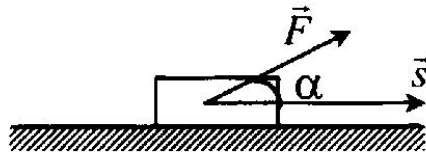


Работа и мощность

Механическая работа



$$A = F s \cos \alpha,$$

где F (Н) — модуль силы,

s (м) — модуль перемещения,

α — угол между направлениями силы и перемещения.

Учтите: работа силы трения скольжения

$$A = F_{\text{тр}} \cdot l,$$

где l (м) — пройденный путь.

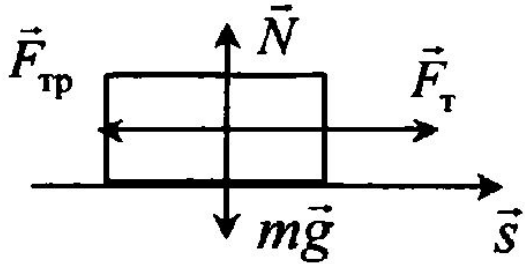
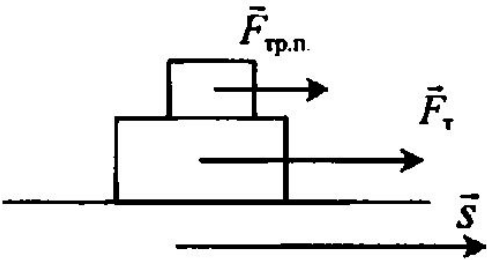
Единица измерения работы — джоуль

$$1 \text{ Дж} = 1 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Условия совершения механической работы

- На тело действует сила.
- Под действием этой силы тело перемещается.
- $\alpha \neq 90^\circ$

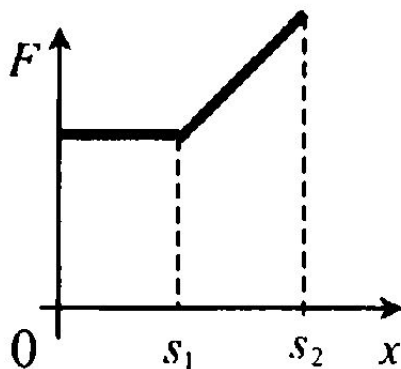
Определение знака

 <p>A diagram showing a rectangular block on a horizontal surface. Four force vectors originate from the center of the block: a normal force vector \vec{N} pointing vertically upwards, a weight vector $m\vec{g}$ pointing vertically downwards, a friction force vector $\vec{F}_{\text{тр}}$ pointing to the right, and another friction force vector $\vec{F}_{\text{тр}}$ pointing to the left. A displacement vector \vec{s} is shown as a horizontal arrow pointing to the right, starting from the bottom-left corner of the block.</p>	$A(F_{\tau}) > 0 \quad A(F_{\text{тр}}) < 0$ $A(N) = 0 \quad A(mg) = 0$ <p>Учтите: работа силы трения скольжения всегда отрицательна, так как $\vec{F}_{\text{тр.ск.}} \uparrow \downarrow \vec{s}$, $\cos(180^\circ) = -1$</p>
 <p>A diagram showing a rectangular block on a horizontal surface. Two force vectors originate from the center of the block: a friction force vector $\vec{F}_{\text{тр.п.}}$ pointing to the right and another friction force vector \vec{F}_{τ} pointing to the right. A displacement vector \vec{s} is shown as a horizontal arrow pointing to the right, starting from the bottom-left corner of the block.</p>	<p>Работа силы трения покоя может быть положительной в тех случаях, когда $\vec{F}_{\text{тр.п.}} \uparrow \uparrow \vec{s}$</p>

Механическая работа

Геометрический смысл механической работы. Механическая работа численно равна площади фигуры под графиком в осях (F, x) :

$$A = S_{\text{фиг.}}$$



Задачи

A38. Мальчик тянет санки за верёвку с силой 50 Н. Пройдя с санками 100 м, он совершил работу 2500 Дж. Каков угол между верёвкой и дорогой?

1) 90°

2) 45°

3) 60°

4) 30°

A39. Груз массой 1 кг под действием силы 30 Н, направленной вертикально вверх, поднимается на высоту 2 м. Работа этой силы равна

1) 0 Дж

2) 20 Дж

3) 40 Дж

4) 60 Дж

Задачи

A40. Мужчина с помощью троса достал ведро из колодца глубиной 10 м. Масса ведра 1,5 кг, а масса воды в ведре — 10 кг. Чему равна минимальная работа мужчины?

1) 1150 Дж

2) 1300 Дж

3) 1000 Дж

4) 850 Дж

A41. С помощью динамометра, расположенного под углом 30° к горизонтальной поверхности, равномерно перемещают брусок массой 100 г на расстояние, равное 20 см. Определите работу равнодействующей всех сил.

1) 0 Дж

2) 0,01 Дж

3) 0,02 Дж

4) 0,03 Дж

Виды механической энергии

Если тело может совершить механическую работу, то оно обладает *механической энергией* E (Дж).

Виды механической энергии: кинетическая и потенциальная.

Кинетическая энергия — энергия движущихся тел:

$$E_k = \frac{mv^2}{2},$$

где v (м/с) — модуль мгновенной скорости.

Потенциальная энергия — энергия взаимодействующих тел.

Примеры потенциальной энергии в механике

Тело поднято над землёй:

$$E_p = mgh,$$

где h — высота, определяемая от нулевого уровня (или от нижней точки траектории).

Упруго деформированное тело:

$$E_p = \frac{kx^2}{2},$$

Задачи

A45. Хоккейная шайба массой 160 г летит со скоростью 36 км/ч. Какова её кинетическая энергия?

1) 1,6 Дж

2) 104 Дж

3) 0,8 Дж

4) 8 Дж

A46. Тележка движется со скоростью 3 м/с. Её кинетическая энергия равна 27 Дж. Какова масса тележки?

1) 6 кг

2) 9 кг

3) 18 кг

4) 81 кг

Задачи

A47. Для того чтобы увеличить кинетическую энергию тела в 9 раз, надо скорость тела увеличить в

1) 81 раз

2) 9 раз

3) 3 раза

4) $\sqrt{3}$ раз

A48. Кинетическая энергия тела 8 Дж, а величина импульса 4 кг·м/с.
Масса тела равна

1) 0,5 кг

2) 1 кг

3) 2 кг

4) 32 кг

Задачи

В49. Камень брошен вверх под углом к горизонту. Сопротивление воздуха пренебрежимо мало. Как меняются с набором высоты модуль ускорения камня, его кинетическая энергия и горизонтальная составляющая его скорости? Установите соответствие между пунктами левого и правого столбцов.

ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

- А) Модуль ускорения камня
- Б) Кинетическая энергия камня
- В) Горизонтальная составляющая скорости камня

ИХ ИЗМЕНЕНИЕ

- 1) увеличивается
- 2) уменьшается
- 3) не изменяется

Задачи

A51. Мальчик подбросил футбольный мяч массой 0,4 кг на высоту 3 м. На сколько изменилась потенциальная энергия мяча?

- 1) 4 Дж 2) 12 Дж 3) 1,2 Дж 4) 7,5 Дж

A52. Потенциальная энергия взаимодействия с Землёй гири массой 5 кг увеличилась на 75 Дж. Это произошло в результате того, что гирию

- 1) подняли на 1,5 м 2) опустили на 1,5 м
3) подняли на 7 м 4) опустили на 7 м

Задачи

В53. Камень уронили с крыши. Как меняются по мере падения камня модуль его ускорения, потенциальная энергия в поле тяжести и модуль импульса? Сопротивление воздуха не учитывать. Установите соответствие между пунктами левого и правого столбцов.

ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

- А) Модуль ускорения камня
- Б) Потенциальная энергия камня
- В) Модуль импульса камня

ИХ ИЗМЕНЕНИЕ

- 1) увеличивается
- 2) уменьшается
- 3) не изменяется

Задачи

В54. Брусок скользит по наклонной плоскости вниз без трения. Что происходит при этом с его скоростью, потенциальной энергией, силой реакции наклонной плоскости? Установите соответствие между пунктами левого и правого столбцов.

ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

А) Скорость

Б) Потенциальная энергия

В) Сила реакции наклонной плоскости

ИХ ИЗМЕНЕНИЕ

1) увеличивается

2) уменьшается

3) не изменяется

Задачи

A56. Как изменится потенциальная энергия упруго деформированного тела при увеличении его деформации в 3 раза?

- | | |
|------------------------|------------------------|
| 1) Увеличится в 9 раз | 2) Увеличится в 3 раза |
| 3) Уменьшится в 3 раза | 4) Уменьшится в 9 раз |

A57. При растяжении пружины на 0,1 м в ней возникает сила упругости, равная 2,5 Н. Определите потенциальную энергию этой пружины при растяжении на 0,08 м.

- | | |
|------------|------------|
| 1) 25 Дж | 2) 0,16 Дж |
| 3) 0,08 Дж | 4) 0,04 Дж |

МОЩНОСТЬ

Мощность — физическая величина, показывающая, какую работу совершает тело за единицу времени (или какую энергию вырабатывает тело за единицу времени).

Обозначение	N (в механике) или P (в других разделах)
Основная формула	$N = \frac{A}{t}$
Единица измерения в СИ	$1 \text{ Вт} = \frac{1 \text{ Дж}}{1 \text{ с}}$
Мгновенная мощность	$N_{\text{мгн}} = F_{\text{т}} \cdot v_{\text{мгн}}$

Задачи

A58. Мощность (мощность силы)

- 1) в том случае больше, когда сила совершает ту же работу за меньшее время
- 2) в том случае больше, когда сила совершает ту же работу за большее время
- 3) в том случае больше, когда сила совершает меньшую работу за то же время
- 4) не существующее понятие

A59. Механическая мощность, развиваемая двигателем автомобиля, равна 100 кВт. Какую работу совершает двигатель за 1 с?

- | | |
|------------|-------------|
| 1) 100 Дж | 2) 10000 Дж |
| 3) 100 кДж | 4) 1000 кДж |

Задачи

A60. Под действием силы тяги 1000 Н автомобиль движется с постоянной скоростью 72 км/ч . Мощность двигателя равна

- 1) 10 кВт 2) 20 кВт 3) 40 кВт 4) 72 кВт

A61. Лебёдка равномерно поднимает груз массой 200 кг на высоту 3 м за 5 с . Чему равна мощность лебёдки?

- 1) 3000 Вт 2) 333 Вт
3) 1200 Вт 4) 120 Вт

A62. Человек тянет брусок массой 1 кг по горизонтальной поверхности с постоянной скоростью, действуя на него в горизонтальном направлении. Коэффициент трения между бруском и поверхностью $0,1$. Скорость движения бруска равна 10 м/с . Какую мощность развивает человек, перемещая груз?

- 1) $0,1\text{ Вт}$ 2) 100 Вт 3) 0 Вт 4) 10 Вт

Задачи

A63. Тело массой m скользит по горизонтальной шероховатой поверхности. Коэффициент трения между телом и поверхностью μ . Начальная скорость движения тела равна v . Какую мощность развивала сила трения, действующая на тело в начальный момент времени?

1) 0

2) mgv

3) $+\mu mgv$

4) $-\mu mgv$

Коэффициент полезного действия

$$\eta = \frac{A_{\text{полезн}}}{A_{\text{полн}}} \cdot 100 \% \left(\eta = \frac{A_{\text{полезн}}}{E_{\text{затрач}}} \cdot 100 \% \right) \text{ или } \eta = \frac{N_{\text{полезн}}}{N_{\text{полн}}} \cdot 100 \%$$

Частные случаи определения КПД

Устройство	Полезная работа и полная работа (затраченная энергия)	КПД
Неподвижный блок, рычаг	$A_{\text{полезн}} = mgh$ $A_{\text{соверш.}}$	$\eta = \frac{mgh}{A_{\text{соверш.}}} \cdot 100\%$
Наклонная плоскость	$A_{\text{полезн}} = mgh$ $A_{\text{полн}} = F \cdot l$	$\eta = \frac{mgh}{F \cdot l} \cdot 100\%$

Задачи

A65. Определите полезную мощность двигателя, если его КПД 40 %, а мощность по техническому паспорту 100 кВт.

1) 10 кВт

2) 20 кВт

3) 40 кВт

4) 50 кВт

A66. С помощью неподвижного блока, закреплённого на потолке, поднимают груз массой 20 кг на высоту 1,5 м. Какую работу при этом совершают, если КПД блока равен 90 %?

1) 333 Дж

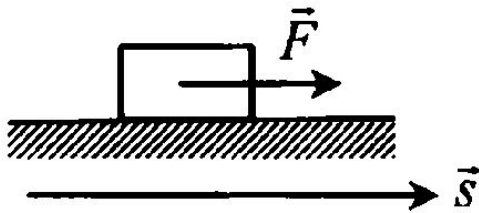
2) 300 Дж

3) 270 Дж

4) 27 Дж

Теорема о кинетической энергии

Вывод формулы из определения механической работы:



$$A = F s \cos \alpha$$

$$\alpha = 0^\circ; \cos \alpha = 1$$

$$F = ma; s = \frac{v^2 - v_0^2}{2a}.$$

$$A = \frac{mv^2}{2} - \frac{mv_0^2}{2} = \Delta E_k.$$

Учтите: v — модуль мгновенной скорости.

Задачи

A69. Скорость автомобиля массой 1 т увеличилась от 10 м/с до 20 м/с. Работа равнодействующей силы равна

1) 150 кДж

2) 200 кДж

3) 250 кДж

4) 300 кДж

A70. Для сообщения неподвижному телу заданной скорости v требуется совершить работу A . Какую работу надо совершить для увеличения скорости этого тела от значения v до значения $2v$?

1) 1 А

2) 2 А

3) 3 А

4) 4 А

Задачи

A71. Шарик массой m движется со скоростью v . После упругого соударения со стенкой он стал двигаться в противоположном направлении, но с такой же по модулю скоростью. Чему равна работа силы упругости, которая подействовала на шарик со стороны стенки?

1) $\frac{mv^2}{2}$

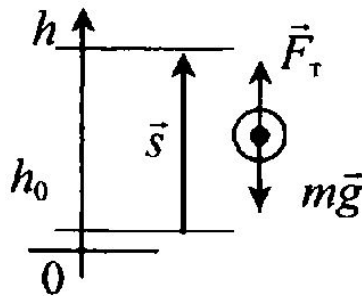
2) mv^2

3) $\frac{mv^2}{4}$

4) 0

Работа и изменение потенциальной энергии, поднятого над землей

Вывод формулы из определения механической работы:



$$A = F s \cos \alpha ,$$
$$\vec{F}_r \uparrow \uparrow \vec{s}; \quad \cos \alpha = 1 ,$$
$$F_r = mg ; \quad s = h - h_0 ,$$
$$A = mg(h - h_0) = \Delta E_p .$$

Учтите: потенциальная энергия протяжённого тела выражается через высоту его *центра масс*. У однородного тела правильной формы он совпадает с геометрическим центром.

Задачи

A74. Лежавшую на столе линейку длиной 0,5 м ученик поднял за один конец так, что она оказалась в вертикальном положении. Какую минимальную работу совершил ученик, если масса линейки 40 г?

1) 0,1 Дж

2) 5 Дж

3) 10 Дж

4) 20 Дж

A75. Человек взялся за конец лежащего на земле однородного стержня длиной 2 м и массой 100 кг и поднял этот конец на высоту 1 м. Какую работу он совершил?

1) 50 Дж

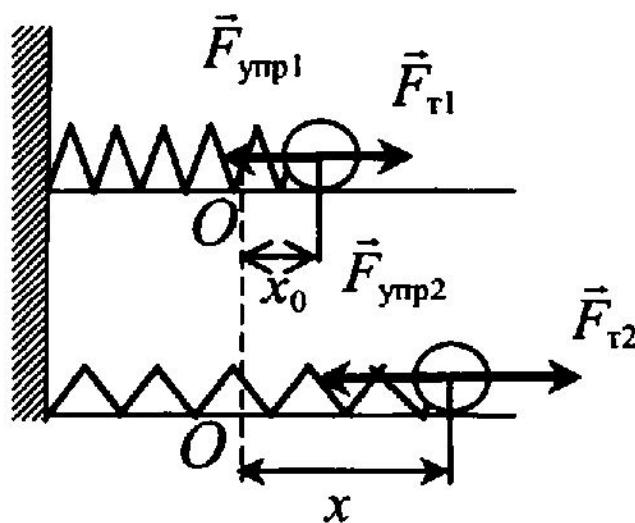
2) 100 Дж

3) 200 Дж

4) 500 Дж

Работа и изменение потенциальной энергии упруго деформированного тела

Вывод формулы из определения механической работы:



$$A = F s \cos \alpha$$

$$\vec{F}_T \uparrow \uparrow \vec{s}; \cos \alpha = 1$$

$$F_T = F_{\text{упр}} = \frac{kx_0 + kx}{2}$$

$$s = x - x_0$$

$$A = \frac{kx^2}{2} - \frac{kx_0^2}{2} = \Delta E_p$$

Учтите: работа силы тяжести и работа силы упругости не зависят от вида траектории, по замкнутому контуру они равны нулю. Такие силы называют *потенциальными*.

Закон сохранения механической энергии

Полная механическая энергия — это сумма потенциальной и кинетической энергии тела в определенный момент времени:

$$E = E_k + E_p .$$

Закон сохранения механической энергии: *полная энергия замкнутой системы сохраняется:*

$$E_{k0} + E_{p0} = E_k + E_p .$$

Систему называют *замкнутой*, если тела, входящие в неё, взаимодействуют только друг с другом, а влиянием внешних сил можно пренебречь.

Закон сохранения механической энергии для движения в поле тяжести Земли:

$$\frac{mv_0^2}{2} + mgh_0 = \frac{mv^2}{2} + mgh .$$

Задачи

A77. Автомобиль движется равномерно по мосту, перекинутому через реку. Механическая энергия автомобиля определяется

- 1) только его скоростью и массой
- 2) только высотой моста над уровнем воды в реке
- 3) только его скоростью, массой, высотой моста над уровнем воды в реке
- 4) его скоростью, массой, уровнем отсчёта потенциальной энергии и высотой над этим уровнем

A78. Камень брошен вертикально вверх. В момент броска он имел кинетическую энергию 30 Дж. Какую потенциальную энергию относительно поверхности земли будет иметь камень в верхней точке траектории полёта? Сопротивлением воздуха пренебречь.

- | | |
|----------|----------|
| 1) 0 Дж | 2) 15 Дж |
| 3) 30 Дж | 4) 60 Дж |

Задачи

A79. Камень брошен вертикально вверх. В момент броска он имел кинетическую энергию 20 Дж. Какую кинетическую энергию будет иметь камень в верхней точке траектории полёта? Сопротивлением воздуха пренебречь.

1) 0 Дж

2) 10 Дж

3) 20 Дж

4) 40 Дж

A80. Тело массой 1 кг, брошенное вертикально вверх от поверхности земли, достигло максимальной высоты 20 м. С какой по модулю скоростью двигалось тело на высоте 10 м? Сопротивлением воздуха пренебречь.

1) 7 м/с

2) 10 м/с

3) 14,1 м/с

4) 20 м/с

Задачи

A81. Шайба соскальзывает по гладкой наклонной плоскости из состояния покоя с высоты 20 см. У основания наклонной плоскости скорость шайбы равна

1) 0,14 м/с

2) 0,2 м/с

3) 1,4 м/с

4) 2 м/с

A82. Мальчик толкнул санки с вершины горки. Сразу после толчка санки имели скорость 2 м/с, а у подножия горки она равнялась 8 м/с. Трение санок о снег пренебрежимо мало. Какова высота горки?

1) 10 м

2) 8 м

3) 6 м

4) 3 м

Задачи

В83. Шайба массой m съезжает без трения с горки высотой H из состояния покоя. Ускорение свободного падения равно g . Чему равны модуль импульса шайбы и её кинетическая энергия у подножия горки? Установите соответствие между физическими величинами и формулами, по которым их можно рассчитать.

ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА

А) Модуль импульса шайбы

Б) Кинетическая энергия шайбы

ФОРМУЛА

1) $\sqrt{2gH}$

2) $m\sqrt{2gH}$

3) mgH

4) mg

Задачи

A85. После удара клюшкой шайба стала скользить вверх по ледяной горке и у её вершины имела скорость 5 м/с . Высота горки 10 м . Если трение шайбы о лёд пренебрежимо мало, то после удара скорость шайбы равнялась

1) $7,5 \text{ м/с}$

2) 15 м/с

3) $12,5 \text{ м/с}$

4) 10 м/с

A86. Автомобиль, двигаясь с выключенным двигателем, на горизонтальном участке дороги имеет скорость 20 м/с . На какую высоту он поднимется до полной остановки вверх по склону горы под углом 30° к горизонту? Трением пренебречь.

1) 10 м

2) 20 м

3) 80 м

4) 40 м

Задачи

A88. Конькобежец, разогнавшись, въезжает на ледяную гору, наклонённую под углом 30° к горизонту и, проезжает до полной остановки 10 м. Какова была скорость конькобежца перед началом подъёма? Трением пренебречь.

1) 5 м/с

2) 10 м/с

3) 20 м/с

4) 40 м/с

A89. Автомобиль движется с выключенным двигателем вверх по склону образующему угол 30° с горизонтом. Начальная скорость автомобиля 30 м/с. Какой будет скорость автомобиля через 50 м перемещения по склону? Трением пренебречь.

1) 5 м/с

2) 10 м/с

3) 20 м/с

4) 30 м/с

Задачи

A90. Закреплённый пружинный пистолет стреляет вертикально вверх. На какую высоту h поднимется пуля, если её масса m , жёсткость пружины k , а деформация перед выстрелом Δl ?

1) $\frac{k(\Delta l)^2}{mg}$

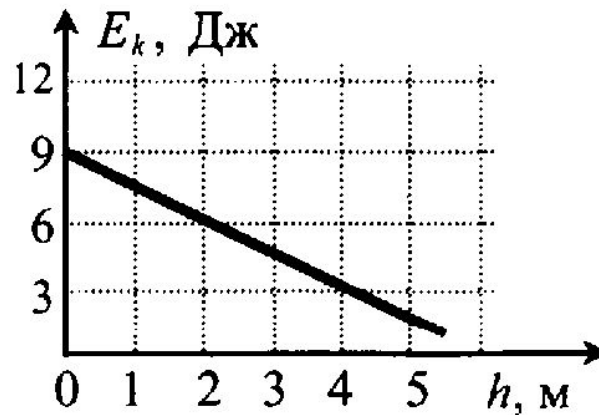
2) $\frac{k(\Delta l)^2}{2mg}$

3) $\frac{2k(\Delta l)^2}{mg}$

4) $\frac{k(\Delta l)^2}{4mg}$

Задачи

A91. Мяч брошен вертикально вверх. На рисунке показан график изменения кинетической энергии мяча по мере его подъёма над точкой бросания. Какова полная энергия мяча на высоте 2 м?

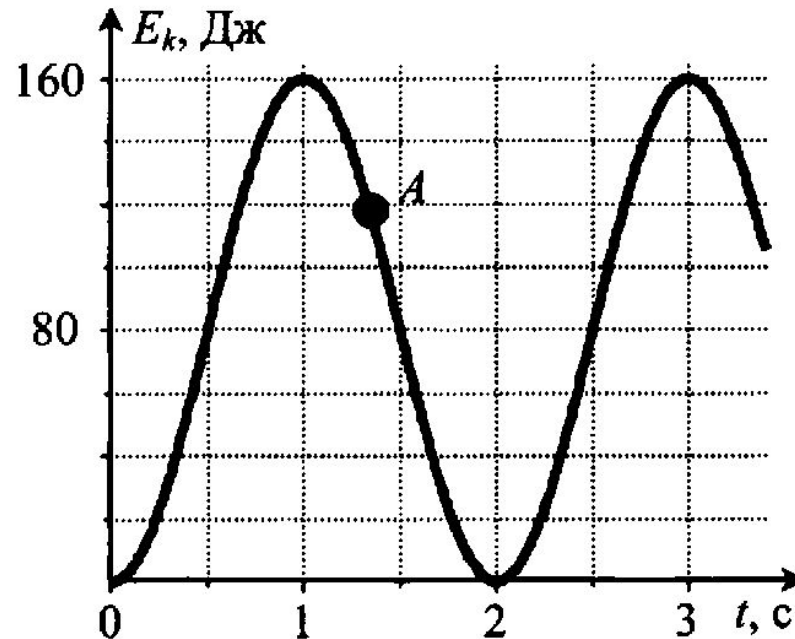


- 1) 1,5 Дж
- 2) 3 Дж
- 3) 6 Дж
- 4) 9 Дж

Задачи

A92. На рисунке представлен график изменения со временем кинетической энергии ребёнка, качающегося на качелях. В момент, соответствующий точке *A* на графике, его потенциальная энергия, отсчитанная от положения равновесия качелей, равна

- 1) 40 Дж
- 2) 80 Дж
- 3) 100 Дж
- 4) 120 Дж



Комбинированные задачи

С93. Груз массой 100 г привязан к нити длиной 1 м. Нить с грузом отвели от вертикали на угол 90° . Каково центростремительное ускорение груза в момент, когда нить образует с вертикалью угол 60° ?

Комбинированные задачи

С94. Нить маятника длиной $l = 1$ м, к которой подвешен груз массой $m = 0,1$ кг, отклонена на угол α от вертикального положения и отпущена. Сила натяжения нити T в момент прохождения маятником положения равновесия равна 2 Н. Чему равен угол α ?

Комбинированные задачи

С95. Шарик скользит без трения по наклонному желобу, а затем движется по «мёртвой петле» радиусом R . С какой силой шарик давит на желоб в нижней точке петли, если масса шарика равна 100 г, а высота, с которой его отпускают, равна $4R$?

Упругий центральный удар (упругое столкновение движущегося тела с неподвижным телом)

Если удар центральный, то направление векторов скоростей после взаимодействия лежат на той же прямой, что и до взаимодействия, поэтому закон сохранения импульса выполняется в проекциях на ось Ox .

Закон сохранения импульса:

$$m_1 v_1 = m_1 v_1' + m_2 v_2' .$$

Закон сохранения энергии:

$$\frac{m_1 v_1^2}{2} = \frac{m_1 v_1'^2}{2} + \frac{m_2 v_2'^2}{2} .$$

Решив систему уравнений, получаем формулы для расчёта проекций скоростей тел на ось OX после столкновения:

$$v_1' = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} v_1;$$

$$v_2' = \frac{2m_1}{m_1 + m_2} v_1.$$

Анализ полученных формул. Направление движения налетающего шара после столкновения зависит от массы шаров. Если $m_1 > m_2$, то направление сохраняется; модуль скорости равен

$$v_1' = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} v_1.$$

Если $m_1 < m_2$, то направление меняется на противоположное; модуль скорости равен

$$v_1' = \frac{m_2 - m_1}{m_1 + m_2} v_1.$$

Если $m_1 = m_2$, то налетающее тело останавливается: $v_1' = 0$.

Комбинированные задачи

С99. Брусок массой $m_1 = 600$ г, движущийся со скоростью 2 м/с, сталкивается с неподвижным бруском массой $m_2 = 200$ г. Какой будет скорость первого и второго брусков после столкновения? Удар считать центральным и абсолютно упругим.

Применение закона сохранения импульса и закона сохранения механической энергии

Если одно тело сталкивается с другим (или пробивает другое), то часть механической энергии переходит во внутреннюю энергию взаимодействующих тел и окружающей среды. Закон сохранения механической энергии «нарушается».

Учтите: законом сохранения механической энергии можно пользоваться только до и после столкновений, а в момент столкновений следует применять закон сохранения импульса.

A104. Пластиновый шар массой $0,1$ кг имеет скорость 1 м/с. Он налетает на неподвижную тележку массой $0,1$ кг, прикрепленную к пружине, и прилипает к тележке (см. рис.). Чему равна полная механическая энергия системы при её дальнейших колебаниях? Трением пренебречь.

- 1) $0,025$ Дж
- 2) $0,05$ Дж
- 3) $0,5$ Дж
- 4) $0,1$ Дж



Комбинированные задачи

С106. Брусок массой $m_1 = 500$ г соскальзывает по наклонной поверхности с высоты $h = 0,8$ м и, двигаясь по горизонтальной поверхности, сталкивается с неподвижным бруском массой $m_2 = 300$ г. Считая столкновение абсолютно неупругим, определите общую кинетическую энергию брусков после столкновения. Трением при движении пренебречь. Считать, что наклонная плоскость плавно переходит в горизонтальную.

Комбинированные задачи

С107. Пуля, летящая с горизонтальной скоростью 400 м/с, попадает в мешок, набитый поролоном, массой 4 кг, висящий на длинной нити. Высота, на которую поднимется мешок, если пуля застрянет в нём, равна 5 см. Чему равна масса пули?

Превращение механической энергии во внутреннюю

A116. Скорость брошенного мяча непосредственно перед ударом о стену была вдвое больше его скорости сразу после удара. Какое количество теплоты выделилось при ударе, если перед ударом кинетическая энергия мяча была равна 20 Дж?

- | | |
|----------|------------|
| 1) 5 Дж | 2) 10 Дж |
| 3) 15 Дж | 4) 17,5 Дж |

A117. С балкона высотой 20 м на поверхность земли упал мяч массой 0,2 кг. Из-за сопротивления воздуха скорость мяча у поверхности земли оказалась на 20% меньше скорости тела, свободно падающего с высоты 20 м. Импульс тела в момент падения равен

- | | |
|-----------------|-----------------|
| 1) 4 кг · м/с | 2) 4,2 кг · м/с |
| 3) 3,2 кг · м/с | 4) 6,4 кг · м/с |

Превращение механической энергии во внутреннюю

С124. От удара копра массой 450 кг, падающего свободно с высоты 5 м, свая массой 150 кг погружается в грунт на 10 см. Определите силу сопротивления грунта, считая её постоянной, а удар — абсолютно неупругим. Изменением потенциальной энергии сваи пренебречь.