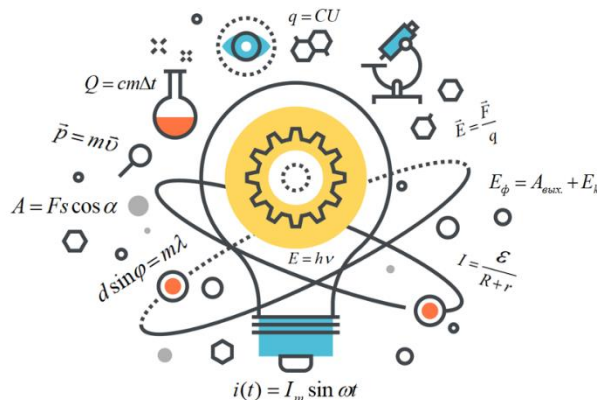


Институт цифровых технологий, электроники и физики

<http://phys.asu.ru/>

ЕГЭ по физике 2023



Задания 27-28 (часть 2 КИМ ЕГЭ): Расчетные задачи

Шимко Елена Анатольевна

доцент кафедры общей и экспериментальной физики АлтГУ

27.1

Два теплоизолированных сосуда, объёмы которых $V_1 = 2V$ и $V_2 = V$, соединены между собой трубкой с вентилем. Вентиль закрыт. Сосуды содержат соответственно разреженный аргон и разреженный криптон в количествах ν_1 и $\nu_2 = 2\nu_1$ при температурах T_1 и $T_2 = 2T_1$ соответственно. Каким будет давление в сосудах, если вентиль открыть? Объёмом трубки пренебречь.

3 балла

27.1

Два теплоизолированных сосуда, объёмы которых $V_1 = 2V$ и $V_2 = V$, соединены между собой трубкой с вентиляем. Вентиль закрыт. Сосуды содержат соответственно разреженный аргон и разреженный криптон в количествах ν_1 и $\nu_2 = 2\nu_1$ при температурах T_1 и $T_2 = 2T_1$ соответственно. Каким будет давление в сосудах, если вентиль открыть? Объёмом трубки пренебречь.

Дано:

$$V_1 = 2V$$

$$V_2 = V$$

$$\nu_2 = 2\nu_1$$

$$T_2 = 2T_1$$

$$p - ?$$

Решение: *Внутренняя энергия U системы газов не изменяется, т.к. сосуды теплоизолированные и газы при открытии вентиля не совершают работу ($U = \text{const}$):*

$$\boxed{U_1 + U_2 = U} \Rightarrow \frac{3}{2}\nu_1 RT_1 + \frac{3}{2}\nu_2 RT_2 = \frac{3}{2}(\nu_1 + \nu_2)RT$$

$$\frac{3}{2}\nu_1 RT_1 + \frac{3}{2} \cdot 2\nu_1 R \cdot 2T_1 = \frac{3}{2}(\nu_1 + 2\nu_1)RT \Rightarrow \boxed{T = \frac{5}{3}T_1}$$
 Конечная температура газов

Закон Дальтона

Парциальные давления аргона и криптона:

$$\boxed{p = p_1 + p_2}$$

$$\boxed{p_1 = \frac{\nu_1}{V_{\text{общ}}} RT}$$

$$\boxed{p_2 = \frac{\nu_2}{V_{\text{общ}}} RT}$$

$$\boxed{V_{\text{общ}} = V_1 + V_2}$$

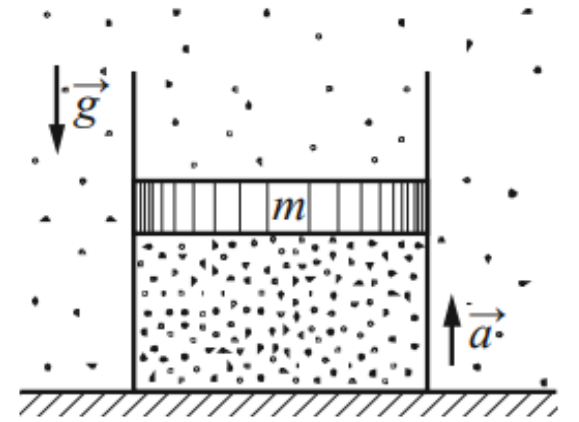
$$V_{\text{общ}} = 2V + V = 3V$$

$$p = \frac{\nu_1}{V_{\text{общ}}} RT + \frac{\nu_2}{V_{\text{общ}}} RT = \frac{RT}{V_{\text{общ}}} (\nu_1 + \nu_2) = \frac{R}{3V} \cdot \frac{5}{3} T_1 (\nu_1 + 2\nu_1) \Rightarrow \boxed{p = \frac{5}{3} \frac{\nu_1 RT_1}{V}}$$

Ответ:
$$p = \frac{5}{3} \frac{\nu_1 RT_1}{V}$$

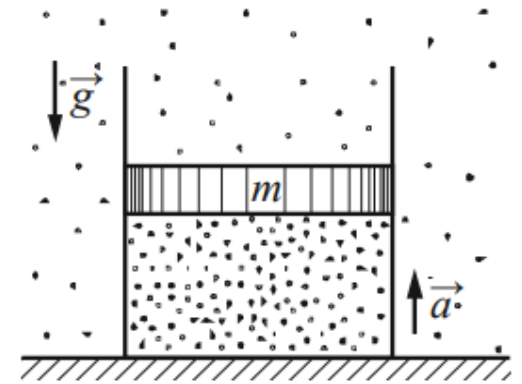
27.2

В вертикальном цилиндрическом сосуде с гладкими стенками под подвижным поршнем массой 10 кг и площадью поперечного сечения 50 см^2 находится разреженный газ (см. рисунок). При движении сосуда по вертикали с ускорением, направленных вверх и равным по модулю 1 м/с^2 , высота столба газа под поршнем постоянна и на 5% меньше, чем в покоящемся сосуде. Считая температуру газа под поршнем неизменной, а наружное давление постоянным, определите внешнее давление. Масса газа под поршнем постоянна.



27.2

В вертикальном цилиндрическом сосуде с гладкими стенками под подвижным поршнем массой 10 кг и площадью поперечного сечения 50 см² находится разреженный газ (см. рисунок). При движении сосуда по вертикали с ускорением, направленным вверх и равным по модулю 1 м/с², высота столба газа под поршнем постоянна и на 5% меньше, чем в покоящемся сосуде. Считая температуру газа под поршнем неизменной, а наружное давление постоянным, определите внешнее давление. Масса газа под поршнем постоянна.



определите внешнее давление.

Дано:

$$m = 10 \text{ кг}$$

$$S = 50 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

$$a = 1 \text{ м/с}^2$$

$$h_1 = 0,95 h_2$$

$$T = \text{const}$$

$$p_0 - ?$$

Решение:

II закон Ньютона

$$\vec{F}_1 + m\vec{g} + \vec{F}_0 = m\vec{a}$$

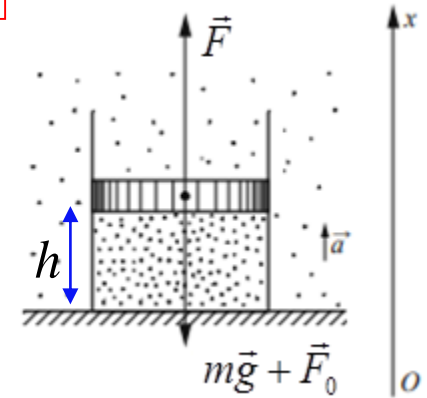
$$\vec{F}_2 + m\vec{g} + \vec{F}_0 = 0$$

$$p = \frac{F}{S} \Rightarrow F = pS \quad (\text{сила давления газа})$$

$$\begin{cases} p_1 S - mg - p_0 S = ma & (1) \\ p_2 S - mg - p_0 S = 0 & (2) \end{cases}$$

$$\begin{cases} p_1 S - mg - p_0 S = ma & (1) \\ p_2 S - mg - p_0 S = 0 & (2) \end{cases}$$

$$T = \text{const} \Rightarrow p_1 V_1 = p_2 V_2 \Rightarrow p_1 h_1 = p_2 h_2 \quad V = Sh$$



Дано :

$$m = 10 \text{ кг}$$

$$S = 50 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

$$a = 1 \text{ м/с}^2$$

$$h_1 = 0,95 h_2$$

$$T = \text{const}$$

$$p_0 = ?$$

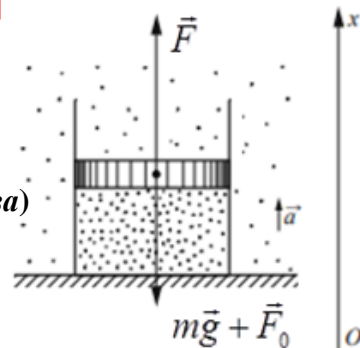
Решение:

II закон Ньютона

$$\vec{F}_1 + m\vec{g} + \vec{F}_0 = m\vec{a}$$

$$\vec{F}_2 + m\vec{g} + \vec{F}_0 = 0$$

$$p = \frac{F}{S} \Rightarrow F = pS \quad (\text{сила давления газа})$$



$$p_1 S - mg - p_0 S = ma \quad (1)$$

$$p_2 S - mg - p_0 S = 0 \quad (2)$$

$$T = \text{const} \Rightarrow p_1 V_1 = p_2 V_2 \Rightarrow p_1 h_1 = p_2 h_2 \quad V = Sh$$

$$p_1 0,95 h_1 = p_2 h_2 \Rightarrow p_2 = 0,95 p_1$$

$$(2): \frac{mg}{S} + p_0 = p_2 = 0,95 p_1$$

$$(1): p_1 - 0,95 p_1 = \frac{ma}{S} \Rightarrow p_1 = \frac{ma}{0,05 S}$$

$$(1): p_1 - \frac{mg}{S} - p_0 = \frac{ma}{S} \Rightarrow \frac{ma}{0,05 S} - \frac{mg}{S} - p_0 = \frac{ma}{S}$$

$$p_0 = \frac{m}{S} \left(\frac{a}{0,05} - a - g \right)$$

$$p_0 = \frac{10}{50 \cdot 10^{-4}} \left(\frac{1}{0,05} - 1 - 10 \right) \text{ Па} = 1,8 \cdot 10^4 \text{ Па.}$$

Ответ: $p_0 = 18 \text{ кПа}$

27.3

В комнате при $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ относительная влажность воздуха составляет 40%. При умеренной физической нагрузке через лёгкие человека проходит 15 л воздуха за 1 мин. Выдыхаемый воздух имеет температуру $34\text{ }^{\circ}\text{C}$ и относительную влажность 100%. Давление насыщенного водяного пара при $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ равно 2,34 кПа, а при $34\text{ }^{\circ}\text{C}$ – 5,32 кПа. Какую массу воды теряет тело человека за 1 ч за счёт дыхания? Считать, что объём выдыхаемого воздуха равен объёму, который проходит через лёгкие человека. Влажность воздуха в комнате считать неизменной.

27.3

В комнате при 20 °С относительная влажность воздуха составляет 40%. При умеренной физической нагрузке через лёгкие человека проходит 15 л воздуха за 1 мин. Выдыхаемый воздух имеет температуру 34 °С и относительную влажность 100%. Давление насыщенного водяного пара при 20 °С равно 2,34 кПа, а при 34 °С – 5,32 кПа. Какую массу воды теряет тело человека за 1 ч за счёт дыхания? Считать, что объём выдыхаемого воздуха равен объёму, который проходит через лёгкие человека. Влажность воздуха в комнате считать неизменной.

Через лёгкие за 1 мин проходит 15 л воздуха, а за 1 час $15 \cdot 60 = 900$ л!

Дано :

$$V = 0,9 \text{ м}^3$$

$$T_1 = 293 \text{ К}$$

$$\varphi_1 = 0,4$$

$$p_{н1} = 2340 \text{ Па}$$

$$T_2 = 307 \text{ К}$$

$$\varphi_2 = 1$$

$$p_{н2} = 5320 \text{ Па}$$

$$\mu = 0,018 \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$$

$$\Delta m = ?$$

Решение: $\Delta m = m_2 - m_1$

$$\varphi = \frac{p}{p_n}$$

Парциальное давление водяного пара

\Rightarrow

$$p = \varphi p_n$$

$$p_1 V = \frac{m_1}{\mu} R T_1 \Rightarrow m_1 = \frac{\varphi_1 p_{н1} V \mu}{R T_1}$$

Масса вдыхаемого водяного пара за 1 час

$$p_2 V = \frac{m_2}{\mu} R T_2 \Rightarrow m_2 = \frac{\varphi_2 p_{н2} V \mu}{R T_2}$$

Масса выдыхаемого водяного пара за 1 час

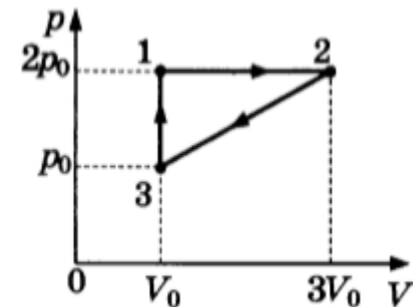
$$\Delta m = m_2 - m_1 = \frac{V \mu}{R} \left(\frac{\varphi_2 p_{н2}}{T_2} - \frac{\varphi_1 p_{н1}}{T_1} \right)$$

$$\Delta m = \frac{0,9 \cdot 0,018}{8,31} \left(\frac{1 \cdot 5320}{307} - \frac{0,4 \cdot 2340}{293} \right) \approx 0,0276 \text{ кг}$$

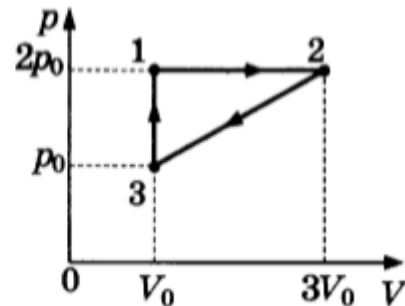
Ответ: $\Delta m = 27,6 \text{ г}$

27.4

Изменение состояния постоянной массы одноатомного идеального газа происходит по циклу, показанному на рисунке. При переходе из состояния 1 в состояние 2 газ совершает работу $A_{12} = 5$ кДж. Какое количество теплоты газ получает за цикл от нагревателя?



27.4 Изменение состояния постоянной массы одноатомного идеального газа происходит по циклу, показанному на рисунке. При переходе из состояния 1 в состояние 2 газ совершает работу $A_{12} = 5$ кДж. Какое количество теплоты газ получает за цикл от нагревателя?



Пояснить формулу, анализируя процессы:

Дано:

$$A_{12} = 5 \text{ кДж}$$

Q_H — ?

Решение: $Q_H = Q_{12} + Q_{31}$

$$Q_{12} = \Delta U_{12} + A_{12}, \quad \Delta U_{12} = U_2 - U_1, \quad U = \frac{3}{2} pV$$

$$\Delta U_{12} = \frac{3}{2} (p_2 V_2 - p_1 V_1) = \frac{3}{2} (6 p_0 V_0 - 2 p_0 V_0) = 6 p_0 V_0$$

$$A_{12} = p \Delta V = 4 p_0 V_0 \implies Q_{12} = 6 p_0 V_0 + 4 p_0 V_0 = 10 p_0 V_0.$$

$$Q_{31} = \Delta U_{31}, \quad A_{31} = 0 \quad (V = \text{const})$$

$$\Delta U_{31} = U_1 - U_3 = \frac{3}{2} (p_1 V_1 - p_3 V_3) = \frac{3}{2} (2 p_0 V_0 - p_0 V_0) = \frac{3}{2} p_0 V_0.$$

$$Q_H = 10 p_0 V_0 + 1,5 p_0 V_0 = 11,5 p_0 V_0, \quad p_0 V_0 = \frac{A_{12}}{4} \implies Q_H = \frac{11,5 A_{12}}{4}$$

$$Q_H = \frac{11,5}{4} \cdot 5 \text{ кДж} = 14,375 \text{ кДж}.$$

Ответ: $Q_H = 14,375 \text{ кДж}$

27.5

Цикл тепловой машины, рабочим веществом которой является ν молей идеального одноатомного газа, состоит из изотермического расширения, изохорного охлаждения и адиабатического сжатия. Работа, совершенная газом в изотермическом процессе, равна A , а КПД тепловой машины равен η . Максимальная температура в этом цикле равна T_0 . Определите минимальную температуру T в этом циклическом процессе.

27.5

Цикл тепловой машины, рабочим веществом которой является ν молей идеального одноатомного газа, состоит из изотермического расширения, изохорного охлаждения и адиабатического сжатия. Работа, совершенная газом в изотермическом процессе, равна A , а КПД тепловой машины равен η . Максимальная температура в этом цикле равна T_0 . Определите минимальную температуру T в этом циклическом процессе.

Дано:
 $A_{12} = A$
 ν
 η
 $T_{\max} = T_0$
 $T_{\min} - ?$

Решение: $\eta = \frac{A_{\text{цикл}}}{Q_H} = \frac{Q_H - |Q_X|}{Q_H} = 1 - \frac{|Q_X|}{Q_H}$ $Q = \Delta U + A$

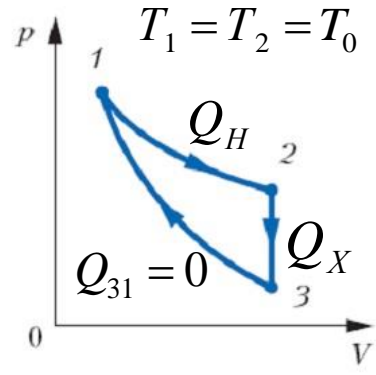
$Q_H = Q_{12} = A_{12} = A, \quad T = \text{const} \Rightarrow \Delta U_{12} = 0$

$Q_X = Q_{23} = \Delta U_{23} = U_3 - U_2, \quad V = \text{const} \Rightarrow A_{23} = 0$

$Q_X = \Delta U_{23} = \frac{3}{2} \nu R (T_3 - T_2) = \frac{3}{2} \nu R (T_3 - T_0); \quad Q_{31} = 0$

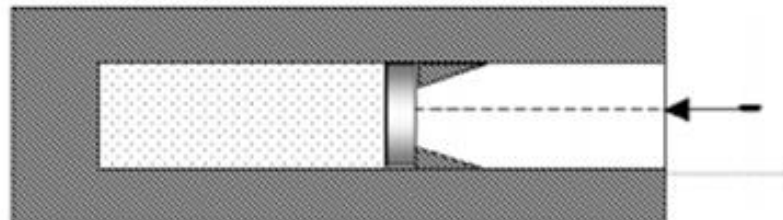
$\eta = 1 - \frac{|Q_X|}{Q_H} = 1 - \frac{\frac{3}{2} \nu R |T_3 - T_0|}{A} \Rightarrow T_{\min} = T_3 = T_0 - \frac{2A(1-\eta)}{3\nu R}$

Ответ: $T_{\min} = T_0 - \frac{2A(1-\eta)}{3\nu R}$

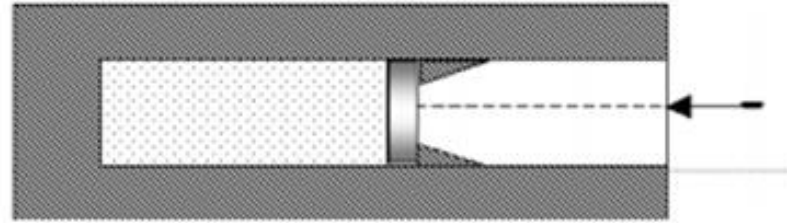


27.6

В вакууме закреплён горизонтальный цилиндр. В цилиндре находится 1 л гелия, запёртого поршнем при давлении 100 кПа и температуре 300 К. Поршень массой 90 г удерживается упорами и может скользить влево вдоль стенок цилиндра без трения. В поршень попадает пуля массой 10 г, летящая горизонтально со скоростью 300 м/с, и застревает в нём. Какова будет температура гелия в момент остановки поршня в крайнем левом положении? Считать, что за время движения поршня газ не успевает обменяться теплотой с цилиндром и поршнем.



6. В вакууме закреплён горизонтальный цилиндр. В цилиндре находится 1 л гелия, запёртого поршнем при давлении 100 кПа и температуре 300 К. Поршень массой 90 г удерживается упорами и может скользить влево вдоль стенок цилиндра без трения. В поршень попадает пуля массой 10 г, летящая горизонтально со скоростью 300 м/с, и застревает в нём. Какова будет температура гелия в момент остановки поршня в крайнем левом положении? Считать, что за время движения поршня газ не успевает обменяться теплотой с цилиндром и поршнем.



Необходимые формулы и законы

$$Q = \Delta U + A = 0$$

– первый закон термодинамики

$$\Delta U = \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_1)$$

– изменение внутренней энергии идеального одноатомного газа

$$pV = \nu RT$$

– уравнение состояния идеального газа (уравнение М.-К.)

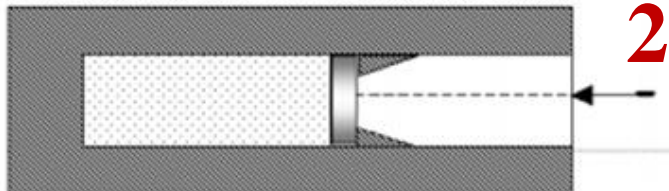
$$A = \Delta E_k$$

– теорема об изменении кинетической энергии

$$m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = const$$

– закон сохранения импульса для двух тел (пуля и поршень)

В вакууме закреплён горизонтальный цилиндр. В цилиндре находится 1 л гелия, запёртого поршнем при давлении 100 кПа и температуре 300 К. Поршень массой 90 г удерживается упорами и может скользить влево вдоль стенок цилиндра без трения. В поршень попадает пуля массой 10 г, летящая горизонтально со скоростью 300 м/с, и застревает в нём. Какова будет температура гелия в момент остановки поршня в крайнем левом положении? Считать, что за время движения поршня газ не успевает обменяться теплотой с цилиндром и поршнем.



27.6

$$Q = \Delta U + A$$

$$\Delta U = \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_1)$$

$$pV = \nu RT$$

$$A = \Delta E_k$$

$$m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = \text{const}$$

Дано:

$$V_1 = 10^{-3} \text{ м}^3$$

$$p_1 = 10^5 \text{ Па}$$

$$T_1 = 300 \text{ К}$$

$$m_1 = 0,09 \text{ кг}$$

$$m_2 = 0,01 \text{ кг}$$

$$v = 300 \text{ м/с}$$

$$T_2 = ?$$

Решение: Процесс адиабатный $\Rightarrow Q = 0 = \Delta U + A$

$$\Delta U = -A = \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_1) \Rightarrow T_2 = T_1 - \frac{2A}{3\nu R}, \text{ где } \nu R = \frac{p_1 V_1}{T_1}.$$

$$A = \Delta E_k = E_k - E_{k0} = -\frac{(m_1 + m_2)u^2}{2}. \quad \text{u - скорость тел сразу после столкновения}$$

При столкновении пули и поршня выполняется закон сохранения импульса:

$$m_2 v = (m_1 + m_2)u \Rightarrow u = \frac{m_2 v}{m_1 + m_2} = \frac{0,01 \text{ кг} \cdot 300 \text{ м/с}}{(0,09 + 0,01) \text{ кг}} = 30 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$A = -\frac{(0,09 + 0,01) \text{ кг} \cdot (30 \text{ м/с})^2}{2} = -45 \text{ Дж}$$

$$T_2 = T_1 - \frac{2AT_1}{3p_1V_1}$$

$$T_2 = 300 \text{ К} + \frac{2 \cdot 45 \text{ Дж} \cdot 300 \text{ К}}{3 \cdot 10^5 \text{ Па} \cdot 10^{-3} \text{ м}^3} = 390 \text{ К}.$$

Ответ: $T_2 = 390 \text{ К}$

27.7

Один моль аргона, находящийся в цилиндре при температуре $T_1 = 600\text{ К}$ и давлении $p_1 = 4 \cdot 10^5\text{ Па}$, расширяется и одновременно охлаждается так, что его температура при расширении обратно пропорциональна объёму. Конечное давление газа $p_2 = 10^5\text{ Па}$. Какое количество теплоты газ отдал при расширении, если при этом он совершил работу $A = 2493\text{ Дж}$?

27.7

Один моль аргона, находящийся в цилиндре при температуре $T_1 = 600\text{ К}$ и давлении $p_1 = 4 \cdot 10^5\text{ Па}$, расширяется и одновременно охлаждается так, что его температура при расширении обратно пропорциональна объёму. Конечное давление газа $p_2 = 10^5\text{ Па}$. Какое количество теплоты газ отдал при расширении, если при этом он совершил работу $A = 2493\text{ Дж}$?

Дано:

$$\nu = 1 \text{ моль}$$

$$T_1 = 600\text{ К}$$

$$p_1 = 4 \cdot 10^5\text{ Па}$$

$$p_2 = 10^5\text{ Па}$$

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{V_2}{V_1}$$

$$A = 2493\text{ Дж}$$

$$Q = ?$$

Решение:

$$Q = \Delta U + A \quad \text{где} \quad \Delta U = \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_1)$$

$$pV = \nu RT$$

$$V_1 = \frac{\nu RT_1}{p_1} \quad (1)$$

$$V_2 = \frac{\nu RT_2}{p_2} \quad (2)$$

$$\frac{(2)}{(1)} \cdot \frac{V_2}{V_1} = \frac{T_2}{T_1} \cdot \frac{p_1}{p_2}$$

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{T_1}{T_2}$$

$$\Rightarrow \frac{T_1}{T_2} = \frac{T_2}{p_2} \cdot \frac{p_1}{T_1} \Rightarrow T_2^2 \frac{p_1}{p_2} = T_1^2 \Rightarrow T_2 = T_1 \sqrt{\frac{p_2}{p_1}}$$

$$T_2 = 600\text{ К} \sqrt{\frac{10^5\text{ Па}}{4 \cdot 10^5\text{ Па}}} = 300\text{ К}$$

$$Q = \frac{3}{2} \cdot 1 \text{ моль} \cdot 8,31 \frac{\text{ Дж}}{\text{ моль} \cdot \text{ К}} (300\text{ К} - 600\text{ К}) + 2493\text{ Дж} = -1246,5\text{ Дж}.$$

Ответ: газ отдал 1246,5 Дж

27.8

В стакан с водой, нагретой до температуры t_1 , положили металлический шарик, имеющий температуру $t_2 = 10$ °С. После установления теплового равновесия температура воды стала $t_3 = 40$ °С. После того, как в стакан положили ещё один такой же шарик температурой t_2 (первый шарик остался в стакане), температура воды после установления теплового равновесия оказалась равной $t_4 = 34$ °С.

Определите начальную температуру t_1 . Теплообменом с окружающей средой пренебречь.

27.8

В стакан с водой, нагретой до температуры t_1 , положили металлический шарик, имеющий температуру $t_2 = 10^\circ\text{C}$. После установления теплового равновесия температура воды стала $t_3 = 40^\circ\text{C}$. После того, как в стакан положили ещё один такой же шарик температурой t_2 (первый шарик остался в стакане), температура воды после установления теплового равновесия оказалась равной $t_4 = 34^\circ\text{C}$.

Определите начальную температуру t_1 . Теплообменом с окружающей средой пренебречь.

Дано:

$$t_2 = 10^\circ\text{C}$$

$$t_3 = 40^\circ\text{C}$$

$$t_4 = 34^\circ\text{C}$$

$$m_1 = m_2$$

$$c_{w1} = c_{w2}$$

$$c_e = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot^\circ\text{C}}$$

$$t_1 = ?$$

Решение:

Уравнение теплового баланса для системы «вода+шарик 1»:

$$Q_1 + Q_2 = 0, \quad c_e m_e (t_3 - t_1) + c_w m_w (t_3 - t_2) = 0$$

Уравнение теплового баланса для системы «вода+шарик 1+шарик 2»:

$$c_e m_e (t_4 - t_3) + c_w m_w (t_4 - t_3) + c_w m_w (t_4 - t_2) = 0$$

$C = mc$ – теплоёмкость тела

$$\left\{ \begin{array}{l} C_e t_3 - C_e t_1 + C_w t_3 - C_w t_2 = 0 \quad (1) \\ C_e t_4 - C_e t_3 + C_w t_4 - C_w t_3 + C_w t_4 - C_w t_2 = 0 \quad (2) \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} C_e t_3 - C_e t_1 + C_w t_3 - C_w t_2 = 0 \quad (1) \\ C_e t_4 - C_e t_3 + C_w t_4 - C_w t_3 + C_w t_4 - C_w t_2 = 0 \quad (2) \end{array} \right.$$

$$(1): \frac{C_w}{C_e} = \frac{t_1 - t_2}{t_3 - t_2}; \quad (1) + (2): t_1 = 2 \frac{C_w}{C_e} (t_4 - t_2) + t_4$$

Дано:

$$t_2 = 10^{\circ}\text{C}$$

$$t_3 = 40^{\circ}\text{C}$$

$$t_4 = 34^{\circ}\text{C}$$

$$m_1 = m_2$$

$$c_{\text{ш}1} = c_{\text{ш}2}$$

$$c_{\text{с}} = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C}}$$

$$t_1 = ?$$

Решение:

Уравнение теплового баланса для системы «вода+шарик 1»:

$$Q_1 + Q_2 = 0, \quad c_{\text{с}} m_{\text{с}} (t_3 - t_1) + c_{\text{ш}} m_{\text{ш}} (t_3 - t_2) = 0$$

Уравнение теплового баланса для системы

«вода+шарик 1+шарик 2»:

$$c_{\text{с}} m_{\text{с}} (t_4 - t_3) + c_{\text{ш}} m_{\text{ш}} (t_4 - t_3) + c_{\text{ш}} m_{\text{ш}} (t_4 - t_2) = 0$$

$C = mc$ - теплоёмкость тела

$$\left[C_{\text{с}} t_3 - C_{\text{с}} t_1 + C_{\text{ш}} t_3 - C_{\text{ш}} t_2 = 0 \quad (1) \right.$$

$$\left. C_{\text{с}} t_4 - C_{\text{с}} t_3 + C_{\text{ш}} t_4 - C_{\text{ш}} t_3 + C_{\text{ш}} t_4 - C_{\text{ш}} t_2 = 0 \quad (2) \right.$$

$$(1): \quad \frac{C_{\text{ш}}}{C_{\text{с}}} = \frac{t_1 - t_2}{t_3 - t_2}; \quad (1) + (2): \quad t_1 = 2 \frac{C_{\text{ш}}}{C_{\text{с}}} (t_4 - t_2) + t_4$$

$$t_1 = \frac{t_4 t_2 + t_4 t_3 - 2 t_3 t_2}{2 t_4 - t_2 - t_3}$$

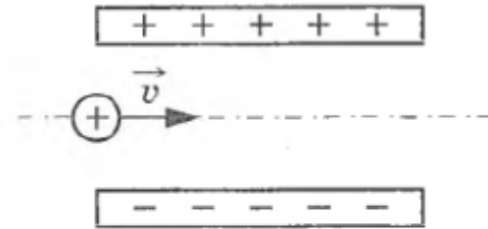
$$t_1 = \frac{34 \cdot 10 + 34 \cdot 40 - 2 \cdot 40 \cdot 10}{2 \cdot 34 - 10 - 40} {}^{\circ}\text{C} = 50^{\circ}\text{C}.$$

Ответ: $t_1 = 50^{\circ}\text{C}$

28.1

Электродинамика

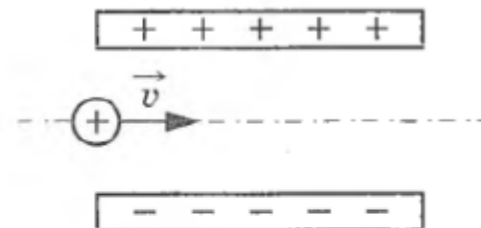
Частица, имеющая заряд $q = 10^{-9}$ Кл и массу $m = 2 \cdot 10^{-6}$ кг, влетает в электрическое поле конденсатора параллельно его пластинам в точке, находящейся посередине между пластинами (см. рисунок). Минимальная скорость, с которой частица должна влететь в конденсатор, чтобы затем вылететь из него, $v = 5$ м/с. Длина пластин конденсатора $l = 5$ см; расстояние между пластинами $d = 1$ см. Определите напряжённость электрического поля внутри конденсатора. Поле внутри конденсатора считать однородным, силой тяжести и размерами частицы пренебречь. Считать, что конденсатор находится в вакууме.



3 балла

28.1

Частица, имеющая заряд $q = 10^{-9}$ Кл и массу $m = 2 \cdot 10^{-6}$ кг, влетает в электрическое поле конденсатора параллельно его пластинам в точке, находящейся посередине между пластинами (см. рисунок). Минимальная скорость, с которой частица должна влететь в конденсатор, чтобы затем вылететь из него, $v = 5$ м/с. Длина пластин конденсатора $l = 5$ см; расстояние между пластинами $d = 1$ см. Определите напряжённость электрического поля внутри конденсатора. Поле внутри конденсатора считать однородным, силой тяжести и размерами частицы пренебречь. Считать, что конденсатор находится в вакууме.



Дано:

$$q = 10^{-9} \text{ Кл}$$

$$m = 2 \cdot 10^{-6} \text{ кг}$$

$$v_0 = 5 \text{ м/с}$$

$$L = 0,05 \text{ м}$$

$$d = 0,01 \text{ м}$$

$$E = ?$$

Решение:

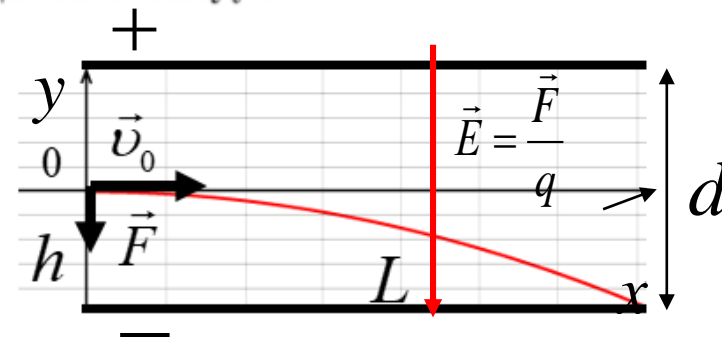
$$a = \frac{F}{m} = \frac{qE}{m}$$

⇓

$$E = \frac{ma}{q} \quad (1)$$

$$y = y_0 + v_{0y}t + \frac{a_y t^2}{2} \Rightarrow h = \frac{at^2}{2} = \frac{d}{2} \quad (2)$$

$$x = x_0 + v_{0x}t \Rightarrow L = v_0 t \Rightarrow t = \frac{L}{v_0} \quad (3)$$



Дано :

$$q = 10^{-5} \text{ Кл}$$

$$m = 2 \cdot 10^{-6} \text{ кг}$$

$$v_0 = 5 \text{ м/с}$$

$$L = 0,05 \text{ м}$$

$$d = 0,01 \text{ м}$$

$$E = ?$$

Решение :

$$a = \frac{F}{m} = \frac{qE}{m}$$

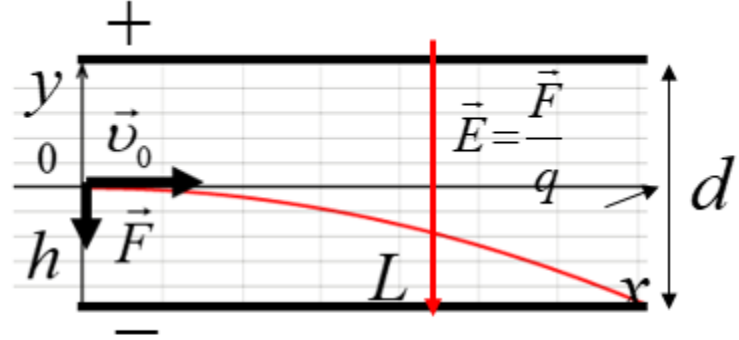
$$E = \frac{ma}{q} \quad (1) \quad y = y_0 + v_{0y}t + \frac{a_y t^2}{2} \Rightarrow h = \frac{at^2}{2} = \frac{d}{2} \quad (2)$$

$$x = x_0 + v_{0x}t \Rightarrow L = v_0 t \Rightarrow t = \frac{L}{v_0} \quad (3)$$

$$(3) \rightarrow (2): a = \frac{d}{t^2} = d \left(\frac{v_0}{L} \right)^2 \Rightarrow E = \frac{md}{q} \left(\frac{v_0}{L} \right)^2$$

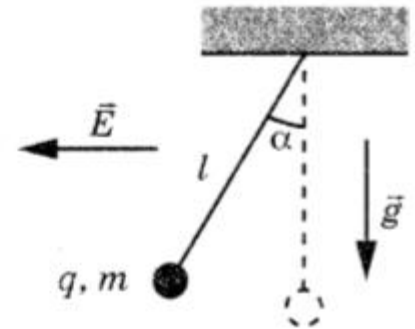
$$E = \frac{2 \cdot 10^{-6} \text{ кг} \cdot 0,01 \text{ м}}{10^{-9} \text{ Кл}} \left(\frac{5 \text{ м/с}}{0,05 \text{ м}} \right)^2 = 2 \cdot 10^5 \frac{\text{В}}{\text{м}}$$

$$\text{Ответ: } E = 200 \frac{\text{кВ}}{\text{м}}$$

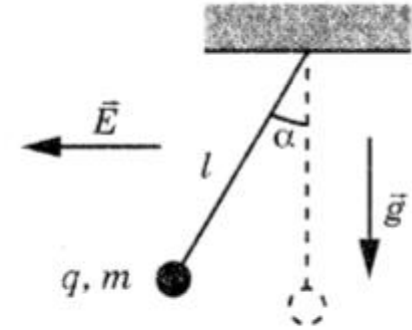


28.2

Маленький шарик массой $m = 0,5$ г с положительным зарядом q , подвешенный к потолку на лёгкой шёлковой нитке длиной $l = 0,8$ м, находится в горизонтальном однородном электростатическом поле \vec{E} с модулем напряжённости поля $E = 6 \cdot 10^5$ В/м (см. рисунок). Шарик отпускают с нулевой начальной скоростью из положения, в котором нить вертикальна. В момент, когда нить образует с вертикалью угол $\alpha = 30^\circ$, модуль скорости шарика $v = 0,9$ м/с. Чему равен заряд шарика q ? Сопротивлением воздуха пренебречь.



28.2 Маленький шарик массой $m = 0,5$ г с положительным зарядом q , подвешенный к потолку на лёгкой шёлковой нитке длиной $l = 0,8$ м, находится в горизонтальном однородном электростатическом поле \vec{E} с модулем напряжённости поля $E = 6 \cdot 10^5$ В/м (см. рисунок). Шарик отпускают с нулевой начальной скоростью из положения, в котором нить вертикальна. В момент, когда нить образует с вертикалью угол $\alpha = 30^\circ$, модуль скорости шарика $v = 0,9$ м/с. Чему равен заряд шарика q ? Сопротивлением воздуха пренебречь.



Дано:

$$m = 5 \cdot 10^{-4} \text{ кг}$$

$$l = 0,8 \text{ м}$$

$$E = 6 \cdot 10^5 \text{ В/м}$$

$$\alpha = 30^\circ$$

$$v = 0,9 \text{ м/с}$$

$$q - ?$$

Решение: $A = A_1 + A_2 + A_3 = \Delta E_k$

Работа консервативных (потенциальных) сил не зависит от вида траектории $\Rightarrow 1 \rightarrow 2 \rightarrow 3$:

Работа силы тяжести mg :

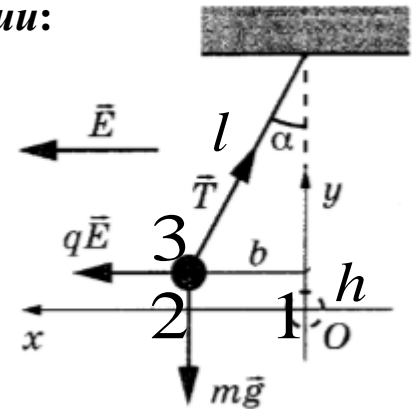
$$A_1 = F_T s_1 \cos \alpha_1 = -mgh$$

$$A_2 = F_{эл} s_2 \cos \alpha_2 = qEb \quad (\text{работа кулоновской силы } qE)$$

$$A_3 = T s_3 \cos \alpha_3 = T s_3 \cos 90^\circ = 0 \quad (\text{работа непотенциальной силы натяжения } T) \quad \vec{T} \perp \vec{s}$$

$$b = l \sin \alpha \quad \cos \alpha = \frac{l-h}{l} \quad \Rightarrow \quad h = l(1 - \cos \alpha)$$

$$qEl \sin \alpha - mgl(1 - \cos \alpha) = \frac{mv^2}{2}$$



Теорема об изменении кинетической энергии:

Дано:

$$m = 5 \cdot 10^{-4} \text{ кг}$$

$$l = 0,8 \text{ м}$$

$$E = 6 \cdot 10^5 \text{ В/м}$$

$$\alpha = 30^\circ$$

$$v = 0,9 \text{ м/с}$$

$$q = ?$$

Решение: $A = A_1 + A_2 + A_3 = \Delta E_k$

Работа консервативных (потенциальных) сил не зависит от вида траектории $\Rightarrow 1 \rightarrow 2 \rightarrow 3$:

Работа силы тяжести mg :

$$A_1 = F_T s_1 \cos \alpha_1 = -mgh$$

$$A_2 = F_{эл} s_2 \cos \alpha_2 = qEb \quad (\text{работа кулоновской силы } qE)$$

$$A_3 = Ts_3 \cos \alpha_3 = Ts_3 \cos 90^\circ = 0 \quad (\text{работа непотенциальной силы натяжения } T) \quad \vec{T} \perp \vec{s}$$

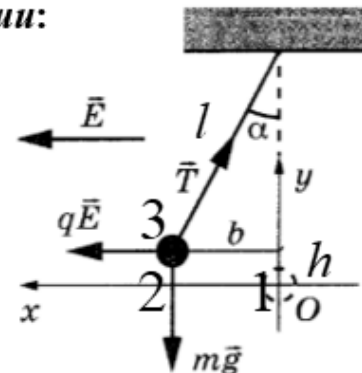
$$b = l \sin \alpha \quad \cos \alpha = \frac{l-h}{l} \quad \Rightarrow \quad h = l(1 - \cos \alpha)$$

$$qEl \sin \alpha - mgl(1 - \cos \alpha) = \frac{mv^2}{2}$$

$$q = \frac{m(v^2 + 2gl(1 - \cos \alpha))}{2El \sin \alpha}$$

$$q = \frac{5 \cdot 10^{-4} (0,81 + 2 \cdot 10 \cdot 0,8(1 - 0,866))}{2 \cdot 6 \cdot 10^5 \cdot 0,8 \cdot 0,5} \approx 3,1 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$$

Ответ: $q = 3,1 \text{ нКл}$



28.3

Электрическая цепь состоит из источника тока и реостата. ЭДС источника $\mathcal{E} = 6$ В. Максимальная мощность тока P_{\max} , выделяемая на реостате, достигается при промежуточном значении его сопротивления и равна 4,5 Вт. Чему равно внутреннее сопротивление источника?

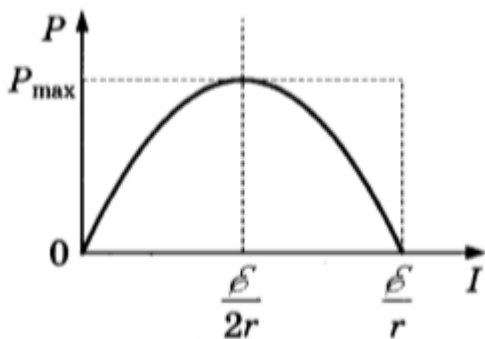
28.3 Электрическая цепь состоит из источника тока и реостата. ЭДС источника $\mathcal{E} = 6$ В. Максимальная мощность тока P_{\max} , выделяемая на реостате, достигается при промежуточном значении его сопротивления и равна 4,5 Вт. Чему равно внутреннее сопротивление источника?

Дано:

$$\mathcal{E} = 6\text{В}$$

$$P_{\max} = 4,5\text{Вт}$$

$r = ?$



Решение: $P = UI$ Мощность электрического тока

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + r} \Rightarrow U = IR = \mathcal{E} - Ir \Rightarrow P(I) = I(\mathcal{E} - Ir)$$

График функции $P(I)$ – парабола ветвями вниз.

Мощность P равна нулю, если

$$I_1 = 0, \quad \mathcal{E} - I_2 r = 0 \Rightarrow I_2 = \frac{\mathcal{E}}{r}$$

Следовательно, максимальная мощность тока будет в случае, когда сила тока в цепи будет равна:

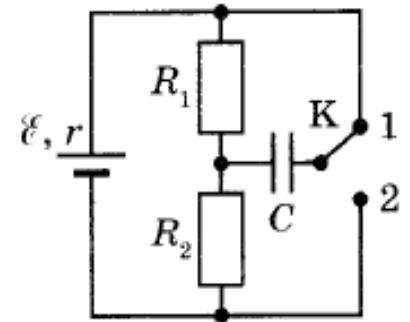
$$I = \frac{\mathcal{E}}{2r} \Rightarrow P_{\max} = \frac{\mathcal{E}}{2r} \left(\mathcal{E} - \frac{\mathcal{E}}{2r} r \right) = \frac{\mathcal{E}^2}{4r}$$

$$r = \frac{\mathcal{E}^2}{4P_{\max}} \Rightarrow r = \frac{(6\text{В})^2}{4 \cdot 4,5\text{Вт}} = 2\text{Ом.}$$

Ответ: $r = 2\text{Ом}$

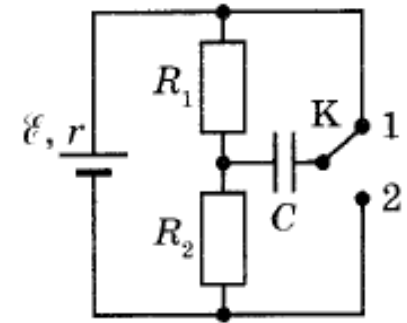
28.4

В электрической цепи, показанной на рисунке, $r = 1$ Ом, $R_1 = 4$ Ом, $R_2 = 7$ Ом, $C = 0,2$ мкФ, ключ K длительное время находится в положении 1. За длительное время после перевода ключа K в положение 2 изменение заряда на правой обкладке конденсатора $\Delta q = -0,55$ мкКл. Найдите ЭДС источника \mathcal{E} .



28.4

В электрической цепи, показанной на рисунке, $r = 1$ Ом, $R_1 = 4$ Ом, $R_2 = 7$ Ом, $C = 0,2$ мкФ, ключ K длительное время находится в положении 1. За длительное время после перевода ключа K в положение 2 изменение заряда на правой обкладке конденсатора $\Delta q = -0,55$ мкКл. Найдите ЭДС источника \mathcal{E} .



Дано:

$$r = 1 \text{ Ом}$$

$$R_1 = 4 \text{ Ом}$$

$$R_2 = 7 \text{ Ом}$$

$$C = 2 \cdot 10^{-7} \text{ Ф}$$

$$\Delta q = -5,5 \cdot 10^{-7} \text{ Кл}$$

$$\mathcal{E} = ?$$

Решение: $q = CU$ – заряд конденсатора

$$U_C = U_R = IR \quad (\text{если конденсатор подключен параллельно резистору})$$

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R_1 + R_2 + r} \quad (\text{в обоих случаях в цепи одинаковый ток})$$

$$\text{Ключ 1: } q_1 = CU_1 = CIR_1 = \frac{C\mathcal{E}R_1}{R_1 + R_2 + r}$$

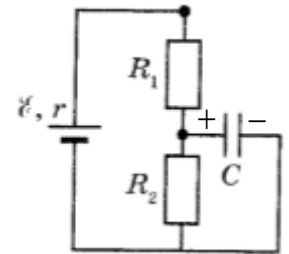
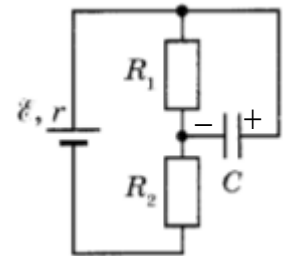
Правая обкладка конденсатора соединена с положительным полюсом источника и заряжена положительно. Поэтому её заряд равен q_1 .

$$\text{Ключ 2: } q_2 = CU_2 = CIR_2 = \frac{C\mathcal{E}R_2}{R_1 + R_2 + r}$$

Правая обкладка конденсатора соединена с отрицательным полюсом источника и заряжена отрицательно. Поэтому её заряд равен $-q_2$.

Изменение заряда на правой обкладке конденсатора:

$$\Delta q = -q_2 - q_1 = -\frac{C\mathcal{E}(R_1 + R_2)}{R_1 + R_2 + r}$$



Дано:

$$r = 1 \text{ Ом}$$

$$R_1 = 4 \text{ Ом}$$

$$R_2 = 7 \text{ Ом}$$

$$C = 2 \cdot 10^{-7} \text{ Ф}$$

$$\Delta q = -5,5 \cdot 10^{-7} \text{ Кл}$$

$$\varepsilon - ?$$

Решение: $q = CU$ – заряд конденсатора

$U_C = U_R = IR$ (если конденсатор подключен параллельно резистору)

$$I = \frac{\varepsilon}{R_1 + R_2 + r} \quad (\text{в обоих случаях в цепи одинаковый ток})$$

$$\text{Ключ1: } q_1 = CU_1 = CIR_1 = \frac{C \varepsilon R_1}{R_1 + R_2 + r}$$

Правая обкладка конденсатора соединена с положительным полюсом источника и заряжена положительно. Поэтому её заряд равен q_1 .

$$\text{Ключ2: } q_2 = CU_2 = CIR_2 = \frac{C \varepsilon R_2}{R_1 + R_2 + r}$$

Правая обкладка конденсатора соединена с отрицательным полюсом источника и заряжена отрицательно. Поэтому её заряд равен $-q_2$.

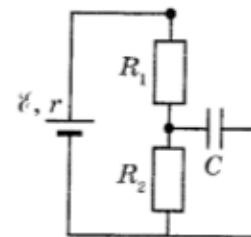
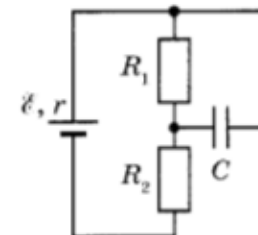
Изменение заряда на правой обкладке конденсатора:

$$\Delta q = -q_2 - q_1 = -\frac{C \varepsilon (R_1 + R_2)}{R_1 + R_2 + r}$$

$$\varepsilon = -\Delta q \frac{(R_1 + R_2 + r)}{C(R_1 + R_2)}$$

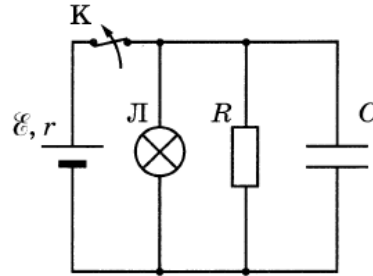
$$\varepsilon = 5,5 \cdot 10^{-7} \text{ Кл} \frac{(4 + 7 + 1) \text{ Ом}}{2 \cdot 10^{-7} \text{ Ф} (4 + 7) \text{ Ом}} = 3 \text{ В.}$$

Ответ: $\varepsilon = 3 \text{ В}$

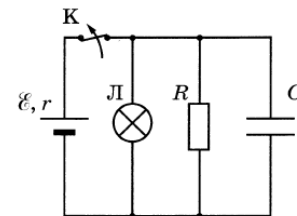


28.5

К аккумулятору с ЭДС $\mathcal{E} = 50$ В и внутренним сопротивлением $r = 4$ Ом подключили лампу сопротивлением $R_{\text{л}} = 10$ Ом и резистор сопротивлением $R = 15$ Ом, а также конденсатор ёмкостью $C = 100$ мкФ (см. рисунок). Спустя длительный промежуток времени ключ K размыкают. Какое количество теплоты выделится после этого на резисторе?



К аккумулятору с ЭДС $\mathcal{E} = 50$ В и внутренним сопротивлением $r = 4$ Ом подключили лампу сопротивлением $R_{\text{л}} = 10$ Ом и резистор сопротивлением $R = 15$ Ом, а также конденсатор ёмкостью $C = 100$ мкФ (см. рисунок). Спустя длительный промежуток времени ключ К размыкают. Какое количество теплоты выделится после этого на резисторе?



Дано:

$$\mathcal{E} = 50 \text{ В}$$

$$r = 4 \text{ Ом}$$

$$R_1 = 10 \text{ Ом}$$

$$R_2 = 15 \text{ Ом}$$

$$C = 10^{-4} \text{ Ф}$$

$$Q_2 = ?$$

Решение: До размыкания энергия конденсатора:

$$W = \frac{CU_c^2}{2}$$

Если конденсатор в цепи подключен параллельно

резистору и лампе, то он заряжается до напряжения U : $U_c = U_1 = U_2 = U = IR$

$$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \quad R = \frac{10 \cdot 15}{10 + 15} \text{ Ом} = 6 \text{ Ом}$$

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + r} \quad I = \frac{50 \text{ В}}{(6 + 4) \text{ Ом}} = 5 \text{ А}$$

$$\Rightarrow U_c = 5 \text{ А} \cdot 6 \text{ Ом} = 30 \text{ В}$$

$$W = \frac{10^{-4} \text{ Ф} \cdot (30 \text{ В})^2}{2} = 0,045 \text{ Дж}$$

После размыкания:

$$W = Q_1 + Q_2 \quad (1)$$

$$Q_1 = \frac{U^2}{R_1} t$$

$$Q_2 = \frac{U^2}{R_2} t$$

$$\Rightarrow Q_1 R_1 = Q_2 R_2 \Rightarrow Q_1 = \frac{Q_2 R_2}{R_1} \quad (2)$$

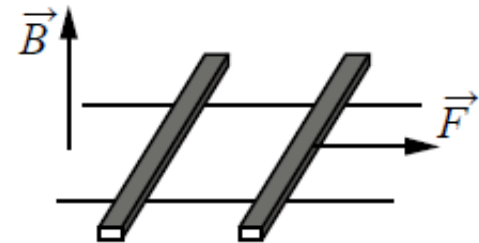
$$(2) \rightarrow (1): W = \frac{Q_2 R_2}{R_1} + Q_2 = Q_2 \left(\frac{R_2}{R_1} + 1 \right) \Rightarrow Q_2 = \frac{WR_1}{R_1 + R_2}$$

$$Q_2 = \frac{0,045 \text{ Дж} \cdot 10 \text{ Ом}}{(10 + 15) \text{ Ом}} = 0,018 \text{ Дж}$$

Ответ: $Q_2 = 18 \text{ мДж}$

28.6

По горизонтально расположенным шероховатым рельсам с пренебрежимо малым сопротивлением могут скользить два одинаковых стержня массой $m = 100$ г и сопротивлением $R = 0,1$ Ом каждый. Расстояние между рельсами $l = 10$ см, а коэффициент трения между стержнями и рельсами $\mu = 0,1$. Рельсы со стержнями находятся в однородном вертикальном магнитном поле с индукцией $B = 1$ Тл (см. рисунок). Под действием горизонтальной силы, действующей на первый стержень вдоль рельс, оба стержня движутся поступательно равномерно с разными скоростями. Какова скорость движения первого стержня относительно второго? Самоиндукцией контура пренебречь.



$$I_i = \frac{\mathcal{E}_i}{R_{\text{общ}}} \quad \text{Закон Ома для контура}$$

$$\mathcal{E}_i = \nu B l \sin \alpha \quad \text{ЭДС индукции в прямом проводнике движущемся в однородном магнитном поле}$$

$$F_A = I_i B l \sin \beta \quad \text{Сила Ампера}$$

28.6

По горизонтально расположенным шероховатым рельсам с пренебрежимо малым сопротивлением могут скользить два одинаковых стержня массой $m = 100$ г и сопротивлением $R = 0,1$ Ом каждый. Расстояние между рельсами $l = 10$ см, а коэффициент трения между стержнями и рельсами $\mu = 0,1$. Рельсы со стержнями находятся в однородном вертикальном магнитном поле с индукцией $B = 1$ Тл (см. рисунок). Под действием горизонтальной силы, действующей на первый стержень вдоль рельс, оба стержня движутся поступательно равномерно с разными скоростями. Какова скорость движения первого стержня относительно второго? Самоиндукцией контура пренебречь.

Дано :
 $m = 0,1 \text{ кг}$
 $R = 0,1 \text{ Ом}$
 $l = 0,1 \text{ м}$
 $\mu = 0,1$
 $B = 1 \text{ Тл}$

$v_{\text{отн.}} - ?$

Решение: $v_{\text{отн.}} = v_1 - v_2$

$$\varepsilon_i = v_{\text{отн.}} Bl \sin \alpha = v_{\text{отн.}} Bl$$

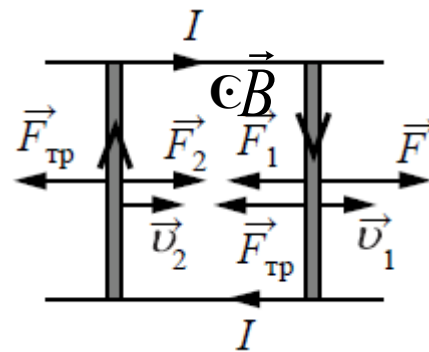
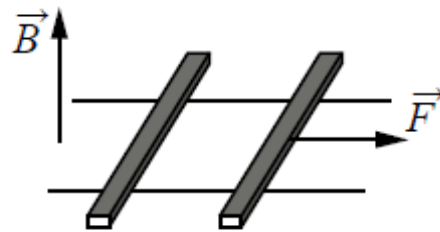
$$v_{\text{отн.}} = \frac{\varepsilon_i}{Bl} \quad (1)$$

Направление индукционного тока – по правилу Ленца.

Направление силы Ампера F_1 и F_2 – по правилу левой руки.

Для левого проводника:

$$\vec{F}_2 + \vec{F}_{\text{тр}} + m\vec{g} + \vec{N} = 0 \quad (\vec{v}_2 = \text{const}) \Rightarrow F_2 = F_{\text{тр}} \quad (2)$$



Дано:
 $m = 0,1 \text{ кг}$
 $R = 0,1 \text{ Ом}$
 $l = 0,1 \text{ м}$
 $\mu = 0,1$
 $B = 1 \text{ Тл}$

$v_{\text{отн.}} - ?$

Решение: $v_{\text{отн.}} = v_1 - v_2$

$$\varepsilon_i = v_{\text{отн.}} Bl \sin \alpha = v_{\text{отн.}} Bl$$

$$v_{\text{отн.}} = \frac{\varepsilon_i}{Bl} \quad (1)$$

Направление индукционного тока – по правилу Ленца.

Направление силы Ампера F_1 и F_2 – по правилу левой руки.

Для левого проводника:

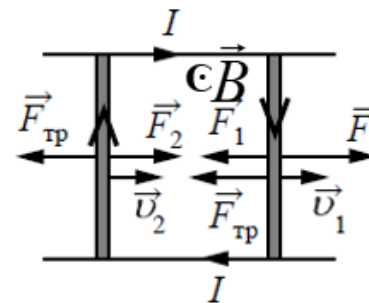
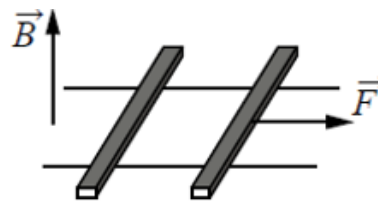
$$\vec{F}_2 + \vec{F}_{\text{тр}} + m\vec{g} + \vec{N} = 0 \quad (\vec{v}_2 = \text{const}) \Rightarrow F_2 = F_{\text{тр}} \quad (2)$$

$$\left. \begin{array}{l} F_2 = F_A = I_i Bl \sin \beta = I_i Bl \\ F_{\text{тр}} = \mu N = \mu mg \end{array} \right\} \rightarrow (2) \Rightarrow \mu mg = I_i Bl \Rightarrow I_i = \frac{\mu mg}{Bl} \quad (3)$$

Закон Ома для контура: $I_i = \frac{\varepsilon_i}{2R} \rightarrow (3) \Rightarrow \frac{\mu mg}{Bl} = \frac{\varepsilon_i}{2R} \Rightarrow \varepsilon_i = \frac{2R\mu mg}{Bl} \rightarrow (1)$

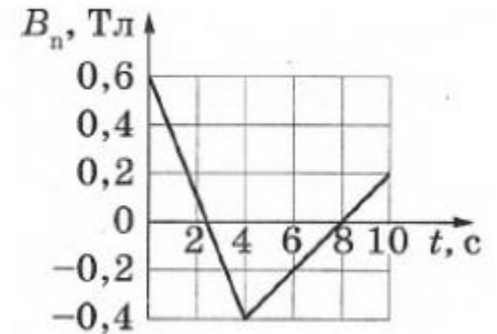
$$v_{\text{отн.}} = \frac{2R\mu mg}{B^2 l^2} \quad v_{\text{отн.}} = \frac{2 \cdot 0,1 \cdot 0,1 \cdot 0,1 \cdot 10}{1^2 \cdot 0,1^2} \frac{\text{м}}{\text{с}} = 2 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Ответ: $v_{\text{отн.}} = 2 \text{ м/с}$



28.7

Квадратная проволочная рамка со стороной $l = 10$ см находится в однородном магнитном поле с индукцией \vec{B} . На рисунке изображена зависимость проекции вектора \vec{B} на перпендикуляр к плоскости рамки от времени. Какое количество теплоты выделится в рамке за время $t = 10$ с, если сопротивление рамки $R = 0,2$ Ом?



$$Q = \frac{U^2}{R} \Delta t \quad \text{Закон Джоуля-Ленца}$$

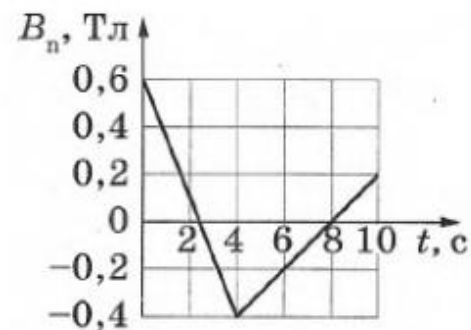
$$\varepsilon_i = \frac{|\Delta\Phi|}{\Delta t} \quad \text{Закон электромагнитной индукции Фарадея}$$

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

$$S = l^2 \quad \text{Площадь поверхности, ограниченной контуром}$$

28.7

Квадратная проволочная рамка со стороной $l = 10$ см находится в однородном магнитном поле с индукцией \vec{B} . На рисунке изображена зависимость проекции вектора \vec{B} на перпендикуляр к плоскости рамки от времени. Какое количество теплоты выделится в рамке за время $t = 10$ с, если сопротивление рамки $R = 0,2$ Ом?



Дано:

$$l = 0,1 \text{ м}$$

$$\Delta t_1 = 4 \text{ с}$$

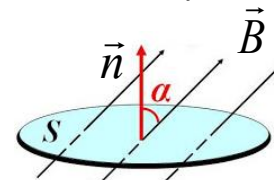
$$\Delta t_2 = 6 \text{ с}$$

$$R = 0,2 \text{ Ом}$$

$Q = ?$

Решение: $Q = Q_1 + Q_2 = \frac{U_1^2}{R} \Delta t_1 + \frac{U_2^2}{R} \Delta t_2, \quad U = \varepsilon_i = \frac{|\Delta \Phi|}{\Delta t}$

$$\Phi = BS \cos \alpha = SB_n \Rightarrow U = S \frac{|\Delta B_n|}{\Delta t} = l^2 \frac{|\Delta B_n|}{\Delta t}$$



$$Q = \frac{l^4 \cdot |\Delta B_{n1}|^2}{R \cdot \Delta t_1^2} \Delta t_1 + \frac{l^4 \cdot |\Delta B_{n2}|^2}{R \cdot \Delta t_2^2} \Delta t_2$$

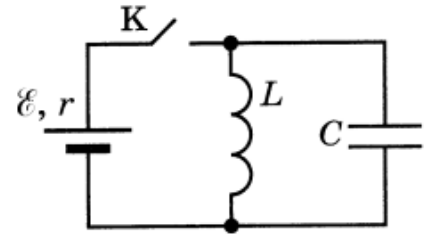
$$Q = \frac{l^4 \cdot |\Delta B_{n1}|^2}{R \cdot \Delta t_1} + \frac{l^4 \cdot |\Delta B_{n2}|^2}{R \cdot \Delta t_2} = \frac{l^4}{R} \left(\frac{|\Delta B_{n1}|^2}{\Delta t_1} + \frac{|\Delta B_{n2}|^2}{\Delta t_2} \right)$$

$$Q = \frac{0,1^4}{0,2} \left(\frac{|-0,4 - 0,6|^2}{4} + \frac{|0,2 - (-0,4)|^2}{6} \right) \text{ Дж} = 1,55 \cdot 10^{-4} \text{ Дж.}$$

Ответ: $Q = 0,155 \text{ мДж}$

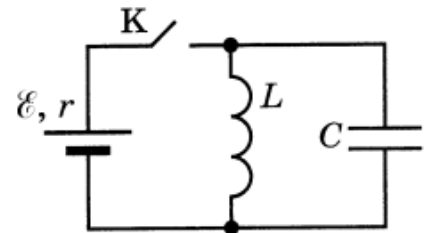
28.8

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



28.8

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 $t = 0$ ключ К размыкают. Каково напряжение U на конденсаторе в момент, когда в ходе возникших в контуре электромагнитных колебаний сила тока в контуре $I = 1 \text{ А}$? Сопротивлением проводов и активным сопротивлением катушки индуктивности пренебречь.



Дано:

$$\mathcal{E} = 3 \text{ В}$$

$$r = 2 \text{ Ом}$$

$$L = 10^{-3} \text{ Гн}$$

$$C = 50 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}$$

$$I_2 = 1 \text{ А}$$

$$U = ?$$

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

Энергия ЭП катушки

$$W_1 = \frac{LI_1^2}{2}$$

Закон Ома для замкнутого контура

$$I_1 = \frac{\mathcal{E}}{R+r} = \frac{\mathcal{E}}{r}$$

$$\Rightarrow W_1 = \frac{L\mathcal{E}^2}{2r^2}$$

2) После размыкания ключа возникают свободные электромагнитные колебания в LC-контуре. Если контур идеальный ($R = 0$), то $W = \text{const}$:

$$W_1 = W_2 \Rightarrow \frac{L\mathcal{E}^2}{2r^2} = \frac{LI_2^2}{2} + \frac{CU^2}{2} \Rightarrow$$

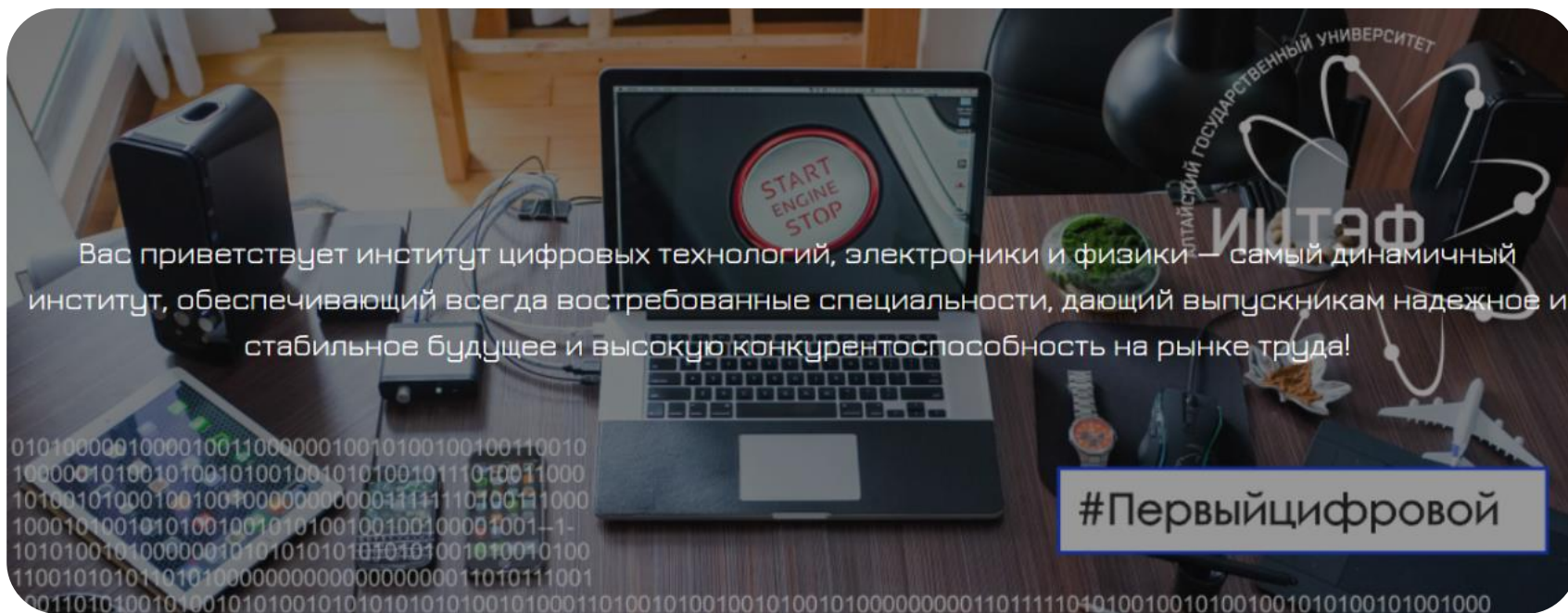
$$U = \sqrt{\frac{L}{C} \left(\frac{\mathcal{E}^2}{r^2} - I_2^2 \right)}$$

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

Ответ: $U = 5 \text{ В}$

Видеозаписи вебинаров и презентации на сайте ИЦТЭФ:

<https://phys.asu.ru/>



Вас приветствует институт цифровых технологий, электроники и физики — самый динамичный институт, обеспечивающий всегда востребованные специальности, дающий выпускникам надежное и стабильное будущее и высокую конкурентоспособность на рынке труда!

Следующий вебинар:

Задания 29-30 части 2 КИМ ЕГЭ 2023

03.05.2023 в 15.00

Вход по ссылке: <https://events.webinar.ru/5496977/387955546>