



§ 19.

Деформация тел. Сила упругости. Закон Гука

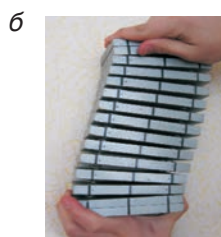
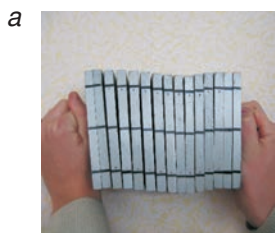


Рис. 125

До сих пор мы рассматривали модель абсолютно твердого тела. Размеры и форма тела в процессе его движения и взаимодействия не изменялись. Однако в ряде явлений происходит **деформация тела, т. е. изменение его размеров, формы**. Какими закономерностями описываются деформации?

Деформация происходит в результате перемещения одних частей тела относительно других. На рисунке 125, а, б, в, г на модели показаны различные виды деформаций: сжатие, сдвиг, изгиб, кручение.

При *сжатии* (рис. 125, а) и *растяжении* изменяются расстояния между слоями. При *сдвиге* (рис. 125, б) слои смещаются относительно друг друга. Деформация *изгиба* (рис. 125, в) является комбинацией сжатия и растяжения. При деформации *кручения* (рис. 125, г) слои поворачиваются относительно друг друга.

Деформации возникают под действием приложенных к телу сил (рис. 125). Что будет, если действие сил прекратится?

Проведем опыт. Изогнем ластик (рис. 126, а). Он деформируется. Прекратим воздействие. Деформация исчезнет.

Если размеры и форма тела полностью восстанавливаются после прекращения действия силы, то деформацию называют **упругой**.

Деформируем теперь кусок пластилина (рис. 126, б). После прекращения действия силы его форма не восстановилась. Такую деформацию называют **неупругой** или **пластической**.

Пластической деформации подвергают металл при прокатке, ковке (рис. 127), штамповке и т. д.

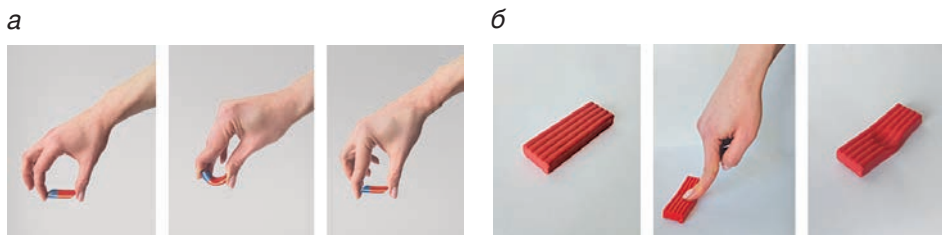


Рис. 126



Рис. 127

Характер деформации зависит не только от вещества, из которого состоит тело, но и от того, насколько велика внешняя сила, как долго она действует, а также от температуры тела. Например, если железную пластину немного изогнуть и отпустить, она восстановит свою форму. Однако если ее закрепить в деформированном состоянии на длительное время, то после снятия внешней силы восстановление будет неполным.

Если же тело нагрето до высокой температуры, то деформация будет пластической даже под действием кратковременной силы (рис. 127).

Рассмотрим подробнее наиболее простую деформацию: упругое растяжение. Как величина деформации тела зависит от приложенной к нему силы?

Проведем опыт. Закрепим один конец резинового шнура, а к другому подвесим груз (рис. 128). Под действием деформирующей силы $\vec{F}_{\text{деф}} = \vec{P}_1$ (веса груза) шнур растянется. Его длина станет больше начальной на величину Δl_1 . Будем увеличивать деформирующую силу, подвешивая два, три и т. д. одинаковых груза: $F_{\text{деф}} = 2P_1, 3P_1, \dots$

Удлинение шнура Δl возрастает во столько же раз.

Проведем аналогичные опыты с пружиной (рис. 129). Ее можно как растягивать, так и сжимать. Результаты будут аналогичны: *при упругих деформациях сжатия и растяжения изменение длины тела прямо пропорционально деформирующей силе:*

$$|\Delta l| \sim F_{\text{деф}}. \quad (1)$$

Как при растяжении шнура, так и при сжатии пружины в ответ на действие деформирующей силы $\vec{F}_{\text{деф}}$ возникала противодействующая ей *сила упругости* $\vec{F}_{\text{упр}}$ (рис. 128 и 129).

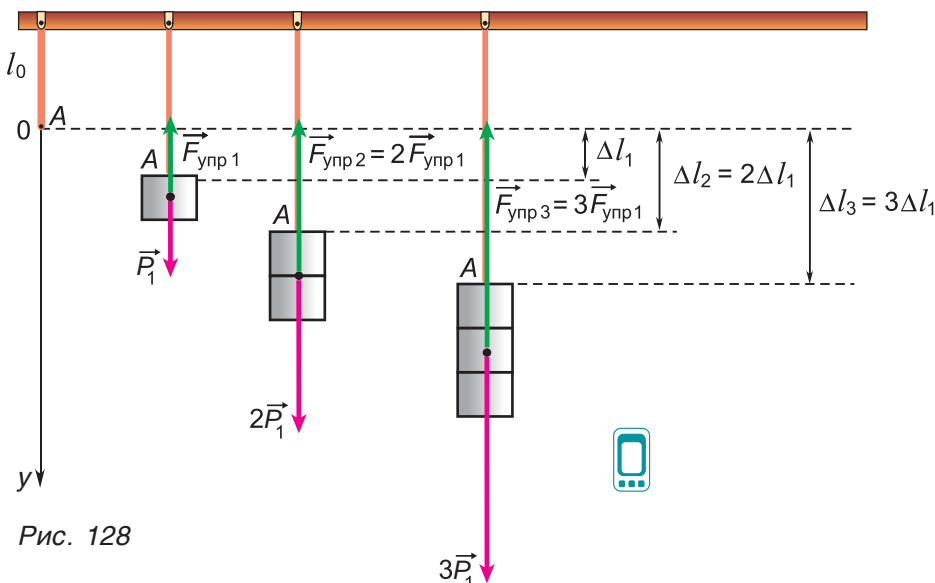


Рис. 128

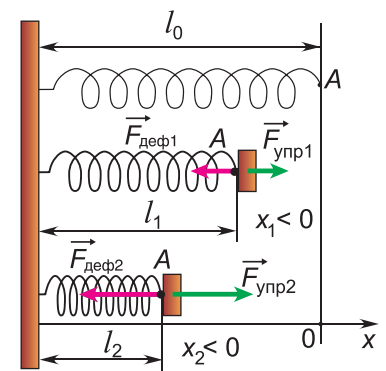


Рис. 129

К чему приложена упругая сила? Куда она направлена? Каким закономерностям она подчиняется? Какова ее природа?

Рисунки 128 и 129 показывают: **сила упругости приложена к телу, которое вызвало деформацию.**

Согласно третьему закону Ньютона

$$\vec{F}_{\text{упр}} = -\vec{F}_{\text{деф}}. \quad (2)$$

Сила упругости направлена противоположно деформирующей силе, а их модули равны.

Из формул (1) и (2) следует:

$$F_{\text{упр}} = k|\Delta l|, \quad (3)$$

где k — постоянный коэффициент. Значит, **при упругих деформациях сжатия и растяжения модуль силы упругости прямо пропорционален изменению длины тела.**

Это — **закон Гука** (установлен английским ученым Робертом Гуком в 1660 г.).

Коэффициент пропорциональности $k = \frac{F_{\text{упр}}}{|\Delta l|}$ называется **жесткостью** тела.

Жесткость тела численно равна модулю силы упругости, возникающей при удлинении (или сжатии) тела на единицу длины.

Единица жесткости в СИ — **1 ньютон на метр** $\left(\frac{\text{Н}}{\text{м}}\right)$.



Для любознательных

Жесткость тела зависит от материала, из которого оно изготовлено, от формы и размеров тела, от его температуры. Жесткость тела постоянного поперечного сечения (шнура, проволоки и т. д.) прямо пропорциональна площади сечения и обратно пропорциональна длине тела.

Из рисунков 128 и 129 видно, что и при растяжении, и при сжатии сила упругости направлена противоположно перемещению точки приложения деформирующей силы (точки А). С учетом этого закон Гука записывают в следующем виде:

$$F_{\text{упр}x} = -kx, \quad (4)$$

где $F_{\text{упр}x}$ — проекция силы упругости на ось Ox , а x — координата точки А. Начало координат на оси Ox выбрано так, чтобы при $x = 0$ деформация отсутствовала.

На рисунке 130, а, б представлены графики зависимости силы упругости от деформации Δl и от x . Прямолинейность графиков выражает прямую пропорциональную зависимость силы упругости от $|\Delta l|$ и от x .

Не забывайте, что закон Гука, а значит, и формулы (3), (4) выполняются только для упругих деформаций!

Все окружающие нас тела в той или иной степени деформированы. Хотя эти деформации чаще всего незаметны, связанные с ними силы упругости не малы. Например, сила упругости полки уравнивает силу тяжести книги (рис. 131), сила упругости рельсов — силу тяжести поезда и т. д. Силу упругости, возникающую в ответ на действие тела на опору, называют *силой реакции опоры*. Силу упругости растянутой нити, веревки, троса и т. д. — *силой натяжения*.

Почему при деформации возникают силы упругости? Какова их природа?

Из 7-го класса вам известно, что тела состоят из молекул, которые взаимодействуют друг с другом, и что силы взаимодействия имеют электромагнитное происхождение. Свойства этих сил таковы, что на определенном расстоянии r_0 между молекулами сила их взаимодействия обращается в нуль, при $r < r_0$ молекулы отталкивают друг друга, а при $r > r_0$ — притягивают.

Поэтому при сжатии тела силы взаимодействия молекул препятствуют его сжатию, а при растяжении — растяжению.

Силы упругости возникают из-за взаимодействия молекул между собой и имеют электромагнитную природу.

И упругие, и пластические свойства тел определяются тем, из каких молекул тела состоят и как расположены молекулы по отношению друг к другу. На рисунке 132 изображены кристаллические решетки алмаза и графита (разновидностей углерода). Различное расположение одних и тех же атомов углерода приводит к резким отличиям свойств данных веществ.

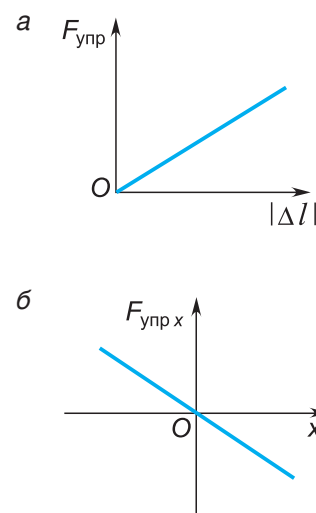


Рис. 130

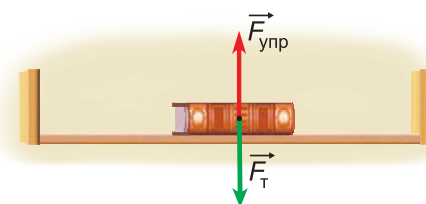
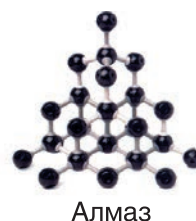
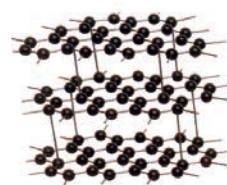


Рис. 131



Алмаз



Графит

Рис. 132

■ Главные выводы

1. Изменение размеров или формы тела называется деформацией.
2. Если после прекращения действия внешних сил размеры и форма тела полностью восстанавливаются, то деформация называется упругой. Если восстанавливаются не полностью, то — пластической.
3. Силы упругости направлены противоположно деформирующим силам.
4. При упругих деформациях сжатия и растяжения модуль силы упругости прямо пропорционален модулю изменения длины тела: $F_{\text{упр}} = k|\Delta l|$.

? Контрольные вопросы

1. При каких условиях возникает деформация тела? Каковы виды деформаций?
2. Что такое упругая деформация? Пластическая деформация?
3. Когда возникают силы упругости? Как они направлены?
4. Какова природа сил упругости?
5. Что утверждает закон Гука? При каких условиях он выполняется?
6. Что такое жесткость тела?
7. Будет ли зависимость силы упругости от удлинения тела линейной при любых значениях Δl ?



Пример решения задачи

Под действием пружинного динамометра железный кубик с длиной ребра $l = 10$ см движется по гладкой горизонтальной поверхности с постоянным ускорением, модуль которого $a = 10 \frac{\text{см}}{\text{с}^2}$. Определите удлинение пружины динамометра жесткостью $k = 100 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$.

Дано:

$$l = 10 \text{ см} = 0,10 \text{ м}$$

$$a = 10 \frac{\text{см}}{\text{с}^2} = 0,10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

$$k = 100 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$$

$$\rho_{\text{ж}} = 7800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$\Delta l = ?$$

Решение

Сделаем рисунок к задаче (рис. 133).

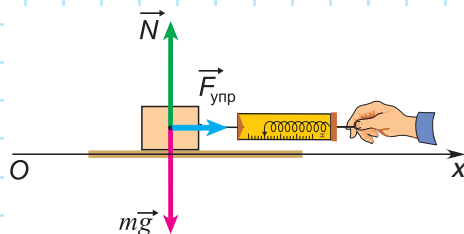


Рис. 133

По условию задачи на кубик действуют: сила тяжести $m\vec{g}$, сила реакции $\vec{N}$ и сила упругости пружины динамометра $\vec{F}_{\text{упр}}$. Трение отсутствует. По второму закону Ньютона:

$$m\vec{a} = \vec{N} + m\vec{g} + \vec{F}_{\text{упр}}. \quad (1)$$

В проекции на ось Ox :

$$ma = F_{\text{упр}}. \quad (2)$$

Масса кубика $m = \rho_{\text{ж}} V$, где объем кубика $V = l^3$. Тогда

$$m = \rho_{\text{ж}} l^3. \quad (3)$$

Модуль силы упругости пружины динамометра по закону Гука:

$$F_{\text{упр}} = k|\Delta l|. \quad (4)$$

Подставив выражения (3) и (4) в выражение (2), получим:

$$\rho_{\text{ж}} l^3 a = k|\Delta l|.$$

$$\text{Отсюда } |\Delta l| = \frac{\rho_{\text{ж}} l^3 a}{k} = \frac{7800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 0,0010 \text{ м}^3 \cdot 0,10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}}{100 \frac{\text{Н}}{\text{м}}} = 0,0078 \text{ м} = 7,8 \text{ мм}.$$

Ответ: $\Delta l = 7,8 \text{ мм}$.

Упражнение 15

1. Ведро с песком массой $m = 15,0 \text{ кг}$ равномерно поднимают с помощью веревки и неподвижного блока (рис. 134). Определите модуль силы натяжения веревки. Массой блока, веревки и трением пренебречь. В этой и последующих задачах $g = 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$.

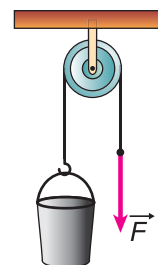


Рис. 134

2. Определите модуль силы натяжения веревки, если ведро массой $m = 15,0 \text{ кг}$ поднимают с ускорением, модуль которого $a = 1,60 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ (рис. 134).

3. По гладкой горизонтальной поверхности по окружности радиусом $R = 30 \text{ см}$ движется шарик массой $m = 200 \text{ г}$, удерживаемый нитью (рис. 135). Период обращения шарика $T = 3,14 \text{ с}$. Определите удлинение нити, если ее жесткость $k = 60 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$.

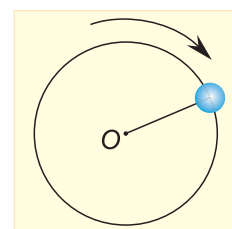


Рис. 135

4. На рисунке 136 представлены графики зависимости модулей силы упругости от абсолютного удлинения для двух пружин. Во сколько раз отличаются жесткости пружин?

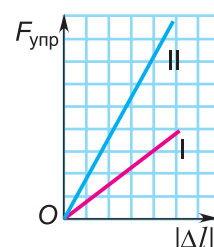


Рис. 136



5. Пружина имеет жесткость $k = 150 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$. Какой будет жесткость системы из двух таких пружин, соединенных: а) последовательно; б) параллельно?