



§ 34.

Потенциальная энергия

Вы уже знаете, что и для подъема тела на некоторую высоту, и для его деформации необходимо совершить работу. А какая физическая величина характеризует способность тел совершать работу?

Получим ответ, проведя опыт. С помощью нити и блока соединим гирию массой m с цилиндром немного меньшей массы $m_1 \approx m$ (рис. 249, а). Гирия опустится на уровень стола, а цилиндр поднимется на высоту h (рис. 249, б). За счет чего совершалась работа по подъему цилиндра? За счет работы силы тяжести $m\vec{g}$, с которой Земля притягивала гирию. Значит, способность совершать работу приобрела не гирия сама по себе, а система взаимодействующих тел «гирия + Земля». Мерой этой способности является физическая величина, называемая *потенциальной энергией*.

Потенциальная энергия — это мера способности сил взаимодействия механической системы совершать работу. Обозначим потенциальную энергию символом $E_{\text{п}}$. Она измеряется в тех же единицах, что и работа (в СИ — в *джоулях*). В дальнейшем мы будем говорить о потенциальной энергии тела, понимая, что речь идет о потенциальной энергии системы взаимодействующих тел.

Как определить потенциальную энергию тела?

1. Нужно, прежде всего, определить нулевой уровень, т. е. состояние, в котором потенциальная энергия тела равна нулю. Например, можно принять, что потенциальная энергия гири равна нулю, когда гирия находится на поверхности стола, $h = 0$ (рис. 249).

2. Затем следует найти работу A , которую совершают силы взаимодействия системы «гирия + Земля» при переходе тела из данного состояния в нулевое (в нашем опыте — при перемещении гири с высоты h на поверхность стола). Эта работа и определяет потенциальную энергию тела:

$$E_{\text{п}} = A. \quad (1)$$

В нашем опыте работу A совершала сила тяжести гири $m\vec{g}$. При перемещении гири с высоты h на нулевой уровень работа $A = mgh$. Значит, потенциальная энергия гири:

$$E_{\text{п}} = mgh. \quad (2)$$

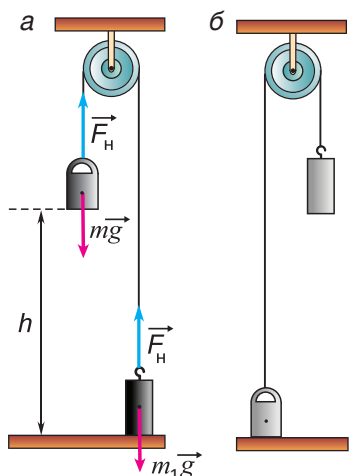


Рис. 249

Совпадение выражения mgh с работой по подъему тела (см. § 33) не случайно. Какая работа необходима для подъема тела (рис. 249, а), такую работу совершит сила тяжести при возвращении тела обратно (рис. 249, б). Определим теперь потенциальную энергию упруго деформированной пружины. Вам известно (§ 33), что работа, необходимая для деформации пружины, $A = \frac{kx^2}{2}$. Значит, потенциальная энергия упруго деформированной пружины:

$$E_{\text{п}} = \frac{kx^2}{2}. \quad (3)$$

Формула (3) определяет потенциальную энергию любого упругого тела при деформациях сжатия или растяжения.

▼ Для любознательных

Формулы $E_{\text{п}} = mgh$ и $E_{\text{п}} = \frac{kx^2}{2}$ отличаются друг от друга, хотя обе описывают одну и ту же физическую величину — потенциальную энергию. Причина различия этих формул в том, что модуль силы тяжести $F_{\text{т}} = mg$ постоянен (график 1 на рис. 250), а модуль силы упругости $F_{\text{упр}} = kx$ изменяется в процессе деформирования (график 3). Поэтому различаются и графики потенциальных энергий: наклонная прямая 2 и участок параболы 4 на рисунке 250.

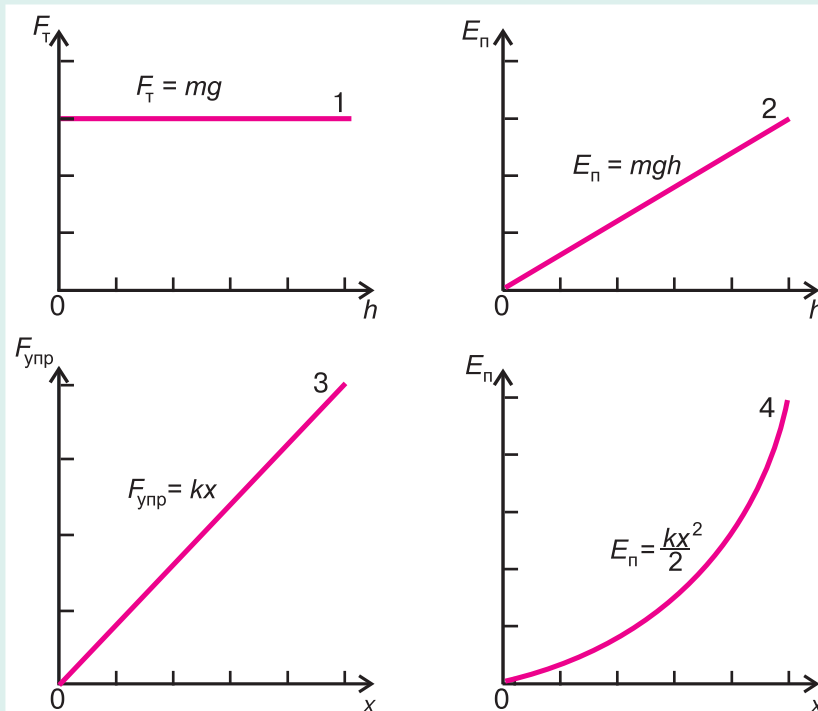


Рис. 250

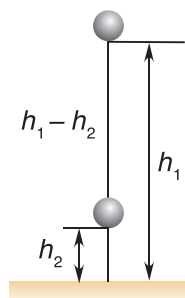


Рис. 251

Рассмотрим еще два свойства потенциальной энергии.

1. Изменение потенциальной энергии и работа силы взаимодействия имеют противоположные знаки.

Например, при движении тела массой m вниз с высоты h_1 до высоты h_2 (рис. 251) работа силы тяжести $A = mg(h_1 - h_2) > 0$. Изменение же потенциальной энергии $\Delta E_{\text{п}} = E_2 - E_1 = mg(h_2 - h_1) < 0$, т. е.

$$\Delta E_{\text{п}} = -A. \quad (4)$$

Это равенство справедливо для всех видов потенциальной энергии.

2. Нулевой уровень потенциальной энергии можно выбрать произвольно. Значение потенциальной энергии зависит от выбора нулевого уровня. Например (см. рис. 249), если за нулевой уровень принять уровень поверхности пола, а не поверхности стола, то при высоте стола, равной H , потенциальная энергия гири увеличится на mgH . Однако изменение потенциальной энергии $\Delta E_{\text{п}}$ (формула (4)) от выбора нулевого уровня не зависит (докажите это самостоятельно). В каждом конкретном случае нулевой уровень выбирают так, чтобы решать задачу было проще.

■ Главные выводы

1. Потенциальная энергия характеризует способность тела совершать работу.
2. Потенциальная энергия равна работе силы взаимодействия, совершаемой при переходе тела из данного состояния на нулевой уровень.
3. Изменение потенциальной энергии равно работе силы взаимодействия, взятой с противоположным знаком.

? Контрольные вопросы

1. В каких случаях тело обладает потенциальной энергией?
2. Как определить потенциальную энергию любого тела? От чего она зависит?
3. Чему равна потенциальная энергия тела в системе «тело + Земля»?
4. Чему равна потенциальная энергия упруго деформированного тела?



Пример решения задачи

Недеформированную пружину жесткостью $k = 200 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$ растянули от начальной длины $l_0 = 16$ см до длины $l = 20$ см. Определите работу внешней силы по растяжению пружины, работу силы упругости и изменение потенциальной энергии пружины.

Дано:

$$l_0 = 16 \text{ см} = 0,16 \text{ м}$$

$$l = 20 \text{ см} = 0,20 \text{ м}$$

$$k = 200 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$$

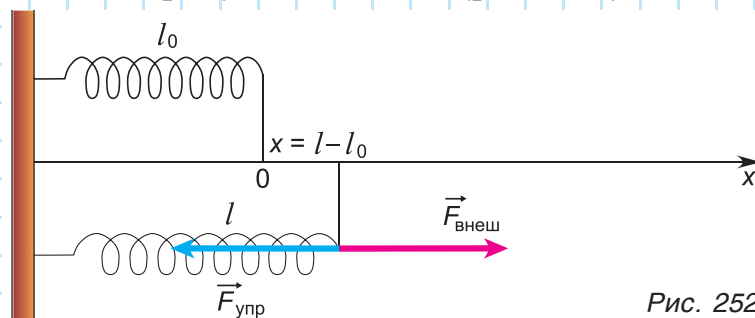
$$A_{\text{внеш}} = ?$$

$$A_{\text{упр}} = ?$$

$$\Delta E_{\text{п}} = ?$$

Решение

Сделаем рисунок к задаче (рис. 252).



Работа внешней силы: $A_{\text{внеш}} = \frac{kx^2}{2}$. Из рисунка следует: $x = l - l_0$. Тогда

$$A_{\text{внеш}} = \frac{k(l - l_0)^2}{2} = \frac{200 \frac{\text{Н}}{\text{м}} \cdot 16,0 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2}{2} = 0,16 \text{ Дж.}$$

Работа силы упругости: $A_{\text{упр}} = -A_{\text{внеш}} = -0,16 \text{ Дж.}$

Изменение потенциальной энергии: $\Delta E_{\text{п}} = A_{\text{внеш}} = 0,16 \text{ Дж.}$

Работа внешней силы пошла на увеличение потенциальной энергии пружины.

Ответ: $A_{\text{внеш}} = 0,16 \text{ Дж}; A_{\text{упр}} = -0,16 \text{ Дж}; \Delta E_{\text{п}} = 0,16 \text{ Дж.}$

Упражнение 27

1. В результате растяжения пружины на $\Delta l = 8,0 \text{ см}$ она приобрела потенциальную энергию $E_{\text{п}} = 0,32 \text{ Дж}$. Определите жесткость пружины.

2. Недеформированная пружина жесткостью $k = 200 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$ под действием внешней силы удлинилась на $\Delta l_1 = 3,0 \text{ см}$. Определите работу, которую должна совершить внешняя сила, чтобы удлинить пружину еще на $\Delta l_2 = 2,0 \text{ см}$. Сравните эту работу с работой сил упругости пружины и с изменением ее потенциальной энергии.

3. Определите массу камня, при медленном подъеме которого из ямы глубиной $h = 2,0 \text{ м}$ на поверхность совершена работа $A = 100 \text{ Дж}$. Ускорение свободного падения принять равным $g = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$.



4. Как нужно изменить расстояние между электрически заряженными шариками (уменьшить или увеличить его), чтобы потенциальная энергия системы возросла? Ответьте на этот вопрос для каждой системы (рис. 253, а, б, в).

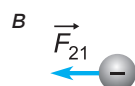
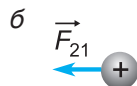
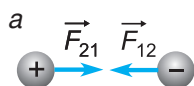


Рис. 253



§ 35.

Кинетическая энергия. Полная энергия системы тел

Из 7-го класса вы знаете, что, кроме потенциальной энергии, существует и кинетическая. Она зависит от массы и скорости движения тела. А как она связана с работой?

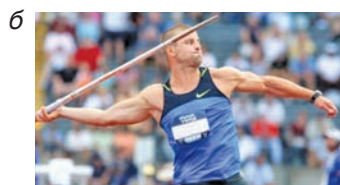


Рис. 254

Обратимся к примерам. Молотком забивают в доску гвоздь (рис. 254, а). Движущийся вагон, сталкиваясь с покоящимся, сжимает буферные пружины. Силы, действующие со стороны движущихся молотка, вагона, совершали работу. Значит, движущиеся тела обладают способностью совершать работу. Количественной мерой этой способности является **кинетическая энергия** (обозначается E_k).

А как тело приобретает кинетическую энергию? В результате работы, произведенной над ним. Например, при метании молота или копья (рис. 254, б) работу совершает мускульная сила спортсмена. Чем больше эта работа, тем сильнее тело разгонится и тем большую кинетическую энергию приобретет.

Кинетическую энергию определяют как величину, равную работе, которую необходимо совершить, чтобы разогнать тело из состояния покоя до данной скорости:

$$E_k = A. \quad (1)$$

Найдем эту работу. Пусть тело массой m разгоняется из состояния покоя до скорости $\vec{v}$ под действием сил, результирующая которых $\vec{F}_{\text{рез}}$ постоянна (рис. 255). Тело будет двигаться равноускоренно, а работа по разгону тела равна:

$$A = F_{\text{рез}} \Delta r, \quad (2)$$

где Δr — модуль перемещения тела. При равноускоренном движении без начальной скорости (§ 12) квадрат скорости тела: $v^2 = 2a\Delta r$, по второму закону Ньютона $a = \frac{F_{\text{рез}}}{m}$. Тогда $v^2 = 2 \frac{F_{\text{рез}}}{m} \Delta r$, откуда $F_{\text{рез}} \Delta r = \frac{mv^2}{2}$.

Так как $F_{\text{рез}} \Delta r = A = E_k$, то кинетическая энергия тела:

$$E_k = \frac{mv^2}{2}. \quad (3)$$

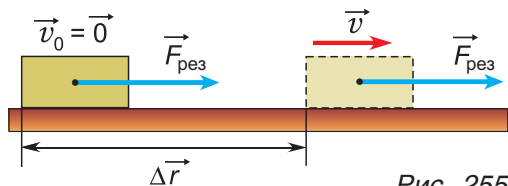


Рис. 255

Кинетическая энергия — величина скалярная. Она зависит от модуля скорости, но не зависит от ее направления. Измеряется в тех же единицах, что и работа (в СИ — в джоулях).

А если начальная скорость движения тела $\vec{v}_0 \neq \vec{0}$? Тогда $v^2 = v_0^2 + 2a\Delta r$, где $a = \frac{F_{\text{рез}}}{m}$. Несложно получить:

$$\frac{mv^2}{2} - \frac{mv_0^2}{2} = A. \quad (4)$$

Работа пошла на *изменение* кинетической энергии тела.

Формула (4) выражает *теорему об изменении кинетической энергии*.

Изменение кинетической энергии тела равно работе результирующей всех сил, приложенных к нему.

Так как скорость движения относительна, то кинетическая энергия тоже относительна. Например, кинетическая энергия пассажира, сидящего в вагоне движущегося поезда, равна нулю относительно вагона и отлична от нуля относительно платформы. А что такое полная энергия? Чему она равна?

Рассмотрим пример. Пусть падающий мяч массой m в некоторый момент времени находится на высоте h и имеет скорость $\vec{v}$ (рис. 256).

Найдем сумму кинетической и потенциальной энергии мяча. Эту сумму называют механической энергией тела:

$$E_{\text{мех}} = E_{\text{к}} + E_{\text{п}} = \frac{mv^2}{2} + mgh. \quad (5)$$

Найдена ли полная энергия? Нет.

Как вы уже знаете, все тела состоят из микрочастиц — атомов, молекул и др. Эти частицы участвуют в хаотическом тепловом движении (рис. 257) и взаимодействуют (притягивают и отталкивают друг друга). Сумма кинетической энергии теплового движения микрочастиц и потенциальной энергии их взаимодействия друг с другом называется *внутренней энергией тела* $E_{\text{внутр}}$. Значит, полная энергия E тела равна:

$$E = E_{\text{мех}} + E_{\text{внутр}}. \quad (6)$$

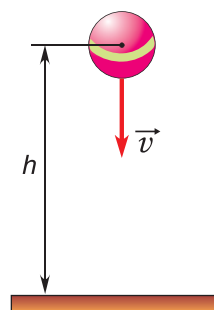


Рис. 256

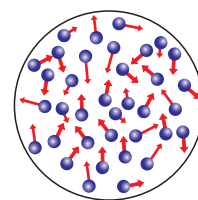


Рис. 257

■ Главные выводы

1. Кинетическая энергия тела прямо пропорциональна его массе и квадрату скорости его движения.
2. Значение кинетической энергии зависит от выбора системы отсчета.
3. Изменение кинетической энергии равно работе результирующей всех сил, приложенных к телу.
4. Механическая энергия тела есть сумма его кинетической и потенциальной энергии.
5. Полная энергия тела складывается из его механической и внутренней энергии.

Контрольные вопросы

1. В каком случае тело обладает кинетической энергией?
2. Скалярной или векторной величиной является кинетическая энергия?
3. Чему равно изменение кинетической энергии тела?
4. В каком случае кинетическая энергия тела увеличивается? Уменьшается? Не изменяется?
5. Зависит ли кинетическая энергия от выбора системы отсчета?
6. Что такое механическая энергия системы тел? Внутренняя энергия? Из чего складывается полная энергия системы?



Пример решения задачи

Камень массой $m = 0,50$ кг брошен вертикально вверх со скоростью, модуль которой $v_0 = 20 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Какой кинетической энергией будет обладать камень через время $t_1 = 1,0$ с и $t_2 = 2,0$ с от начала движения? Сопротивлением воздуха пренебечь. Принять $g = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$.

Дано:

$$m = 0,50 \text{ кг}$$

$$v_0 = 20 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$t_1 = 1,0 \text{ с}$$

$$t_2 = 2,0 \text{ с}$$

$$g = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

$$E_{\text{к1}} = ?$$

$$E_{\text{к2}} = ?$$

Решение

Найдем модули скорости движения камня v_1 и v_2 при $t_1 = 1,0$ с и $t_2 = 2,0$ с:

$$v_1 = v_0 - gt_1; \quad v_1 = 20 \frac{\text{м}}{\text{с}} - 10 \frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot 1,0 \text{ с} = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}};$$

$$v_2 = v_0 - gt_2; \quad v_2 = 20 \frac{\text{м}}{\text{с}} - 10 \frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot 2,0 \text{ с} = 0.$$

Кинетическая энергия камня через $t_1 = 1,0$ с:

$$E_{\text{к1}} = \frac{mv_1^2}{2} = \frac{0,50 \text{ кг} \cdot 100 \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}}{2} = 25 \text{ Дж.}$$

$$\text{Через } t_2 = 2,0 \text{ с: } E_{\text{к2}} = \frac{mv_2^2}{2} = 0.$$

$$\text{Ответ: } E_{\text{к1}} = 25 \text{ Дж; } E_{\text{к2}} = 0.$$

Упражнение 28

1. Камень массой $m = 1,5$ кг упал в воду. Какой кинетической энергией обладал камень в момент падения в воду, если модуль его скорости в этот момент $v = 20 \frac{\text{м}}{\text{с}}$?

2. Как изменится кинетическая энергия трамвая, если его скорость увеличится в $k = 2$ раза? Уменьшится в $n = 3$ раза?

3. Брошенный вертикально вверх металлический шарик массой $m = 200$ г вернулся в точку бросания через время $t = 4,0$ с. Определите механическую энергию шарика через время $t_1 = 3,0$ с от момента бросания. Сопротивлением воздуха можно пренебечь. Принять $g = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$.