сил F_1 и F_2 равна нулю. Пластинка находится в состоянии покоя. Толкнем пластинку. Она придет в движение и, если трение мало, будет двигаться равномерно, т. е. с постоянной скоростью. Но после прекращения толчка на пластинку по-прежнему действуют только силы F_1 и F_2 , их равнодействующая равна нулю. Опыт позволяет сделать очень важный вывод: **если**

равнодействующая сил, приложенных к телу, равна нулю, тело находится в состоянии покоя или движется равномерно и прямолинейно. Приведите примеры, подтверждающие этот вывод.

А если продолжить опыт и подвесить к одной нити два груза, а к другой — три (рис. 156)? Равнодействующая сил упругости нитей F_1 и F_2 , приложенных к пластинке, уже не будет равна нулю. Пластинка придет в движение с увеличивающейся скоростью.

Внимание! Находить равнодействующую можно только для сил, приложенных к одному телу.

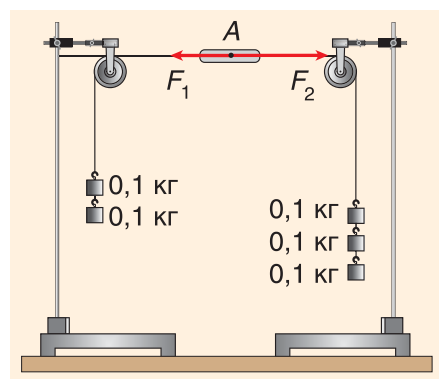
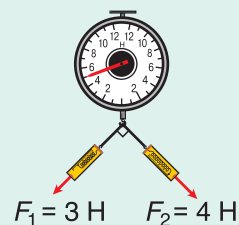


Рис. 156

Для любознательных

Если приложенные к телу силы действуют не вдоль одной прямой, то модуль равнодействующей силы не равен арифметической сумме этих сил. В показанном на рисунке опыте приложенные силы — $F_1 = 3 \text{ Н}$, $F_2 = 4 \text{ Н}$ — перпендикулярны друг другу, а модуль равнодействующей F равен не 7 Н , а 5 Н , т. е. меньше суммы $F_1 + F_2$.



Главные выводы

1. Действие нескольких сил, приложенных к телу, можно заменить одной силой — их равнодействующей.
2. Направление равнодействующей двух сил, действующих вдоль одной прямой, совпадает с направлением большей из них.
3. Если равнодействующая сил, приложенных к телу, равна нулю, то оно либо покоится, либо движется равномерно и прямолинейно.
4. Если равнодействующая всех сил, приложенных к телу, не равна нулю, скорость тела изменяется.

Контрольные вопросы

1. Что называют равнодействующей силой?
2. Как находится равнодействующая двух сил, если они:
 - а) направлены в одну сторону; б) направлены в противоположные стороны?
3. Сформулируйте условие движения тела с постоянной скоростью.



Пример решения задачи

На автомобиль массой $m = 2,0$ т, движущийся равномерно по прямолинейному горизонтальному участку шоссе, действует сила сопротивления движению $F_{\text{сопр}} = 8,0$ кН. Определите силу тяги, развиваемую двигателем автомобиля. Изобразите все силы, действующие на автомобиль (масштаб: 1 см — 8000 Н). Найдите их равнодействующую.

Дано:

$$m = 2,0 \text{ т} = 2,0 \cdot 10^3 \text{ кг}$$

$$F_{\text{сопр}} = 8,0 \text{ кН} = 8,0 \cdot 10^3 \text{ Н}$$

$$F_{\text{тяги}} = ?$$

$$F_{\text{р}} = ?$$

Решение

Если автомобиль движется равномерно, то равнодействующая всех сил, приложенных к нему, равна нулю. На автомобиль действуют: сила тяжести $F_{\text{т}}$, сила упругости $F_{\text{упр}}$, сила тяги $F_{\text{тяги}}$, сила сопротивления $F_{\text{сопр}}$.

Изобразим $F_{\text{сопр}}$ в заданном масштабе (рис. 157). Так как движение автомобиля равномерное, то равнодействующая сил:

$$F_{\text{тяги}} - F_{\text{сопр}} = 0, \text{ т. е.}$$

$$F_{\text{тяги}} = F_{\text{сопр}} = 8000 \text{ Н} = 8,0 \text{ кН.}$$

$$\text{Аналогично } F_{\text{упр}} - F_{\text{т}} = 0, \text{ значит, } F_{\text{р}} = 0.$$

$$\text{Ответ: } F_{\text{тяги}} = 8,0 \text{ кН; } F_{\text{р}} = 0.$$

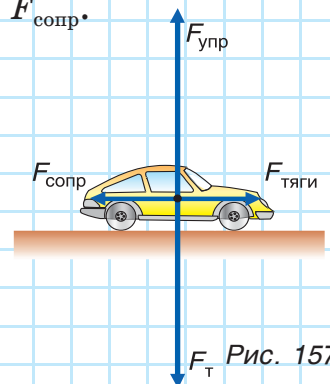


Рис. 157

Упражнение 10

1. Какими будут максимальное и минимальное значения равнодействующей двух сил, направленных вдоль одной прямой, если $F_1 = 10$ Н, $F_2 = 12$ Н?

2. Дима помогает отцу передвигать шкаф. Дима толкает шкаф с силой $F_1 = 100$ Н, а отец — с силой $F_2 = 500$ Н. Обе силы направлены горизонтально. Определите равнодействующую сил, с которыми отец и сын действуют на шкаф. Изобразите эти силы (масштаб: 1 см — 100 Н).

3. Кабина лифта общей массой $m = 200$ кг поднимается с помощью троса, сила упругости которого $F = 2,20$ кН. Определите равнодействующую сил, приложенных к кабине лифта. Изобразите эти силы (масштаб: 1 см — 800 Н). Является ли движение кабины равномерным? В этой и последующих задачах считайте $g = 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$.

4. Под действием двух чугунных кубиков объемом $V = 0,10$ дм³ каждый пружина растянулась на $l = 5$ см. На сколько растянется пружина, если к ней подвесить чугунную деталь массой $m_2 = 1,4$ кг?