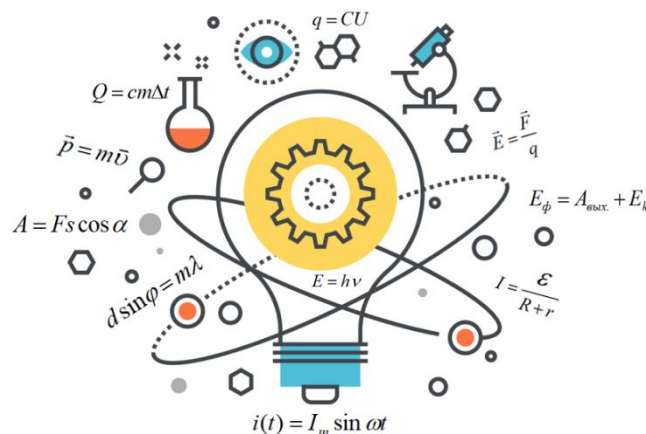




Калининградский государственный
технический университет

Официальный сайт: <https://www.klgtu.ru/>



Физика – 2023:

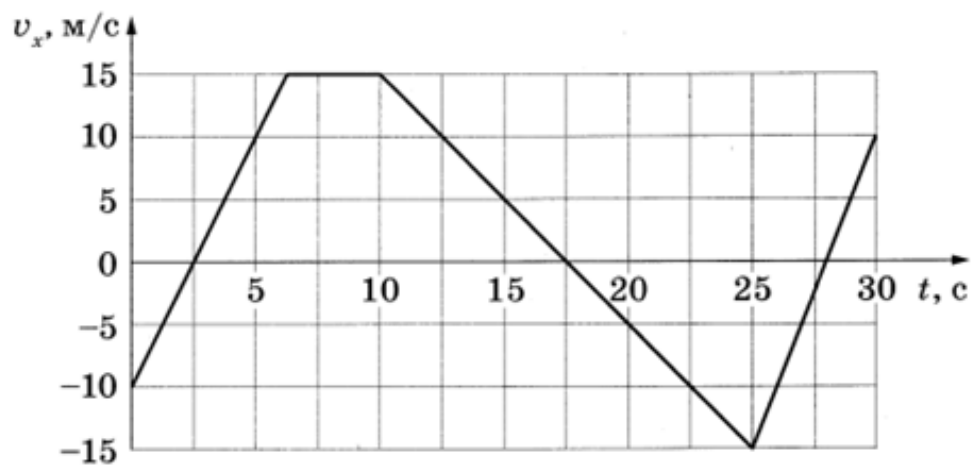
Разбор особо сложных заданий вариантов КИМ

Шимко Елена Анатольевна

к.п.н., доцент кафедры общей и экспериментальной физики АлтГУ,
председатель краевой предметной комиссии ЕГЭ по физике

1

На рисунке представлен график зависимости проекции скорости v_x тела от времени t .



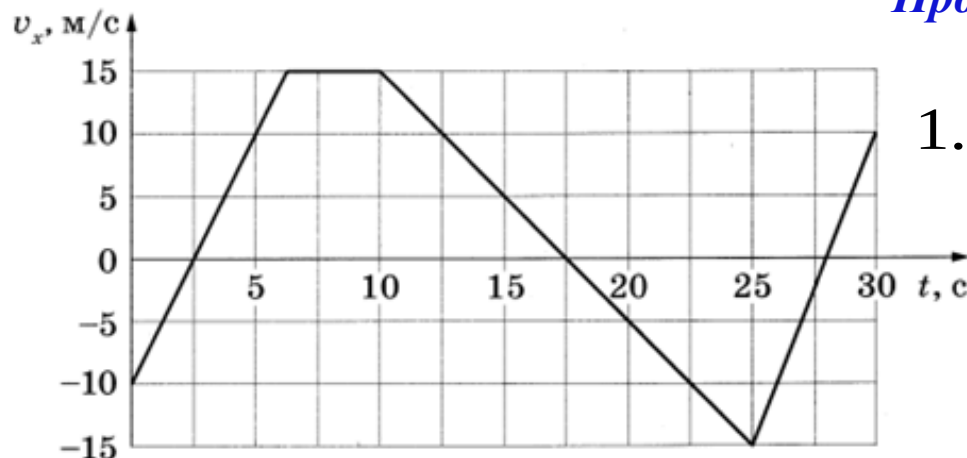
Определите проекцию перемещения тела в интервале времени от 15 до 25 с.

Ответ: _____ м.

1 балл

1

На рисунке представлен график зависимости проекции скорости v_x тела от времени t .



Проекция перемещения

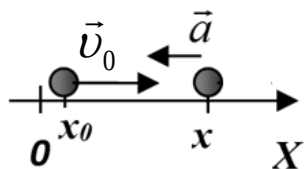
$$1. s_x = v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2}$$

$$2. s_x = \frac{v_x^2 - v_{0x}^2}{2a_x}$$

Определите проекцию перемещения тела в интервале времени от 15 до 25 с.

Ответ: −50 м.

$$15c \leq t \leq 17,5c$$



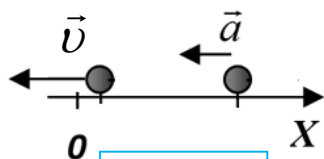
$$v_x > 0$$

$$a_x = \frac{v_x - v_{0x}}{t}$$

Проекция ускорения

$$a_x = \frac{-15 \text{ м/с} - 5 \text{ м/с}}{10 \text{ с}} = -2 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

$$17,5c \leq t \leq 25c$$



$$v_x < 0$$

$$1. s_x = 5 \cdot 10 - \frac{2 \cdot 10^2}{2} = -50 \text{ м};$$

$$2. s_x = \frac{(15)^2 - 5^2}{2 \cdot (-2)} = -50 \text{ м}$$

2

Определите силу тяжести, действующую на тело массой 1 кг на расстоянии трёх радиусов Земли от её поверхности.

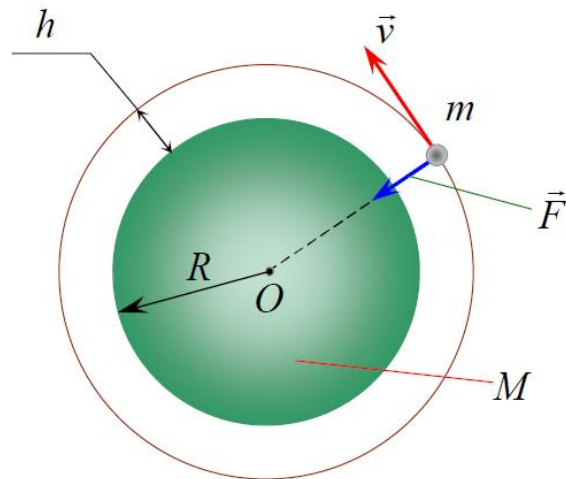
Ответ: _____ Н.

1 балл

2

Определите силу тяжести, действующую на тело массой 1 кг на расстоянии трёх радиусов Земли от её поверхности.

Ответ: 0,625 Н.



R – радиус Земли

M – масса Земли

$$r = R + h$$

$$F = G \frac{m \cdot M}{r^2} \quad \text{Закон всемирного тяготения}$$

$$F = mg \quad \text{Сила тяжести}$$



$$g = G \frac{M}{r^2} \quad \begin{array}{l} \text{Ускорение свободного падения} \\ r - \text{расстояние от центра тела} \\ \text{до центра Земли} \end{array}$$

$$g_1 = G \frac{M}{R^2} = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \quad \begin{array}{l} \text{Ускорение свободного падения} \\ \text{на поверхности Земли} \end{array}$$

$$g_2 = G \frac{M}{(4R)^2} = \frac{g}{16} = \frac{10}{16} = 0,625 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

$$F_{\text{т}} = mg = 1 \text{ кг} \cdot 0,625 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} = 0,625 \text{ Н}$$

3

Сосновый брусок имеет размеры 3 х 4 х 5 см. Определите выталкивающую силу, действующую на брусок при его плавании в воде.

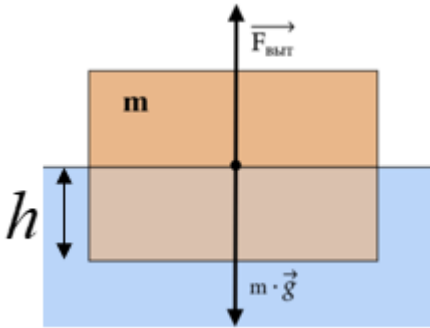
Ответ: _____ Н.

1 балл

3

Сосновый брусок имеет размеры 3 х 4 х 5 см. Определите выталкивающую силу, действующую на брусок при его плавании в воде.

Ответ: 0,24 Н.



Если тело плавает (не тонет, не всплывает), то силы, действующие на тело, компенсируют друг друга!

$$v = 0: \boxed{m\vec{g} + \vec{F}_{\text{выт}} = 0} \Rightarrow \boxed{mg = F_{\text{выт}}}$$

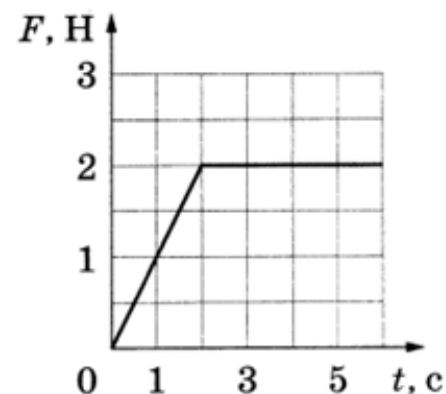
Объём бруска: $\boxed{V = abc}$ $V = 3\text{см} \cdot 4\text{см} \cdot 5\text{см} = 60\text{см}^3 = 60 \cdot 10^{-6} \text{м}^3$

Масса бруска: $\boxed{m = \rho V}$ $m = 400 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 60 \cdot 10^{-6} \text{м}^3 = 0,024 \text{кг}$

$$F_{\text{выт}} = mg = 0,024 \text{кг} \cdot 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} = 0,24 \text{Н}$$

4

Брусок массой 500 г покоится на шероховатой горизонтальной поверхности. На него начинают действовать силой $\vec{F}$, модуль которой изменяется с течением времени так, как показано на рисунке. Коэффициент трения бруска о плоскость равен 0,2. Выберите из предложенного перечня все верные утверждения, которые соответствуют результатам проведённого опыта.



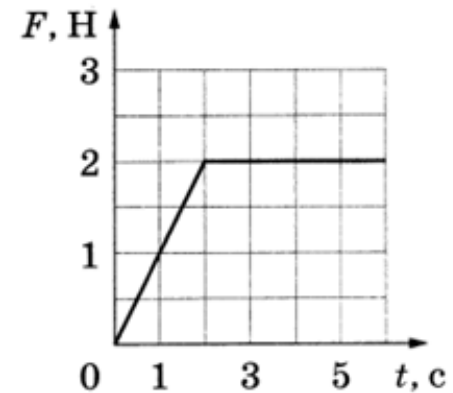
- 1) В интервале времени от 0 до 1 с брусок покоился.
- 2) В момент времени 1,5 с сила трения, действующая на брусок равна 1,5 Н.
- 3) Кинетическая энергия бруска в момент времени 1,5 с равна 0.
- 4) В момент времени 3 с ускорение бруска равно 2 м/с^2 .
- 5) В интервале времени от 2 до 5 с импульс бруска увеличился на $6 \text{ кг} \cdot \text{м/с}$.

Ответ: _____.

2 балла

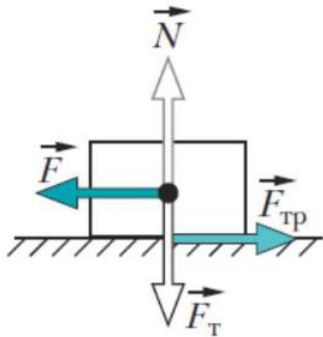
4

Брусек массой 500 г покоится на шероховатой горизонтальной поверхности. На него начинают действовать силой $\vec{F}$, модуль которой изменяется с течением времени так, как показано на рисунке. Коэффициент трения бруска о плоскость равен 0,2. Выберите из предложенного перечня все верные утверждения, которые соответствуют результатам проведённого опыта.



- 1) В интервале времени от 0 до 1 с брусок покоился.
- 2) В момент времени 1,5 с сила трения, действующая на брусок равна 1,5 Н.
- 3) Кинетическая энергия бруска в момент времени 1,5 с равна 0.
- 4) В момент времени 3 с ускорение бруска равно 2 м/с².
- 5) В интервале времени от 2 до 5 с импульс бруска увеличился на 6 кг·м/с.

Ответ: 145.



$$0c \leq t \leq 1c \quad \vec{F} + m\vec{g} + \vec{N} + \vec{F}_{\text{тр}} = 0 \quad v = 0: \quad F_{\text{тр.п.}} = F \quad F_{\text{тр.п.}} \leq \mu N$$

Сила трения покоя возрастает от 0 до μN . Потом тело начинает скользить.

$$1c \leq t \leq 6c \quad \vec{F} + m\vec{g} + \vec{N} + \vec{F}_{\text{тр}} = m\vec{a} \quad v \neq 0$$

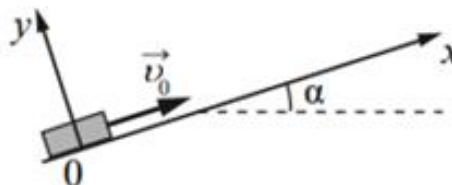
Сила трения скольжения: $F_{\text{тр}} = \mu N = \mu mg \quad F_{\text{тр}} = 0,2 \cdot 0,5 \cdot 10 = 1H$

$$t = 3c: \quad a = \frac{F - F_{\text{тр}}}{m} \quad a = \frac{2H - 1H}{0,5\text{кг}} = 2 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

$$2c \leq t \leq 5c \quad \Delta p = F \cdot \Delta t \quad \Delta p = 2H \cdot 3c = 6\text{кг} \cdot \text{м} / \text{с}$$

5

После удара шайба массой m начала скользить с начальной скоростью $\vec{v}_0$ вверх по плоскости, установленной под углом α к горизонту (см. рисунок). Переместившись вдоль оси Ox на расстояние s , шайба соскользнула в исходное положение. Коэффициент трения шайбы о плоскость равен μ . Формулы А и Б позволяют рассчитать значения физических величин, характеризующих движение шайбы.



Установите соответствие между формулами и физическими величинами, значение которых можно рассчитать по этим формулам.

К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию из второго столбца и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

ФОРМУЛЫ

А) $\mu mg \cos \alpha$

Б) $g(\mu \cos \alpha + \sin \alpha)$

ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

- 1) модуль проекции силы тяжести на ось Oy
- 2) модуль силы трения
- 3) модуль ускорения шайбы при её движении вверх
- 4) модуль ускорения шайбы при её движении вниз

Ответ:

А	Б

2 балла

5

После удара шайба массой m начала скользить с начальной скоростью $\vec{v}_0$ вверх по плоскости, установленной под углом α к горизонту (см. рисунок). Переместившись вдоль оси Ox на расстояние s , шайба соскользнула в исходное положение. Коэффициент трения шайбы о плоскость равен μ . Формулы А и Б позволяют рассчитать значения физических величин, характеризующих движение шайбы.

Установите соответствие между формулами и физическими величинами, значение которых можно рассчитать по этим формулам.

К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию из второго столбца и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

ФОРМУЛЫ

А) $\mu mg \cos \alpha$

Б) $g(\mu \cos \alpha + \sin \alpha)$

ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

1) модуль проекции силы тяжести на ось Oy

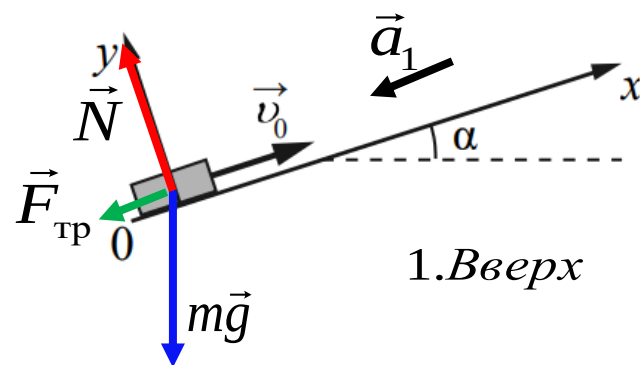
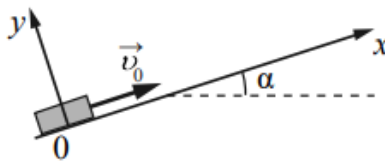
2) модуль силы трения

3) модуль ускорения шайбы при её движении вверх

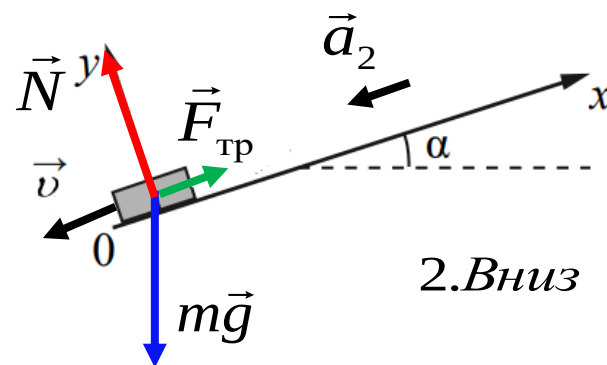
4) модуль ускорения шайбы при её движении вниз

Ответ:

А	Б
2	3



1. Вверх



2. Вниз

По II закону Ньютона:

$$m\vec{g} + \vec{N} + \vec{F}_{\text{тр}} = m\vec{a}$$

$$F_{\text{тр}} = \mu N$$

Модуль
силы трения

$$Ox: -mg \sin \alpha - \mu N = -ma_1 \Rightarrow ma_1 = mg \sin \alpha + \mu mg \cos \alpha$$

$$a_1 = g(\sin \alpha + \mu \cos \alpha)$$

Ускорение тела
при движении вверх

$$-mg \sin \alpha + \mu N = -ma_2 \Rightarrow ma_2 = mg \sin \alpha - \mu mg \cos \alpha$$

$$a_2 = g(\sin \alpha - \mu \cos \alpha)$$

Ускорение тела
при движении вниз

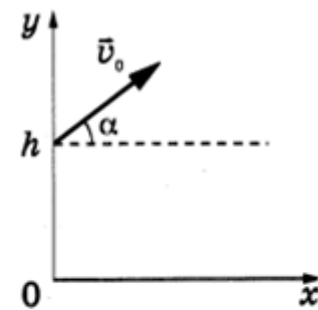
$$Oy: -mg \cos \alpha + N = 0 \Rightarrow$$

$$N = mg \cos \alpha$$

Модуль силы реакции опоры

6

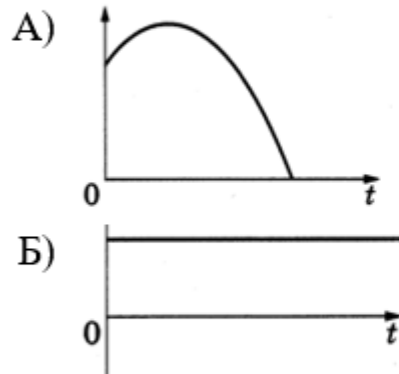
В момент времени $t = 0$ маленький металлический шарик бросают с начальной скоростью $\vec{v}_0$ под углом α к горизонту с балкона высотой h (см. рисунок). Графики А и Б отображают зависимости физических величин, характеризующих движение шарика, от времени t . Установите соответствие между графиками и физическими величинами, зависимости которых эти графики могут представлять.



Соппротивлением воздуха пренебречь. Потенциальная энергия шарика отсчитывается от уровня $y = 0$.

К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

ГРАФИКИ



ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

- 1) проекция ускорения шарика на ось y
- 2) проекция импульса шарика на ось x
- 3) кинетическая энергия шарика E_k
- 4) потенциальная энергия шарика E_p

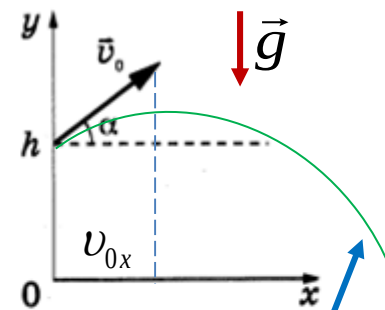
Ответ:

А	Б

2 балла

6

В момент времени $t = 0$ маленький металлический шарик бросают с начальной скоростью $\vec{v}_0$ под углом α к горизонту с балкона высотой h (см. рисунок). Графики А и Б отображают зависимости физических величин, характеризующих движение шарика, от времени t . Установите соответствие между графиками и физическими величинами, зависимости которых эти графики могут представлять.

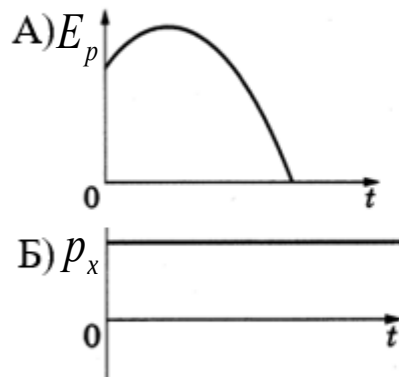


Траектория шарика – парабола

Соппротивлением воздуха пренебречь. Потенциальная энергия шарика отсчитывается от уровня $y = 0$.

К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

ГРАФИКИ



ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

- 1) проекция ускорения шарика на ось y
- 2) проекция импульса шарика на ось x
- 3) кинетическая энергия шарика E_k
- 4) потенциальная энергия шарика E_p

$$1) g_y = -10 = -const$$

$$2) p_x = m v_x \quad p_x = m v_0 \cos \alpha = const$$

$$3) E_k = \frac{m v^2}{2} \quad \text{Сначала уменьшается, потом возрастает}$$

$$4) E_p = mgh = mgy$$

$$y = y_0 + v_{0y}t - \frac{gt^2}{2}$$

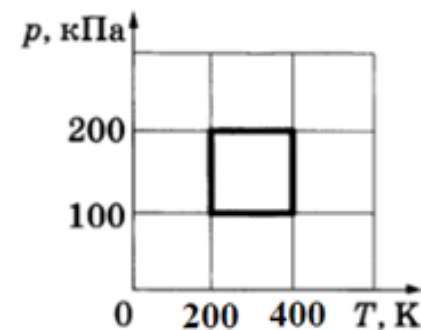
Ответ:

А	Б
4	2

7

С идеальным газом в закрытом сосуде происходит циклический процесс, изображённый на графике (см. рисунок). Наибольший объём, который занимает газ в этом процессе, составляет 8,31 л. Определите количество газа.

Ответ: _____ моль.

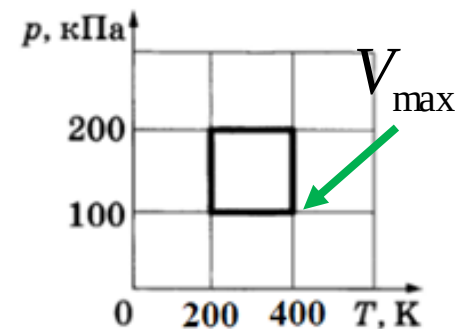


1 балл

7

С идеальным газом в закрытом сосуде происходит циклический процесс, изображённый на графике (см. рисунок). Наибольший объём, который занимает газ в этом процессе, составляет 8,31 л. Определите количество газа.

Ответ: 0,25 моль.



Уравнение Менделеева-
Клапейрона:

$$pV = \nu RT$$

 $\Rightarrow$

$$\nu = \frac{pV}{RT}$$



Уравнение Клапейрона:
($m = \text{const}$)

$$\frac{pV}{T} = \text{const}$$

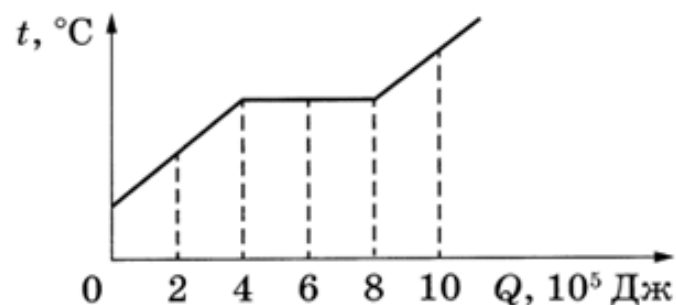
 $\Rightarrow$

$$V_{\max} = \frac{T_{\max}}{p_{\min}} \cdot \text{const}$$

$$\nu = \frac{100 \cdot 10^3 \text{ Па} \cdot 8,31 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3}{8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot 400 \text{ К}} = 0,25 \text{ моль}$$

8

На рисунке показан график изменения температуры куска свинца t по мере поглощения им количества теплоты Q . Первоначально свинец находился в твёрдом состоянии. Определите массу свинца.



Ответ: _____ кг.

1 балл

8

На рисунке показан график изменения температуры куска свинца t по мере поглощения им количества теплоты Q . Первоначально свинец находился в твёрдом состоянии. Определите массу свинца.



Ответ: 16 кг.

$$Q = \lambda m$$

Количество теплоты, необходимое для плавления тела

*Справочный материал
в начале КИМ*

Удельная теплота

парообразования воды	$2,3 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг}$
<u>плавления свинца</u>	$2,5 \cdot 10^4 \text{ Дж/кг}$
плавления льда	$3,3 \cdot 10^5 \text{ Дж/кг}$

$$m = \frac{Q}{\lambda}$$

$$m = \frac{4 \cdot 10^5 \text{ Дж}}{2,5 \cdot 10^4 \text{ Дж/кг}} = 16 \text{ кг}$$

- 9 Температура нагревателя у идеального теплового двигателя Карно составляет 227°C , а температура холодильника равна -23°C . Определите количество теплоты, которое нагреватель передает рабочему телу за один цикл, для совершения работы двигателем 1 кДж .

Ответ: _____ Дж.

1 балл

- 9 Температура нагревателя у идеального теплового двигателя Карно составляет 227°C , а температура холодильника равна -23°C . Определите количество теплоты, которое нагреватель передает рабочему телу за один цикл, для совершения работы двигателем 1 кДж .

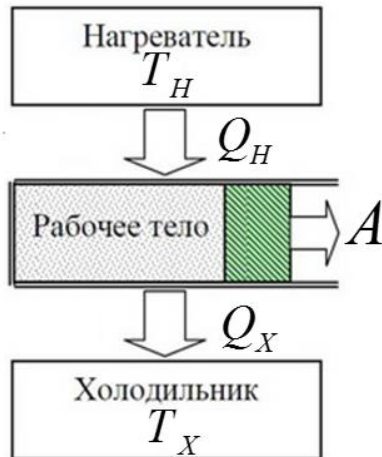
Ответ: 2000 Дж !

Соотношения между различными единицами температуры
 $0\text{ K} = -273^\circ\text{C}$

$$\Rightarrow T = t + 273$$

КПД теплового двигателя, работающего по циклу Карно:

$$\eta = \frac{T_H - T_X}{T_H} \Rightarrow \eta = 1 - \frac{T_X}{T_H}$$

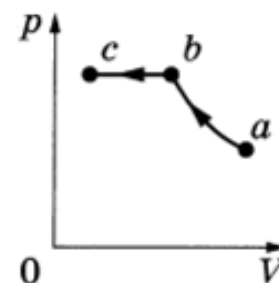


$$\eta = \frac{A}{Q_H} \Rightarrow Q_H = \frac{A}{\eta} = \frac{A}{1 - \frac{T_X}{T_H}}$$

$$Q_H = \frac{1000\text{ Дж}}{1 - \frac{250\text{ K}}{500\text{ K}}} = 2000\text{ Дж}$$

10

В цилиндрическом сосуде, закрытом подвижным поршнем, находится водяной пар. При постоянной температуре с паром провели процесс $a \rightarrow b \rightarrow c$, pV -диаграмма которого представлена на рисунке. Из приведённого ниже списка выберите все верные утверждения относительно указанного процесса.



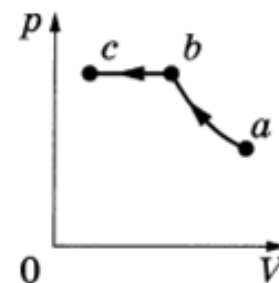
- 1) На участке $a \rightarrow b$ относительная влажность не изменяется.
- 2) На участке $b \rightarrow c$ к пару подводится положительное количество теплоты.
- 3) На участке $b \rightarrow c$ плотность пара уменьшается.
- 4) В точке b пар является насыщенным.
- 5) На участке $b \rightarrow c$ внутренняя энергия пара уменьшается.

Ответ: _____.

2 балла

10

В цилиндрическом сосуде, закрытом подвижным поршнем, находится водяной пар. При постоянной температуре с паром провели процесс $a \rightarrow b \rightarrow c$, pV -диаграмма которого представлена на рисунке. Из приведённого ниже списка выберите все верные утверждения относительно указанного процесса.



- 1) На участке $a \rightarrow b$ относительная влажность не изменяется.
- 2) На участке $b \rightarrow c$ к пару подводится положительное количество теплоты.
- 3) На участке $b \rightarrow c$ плотность пара уменьшается.
- 4) В точке b пар является насыщенным.
- 5) На участке $b \rightarrow c$ внутренняя энергия пара уменьшается.

Ответ: 45.

$$\begin{aligned}\varphi_a &< 100\% \\ \varphi_b &= 100\% \\ \varphi_c &= 100\%\end{aligned}$$

- 1) $\varphi = \frac{p}{p_{\text{нас}}} 100\%$ $a \rightarrow b$: **изотермическое сжатие**
(**относительная влажность воздуха** увеличивается до 100 %)
Парциальное давление пара p возрастает (см. график),
т.к. $T = \text{const} \Rightarrow p_{\text{нас}} = \text{const} \Rightarrow \varphi \uparrow$
- 2) $Q = \Delta U + A$ $V \downarrow \Rightarrow A < 0$
 $U = \frac{i}{2} \nu RT$ ($T = \text{const}, \nu \downarrow$) $\Rightarrow \Delta U < 0$ $\left. \vphantom{\begin{matrix} A < 0 \\ \Delta U < 0 \end{matrix}} \right\} Q < 0$
- 3) $\varphi = \frac{p}{p_{\text{нас}}}$ $pV = \frac{m}{\mu} RT \Rightarrow p = \frac{\rho RT}{\mu}$ Парциальное давление пара p не изменяется (см. график)
 $\Rightarrow \rho = \text{const}$
- 4) $b \rightarrow c$: **изотермическое сжатие**
(относительная влажность воздуха 100 % – **конденсация пара**)
- 5) См. 2)

11

Детский тёмно-синий воздушный шарик надули в тени под деревом, а затем вынесли на солнечный пляж. Как начали при этом изменяться давление воздуха в шарике и средняя кинетическая энергия молекул в шарике? Оболочка шарика тонкая, упругая и мягкая. Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

- 1) увеличится
- 2) уменьшится
- 3) не изменится

Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины. Цифры в ответе могут повторяться.

Давление воздуха в шарике	Средняя кинетическая энергия молекул в шарике

2 балла

11

Детский тёмно-синий воздушный шарик надули в тени под деревом, а затем вынесли на солнечный пляж. Как начали при этом изменяться давление воздуха в шарике и средняя кинетическая энергия молекул в шарике? Оболочка шарика тонкая, упругая и мягкая. Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

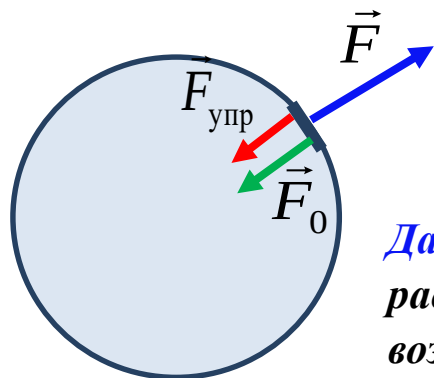
- 1) увеличится
- 2) уменьшится
- 3) не изменится

Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины. Цифры в ответе могут повторяться.

Давление воздуха в шарике	Средняя кинетическая энергия молекул в шарике
1	1

$p_0 = \text{const}$ – атмосферное давление
 $F = pS$ – сила давления газа

$$\bar{E}_k = \frac{3}{2} kT$$



Условия равновесия:

$$F = F_0 + F_{\text{упр}}$$

$$\Rightarrow pS = p_0S + k \cdot \Delta l \Rightarrow$$

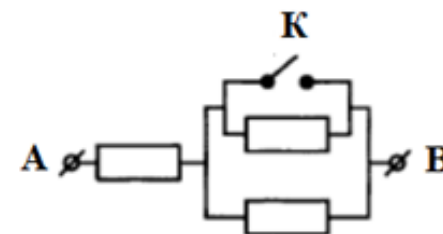
$$p = p_0 + \frac{k \cdot \Delta l}{S}$$

Давление газа тоже будет увеличиваться, т.к. при нагревании газ расширяется ($V \uparrow$), что приводит к возрастанию силы упругости, возникающей при растяжении оболочки (k – коэффициент упругости оболочки, Δl – деформация/растяжение оболочки).

12

Каждый из резисторов в схеме, изображённой на рисунке, имеет сопротивление 50 Ом. Во сколько раз уменьшится сопротивление участка цепи между точками АВ, если ключ К замкнуть?

Ответ: _____.

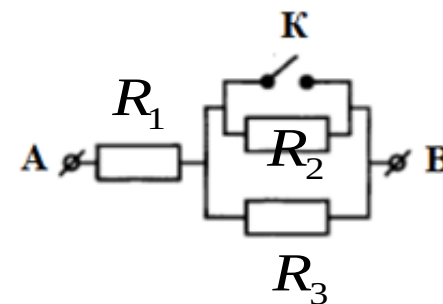


1 балл

12

Каждый из резисторов в схеме, изображённой на рисунке, имеет сопротивление 50 Ом. Во сколько раз уменьшится сопротивление участка цепи между точками АВ, если ключ К замкнуть?

Ответ: 1,5.



До замыкания ключа К

$$R_{общ1} = R_1 + \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3}$$



$$\frac{1}{R_{23}} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

$$R_{общ1} = 50 + \frac{50 \cdot 50}{50 + 50} = 75 \text{ Ом}$$

После замыкания ключа К

$$R_{общ2} = R_1 = 50 \text{ Ом}$$

Ток идет далее через участок с замкнутым ключом, т.к. сопротивлением соединительных проводов пренебрегают.

$$\frac{R_{общ1}}{R_{общ2}} = \frac{75 \text{ Ом}}{50 \text{ Ом}} = 1,5$$

13

В однородном магнитном поле с индукцией 0,6 Тл поместили проволочный контур в форме квадрата со стороной 15 см. Линии индукции магнитного поля составляют угол 30° с плоскостью контура. Определите магнитный поток, пронизывающий контур.

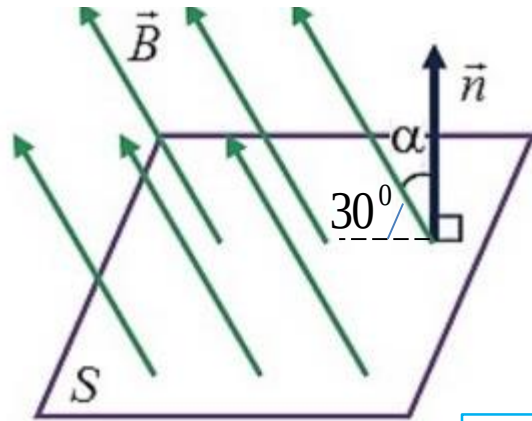
Ответ: _____ мВб.

1 балл

13

В однородном магнитном поле с индукцией 0,6 Тл поместили проводочный контур в форме квадрата со стороной 15 см. Линии индукции магнитного поля составляют угол 30° с плоскостью контура. Определите магнитный поток, пронизывающий контур.

Ответ: 6,75 мВб.



$$\Phi = BS \cos \alpha \quad \text{Магнитный поток}$$

$$\alpha = 90^\circ - 30^\circ = 60^\circ \quad \text{Угол между вектором магнитной индукции и нормалью к контуру}$$

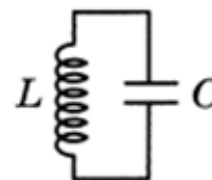
$$S = a^2 = (0,15 \text{ м})^2 = 0,0225 \text{ м}^2$$

$$\Phi = 0,6 \text{ Тл} \cdot 0,0225 \text{ м}^2 \cdot \cos 60^\circ = 0,00675 \text{ Вб} = 6,75 \text{ мВб}$$

Магнитный поток – физическая величина, которая характеризует число силовых линий МП, пронизывающих замкнутый контур площадью S .

14

В идеальном колебательном контуре (см. рисунок) напряжение между обкладками конденсатора изменяется по закону $U_C = 2,5 \cos 400 \pi t$ (в СИ). Определите период колебаний энергии магнитного поля катушки

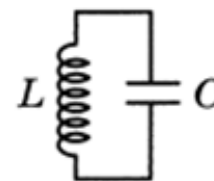


Ответ: _____ мс.

1 балл

14

В идеальном колебательном контуре (см. рисунок) напряжение между обкладками конденсатора изменяется по закону $U_C = 2,5 \cos 400 \pi t$ (в СИ). Определите период колебаний энергии магнитного поля катушки



$$T = \frac{2\pi}{\omega_0}$$

Ответ: 2,5 мс.

$$u(t) = U_m \cos \omega_0 t$$

Зависимость напряжения между обкладками конденсатора от времени

$$u = \frac{q}{C}$$

Связь значений напряжения и заряда конденсатора, C – ёмкость конденсатора

$$W_M(t) = \frac{Li^2}{2}$$

Энергия магнитного поля катушки с током L – индуктивность катушки

$$i(t) = q'(t) = -I_m \sin \omega_0 t$$

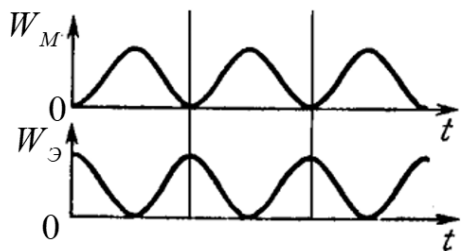
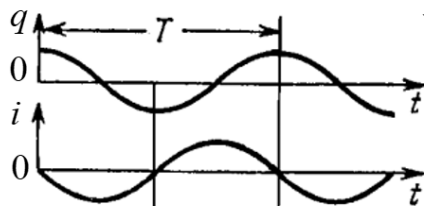
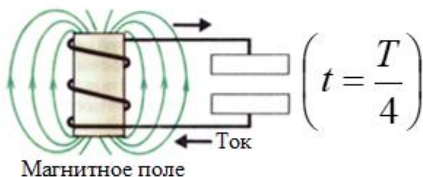
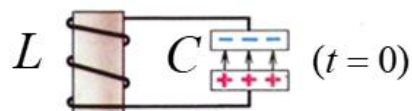
Зависимость силы тока в катушке от времени

$$W_M(t) = \frac{LI_m^2}{2} \sin^2 \omega_0 t$$

Зависимость энергии магнитного поля от времени

$$T = \frac{2\pi}{\omega_0} = \frac{2\pi}{400\pi} = 0,005 \text{ с} = 5 \text{ мс} \quad (\text{период колебаний напряжения и силы тока})$$

Период колебаний энергии магнитного поля и энергии электрического поля в контуре в 2 раза меньше, чем период колебаний напряжения на конденсаторе (силы тока в катушке).



15

По гладким параллельным горизонтальным рельсам, замкнутым на лампочку накаливания, перемещают лёгкий тонкий проводник, прикладывая к нему горизонтальную силу F . Контур находится в однородном магнитном поле с индукцией B (см. рисунок *а*). При движении проводника площадь контура меняется так, как указано на рис. *б*.

Выберите все верные утверждения, соответствующие приведённым данным и описанию опыта.

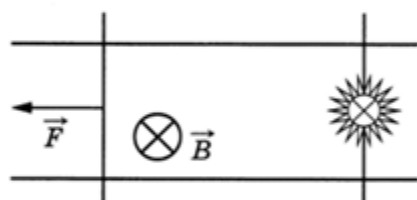


Рис. а

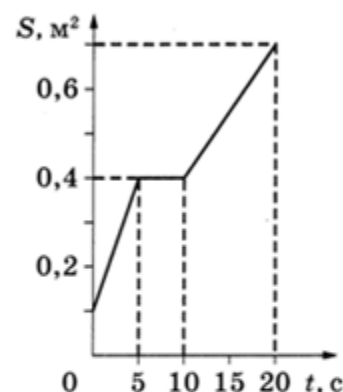


Рис. б

- 1) Ток течёт через лампочку непрерывно в течение первых 10 с.
- 2) Максимальная ЭДС наводится в контуре в интервале времени от 0 до 5 с.
- 3) Индукционный ток в контуре в момент времени $t = 15$ с направлен против часовой стрелки.
- 4) Поскольку рельсы гладкие, при равномерном движении проводника $\vec{F} = 0$.
- 5) В интервале времени от 5 до 10 с лампочка светится.

Ответ: _____.

2 балла

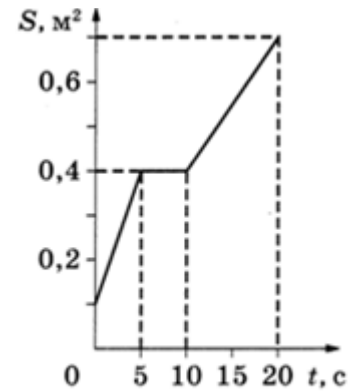
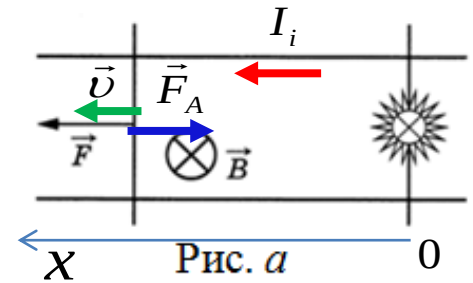
15

По гладким параллельным горизонтальным рельсам, замкнутым на лампочку накаливания, перемещают лёгкий тонкий проводник, прикладывая к нему горизонтальную силу F . Контур находится в однородном магнитном поле с индукцией B (см. рисунок *а*). При движении проводника площадь контура меняется так, как указано на рис. *б*.

Выберите все верные утверждения, соответствующие приведённым данным и описанию опыта.

- 1) Ток течёт через лампочку непрерывно в течение первых 10 с.
- 2) Максимальная ЭДС наводится в контуре в интервале времени от 0 до 5 с.
- 3) Индукционный ток в контуре в момент времени $t = 15$ с направлен против часовой стрелки.
- 4) Поскольку рельсы гладкие, при равномерном движении проводника $\vec{F} = 0$.
- 5) В интервале времени от 5 до 10 с лампочка светится.

Ответ: 23.



- 1) $I_i = \frac{\varepsilon_i}{R}$ **Закон ЭМИ** $\varepsilon_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -B \frac{\Delta S}{\Delta t}$ $\Phi = BS \cos \alpha = BS$ **Магнитный поток**

Сила тока прямо пропорциональна ЭДС индукции, которая наводится при изменении магнитного потока Φ (если изменяется площадь контура S , то меняется и Φ).

- 2) $\varepsilon_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -\Phi'$ *Чем быстрее меняется магнитный поток, тем больше угол наклона прямой на графике $S(t)$, тем больше значение ЭДС индукции.*

- 3) *ЭДС индукции наводится благодаря работе силы Лоренца – по правилу левой руки индукционный ток направлен против часовой стрелки.*

- 4) $\vec{v} = \text{const}$: $m\vec{g} + \vec{N} + \vec{F} + \vec{F}_A = 0$ *При равномерном движении проводника возникает постоянная ЭДС индукции, следовательно, постоянный индукционный ток и постоянная сила Ампера.*

$$0x: F = F_A = I_i B l \sin \beta \neq 0$$

- 5) $S = \text{const} \Rightarrow \Delta\Phi = 0 \Rightarrow \varepsilon_i = 0 \Rightarrow I_i = 0$ 31

16

Небольшой предмет расположен на главной оптической оси тонкой собирающей линзы на двойном фокусном расстоянии от неё. Его начинают приближать к линзе. Как меняются при этом расстояние от линзы до изображения предмета и размер изображения?

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

- 1) увеличится
- 2) уменьшится
- 3) не изменится

Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины. Цифры в ответе могут повторяться.

Расстояние от линзы до изображения предмета	Размер изображения

2 балла

16

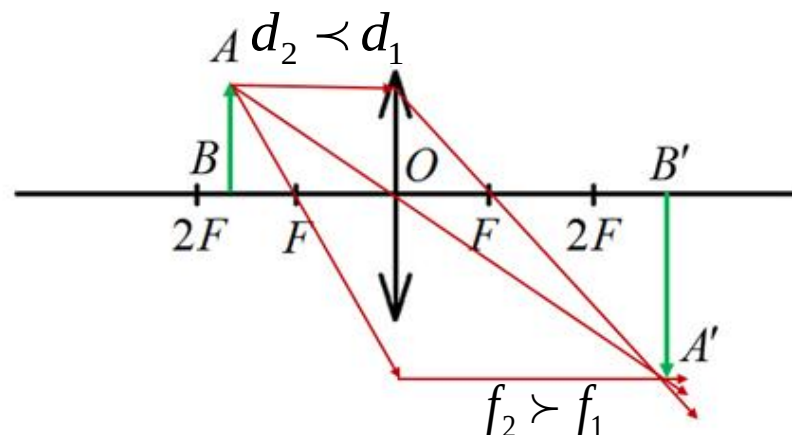
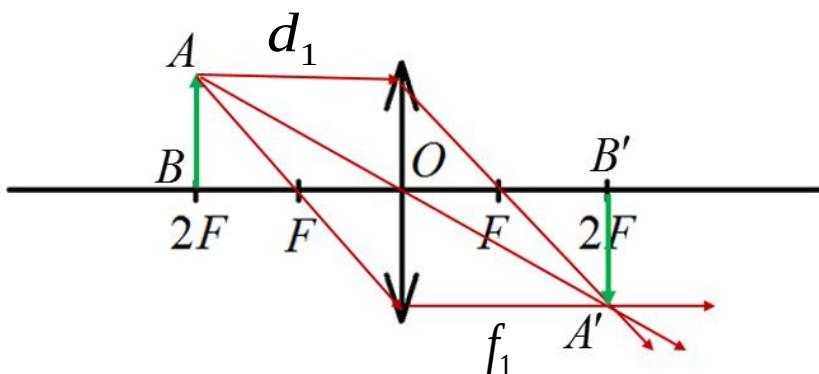
Небольшой предмет расположен на главной оптической оси тонкой собирающей линзы на двойном фокусном расстоянии от неё. Его начинают приближать к линзе. Как меняются при этом расстояние от линзы до изображения предмета и размер изображения?

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

- 1) увеличится
- 2) уменьшится
- 3) не изменится

Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины. Цифры в ответе могут повторяться.

Расстояние от линзы до изображения предмета	Размер изображения
1	1



Формула тонкой линзы:

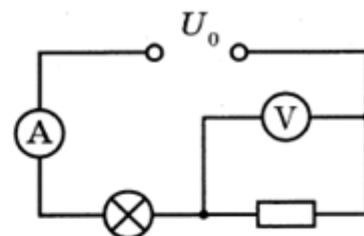
$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f} \Rightarrow f(d) = \frac{dF}{d - F}$$

Увеличение линзы:

$$\Gamma = \frac{f}{d} = \frac{A'B'}{AB} \Rightarrow \Gamma(d) = \frac{F}{d - F}$$

17

Электрическая цепь, схема которой изображена на рисунке, подключена к аккумулятору. Напряжение между полюсами аккумулятора равно U_0 , а показания идеальных амперметра и вольтметра равны соответственно I и U .



Установите соответствие между физическими величинами и формулами, по которым их можно рассчитать. Внутренним сопротивлением источника пренебречь. К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

А) мощность, потребляемая резистором

Б) сопротивление лампочки

ФОРМУЛЫ

1) $\frac{U_0 - U}{I}$

2) UI

3) $\frac{U}{I}$

4) $(U_0 - U)I$

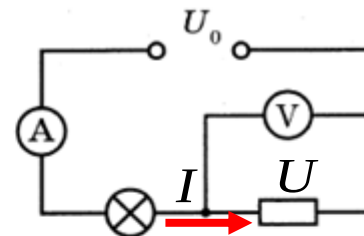
Ответ:

А	Б

2 балла

17

Электрическая цепь, схема которой изображена на рисунке, подключена к аккумулятору. Напряжение между полюсами аккумулятора равно U_0 , а показания идеальных амперметра и вольтметра равны соответственно I и U .



Установите соответствие между физическими величинами и формулами, по которым их можно рассчитать. Внутренним сопротивлением источника пренебречь. К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

- А) мощность, потребляемая резистором
Б) сопротивление лампочки

ФОРМУЛЫ

- 1) $\frac{U_0 - U}{I}$
2) UI
3) $\frac{U}{I}$
4) $(U_0 - U)I$

$$R_A = 0$$

$$R_V = \infty$$

Ответ:

А	Б
2	1

А) $P = UI$

Б) $R_L = \frac{U_L}{I} = \frac{U_0 - U}{I}$

При последовательном соединении проводников общее напряжение равно сумме напряжений на каждом проводнике, а сила тока одинаковая:

$$U_0 = U_L + U$$

18

Образец радиоактивного изотопа радия ${}^{224}_{88}\text{Ra}$ находится в закрытом сосуде, из которого откачан воздух. Ядра радия испытывают α -распад с периодом полураспада 3,6 суток. Определите число моль гелия в сосуде через 7,2 суток, если образец в момент его помещения в сосуд имел в своём составе $3,2 \cdot 10^{23}$ атомов.

Ответ: _____ моль.

1 балл

18

Образец радиоактивного изотопа радия $^{224}_{88}\text{Ra}$ находится в закрытом сосуде, из которого откачан воздух. Ядра радия испытывают α -распад с периодом полураспада 3,6 суток. Определите число моль гелия в сосуде через 7,2 суток, если образец в момент его помещения в сосуд имел в своём составе $3,2 \cdot 10^{23}$ атомов.

Ответ: 0,4 моль.

Закон радиоактивного распада

$$N = N_0 \cdot 2^{-t/T}$$

 $\Rightarrow$

$$N = \frac{N_0}{2^{t/T}}$$

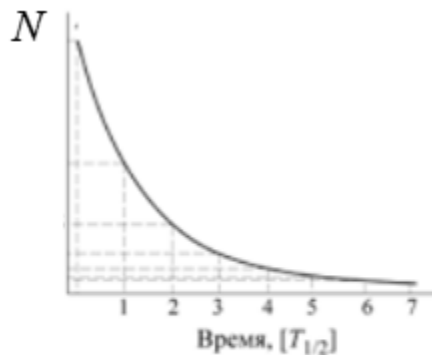
Количество ядер радия-224 через время t

$$N = \frac{3,2 \cdot 10^{23}}{2^{7,2/3,6}} = 0,8 \cdot 10^{23}$$

Количество ядер радия-224 через время $t = 2T$

Количество α -распадов ядер радия-224 (или атомов гелия)

$$N_{\text{расп.}} = N_0 - N = N_0 - \frac{N_0}{2^{t/T}}$$

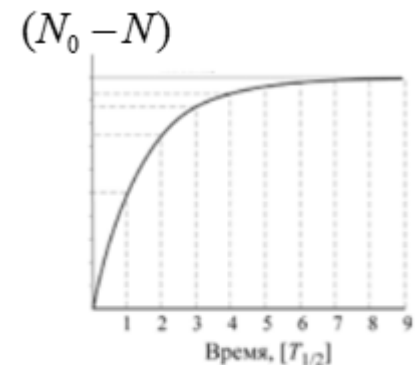


N – количество материнских ядер в момент времени t

$$N_{\text{расп.}} = 3,2 \cdot 10^{23} - 0,8 \cdot 10^{23} = 2,4 \cdot 10^{23}$$

$$\nu = \frac{N_{\text{расп.}}}{N_A} = \frac{2,4 \cdot 10^{23}}{6 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}} = 0,4 \text{ моль}$$

α -частица – это ядро атома гелия



$(N - N_0)$ – количество дочерних ядер в момент времени t

19

На металлическую пластину направили пучок света от лазера, вызвав фотоэффект. Интенсивность лазерного излучения плавно уменьшают, не меняя его частоты. Как меняются в результате этого число вылетающих в единицу времени фотоэлектронов и красная граница фотоэффекта $\lambda_{\text{кр}}$?

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

- 1) увеличится
- 2) уменьшится
- 3) не изменится

Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины. Цифры в ответе могут повторяться.

Число вылетающих фотоэлектронов	Красная граница фотоэффекта $\lambda_{\text{кр}}$

2 балла

19

На металлическую пластину направили пучок света от лазера, вызвав фотоэффект. Интенсивность лазерного излучения плавно уменьшают, не меняя его частоты. Как меняются в результате этого число вылетающих в единицу времени фотоэлектронов и красная граница фотоэффекта $\lambda_{\text{кр}}$? Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

- 1) увеличится
- 2) уменьшится
- 3) не изменится

Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины. Цифры в ответе могут повторяться.

Число вылетающих фотоэлектронов	Красная граница фотоэффекта $\lambda_{\text{кр}}$
2	3

Свет – это поток фотонов!

**Интенсивность
света**

$$I \downarrow = \frac{W}{S \cdot \Delta t} = \frac{N_{\phi} \downarrow \cdot h\nu}{S \cdot \Delta t}$$

W – **энергия света**, падающего
на поверхность площадью S
за время Δt

$h\nu = \text{const}$ – **энергия одного фотона**

$$A_{\text{вых}} = h\nu_{\text{кр}} = \frac{hc}{\lambda_{\text{кр}}}$$

**Работа
выхода**

$$\lambda_{\text{кр}} = \frac{hc}{A_{\text{вых}}} = \text{const}$$

**По условию металл
и его состояние не меняли!**

20

Выберите все верные утверждения о физических явлениях, величинах и закономерностях. запишите цифры, под которыми они указаны.

- 1) В поперечной механической волне колебания частиц среды происходит в направлении перпендикулярном направлению распространения волны.
- 2) С ростом температуры давление насыщенных паров возрастает прямо пропорционально их абсолютной температуре.
- 3) В однородном электростатическом поле работа по перемещению заряда между двумя точками не зависит от траектории.
- 4) Разноимённые полюса магнитов отталкиваются друг от друга.
- 5) Под энергией связи понимают ту энергию, которая необходима для отрыва от ядра всех электронов нейтрального атома.

Ответ: _____ .

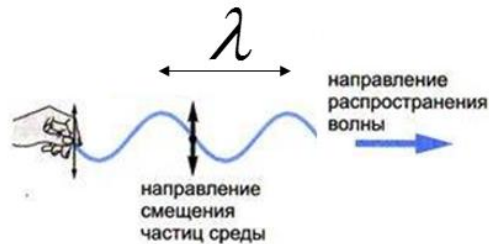
2 балла

Выберите все верные утверждения о физических явлениях, величинах и закономерностях. запишите цифры, под которыми они указаны.

- 1) В поперечной механической волне колебания частиц среды происходит в направлении перпендикулярном направлению распространения волны.
- 2) С ростом температуры давление насыщенных паров возрастает прямо пропорционально их абсолютной температуре.
- 3) В однородном электростатическом поле работа по перемещению заряда между двумя точками не зависит от траектории.
- 4) Разноимённые полюса магнитов отталкиваются друг от друга.
- 5) Под энергией связи понимают ту энергию, которая необходима для отрыва от ядра всех электронов нейтрального атома.

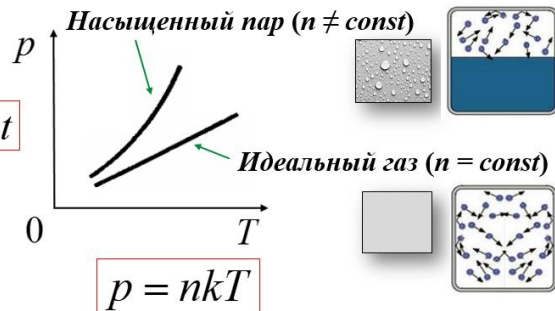
Ответ: 13.

1)



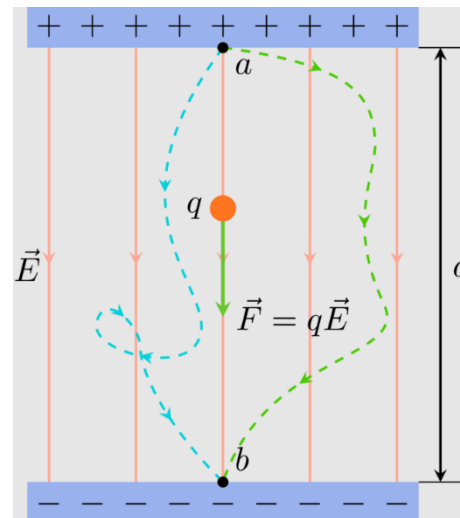
Поперечные волны

2)



Для насыщенного пара:
 $n(T) \Rightarrow p_{\text{нас}}(n, T)$

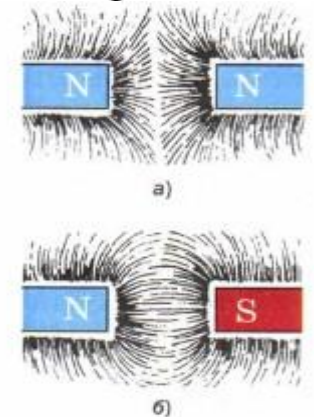
3)



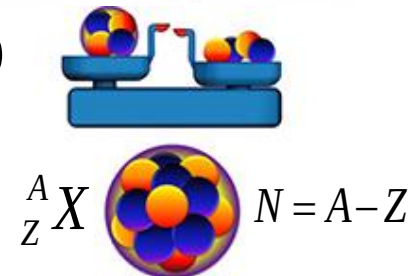
$$A_{a \rightarrow b} = -\Delta W$$

$$A_{a \rightarrow b} = q\Delta\varphi = qEd$$

4)



5)

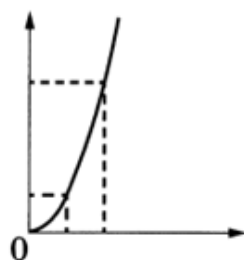


$$E_{\text{св.}} = \Delta M \cdot c^2$$

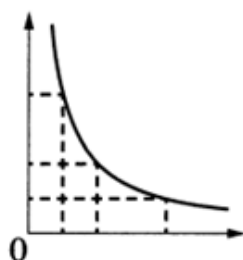
$$\Delta M = Zm_p + Nm_n - M_{\text{я}}$$

21 Даны следующие зависимости величин:

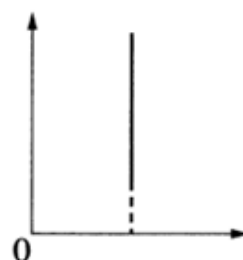
- А) зависимость центростремительного ускорения точки, находящейся на расстоянии R от центра вращения, от угловой скорости;
Б) зависимость давления постоянной массы идеального газа от его объёма в изотермическом процессе;
В) зависимость периода свободных электромагнитных колебаний в контуре, содержащем катушку индуктивности L , от ёмкости конденсатора.



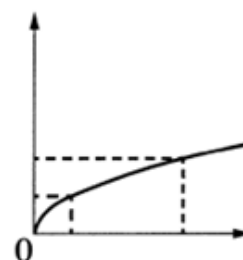
(1)



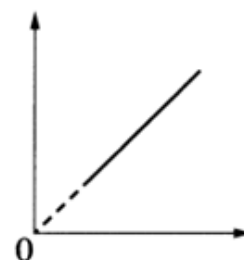
(2)



(3)



(4)



(5)

Установите соответствие между этими зависимостями и видами графиков, обозначенных цифрами 1–5. Для каждой зависимости А–В подберите соответствующий вид графика и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами. Цифры в ответе могут повторяться.

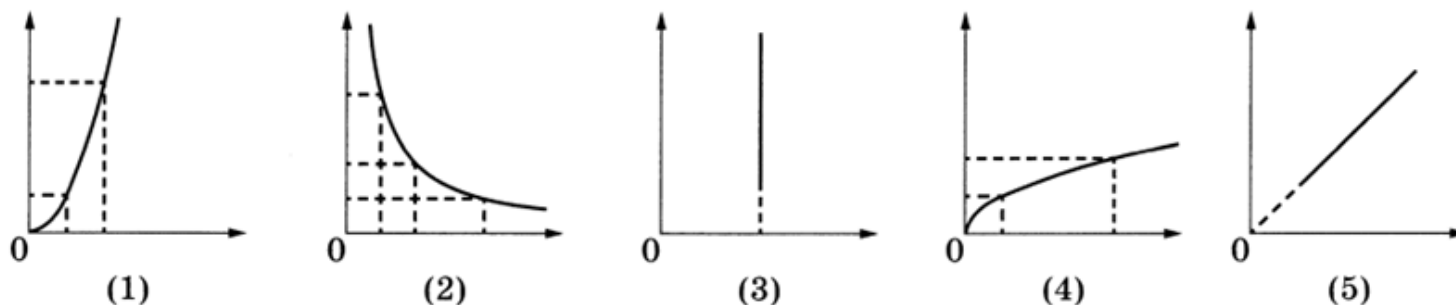
А	Б	В

Ответ:

2 балла

21 Даны следующие зависимости величин:

- А) зависимость центростремительного ускорения точки, находящейся на расстоянии R от центра вращения, от угловой скорости;
 Б) зависимость давления постоянной массы идеального газа от его объёма в изотермическом процессе;
 В) зависимость периода свободных электромагнитных колебаний в контуре, содержащем катушку индуктивности L , от электроёмкости конденсатора.



Установите соответствие между этими зависимостями и видами графиков, обозначенных цифрами 1–5. Для каждой зависимости А–В выберите соответствующий вид графика и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами. Цифры в ответе могут повторяться.

Ответ:

А	Б	В
1	2	4

$$a_{\text{ц}} = \frac{v^2}{R} = \omega^2 R \quad a_{\text{ц}}(\omega) \text{ – прямая квадратичная зависимость}$$

$$pV = \frac{m}{M} RT \Rightarrow p = \frac{m}{MV} RT \quad p(V) \text{ – обратная пропорциональная зависимость}$$

$$T = 2\pi\sqrt{LC} \quad T(C) \text{ – прямая коренная зависимость}$$

22

Чтобы узнать диаметр медной проволоки для изготовления реостата, ученик намотал её виток к витку на карандаш и измерил длину намотки из 20 витков. Длина оказалась равной 30 мм. Чему равен диаметр проволоки по результатам этих измерений, если погрешность линейки равна 1 мм?

Ответ: (_____ $\pm$ _____) мм.

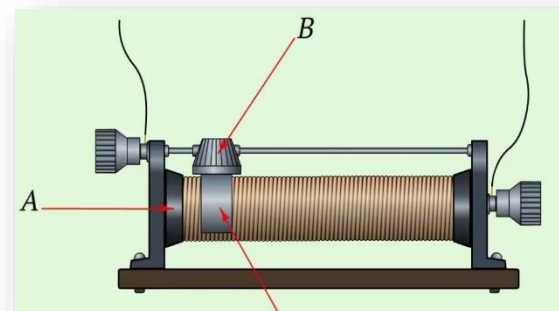
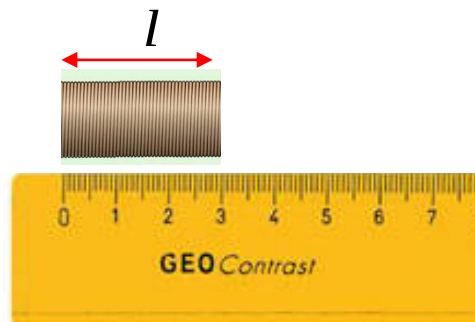
1 балл

22

Чтобы узнать диаметр медной проволоки для изготовления реостата, ученик намотал её виток к витку на карандаш и измерил длину намотки из 20 витков. Длина оказалась равной 30 мм. Чему равен диаметр проволоки по результатам этих измерений, если погрешность линейки равна 1 мм?

Ответ: (1,50 $\pm$ 0,05) мм.

Метод рядов для определения результатов измерений с учетом абсолютной погрешности:

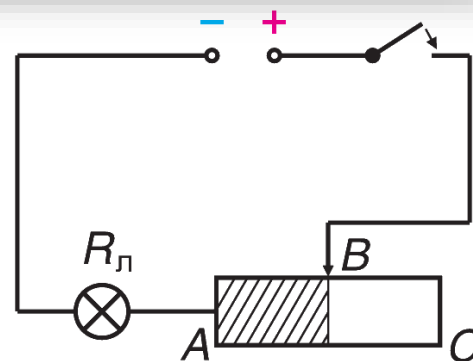


Диаметр проволоки:

$$d = \frac{l}{N} = \frac{30 \text{ мм}}{20} = 1,50 \text{ мм}$$

Погрешность измерения диаметра проволоки:

$$\Delta d = \frac{\Delta l}{N} = \frac{1 \text{ мм}}{20} = 0,05 \text{ мм}$$



23

Необходимо собрать экспериментальную установку и определить с её помощью внутреннее сопротивление аккумулятора. Для этого школьник взял аккумулятор, соединительные провода и реостат. Какие два предмета из приведённого ниже перечня оборудования необходимо дополнительно использовать для проведения этого эксперимента?

- 1) конденсатор
- 2) лампа накаливания
- 3) амперметр
- 4) секундомер
- 5) вольтметр

Ответ:

--	--

1 балл

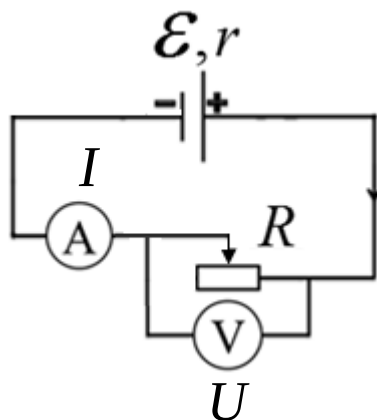
23

Необходимо собрать экспериментальную установку и определить с её помощью внутреннее сопротивление аккумулятора. Для этого школьник взял аккумулятор, соединительные провода и реостат. Какие два предмета из приведённого ниже перечня оборудования необходимо дополнительно использовать для проведения этого эксперимента?

- 1) конденсатор
- 2) лампа накаливания
- 3) амперметр
- 4) секундомер
- 5) вольтметр

Ответ:

3	5
---	---



Закон Ома для полной замкнутой цепи

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r}$$

ε — ЭДС аккумулятора

R — внешнее сопротивление цепи (реостата)

r — внутреннее сопротивление аккумулятора

$(R+r)$ — полное сопротивление цепи

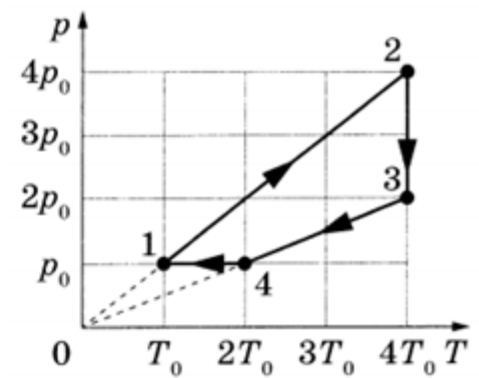
$$\varepsilon = I(R + r) = U + Ir$$

$\Rightarrow$

$$r = \frac{\varepsilon - U}{I}$$

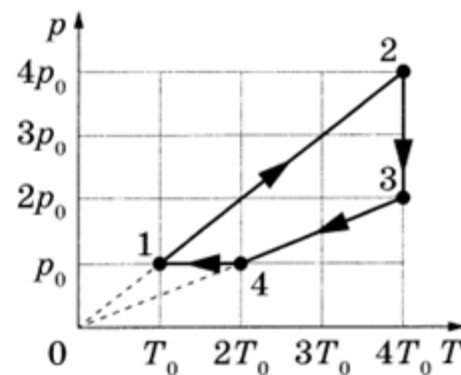
24

Один моль гелия участвует в циклическом процессе 1-2-3-4, график которого изображён на рисунке в координатах p - T , где p – давление газа, T – абсолютная температура. Опираясь на законы молекулярной физики и термодинамики, сравните работу газа в процессе 2-3 и модуль работы внешних в процессе 4-1. Постройте график цикла в координатах p - V , где p – давление газа, V – объём газа.



3 балла

Один моль гелия участвует в циклическом процессе 1-2-3-4, график которого изображён на рисунке в координатах p - T , где p – давление газа, T – абсолютная температура. Опираясь на законы молекулярной физики и термодинамики, сравните работу газа в процессе 2-3 и модуль работы внешних сил в процессе 4-1. Постройте график цикла в координатах p - V , где p – давление газа, V – объём газа.



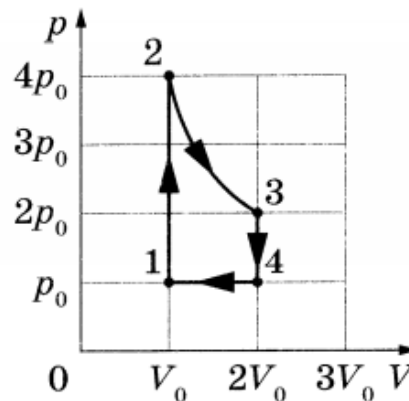
Решение: Работа газа численно равна площади фигуры под линией процесса на графике $p(V)$. Следовательно, надо построить такой график, учитывая уравнение М.-К.: $pV = \nu RT$ $\nu = 1 \text{ моль}$.

1 $\rightarrow$ 2: **Изохорное нагревание**, т.к. $p/T = \text{const}$ (и температура T , и давление p увеличились в 4 раза $\Rightarrow V = \text{const}$).

2 $\rightarrow$ 3: **Изотермическое расширение**, т.к. $T = \text{const}$, то $pV = \text{const}$ (при уменьшении давления p в 2 раза объём газа V возрастает в 2 раза).

3 $\rightarrow$ 4: **Изохорное охлаждение**, т.к. $p/T = \text{const}$ (и температура T , и давление p уменьшились в 2 раза).

4 $\rightarrow$ 1: **Изобарное сжатие**, т.к. $p = \text{const}$, то $V/T = \text{const}$ (при уменьшении температуры в 2 раза объём газа уменьшается в 2 раза).



Работа газа в процессе 2-3 на графике $p(V)$ равна площади фигуры под гиперболой, **модуль работы внешних сил** в процессе 4-1 равен площади под горизонтальным участком 4-1. По графику видно, что $A_{23} > |A'_{41}|$.

Ответ : Работа газа в процессе 2-3 больше модуля работы внешних сил в процессе 4-1

25

На последнем километре тормозного пути скорость поезда уменьшилась на 10 м/с. Определите скорость в начале торможения, если общий тормозной путь составил 4 км, а торможение было равнозамедленным.

2 балла

25

На последнем километре тормозного пути скорость поезда уменьшилась на 10 м/с. Определите скорость в начале торможения, если общий тормозной путь составил 4 км, а торможение было равнозамедленным.

Дано:

$$\Delta v = -10 \text{ м/с}$$

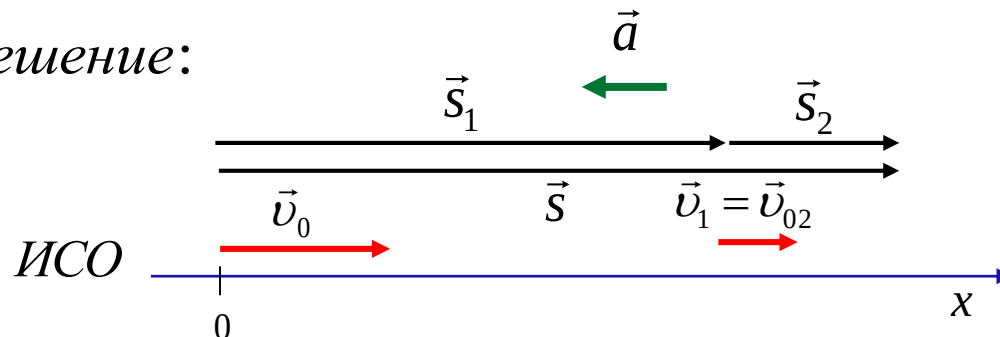
$$s_2 = 1000 \text{ м}$$

$$s = 4000 \text{ м}$$

$$v = v_2 = 0$$

$$v_0 - ?$$

Решение:



$$\Delta v_2 = v_2 - v_{02} = 0 - v_1 \Rightarrow v_1 = 10 \text{ м/с}$$

$$s_1 = s - s_2 = 4000 \text{ м} - 1000 \text{ м} = 3000 \text{ м}$$

Перемещение при
равноускоренном
движении:

$$s_x = \frac{v_x^2 - v_{0x}^2}{2a_x}$$

$$\Rightarrow s_1 = \frac{v_1^2 - v_0^2}{-2a} \Rightarrow v_0 = \sqrt{v_1^2 + 2as_1}$$

$$a_x = \frac{v_x^2 - v_{0x}^2}{2s_x} \Rightarrow a_x = \frac{v_2^2 - v_{02}^2}{2s_2} = \frac{0 - 10^2}{2 \cdot 1000} = -0,05 \text{ м/с}^2$$

$$a = 0,05 \text{ м/с}^2 \Rightarrow v_0 = \sqrt{10^2 + 2 \cdot 0,05 \cdot 3000} = 20 \text{ м/с}$$

Ответ: $v_0 = 20 \text{ м/с}$

26

На дифракционную решётку, имеющую 300 штрихов на 1 мм, перпендикулярно её поверхности падает лазерный луч частотой $4,8 \cdot 10^{14}$ Гц. Определите максимальное количество дифракционных максимумов, доступных для наблюдения на экране.

2 балла

26

На дифракционную решётку, имеющую 300 штрихов на 1 мм, перпендикулярно её поверхности падает лазерный луч частотой $4,8 \cdot 10^{14}$ Гц. Определите максимальное количество дифракционных максимумов, доступных для наблюдения на экране.

Дано:

$$d = \frac{1 \text{ мм}}{300}$$

$$\nu = 4,8 \cdot 10^{14} \text{ Гц}$$

$$N_{\text{max}} - ?$$

Решение: Условие наблюдения *тах* для дифракционной решетки:

$$d \sin \varphi = m \lambda \quad (\varphi_{\text{max}} = 90^\circ)$$

Период
решётки:

$$d = \frac{10^{-3} \text{ м}}{300}$$

$$m_{\text{max}} = \frac{d}{\lambda}$$

$$\lambda = \frac{c}{\nu}$$

φ – угол дифракции

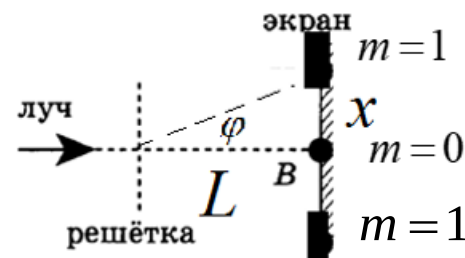
Связь между *длиной волны* и *частотой колебаний* $\vec{E}(\vec{B})$

$$m_{\text{max}} = \frac{d \nu}{c}$$

$$m_{\text{max}} = \frac{10^{-3} \text{ м} \cdot 4,8 \cdot 10^{14} \text{ Гц}}{300 \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}} = 5.$$

$$N_{\text{max}} = 2m_{\text{max}} + 1 = 2 \cdot 5 + 1 = 11.$$

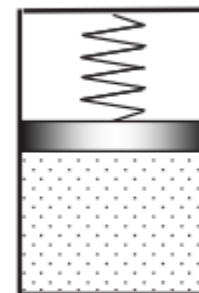
Ответ: $N_{\text{max}} = 11$



Дифракционная картина на экране

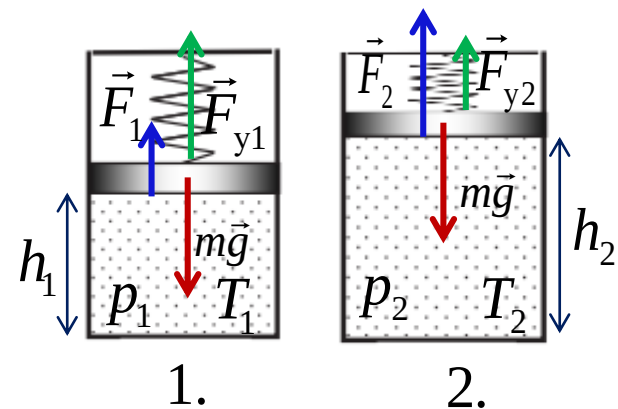
27

В вертикально расположенном закрытом цилиндрическом сосуде с гладкими стенками находится тяжёлый поршень, поддерживаемый растянутой пружиной на высоте $h_1 = 20$ см от дна сосуда (см. рисунок). Под поршнем находится 0,1 моль идеального газа при начальной температуре $T_1 = 300$ К. Если газ нагреть на $\Delta T = 110$ К, поршень поднимется на $\Delta h = 4$ см, а пружина останется растянутой. Определите жёсткость пружины. Считать, что в части сосуда над поршнем находится вакуум.



3 балла

В вертикально расположенном закрытом цилиндрическом сосуде с гладкими стенками находится тяжёлый поршень, поддерживаемый растянутой пружиной на высоте $h_1 = 20$ см от дна сосуда (см. рисунок). Под поршнем находится 0,1 моль идеального газа при начальной температуре $T_1 = 300$ К. Если газ нагреть на $\Delta T = 110$ К, поршень поднимется на $\Delta h = 4$ см, а пружина останется растянутой. Определите жёсткость пружины. Считать, что в части сосуда над поршнем находится вакуум.



Дано:

$$h_1 = 0,2 \text{ м}$$

$$\nu = 0,1 \text{ моль}$$

$$T_1 = 300 \text{ К}$$

$$\Delta T = 110 \text{ К}$$

$$\Delta h = 0,04 \text{ м}$$

$$k - ?$$

Решение:

Сила давления газа
 S – площадь поршня

$$F = pS$$

$$F_y = kx$$

Сила упругости
 x – деформация пружины

Условие равновесия поршня
 $\nu = 0$

$$m\vec{g} + \vec{F} + \vec{F}_y = 0 \Rightarrow \begin{cases} kx_1 = mg - p_1 S & (1) \\ kx_2 = mg - p_2 S & (2) \end{cases}$$

$$(1) - (2): k(x_1 - x_2) = S(p_2 - p_1) \quad \Delta h = x_1 - x_2 \Rightarrow k = \frac{S(p_2 - p_1)}{\Delta h}$$

$$pV = \nu RT \Rightarrow \begin{cases} p_1 Sh_1 = \nu RT_1 \\ p_2 Sh_2 = \nu RT_2 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} p_1 = \nu RT_1 / Sh_1 \\ p_2 = \nu RT_2 / Sh_2 \end{cases}$$

Объём газа $V = Sh$

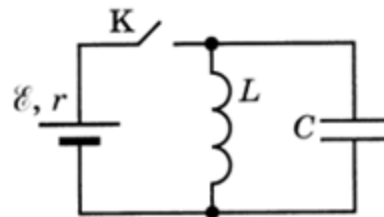
$$k = \frac{S}{\Delta h} \left(\frac{\nu RT_2}{Sh_2} - \frac{\nu RT_1}{Sh_1} \right) = \frac{\nu R}{\Delta h} \left(\frac{T_2}{h_2} - \frac{T_1}{h_1} \right)$$

$$k = \frac{\nu R}{\Delta h} \left(\frac{T_1 + \Delta T}{h_1 + \Delta h} - \frac{T_1}{h_1} \right)$$

$$k = \frac{0,1 \cdot 8,31}{0,04} \left(\frac{300 + 110}{0,2 + 0,04} - \frac{300}{0,2} \right) \approx 4328 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$$

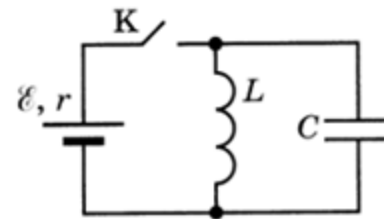
Ответ: $k = 4328 \text{ Н/м}$

В электрической цепи, показанной на рисунке, ключ К длительное время замкнут, $\mathcal{E} = 3 \text{ В}$, $r = 2 \text{ Ом}$, $L = 1 \text{ мГн}$, $C = 50 \text{ мкФ}$. В момент времени $t = 0$ ключ К размыкают. Каково напряжение U на конденсаторе в момент времени, когда в ходе возникших электромагнитных колебаний сила тока в контуре $I = 1 \text{ А}$?



Сопротивлением проводов и активным сопротивлением катушки пренебречь.

В электрической цепи, показанной на рисунке, ключ К длительное время замкнут, $\mathcal{E} = 3 \text{ В}$, $r = 2 \text{ Ом}$, $L = 1 \text{ мГн}$, $C = 50 \text{ мкФ}$. В момент времени $t = 0$ ключ К размыкают. Каково напряжение U на конденсаторе в момент времени, когда в ходе возникших электромагнитных колебаний сила тока в контуре $I = 1 \text{ А}$?



Сопровитвлением проводов и активным сопротивлением катушки пренебречь.

Дано:

$$\mathcal{E} = 3 \text{ В}$$

$$r = 2 \text{ Ом}$$

$$L = 10^{-3} \text{ Гн}$$

$$C = 50 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}$$

$$I = 1 \text{ А}$$

$$U = ?$$

Решение:

- 1) *До размыкания ключа:* $U_C = U_L = IR_L = 0$ т.к. катушка и конденсатор включены параллельно, а сопротивление катушки равно нулю.

$$W_0 = \frac{LI_0^2}{2} \quad I_0 = \frac{\mathcal{E}}{R+r} = \frac{\mathcal{E}}{r} \Rightarrow W_0 = \frac{L\mathcal{E}^2}{2r^2} \quad \text{Энергия магнитного поля катушки до размыкания ключа}$$

- 2) После размыкания ключа возникают свободные электромагнитные колебания в идеальном LC-контуре ($W = \text{const}$):

$$W_0 = W \Rightarrow \frac{L\mathcal{E}^2}{2r^2} = \frac{LI^2}{2} + \frac{CU^2}{2} \Rightarrow$$

$$U = \sqrt{\frac{L}{C} \left(\frac{\mathcal{E}^2}{r^2} - I^2 \right)}$$

$$U = \sqrt{\frac{10^{-3} \text{ Гн}}{50 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}} \left(\frac{(3 \text{ В})^2}{(2 \text{ Ом})^2} - (1 \text{ А})^2 \right)} = 5 \text{ В}.$$

Ответ: $U = 5 \text{ В}$

29

Фотокатод освещается светом с длиной волны 300 нм. Работа выхода вещества, из которого выполнен фотокатод, равна 2,76 эВ. Вылетевшие из фотокатода электроны попадают в однородное магнитное поле перпендикулярно линиям индукции этого поля и движутся по окружности с максимальным радиусом 6 мм. Определите модуль индукции магнитного поля.

3 балла

29

Фотокатод освещается светом с длиной волны 300 нм. Работа выхода вещества, из которого выполнен фотокатод, равна 2,76 эВ. Вылетевшие из фотокатода электроны попадают в однородное магнитное поле перпендикулярно линиям индукции этого поля и движутся по окружности с максимальным радиусом 6 мм. Определите модуль индукции магнитного поля.

Дано:

$$\lambda = 3 \cdot 10^{-7} \text{ м}$$

$$A_{\phi} = 4,48 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$$

$$R = 6 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

$$m = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$$

$$q = e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$$

$$B - ?$$

Решение: $E_{\phi} = A_{\phi} + E_k$ Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта

$$\frac{hc}{\lambda} = A_{\phi} + \frac{mv^2}{2} \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2}{m} \left(\frac{hc}{\lambda} - A_{\phi} \right)}$$

$$v = \sqrt{\frac{2}{9,1 \cdot 10^{-31}} \left(\frac{6,6 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{3 \cdot 10^{-7}} - 4,48 \cdot 10^{-19} \right)} \approx 6,8 \cdot 10^5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

В магнитном поле: $F_{\text{Лор}} = qvB \sin \alpha$
 $\sin 90^\circ = 1$

$$F = ma_{\text{ц}} = \frac{mv^2}{R}$$

$$qvB = \frac{mv^2}{R} \Rightarrow B = \frac{mv}{qR}$$

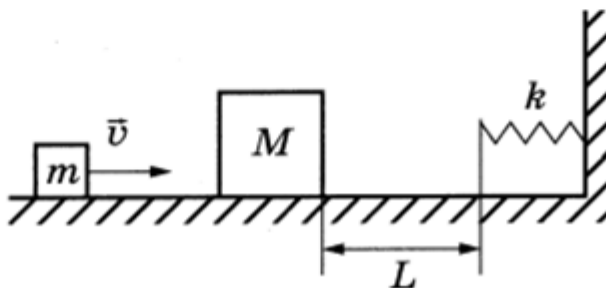
$$B = \frac{9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 6,8 \cdot 10^5}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 6 \cdot 10^{-3}} \approx 6,4 \cdot 10^{-4} \text{ Тл.}$$

$$1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$$

Ответ: $B = 0,64 \text{ мТл}$

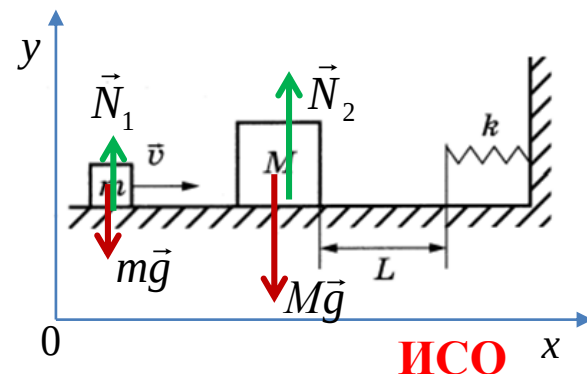
30

Небольшой брусок массой $m = 100$ г, скользящий по гладкой горизонтальной поверхности, абсолютно неупруго сталкивается с неподвижным телом массой $M = 3m$. При дальнейшем поступательном движении тела налетают на недеформированную пружину, одним концом прикреплённую к стене (см. рисунок). С какой скоростью v двигался брусок до столкновения, если после абсолютно неупругого столкновения бруски вернуться в точку столкновения через время $t = 1,7$ с? Жёсткость пружины $k = 40$ Н/м, а расстояние от точки столкновения до пружины $L = 25$ см. Обоснуйте применимость законов, используемых при решении задачи.



(1+3) балла

Небольшой брусок массой $m = 100$ г, скользящий по гладкой горизонтальной поверхности, абсолютно неупруго сталкивается с неподвижным телом массой $M = 3m$. При дальнейшем поступательном движении тела налетают на недеформированную пружину, одним концом прикреплённую к стене (см. рисунок). С какой скоростью v двигался брусок до столкновения, если после абсолютно неупругого столкновения бруски вернуться в точку столкновения через время $t = 1,7$ с? Жёсткость пружины $k = 40$ Н/м, а расстояние от точки столкновения до пружины $L = 25$ см. Обоснуйте применимость законов, используемых при решении задачи.



Обоснование:

1. Рассмотрим задачу в системе отсчёта, связанную с Землёй. Будем считать эту систему отсчёта инерциальной (ИСО).
2. Тела будем считать материальными точками, т.к. они совершают поступательное движение.
3. На каждое тело действуют сила тяжести и сила реакции опоры, сила трения отсутствует, т.к. поверхность гладкая $\Rightarrow$ внешние силы, действующие на систему двух тел, направлены вертикально $\Rightarrow$ их проекция на ось Ox равна нулю $\Rightarrow$ при столкновении сохраняется горизонтальная проекция импульса системы тел:

$$\Delta \vec{p} = \vec{F} \cdot \Delta t, \quad F_x = 0 \quad \Rightarrow \quad p_x = \text{const.}$$

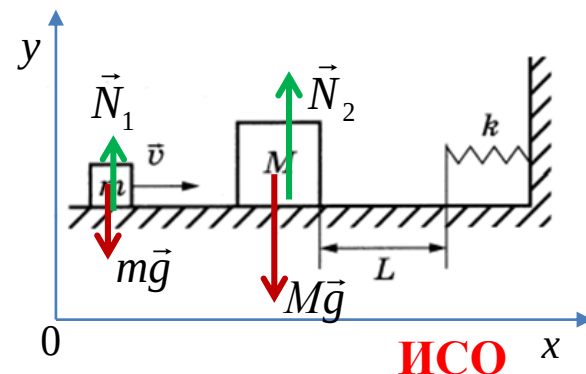
4. Изменение механической энергии тела в ИСО равно работе всех непотенциальных сил, приложенных к нему. В процессе движения тел при деформации пружины действуют потенциальная сила тяжести $(m+M)g$, потенциальная сила упругости kx и непотенциальная сила реакции опоры N . Работа непотенциальной силы N при этом перемещении равна нулю, так как вектор силы реакции опоры перпендикулярен перемещению тел в любой точке траектории. Следовательно, при деформации пружины выполняется закон сохранения механической энергии: $\Delta E = A_{\text{непот}} = 0 \quad \Rightarrow \quad E = E_k + E_p = \text{const.}$

Следовательно, после касания пружины и до отрыва от неё тела и пружина образуют пружинный маятник с периодом колебаний

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m+M}{k}}.$$

30

Небольшой брусок массой $m = 100$ г, скользящий по гладкой горизонтальной поверхности, абсолютно неупруго сталкивается с неподвижным телом массой $M = 3m$. При дальнейшем поступательном движении тела налетают на недеформированную пружину, одним концом прикреплённую к стене (см. рисунок). С какой скоростью v двигался брусок до столкновения, если после абсолютно неупругого столкновения бруски вернуться в точку столкновения через время $t = 1,7$ с? Жёсткость пружины $k = 40$ Н/м, а расстояние от точки столкновения до пружины $L = 25$ см. Обоснуйте применимость законов, используемых при решении задачи.



Дано:

$$m = 0,1 \text{ кг}$$

$$M = 0,3 \text{ кг}$$

$$t = 1,7 \text{ с}$$

$$k = 40 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$$

$$L = 0,25 \text{ м}$$

$$v = ?$$

Решение:

$$p_x = \text{const}$$

$$\Rightarrow m v = (m + M) u \Rightarrow v = \frac{(m + M) u}{m}$$

u – скорость тел после удара до касания пружины и после отрыва от неё (т.к. поверхность гладкая $u = \text{const}$).

t_1 – время движения тел от момента удара до касания левой части пружины

$$t = 2t_1 + t_2, \quad t_1 = \frac{L}{u}, \quad t_2 = \frac{T}{2} = \pi \sqrt{\frac{m + M}{k}}$$

t_2 – время движения после касания пружины и до отрыва от неё (половина периода гармонического колебания)

$$t = \frac{2L}{u} + \pi \sqrt{\frac{m + M}{k}} \Rightarrow u = \frac{2L}{t - \pi \sqrt{\frac{m + M}{k}}} = \frac{2 \cdot 0,25}{1,7 - 3,14 \sqrt{\frac{0,1 + 0,3}{40}}} \approx 0,36 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$v = \frac{(0,1 + 0,3) 0,36}{0,1} \approx 1,44 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Ответ: $v = 1,44 \text{ м/с}$

3 балла



Желаем успехов на экзаменах!