

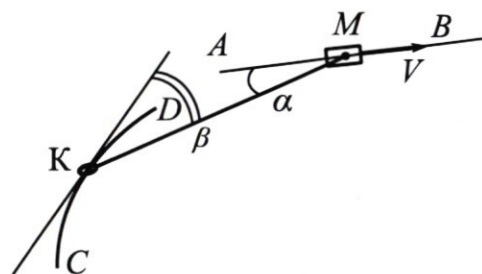
Олимпиада «Физтех» по физике, ф

Класс 11

Вариант 11-03

Бланк задания обязательно должен быть вложен в работу. Работы без вл

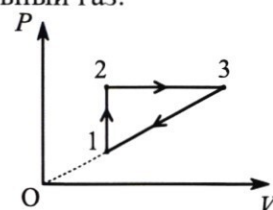
1. Муфту М двигают со скоростью $V = 34$ см/с по горизонтальной направляющей АВ (см. рис.). Кольцо К массой $m = 0,3$ кг может двигаться без трения по проволоке CD в виде дуги окружности радиусом $R = 0,53$ м. Кольцо и муфта связаны легкой нитью длиной $l = 5R/4$. Система находится в одной горизонтальной плоскости. В некоторый момент нить составляет угол α ($\cos \alpha = 15/17$) с направлением движения муфты и угол β ($\cos \beta = 3/5$) с направлением движения кольца.



- 1) Найти скорость кольца в этот момент.
- 2) Найти скорость кольца относительно муфты в этот момент.
- 3) Найти силу натяжения нити в этот момент.

2. Тепловая машина работает по циклу, состоящему из изохоры, изобары и участка прямо пропорциональной зависимости давления P от объема V (см. рис.). Рабочее вещество – одноатомный идеальный газ.

- 1) Найти отношение молярных теплоемкостей на тех участках цикла, где происходило повышение температуры газа.
- 2) Найти в изобарном процессе отношение изменения внутренней энергии газа к работе газа.
- 3) Найти предельно возможное максимальное значение КПД такого цикла.



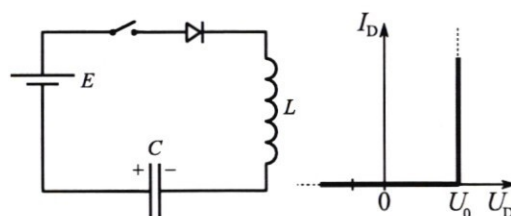
3. Обкладки конденсатора – круглые металлические сетки, радиус обкладок намного больше расстояния d между обкладками. Из точки, находящейся между обкладками на оси симметрии на расстоянии $0,3d$ от отрицательно заряженной обкладки стартует с нулевой начальной скоростью отрицательно заряженная частица и вылетает из конденсатора перпендикулярно обкладкам со скоростью V_1 . Удельный заряд частицы $\frac{|q|}{m} = \gamma$.

- 1) Через какое время T частица будет находиться на одинаковых расстояниях от обкладок?
- 2) Найдите величину Q заряда обкладок конденсатора.
- 3) С какой скоростью V_2 будет двигаться частица на бесконечно большом расстоянии от конденсатора?

При движении частицы электрическое поле, созданное зарядами конденсатора, считать неизменным, а электрическое поле внутри конденсатора вблизи оси симметрии считать однородным.

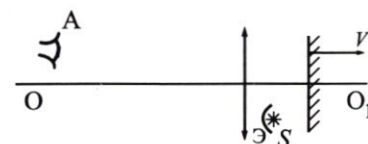
4. В цепи, схема которой показана на рисунке, ключ разомкнут, ЭДС идеального источника $E = 6$ В, конденсатор емкостью $C = 40$ мкФ заряжен до напряжения $U_1 = 2$ В, индуктивность идеальной катушки $L = 0,1$ Гн. Вольтамперная характеристика диода дана на рисунке, пороговое напряжение диода $U_0 = 1$ В. Ключ замыкают.

- 1) Найти скорость возрастания тока сразу после замыкания ключа.
- 2) Найти максимальный ток после замыкания ключа.
- 3) Найти установившееся напряжение U_2 на конденсаторе после замыкания ключа.

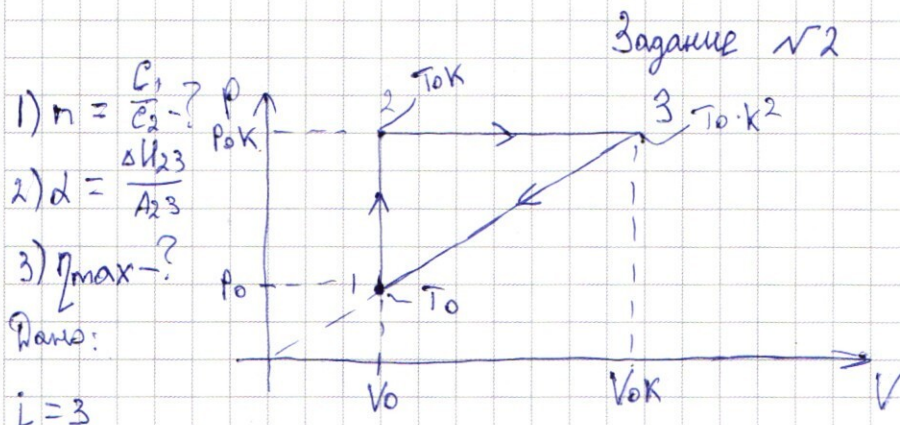


5. Оптическая система состоит из тонкой линзы с фокусным расстоянием F , плоского зеркала и небольшого экрана Э, расположенного так, что свет от источника S может попасть на линзу только после отражения от зеркала (см. рис.). Зеркало расположено перпендикулярно главной оптической оси OO_1 линзы. Источник S находится на расстоянии $3F/4$ от оси OO_1 и на расстоянии плоскости $F/4$ от линзы. Линза и источник неподвижны, а зеркало движется со скоростью V вдоль оси OO_1 . В некоторый момент зеркало оказалось на расстоянии $3F/4$ от линзы.

- 1) На каком расстоянии от плоскости линзы наблюдатель А сможет увидеть в этот момент изображение источника в системе?
- 2) Под каким углом α к оси OO_1 движется изображение в этот момент? (Найти значение любой тригонометрической функции угла.)
- 3) Найти скорость изображения в этот момент.



ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



- 1) Введём начальные значения параметров газа (P_0, V_0, T_0)
- 2) Пусть в изохорном процессе давление газа увеличилось в K раз. Исходя из уравнения для изохорного процесса:

$\frac{P}{T} = \text{const.}$, Температура в процессе 1-2 увеличилась в K раз

- 3) Заметим, что процесс 3-1 — прямая зависимость: $\frac{P_0}{V_0} = \frac{P_0 K}{V} = \text{const.}$
 Тогда $\frac{P_0}{V_0} = \frac{P_0 K}{V} \Rightarrow V = V_0 K$, где V — значение объёма в точке 3. Тогда в 2-3 температура опять увел. в K раз.

- ① Заметим, что температура повышается в процессах 1-2 и 2-3. Пусть тогда $C_1 = C_{12}$, а $C_2 = C_{23}$. Процесс 1-2 изохорный, так что $C_{12} = C_V = \frac{i}{2} R = \frac{3}{2} R$ ($C_V \Delta T = \frac{3}{2} R \Delta T$).

Процесс 2-3 изобарный, так что $C_{23} = C_P = \frac{i}{2} R + R = \frac{3}{2} R + R = \frac{5}{2} R$

$$\eta = \frac{C_{12}}{C_{23}} = \frac{\frac{3}{2} R \cdot 2}{\frac{5}{2} R} = \frac{3}{5}$$

- ② $A_{2-3} = S_{23} = P_0 K \cdot (V_0 K - V_0) = P_0 V_0 K (K - 1)$
 $\Delta U_{2-3} = \frac{3}{2} R (T_0 K^2 - T_0 K) = \frac{3}{2} R T_0 K (K - 1)$

По уравнению Менделеева-Клапейрона для точки 2:
 $\frac{3}{2} R T_0 K = P_0 K \cdot V_0$

$$\Delta U_{23} = \frac{3}{2} P_0 V_0 K (K-1)$$

$$\alpha = \frac{\Delta U_{23}}{A_{23}} = \frac{\frac{3}{2} P_0 V_0 K (K-1)}{P_0 V_0 K (K-1)} = \frac{3}{2}$$

③ КПД можно найти по следующему уравнению:

$$\eta = \frac{A_{\Sigma}}{Q_H}, \text{ где } A_{\Sigma} = A_{12} + A_{23} + A_{31} = S_{\text{пр}}.$$

Получаем тепло машины в процессе 1-2 и 2-3 $\Rightarrow Q_H = Q_{12} + Q_{23}$

По первому началу термодинамики:

$$Q_{12} = \Delta U_{12} + A_{12}, \text{ т.к. } V = \text{const } A_{12} = 0, \Delta U_{12} = \frac{3}{2} \nu R T_0 (K-1)$$

$$Q_{12} = \frac{3}{2} \nu R T_0 (K-1)$$

$$Q_{23} = \Delta U_{23} + A_{23} = \frac{3}{2} \nu R T_0 K (K-1) + \nu R T_0 K (K-1) = \frac{5}{2} \nu R T_0 K (K-1)$$

$$Q_H = \frac{5}{2} \nu R T_0 K (K-1) + \frac{3}{2} \nu R T_0 (K-1) = \nu R T_0 (K-1) \left(\frac{5}{2} K + \frac{3}{2} \right) =$$

$$= \frac{1}{2} \nu R T_0 (K-1) (5K+3)$$

$$A_{\Sigma} = \frac{1}{2} \cdot P_0 (K-1) \cdot V_0 (K-1) = \frac{1}{2} P_0 V_0 (K-1)^2$$

$$\eta = \frac{\frac{1}{2} P_0 V_0 (K-1)^2}{\frac{1}{2} \nu R T_0 (K-1) (5K+3)} = \frac{K-1}{5K+3} \text{ — функция } \eta(K)$$

$$\text{Найдём производную: } \eta' = \frac{5K+3 - 5(K-1)}{(5K+3)^2} = \frac{4}{(5K+3)^2}$$

Заметим, что η' больше нуля постоянно. Тогда $\eta(K)$ будет возрастающей функцией.

$$\lim_{K \rightarrow \infty} (\eta(K)) = \lim_{K \rightarrow \infty} \left(\frac{K-1}{5K+3} \right) = \lim_{K \rightarrow \infty} \left(\frac{1 - \frac{1}{K}}{5 + \frac{3}{K}} \right) = \frac{1}{5}$$

Получаем, что предельно возможный КПД такого цикла равен: $\eta_{\max} = 0,2 = 20\%$

$$\text{Ответ: } 1) \eta = \frac{C_1}{C_2} = \frac{3}{5}; 2) \alpha = \frac{\Delta U_{23}}{A_{23}} = \frac{3}{2}; 3) \eta_{\max} = 20\%$$

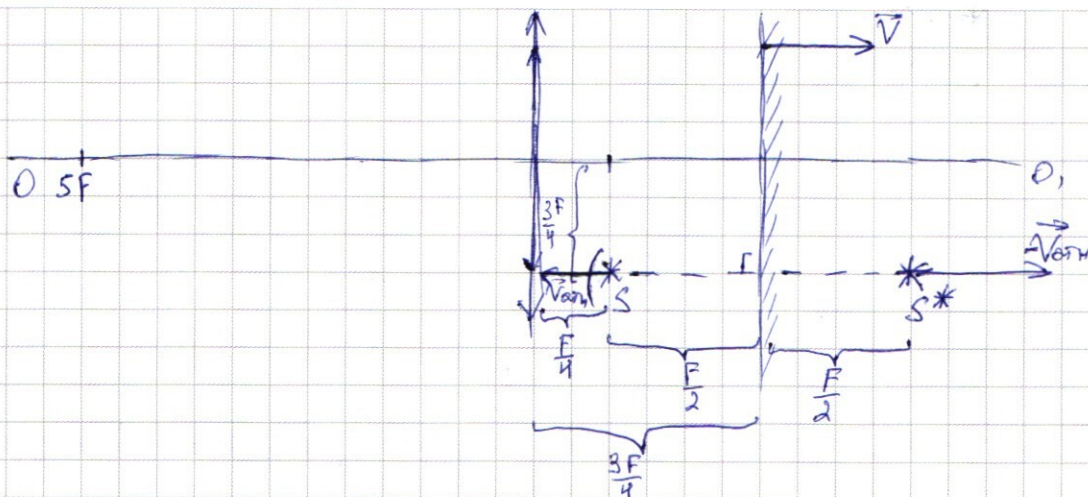
Задание №5

1) f - ?

2) α - ? 3) U - ?

1) Итак, для начала перейдём в систему отсчёта связанную с зеркалом.

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



2) В СО ~~зеркала~~ зеркала и по закону сложения скоростей:

$$\vec{V}_{\text{обс}} = \vec{V}_{\text{отн}} + \vec{V}_{\text{пер}} \Rightarrow \vec{0} = \vec{V}_{\text{отн}} + \vec{V} \quad \vec{V}_{\text{отн}} = -\vec{V}$$

3) Изображение источника света находится в зеркале на расстоянии $\frac{F}{2}$ от плоскости зеркала и относительно зеркала движется со скоростью, равной по модулю V влево.

① Расстояние от линзы до изображения предмета, падающего в зеркале $d = \frac{F}{4} + \frac{F}{2} + \frac{F}{2} = \frac{5F}{4} > F$

Тогда по формуле тонкой линзы:

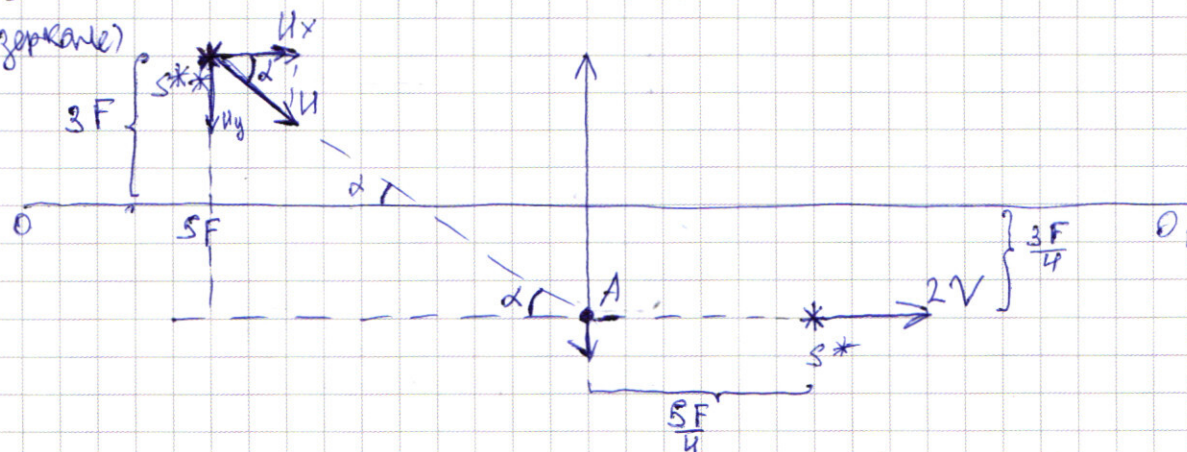
$$\frac{1}{F} = \frac{1}{f} + \frac{1}{d} \Rightarrow \frac{1}{F} = \frac{1}{f} + \frac{4}{5F} ; \quad \frac{1}{f} = \frac{1}{5F} ; \quad \underline{f = 5F}$$

② Перейдем в СО земли обратно. Тогда скорость изображения, падающего в зеркале: $\vec{V}_{\text{обс}} = \vec{V} + \vec{V} = 2\vec{V}$, $V_{\text{обс}} = 2V$.

Заметим, что $\Gamma = \frac{f}{d} = \frac{5F}{\frac{5F}{4}} = 4$. Тогда расстояние от ОО₁ до изображения равно: $H = \Gamma \cdot h$, где $h = \frac{3F}{4}$ по условию:
 $H = 4 \cdot \frac{3F}{4} = 3F$

Важно отметить, что скорость изображения и источника линзы всегда пересекаются в одной точке на линзе.

Тогда картинка будет выглядеть следующим образом (для удобства исключим с рисунка сам источник света и плоское зеркало, оставив лишь изображение источника света и изображение в зеркале)



Пусть точка A — точка пересечения скоростей. Из рисунка видно, что угол при A равен α , как всегда из параллельности прямых. По рисунку видно, что $\tan \alpha = \frac{3F + \frac{3}{4}F}{5F} = \frac{15}{20} = \frac{3}{4}$

③ Разобьем скорость изображения U на горизонтальную составляющую и вертикальную составляющие. Заметим, что продольные скорости относятся следующим образом: $\frac{v_{||\text{из}}}{v_{||\text{пр}}} = \Gamma^2$, где $v_{||\text{из}}$ — продольная скорость изображения, а $v_{||\text{пр}}$ — продольная скорость предмета.

$$\text{В нашем случае: } \frac{U_x}{2V} = \Gamma^2 \Rightarrow U_x = 2V \cdot 16 = 32V.$$

Скорость изображения связана со скоростью её горизонтальной составляющей следующим образом: $\frac{U_x}{U} = \cos \alpha$.

$$\cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha = 1 \quad | : \cos^2 \alpha$$

$$1 + \tan^2 \alpha = \frac{1}{\cos^2 \alpha} \Rightarrow \frac{1}{\cos^2 \alpha} = 1 + \frac{9}{16} = \frac{25}{16} \Rightarrow \cos \alpha = \frac{4}{5}$$

$$U = \frac{U_x}{\cos \alpha} = \frac{32V \cdot 5}{4} = 40V$$

Ответ: 1) $F = 5F$; 2) $\tan \alpha = \frac{3}{4}$; 3) $U = 40V$

Задача № 3

Решо.

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$V_1, d, \gamma = \frac{1}{m}, S$$

1) T - ?

2) Q - ?

3) V_2 - ?

- 1) По условию вблизи оси симметрии поле однородно. Запишем закон сохранения энергии для заряда от начального момента до вылета:

$$\varphi_1 \cdot q = \frac{mV_1^2}{2} + \varphi_2 \cdot q$$

$$\frac{mV_1^2}{2} = q(\varphi_1 - \varphi_2).$$

- 2) В силу однородности поля $\varphi_1 - \varphi_2 = E \cdot (0,5d - 0,3d) \Rightarrow \varphi_1 - \varphi_2 = 0,2d \cdot E$

3) $\frac{mV_1^2}{2} = q \cdot 0,2d \cdot E \Rightarrow E = \frac{V_1^2}{0,4d\gamma}$

- ① Опять же в силу однородности на заряд действует постоянная сила, равная:

$$\vec{F}_2 = q\vec{E} \quad F_2 = qE$$

Тогда $ma = qE \quad a = \gamma E = \frac{V_1^2}{0,4d}$

Ускорение постоянное, так это можно

применить уравнения кинематики:

$$L = \frac{V_1^2}{2a}, \text{ где } L = 0,5d - 0,3d = 0,2d$$

$$T^2 = \frac{2L}{a} = \frac{2 \cdot 0,2d \cdot 0,4d}{V_1^2} = \frac{14d^2}{5 \cdot 5V_1^2} = \frac{14d^2}{25V_1^2}$$

$$T = \frac{d \cdot \sqrt{14}}{5V_1}$$

- ② Исходя из теоремы Гаусса:

$$E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} = \frac{Q}{2\epsilon_0 S}$$

Тогда $Q = 2\epsilon_0 S E = \frac{V_1^2 \cdot \epsilon_0 \cdot S}{0,2d\gamma}$

③

Запишем закон сохранения энергии для заряда от начального момента до момента, когда он окажется на большом расстоянии:

$$\varphi_1 \cdot q = \frac{m v_2^2}{2} \Rightarrow v_2^2 = 2 \varphi_1 q$$

Ответ: 1) $T = \frac{\sqrt{14} d}{5 v_1}$; 2) $Q = \frac{v_1^2 \epsilon_0 S}{0,7 d \gamma}$; 3) $v_2 = v_1$

Задача 151

Решо:

$$V = 34 \text{ м/с}$$

$$m = 0,3 \text{ кг}$$

$$R = 0,53 \text{ м}$$

$$L = \frac{SR}{\pi}$$

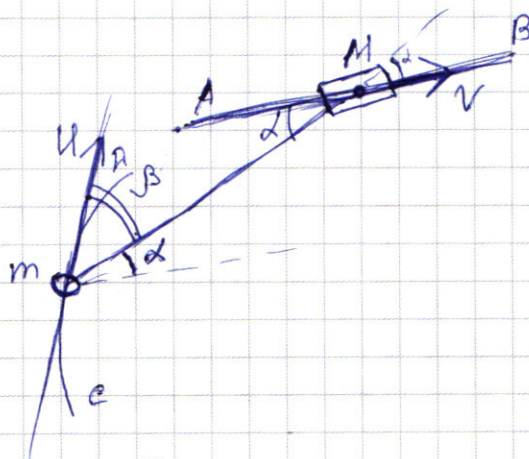
$$\cos \alpha = \frac{15}{17}$$

$$\cos \beta = \frac{3}{5}$$

1) U - ?

2) $U_{отн}$ - ?

3) T - ?



① Проекции скоростей муфты и кольца движущейся ~~нити~~ на нить должны быть равными, ведь в противном случае нить просто разорвалась.

$$U \cos \beta = V \cos \alpha \Rightarrow U = \frac{V \cos \alpha}{\cos \beta} = \frac{34 \cdot 15 \cdot 5}{17 \cdot 3} = 50 \text{ м/с}$$

② Заметим, что угол между скоростями U и V равен $\varphi = \beta + \alpha$

По закону сложения скоростей:

$$\vec{U} = \vec{U}_{отн} + \vec{V}$$



По теореме косинусов:

$$U_{отн}^2 = V^2 + U^2 - 2UV \cos(\alpha + \beta)$$

$$U_{отн} = \sqrt{V^2 + U^2 - 2UV \cos(\alpha + \beta)}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$I_{\text{отн}} = \sqrt{V^2 + V^2 \cdot \cos^2 \alpha - \frac{1}{\cos^2 \beta} - 2 V^2 \cdot \frac{\cos \alpha}{\cos \beta} \cdot \cos(\alpha + \beta)}$$

$$I_{\text{отн}} = V \sqrt{1 + \frac{\cos^2 \alpha}{\cos^2 \beta} - 2 \frac{\cos \alpha}{\cos \beta} (\cos \alpha \cos \beta - \sin \alpha \sin \beta)}$$

$$\sin \alpha = \sqrt{1 - \frac{225}{289}} = \frac{8}{17}$$

$$\sin \beta = \sqrt{1 - \frac{9}{25}} = \frac{4}{5}$$

$$I_{\text{отн}} = V \sqrt{1 + \frac{\cos^2 \alpha}{\cos^2 \beta} - 2 (\cos^2 \alpha - \frac{\cos \alpha \sin \alpha \sin \beta}{\cos \beta})}$$

$$I_{\text{отн}} = \frac{V}{25} \sqrt{784} = \frac{34}{25} \sqrt{784} \text{ А/с}$$

Ответ: 1) $I = 50 \text{ А/с}$; 2) $I_{\text{отн}} = \frac{34}{25} \sqrt{784} \text{ А/с}$

Задача № 4

Дано:

$$\mathcal{E} = 6 \text{ В}$$

$$C = 40 \text{ мкФ}$$

$$U_1 = 2 \text{ В}$$

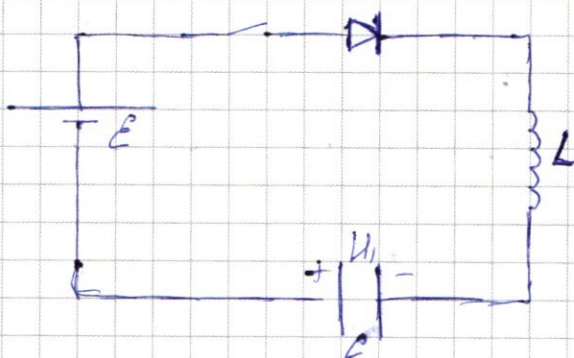
$$L = 0,1 \text{ Гн}$$

$$U_0 = 1 \text{ В}$$

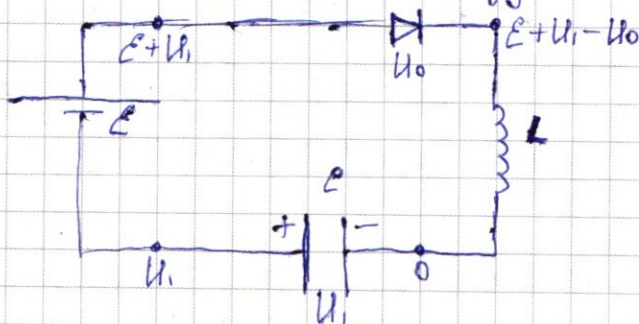
1) I_1 - ?

2) I_m - ?

3) U_2 - ?



Рассмотрим цепь сразу после замыкания ключа



1) Т.к. $C = \text{const}$, то заряд и напряжение не могут изменяться скачком.

2) Т.к. $L = \text{const}$, то сила тока через катушку, а значит и в цепи, скачком не меняется. $I(0) = 0$

3) Воспользуемся методом потенциалов.

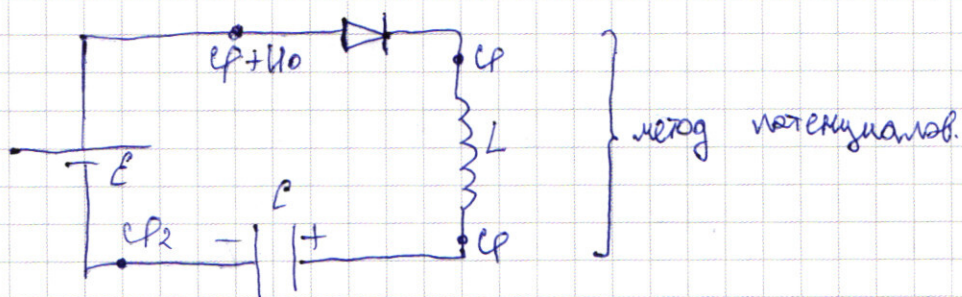
4) В момент замыкания ключа на диоде стало нулевое напряжение.

$$U_L = L I', \quad U_L = \mathcal{E} + U_1 - U_0 = 0$$

$$I' = \frac{\mathcal{E} + U_1 - U_0}{L} = \frac{6 \text{ В} + 2 \text{ В} - 1 \text{ В}}{10^{-3} \text{ Гн}} = 70 \text{ А}$$

2) 1) В момент, когда сила тока на катушке максимальна, её напряжение равно нулю.

Рассмотрим цепь в момент, когда на в цепи максимальный ток



$$C1 + U_0 - C2 = \mathcal{E}$$

$$C1 - C2 = \mathcal{E} - U_0$$

$$5) A_0 = q^* \cdot \mathcal{E}$$

$$A_0 = \Delta W + Q = 0$$

$$A_0 = \Delta W$$

$$q^* \mathcal{E} = \frac{L I_m^2}{2} + \frac{C(\mathcal{E} - U_0)^2}{2} - \frac{C U_1^2}{2}$$

$$2 q^* \mathcal{E} + C U_1^2 - C(\mathcal{E} - U_0)^2 = L I_m^2$$

$$I_m = \sqrt{\frac{2 C (U_1 + \mathcal{E} - U_0) \mathcal{E} + C U_1^2 - C(\mathcal{E} - U_0)^2}{L}}$$

2) Тогда напряжение на конденсаторе равно:

$$U_C = \mathcal{E} - U_0. \quad C1 > C2, \text{ т.к. } U_C > 0$$

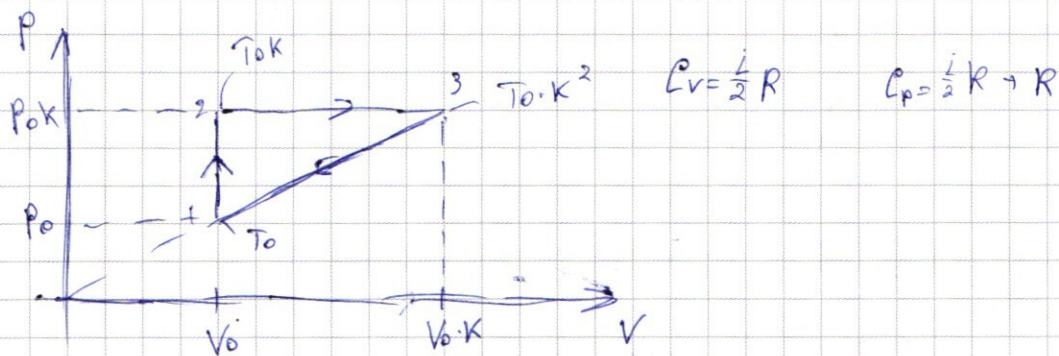
3) Тогда на правой обкладке ~~есть~~ положительный заряд. $q_C = (\mathcal{E} - U_0) \cdot C = C \cdot 5 \text{ В}$

4) Рассмотрим левую обкладку

$$\begin{aligned} &+ \text{ диод} + C1 \\ &- \text{ стало} - C(\mathcal{E} - U_0) \end{aligned}$$

Значит, утёк заряд $q^* = C (U_1 + \mathcal{E} - U_0)$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

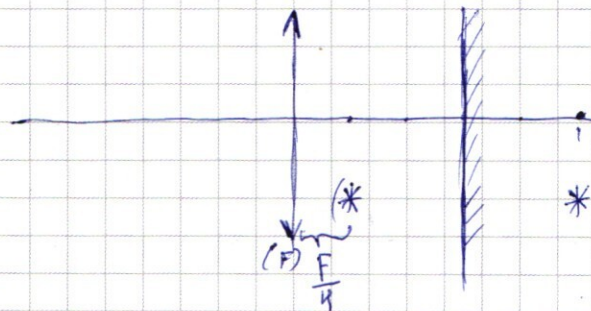


$$A = P_0 K \cdot V_0 K - P_0 V_0 \cdot K^2 \quad A = P_0 K \cdot V_0 (K-1)$$

$$\Delta R = \frac{3}{2} \gamma R (T_0 K^2 - T_0 K) = \frac{3}{2} \gamma R T_0 K (K-1) = \frac{3}{2} P_0 V_0 K (K-1)$$

$$\gamma R T_0 K = P_0 V_0 K$$

$$E \gamma \Delta T = \frac{3}{2} \gamma R \Delta T$$



$$E = \frac{10}{25 \epsilon_0} = \frac{2}{25 \epsilon_0}$$

$$E_2 = \frac{2}{5 \epsilon_0}$$

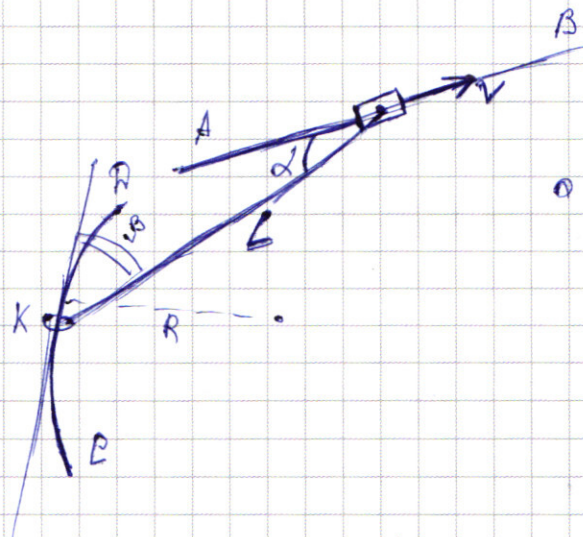
$$a =$$

$$\frac{v_1^2}{2a} = L \quad ma = E \cdot q \quad \varphi_1 \cdot q = \frac{m v_1^2}{2} + \varphi_2 q$$

$$v_1^2 = 2 E L \gamma \quad a = E \gamma \quad q(\varphi_1 - \varphi_2) = \frac{m v_1^2}{2}$$

$$q E L = \frac{m \cdot 2 E L \gamma}{2}$$

$$E \cdot L = \frac{v_1^2}{2} \gamma$$



$$\alpha = \frac{v^2}{R} \quad v = \sqrt{\alpha R}$$

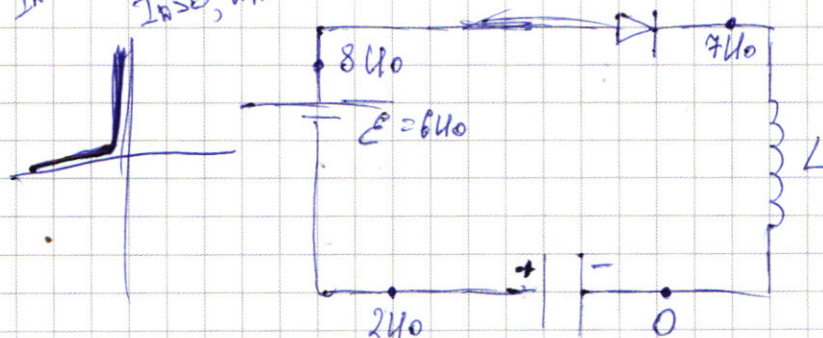
$$1 + \frac{225 \cdot 25}{289 \cdot 9} - 2 \left(\frac{225}{289} - \frac{5 \cdot 18 \cdot 8 \cdot 4 \cdot 8}{17 \cdot 17 \cdot 8 \cdot 8} \right)$$

$$1 + \frac{225 \cdot 25}{289 \cdot 9} - 2 \left(\frac{225 - 160}{289} \right)$$

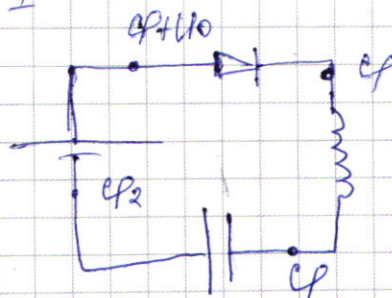
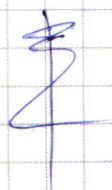
$$1 + \frac{225 \cdot 25}{289 \cdot 9} - \frac{130}{289} = \frac{289 \cdot 9 + 225 \cdot 25 - 130 \cdot 9}{289 \cdot 9}$$

$$= \frac{9 \cdot 159 + 225 \cdot 25}{289 \cdot 9} = \frac{625 + 159}{289} = \frac{784}{289} \quad 25 \cdot 9$$

$I_A = 0 \Rightarrow U_A \neq 0$
 $I_A > 0, U_A = 0.$



$$\frac{7U_0}{L} = I'$$



$$C + U_0 - C_2 = E$$

$$C = C_2 = E - U_0$$