Часть 1

Олимпиада: **Физика, 11 класс (1 часть)**

Шифр: **21200778**

ID профиля: **802152**

Вариант 4

① лист

Чистовик.

N2 1) $T_0 \longrightarrow \frac{3}{4}T_0$

Рассмотрим малый промежуток времени Δt данного процесса.

За это время газ отдаст кол-во теплоты $-\Delta Q = \nu \cdot C(T) \cdot \Delta T$, где ΔQ – кол-во теплоты, которое получит газ за малое время Δt, $C(T)$ – молярная теплоемкость, ΔT – изменение температуры газа за Δt.

Подставим $C(T) = \frac{9}{5} R \frac{T}{T_0}$

$$-\Delta Q = \nu \cdot \frac{9}{5} R \cdot \frac{T}{T_0} \cdot \Delta T = \underbrace{\frac{9}{5} \frac{\nu R}{T_0}} \cdot T \Delta T \quad (1)$$

Просуммируем соотношение 1 за время, при котором в процессе температура уменьшилась от T_0 до $\frac{3}{4}T_0$.

$$-\sum \Delta Q = \frac{9\nu R}{5T_0} \cdot \sum T \Delta T$$

$$-Q_1 = \frac{9\nu R}{5T_0}\left(\frac{\left(\frac{3}{4}T_0\right)^2}{2} - \frac{T_0^2}{2}\right)$$

$$-Q_1 = \frac{9\nu R}{2 \cdot 5T_0}\left(\frac{9T_0^2}{16} - T_0^2\right)$$

$$Q_1 = \frac{9\nu R}{10T_0}\left(T_0^2 - \frac{9T_0^2}{16}\right) = \frac{9\nu R}{10T_0}\left(\frac{16T_0^2}{16} - \frac{9T_0^2}{16}\right) =$$

Ответ на 1 вопрос:

$$= \frac{9\nu R}{10T_0} \cdot \frac{7T_0^2}{16} = \frac{9\nu R}{10} \cdot \frac{7T_0}{16} = \frac{63\nu RT_0}{160} = \frac{63}{160}\nu RT_0$$

$Q_1 = \frac{63}{160}\nu RT_0$ – такое кол-во теплоты отдаст газ.

(2) лист

(Чистовик.)

2) Запишем первый закон термодинамики для гелия в этом процессе:

$Q = \Delta U + A$, где Q – полученное кол-во теплоты, A – работа газа, ΔU – изменение внутр. энергии.

Запишем это соотношение для малого промежутка времени Δt:

$\Delta Q = \Delta U + \Delta A$, ΔQ ~~[illegible]~~ полученная теплота за Δt, ΔA – работа газа за Δt.

$$\Delta Q = \nu \cdot C(T) \cdot \Delta T = \nu \cdot \frac{9}{5} \cdot R \cdot \frac{T}{T_0} \cdot \Delta T = \frac{9\nu R}{5T_0} \cdot T\Delta T$$

$\Delta U = \frac{3}{2}\nu R\Delta T$ (гелий – одноатомный газ)

$$\frac{9\nu R}{5T_0} \cdot T\Delta T = \frac{3}{2}\nu R\Delta T + \Delta A$$

$$\Delta A = \frac{9\nu R}{5T_0} \cdot T\Delta T - \frac{3}{2}\nu R\Delta T \quad (2)$$

Просуммируем соотношение (2) ~~за время~~, до произвольного момента. ~~за которое гелий совершит минимальную работу A_{min}, а температура уменьшится от T_0 до T_1 (при которой $A = A_{min}$):~~

$$\sum \Delta A = \frac{9\nu R}{5T_0} \sum T\Delta T - \frac{3}{2}\nu R \sum \Delta T$$

$$A = \frac{9\nu R}{5T_0}\left(\frac{T^2}{2} - \frac{T_0^2}{2}\right) - \frac{3}{2}\nu R(T - T_0)$$

$$A = \frac{9\nu R}{10T_0}(T^2 - T_0^2) - \frac{3}{2}\nu R(T - T_0)$$

$$A = \frac{9\nu R}{10T_0} \cdot T^2 - \frac{9\nu R \cdot T_0^2}{10T_0} - \frac{3}{2}\nu RT + \frac{3}{2}\nu RT_0$$

$$A = \frac{9\nu R}{10T_0} \cdot T^2 - \frac{3}{2}\nu RT - \frac{9\nu RT_0}{10} + \frac{3}{2}\nu RT_0$$

③ лист

$$A = \frac{9\nu R}{10T_0} \cdot T^2 - \frac{3}{2}\nu R \cdot T + \frac{3}{5}\nu R T_0$$

Чистовик

Мы получили функцию зависимости работы газа от его температуры.

Ее графиком является парабола, ветви которой направлены вверх.

Тогда минимальное значение ф-ция принимает в вершине.

$$T_{в.} = -\frac{b}{2a} = -\frac{-\frac{3}{2}\nu R}{2\cdot\frac{9\nu R}{10T_0}} = \frac{\frac{3}{2}\nu R\cdot 10T_0}{2\cdot 9\nu R} =$$

$$= \frac{15\cancel{\nu R}T_0}{18\cancel{\nu R}} = \frac{15T_0}{18} = \frac{5T_0}{6} = \frac{5}{6}T_0$$

Ответ на вопрос 2: газ надо охладить до температуры $\frac{5}{6}T_0$.

3) Теперь ~~[illegible]~~ можно найти минимальную работу, подставив полученное значение температуры в функцию.

$$A_{min} = A\left(\frac{5T_0}{6}\right) = \frac{9\nu R}{10T_0}\cdot\frac{25T_0^2}{36} - \frac{3}{2}\cdot\nu\cdot R\cdot\frac{5T_0}{6} + \frac{3}{5}\nu RT_0 =$$

$$= \frac{9}{36}\cdot\frac{25}{10}\cdot\nu RT_0 - \frac{3}{2}\cdot\frac{5}{6}\nu RT_0 + \frac{3}{5}\nu RT_0 =$$

$$= \frac{1}{4}\cdot\frac{5}{2}\nu RT_0 - \frac{5}{4}\nu RT_0 + \frac{3}{5}\nu RT_0 =$$

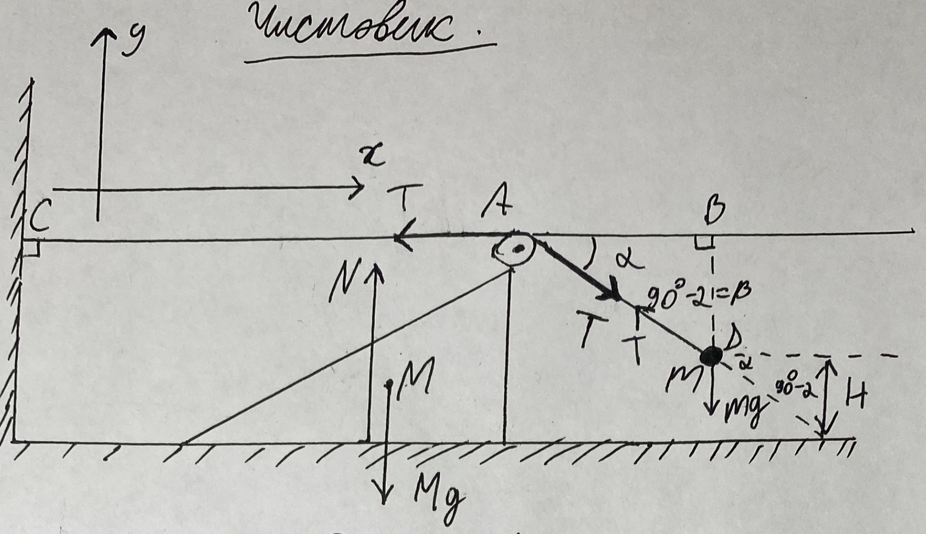
$$= \frac{5}{8}\nu RT_0 - \frac{10}{8}\nu RT_0 + \frac{3}{5}\nu RT_0 = -\frac{5}{8}\nu RT_0 + \frac{3}{5}\nu RT_0 =$$

$$= -\frac{25}{40}\nu RT_0 + \frac{24}{40}\nu RT_0 = -\frac{1}{40}\nu RT_0 = -\frac{\nu RT_0}{40}$$

$$\boxed{\text{Ответ на 3 вопрос: } A_{min} = -\frac{\nu RT_0}{40}}$$

лист ④ Чистовик.

$\boxed{N1}$



1) В процессе движения угол наклона нити к горизонту не изменяется. Из этого можно сделать вывод, что шар движется всё время прямолинейно. Тогда из кинематических соображений можно сделать вывод, что ускорение шара направлено вдоль этой прямой.
Тогда ускорение шара направлено вдоль нити.
Из $\triangle ABD$, $\angle ABD=90^\circ$: $\angle ADB=\beta=90^\circ-\alpha$ — угол, который составляет нить с вертикалью. $\sin\beta=\sin(90^\circ-\alpha)=\cos\alpha=\frac{8}{17}$

$\sin\beta=\frac{8}{17}$

Ответ на 1-й вопрос: ускорение шара составляет ~~угол~~ угол β с вертикалью, $\sin\beta=\frac{8}{17}$

2) Запишем 2ЗН для клина:

$x: -T+T\cos\alpha=Ma_x$, где T — сила натяжения нити, M — масса клина, a_x — проекция его ускорения на x.

$T-T\cos\alpha=-Ma_x$

лист 5

$\boxed{\text{Чистовик}}$

$T - \frac{8}{17}T = -Ma_x$

$\frac{9T}{17} = -Ma_x; \ -Ma_x > 0; \ a_x < 0 \Rightarrow \frac{9T}{17} = Ma$

$y: \ N - Mg - T \cdot \sin\alpha = 0$

$N = Mg + T\sin\alpha$

Запишем закон изменения механической энергии для шара:

$A_T = E_2 - E_1; \ A_T = \frac{mv^2}{2} \cancel{+mgH} - mgH$

$A_T = -T \cdot \underbrace{l}_{\text{перемещение шара}} = -T \cdot H \cdot \frac{1}{\sin\alpha} = -\frac{T \cdot H}{\sin\alpha}$

23Н для шара: $y: \ T \cdot \sin\alpha - mg = ma_y$

$\cancel{T\sin\alpha = mg + ma_y}$

$a_y = \frac{T\sin\alpha}{m} - g$

N2) моль Черновик

$$C(T) = \frac{9}{5} \cdot R \cdot \frac{T}{T_0} \qquad Q = C(T)\cdot\nu\cdot\Delta T$$

$$Q = \Delta U + A$$

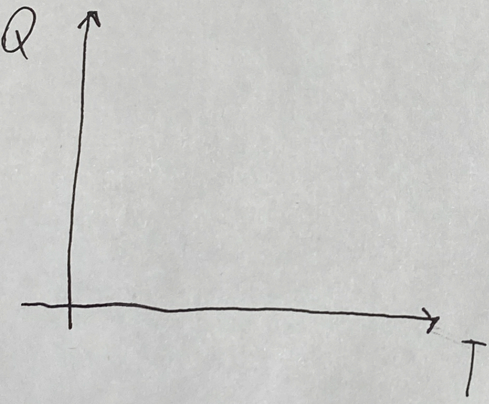
$$C(T)\cdot\nu\,\Delta T = \Delta U + A$$

$$C(T)\nu\Delta T = \frac{3}{2}\nu R\Delta T + A$$

---

1) $Q_1 = C(T)\cdot\nu\,\Delta T$

$$Q_1 = \frac{9}{5}\cdot R\cdot\frac{T}{T_0}\cdot\nu\Delta T = \frac{9}{5}\cdot R\cdot\nu\cdot\frac{T\Delta}{T_0} = \frac{9R\nu}{5T_0}\cdot T\Delta T$$



$$\Delta Q_1 = \frac{9R\nu}{5T_0}\cdot T\Delta T$$

$$\sum \Delta Q = \frac{9R\nu}{5T_0}\sum T\Delta T$$

$$Q_1 = \frac{9R\nu}{5T_0}\left(\frac{T_2^2}{2} - \frac{T_1^2}{2}\right) =$$

$$= \cancel{\frac{9R\nu}{5T_0}}\ \frac{9R\nu}{10T_0}\left(T_2^2 - T_1^2\right) =$$

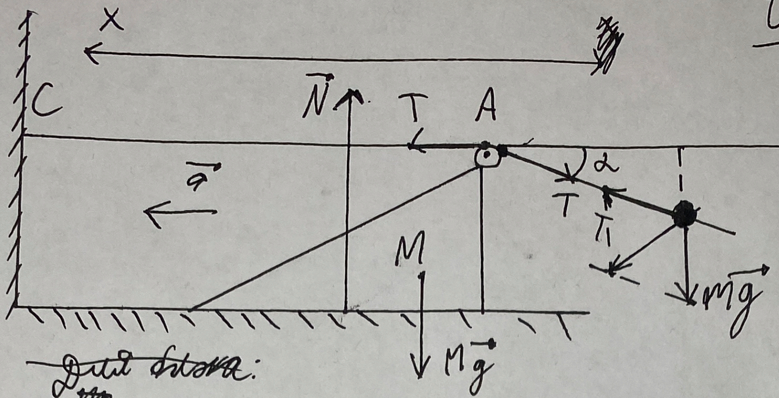
$$= \frac{9R\nu}{10T_0}\left(\left(\frac{3T_0}{4}\right)^2 - T_0^2\right) =$$

$$= \frac{9R\nu}{10T_0}\left(\frac{9T_0^2}{16} - T_0^2\right) =$$

$$= \frac{9R\nu}{10T_0}\left(-\frac{7T_0^2}{16}\right) =$$

$$= -\frac{9\nu R\cdot 7T_0}{10\cdot 16} = -\frac{63\nu RT_0}{160}$$

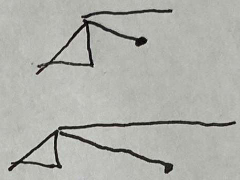
Черновик



~~Для блока~~:

x: $T - T\cos\alpha = 0$

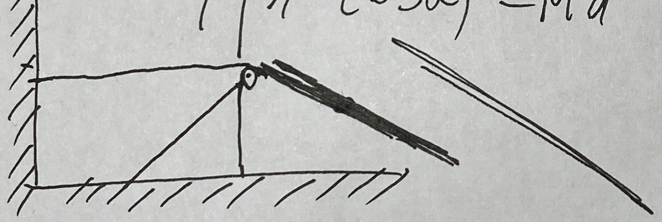
„Блок + клин":



$$\vec{N} + M\vec{g} + \vec{T}_1 + \vec{T}_2 = M\vec{a}$$

x: $T - T\cos\alpha = M\cdot a_x$

$$T(1-\cos\alpha) = Ma$$



Черновик

2) $\Delta Q = \Delta U + A$

$\Delta T \cdot \nu \left(\frac{9}{5} R \cdot \frac{T}{T_0}\right) = \frac{3}{2} \nu R \Delta T + \Delta A \quad (*)$ за Δt — малое время.

T_1

$\frac{9 \nu R}{5 T_0} \sum T \Delta T = \frac{3}{2} \sum \nu R \Delta T + \sum \Delta A$

$\frac{9 \nu R}{5 T_0} \left(\frac{T_1^2}{2} - \frac{T_0^2}{2}\right) = \frac{3}{2} \nu R (T_1 - T_0) + A$

$\frac{9 \nu R}{10 T_0} \left(T_1^2 - T_0^2\right) = \frac{3}{2} \nu R (T_1 - T_0) + A$

$\frac{9 \nu R}{10 T_0} \left(T_1^2 - T_0^2\right) - \frac{3}{2} \nu R (T_1 - T_0) = A$

$\frac{9 \nu R}{10 T_0} \cdot T_1^2 - \underbrace{\frac{9 \nu R}{10} T_0}_{} - \frac{3}{2} \nu R T_1 + \underbrace{\frac{3}{2} \nu R T_0}_{} = A$

$\frac{\frac{3}{2} \nu R}{\left(\frac{9 \nu R}{10 T_0}\right)} = \frac{3}{2} \nu R \cdot \frac{10 T_0}{9 \nu R} = \frac{30 T_0}{18} = \frac{15 T_0}{9}$

$-\frac{9 \nu R T_0}{10} + \frac{3}{2} \nu R T_0 = -0{,}9 \nu R T_0 + 1{,}5 \nu R T_0 = 0{,}6 \nu R T_0 =$

$= \frac{3}{5} \nu R T_0$

Часть 2

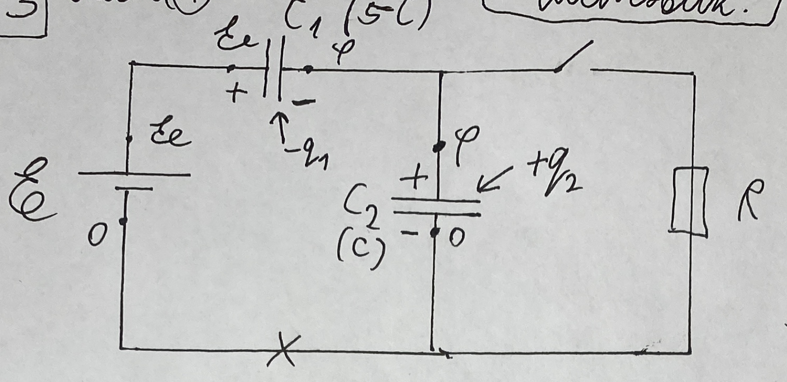
Олимпиада: **Физика, 11 класс (2 часть)**

Шифр: **21200778**

ID профиля: **802152**

Вариант 4

N 3 лист 1 (Чистовик.) Вариант 11-04



метод потенциалов

1) Рассмотрим цепь в установившемся режиме до замыкания ключа.

В уст. режиме $I_{C_1}, I_{C_2} = 0$, тогда тока нет во всей цепи.

Предположим, что полярность конденсаторов такая, как на рисунке.

~~Пусть напряжение~~

Пусть потенциал правой обкладки C_1 равен φ.

Изначально конденсаторы не заряжены, а правая обкладка C_1 и верхняя обкладка C_2 образуют изолированную область.

Тогда по закону сохранения заряда

$-q_1 + q_2 = 0$, где $-q_1$ – заряд правой обкладки C_1, а $+q_2$ – заряд верхней обкладки C_2

$-q_1 = -C_1 \cdot U_1 = -C_1 \cdot (\mathcal{E} - \varphi)$; $q_2 = +C_2 \cdot (\varphi - 0)$

лист 2

Чистовик

$$-C_1(\mathcal{E}_e-\varphi)+C_2(\varphi-0)=0$$

$$C_2\cdot\varphi=C_1(\mathcal{E}_e-\varphi)$$

$$C\cdot\varphi=5C\cdot(\mathcal{E}_e-\varphi)$$

$$\varphi=5\mathcal{E}_e-5\varphi$$

$$5\mathcal{E}_e=6\varphi;\quad \varphi=\frac{5\mathcal{E}_e}{6}>0$$

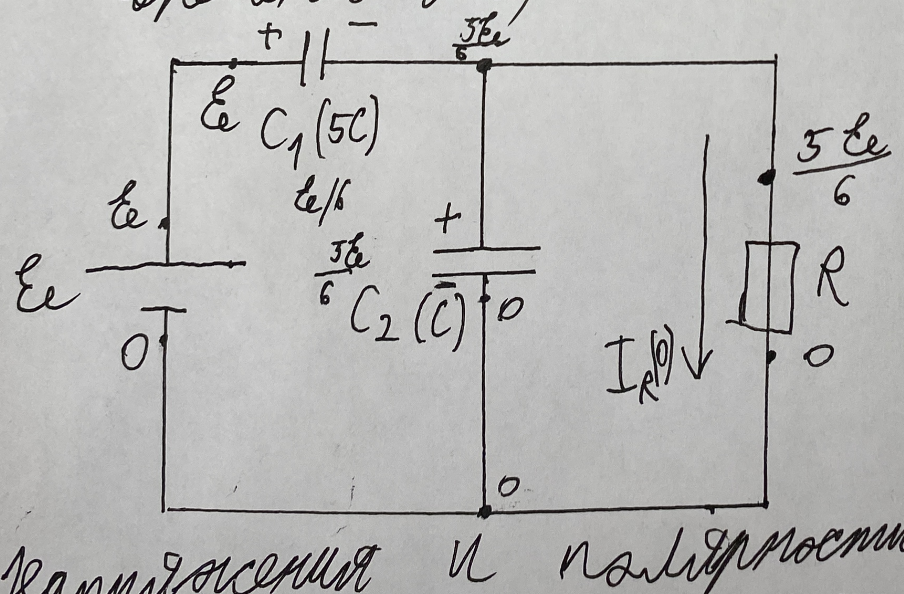
$\mathcal{E}_e$

Значит, предположение о полярностях было сделано верно.

Тогда $U_{C_1}=\mathcal{E}_e-\varphi=\mathcal{E}_e-\frac{5\mathcal{E}_e}{6}=\frac{\mathcal{E}_e}{6}$

$$U_{C_2}=\varphi=\frac{5\mathcal{E}_e}{6}$$

2) Нарисуем цепь сразу после замыкания ключа (пусть это момент времени $t=0$)



} метод потенциалов

Напряжения и полярности на конденсаторах скачком не изменятся. Тогда $U_{C_1}(0)=\frac{\mathcal{E}_e}{6}$; $U_{C_2}(0)=\frac{5\mathcal{E}_e}{6}$

Чистовик

Пусть ток на резисторе сразу после замыкания ключа — это $I_R(0)$

Из метода потенциалов $U_R(0) = \frac{5\mathcal{E}_e}{6} - 0 = \frac{5\mathcal{E}_e}{6}$

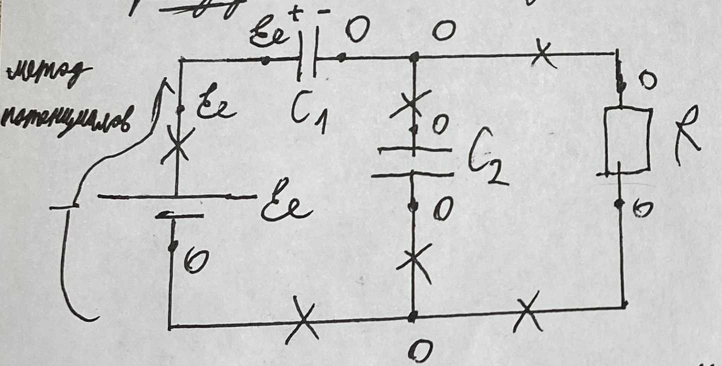
Ток направлен вниз. По закону Ома $I_R(0) = \frac{U_R(0)}{R} =$

$$= \frac{\left(\frac{5\mathcal{E}_e}{6}\right)}{R} = \frac{5\mathcal{E}_e}{6R}$$

Ответ на 1-й вопрос: $I_R(0) = \frac{5\mathcal{E}_e}{6R}$ — ток через резистор сразу после замыкания ключа.

2) Найти: $Q = ?$

Рассмотрим цепь в установившемся режиме после замыкания ключа.



В установившемся режиме токов через конденсаторы нет. Из этого следует, что тока нет во всей цепи.

Тока через резистор нет, тогда напряжение на нем 0.

Из метода потенциалов находим, что

$U_{C_1}(t_{уст}) = \mathcal{E}_e$; $U_{C_2}(t_{уст}) = 0$

- Запишем закон сохранений в цепи за время переходного процесса.

$A_{ист} = \Delta W_{C_1} + \Delta W_{C_2} + Q$, где $A_{ист}$ — работа источника тока, $\Delta W_{C_1}, \Delta W_{C_2}$ — изменение энергии

~~Р...~~ лист (4) $\boxed{\text{чистовик}}$

конденсаторов, Q – выделившаяся на резисторе теплота.

ΔW_{C_1}: $W_{C_1}(0) = \dfrac{C_1 U^2_{C_1}(0)}{2} = \dfrac{5C\cdot\left(\frac{\mathcal{E}_e}{6}\right)^2}{2} = \dfrac{5C}{2}\cdot\dfrac{\mathcal{E}_e^2}{36} = \dfrac{5C\mathcal{E}_e^2}{72}$

$W_{C_1}(t_{уст}) = \dfrac{C_1 U^2_{C_1}(t_{уст})}{2} = \dfrac{5C\cdot\mathcal{E}_e^2}{2}$

$\Delta W_{C_1} = W_{C_1}(t_{уст}) - W_{C_1}(0) = \dfrac{5C\mathcal{E}_e^2}{2} - \dfrac{5C\mathcal{E}_e^2}{72} = \dfrac{180C\mathcal{E}_e^2}{72} - \dfrac{5C\mathcal{E}_e^2}{72} = \dfrac{175C\mathcal{E}_e^2}{72}$

ΔW_{C_2}: $W_{C_2}(0) = \dfrac{C_2 U^2_{C_2}(0)}{2} = \dfrac{C\cdot\left(\frac{5\mathcal{E}_e}{6}\right)^2}{2} = \dfrac{25C\mathcal{E}_e^2}{2\cdot 36} = \dfrac{25C\mathcal{E}_e^2}{72}$

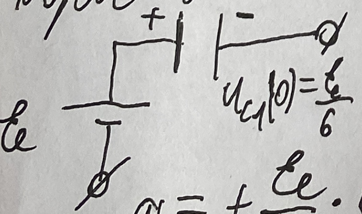
$W_{C_2}(t_{уст}) = \dfrac{C_2 U^2_{C_2}(t_{уст})}{2} = \dfrac{C\cdot 0}{2} = 0$

$\Delta W_{C_2} = 0 - \dfrac{25C\mathcal{E}_e^2}{72} = -\dfrac{25\mathcal{E}_e^2\cdot C}{72}$

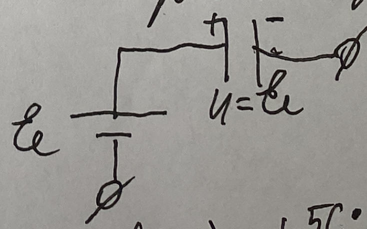
• Найдем работу $A_{ист}$: $A_{ист} = \mathcal{E}_e\cdot q_{ист}$

Заряд, протекший через источник, найдем через изменение заряда обкладки конденсатора C_1. Рассмотрим левую обкладку C_1:

при $t=0$



при $t=t_{уст}$:



$q_1(0) = +\dfrac{\mathcal{E}_e}{6}\cdot C_1 = 5C\cdot\dfrac{\mathcal{E}_e}{6} = \dfrac{5C\mathcal{E}_e}{6}$

$q_1(t_{уст}) = +5C\cdot\mathcal{E}_e = 5C\mathcal{E}_e$

лист (5)

Чистовик.

Заряд левой обкладки увеличился. Тогда через источник протек положительный заряд

$$q_1(t_{уст}) - q_1(0) = 5C\mathcal{E} - \frac{5C\mathcal{E}}{6} = \frac{30C\mathcal{E}}{6} - \frac{5C\mathcal{E}}{6} =$$
$$= \frac{25C\mathcal{E}}{6} = q_{ист}$$

Тогда:

ЗСЭ: $$\mathcal{E}\cdot\frac{25C\mathcal{E}}{6} = \frac{175C\mathcal{E}^2}{72} - \frac{25\mathcal{E}^2C}{72} + Q$$

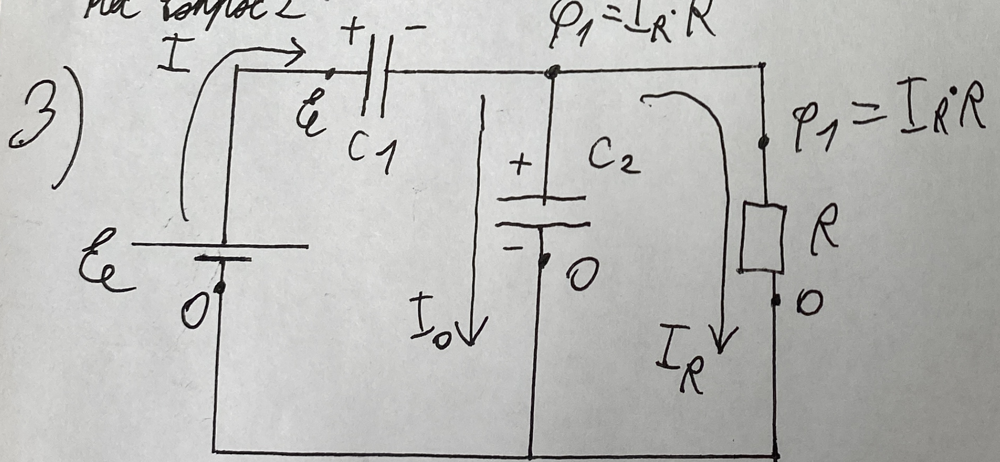
$$\frac{25C\mathcal{E}^2}{6} = \frac{150C\mathcal{E}^2}{72} + Q$$

$$\frac{25C\mathcal{E}^2}{6} - \frac{50C\mathcal{E}^2}{24} = Q$$

$$\frac{100C\mathcal{E}^2}{24} - \frac{50C\mathcal{E}^2}{24} = Q;\ Q = \frac{50C\mathcal{E}^2}{24} = \frac{25C\mathcal{E}^2}{12}$$

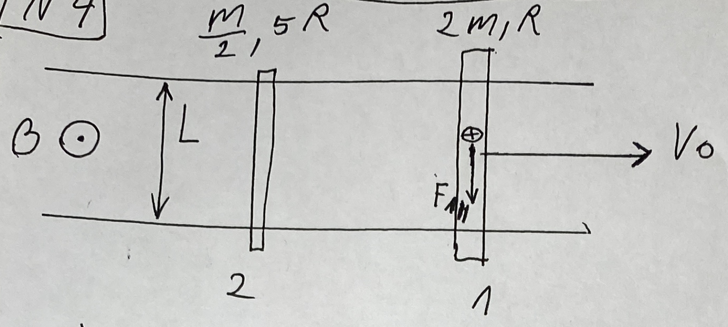
Ответ: на резисторе выделилась теплота $Q = \frac{25C\mathcal{E}^2}{12}$ на вопрос 2

3)



Лист 6 Чистовик

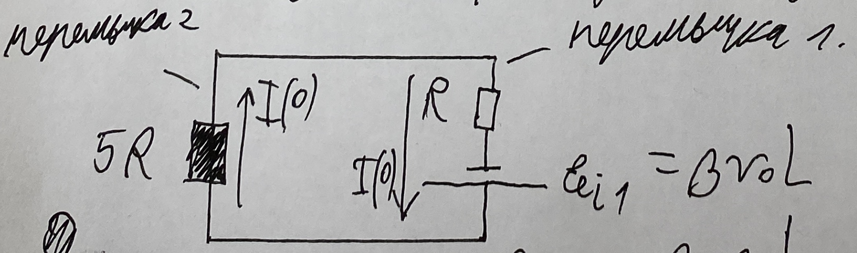
N 4



1) 1. Перемычке 1 придают начальную скорость, поэтому в ней возникает ЭДС индукции. ~~Эти~~ заряды (свободные носители заряда) в перемычке 1 ~~начнёт действовать~~ начнут двигаться относительно неё под действием продольной составляющей силы Лоренца $\vec{F}_{Л\parallel}$, обусловленной движением перемычки. По правилу левой руки она направлена так, как на рисунке.

$\mathcal{E}_{i1} = B \cdot v_0 \cdot L \cdot \sin\{\vec{B};\vec{v}\} = B \cdot v_0 \cdot L \cdot \sin 90^\circ =$
$= B v_0 \cdot L$ – такая ЭДС индукции возникает в перемычке 1 в начальный момент.

2. Из-за $\mathcal{E}_i$ в цепи возникнет ток $I(0)$.



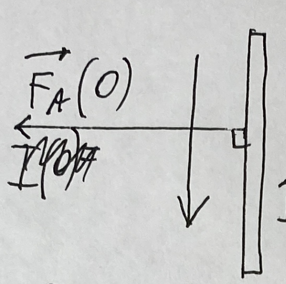
$\mathcal{E}_{i1} = B v_0 L$

$$I(0) = \frac{\mathcal{E}_{i1}}{R_{общ}} = \frac{B v_0 L}{5R+R} = \frac{B v_0 L}{6R}$$

7 лист чистовик

В перемычке 2 не будет ε_i, т.к. в начальный момент у нее еще нет скорости.

3. На перемычку 1 начнет в начальный момент действовать сила Ампера $\vec{F_A}(0)$



$$I(0) = \frac{B v_0 L}{6R}$$

По правилу левой руки она направлена влево. В этот момент другие силы на нее скомпенсированы.

Тогда $\vec{R} = \vec{F_A}(0) = m_1 \cdot \vec{a_1}(0)$

$$F_A(0) = m_1 a_1(0)$$

$$a_1(0) = \frac{F_A(0)}{m_1} = \frac{B I(0) L \cdot \sin 90^\circ}{2m} =$$

$$= \frac{B \cdot \frac{B v_0 L}{6R} \cdot L \cdot 1}{2m} = \frac{B^2 \cdot L^2 \cdot v_0}{6R \cdot 2m} =$$

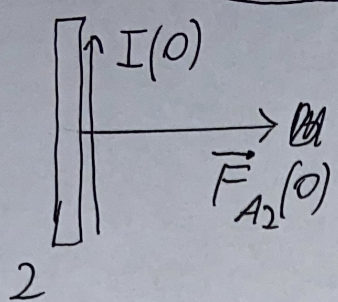
$$= \frac{B^2 L^2 v_0}{12mR}$$

Ответ на вопрос 1: ускорение перемычки 1 в начальный момент времени равно $a(0) = \frac{B^2 L^2 \cdot v_0}{12mR}$

2) В перемычке 2 также есть ток, поэтому в ней в начальный момент также возникнет сила Ампера $\vec{F}_{A2}$

21200778 (U802152 M1264760)

лист 8 Чистовик



По правилу левой руки эта сила направлена вправо.

$$F_{A_2}(0)=B\,I(0)\cdot L=$$
$$=B\cdot\frac{Bv_0L}{6R}\cdot L=\frac{B^2\cdot L^2\cdot v_0}{6R}$$

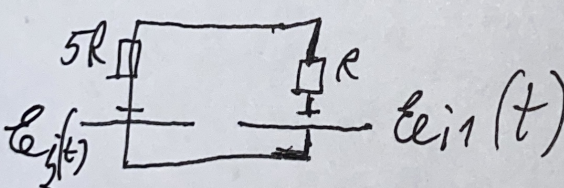
~~Найдем зависимость~~

Заметим, что каждая из сил ампера в произвольный момент времени линейно зависит от скорости. Найдем эту зависимость.

В момент времени t:

Пусть скорость второй перемычки равна $v_2(t)$ (направлена вправо). Тогда в ней возникнет ЭДС индукции $Bv_2(t)\cdot L$. Сторонняя сила направлена вниз по правилу левой руки.

Цепь будет выглядеть так:



$$\mathcal{E}_\Sigma=\mathcal{E}_{i1}(t)-\mathcal{E}_{i2}(t)=Bv_1(t)L-Bv_2(t)L=$$
$$=BL(v_1(t)-v_2(t))$$

$$I(t)=\frac{\mathcal{E}_\Sigma}{6R}=\frac{BL(v_1(t)-v_2(t))}{6R}$$

~~I(t)~~ лист ⑨ (Чистовик.)

$$F_{A_2}(t) = F_{A1}(t) = BI(t)L = \frac{B^2L^2(v_1(t)-v_2(t))}{6R}$$

Для первой перемычки:

$$a_1(t) = \frac{F_A(t)}{2m} = \frac{B^2L^2(v_1(t)-v_2(t))}{12mR}$$

$$\cancel{\sum \Delta v_1 = \frac{B^2L^2}{12mR} \sum (v_1(t) - v_2(t))}$$

~~3)~~ Когда скорости перемычек уравняются, ток станет равен 0.

~~Тогда~~ силы Ампера станут равными 0. Но у перемычек будет скорость v, направленная вправо. ~~Поэтому~~ Эти скорости равны, поэтому нового тока в цепи не возникнет, и перемычки будут двигаться со скоростями v (постоянными) на неизменном расстоянии.

~~Чистовик~~

~~Лист (1)~~

Черновик

$I = I_0 + I_R$

$I_0 = CU' = C\frac{\Delta U}{\Delta t}$

$I = I_0 + \frac{\varphi_1}{R}$

$\frac{\Delta q}{\Delta t} = C\frac{\Delta U}{\Delta t}$

$\Delta q = C\Delta U$

$I_R \cdot R$

$I = CU'$

$q = CU$

$\frac{\Delta q}{\Delta t} = C\frac{\Delta U}{\Delta t}$

$U_C = U_R$

$\Delta q = C\Delta U$

$U_C = I_R \cdot R$

$q_C = I_R \cdot R \cdot C$

$\Delta q = C\Delta U$

$\sum \Delta q = C\Delta U$

$\Delta q = C\Delta U$

$(q(t) - q(0)) = C(U(t) - U(0))$

$C \cdot I_R \cdot R -$