

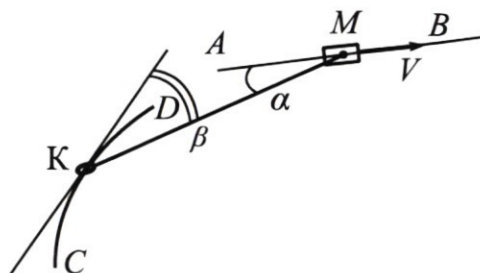
Олимпиада «Физтех» по физике, ф

Класс 11

Вариант 11-03

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

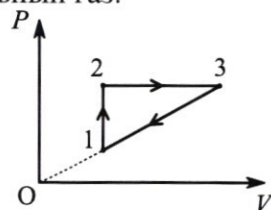
1. Муфту М двигают со скоростью $V = 34$ см/с по горизонтальной направляющей АВ (см. рис.). Кольцо К массой $m = 0,3$ кг может двигаться без трения по проволоке CD в виде дуги окружности радиусом $R = 0,53$ м. Кольцо и муфта связаны легкой нитью длиной $l = 5R/4$. Система находится в одной горизонтальной 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.

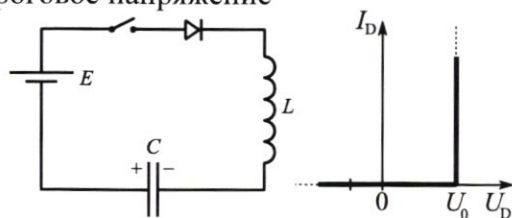


3. Обкладки конденсатора – круглые металлические сетки, радиус обкладок намного больше расстояния d между обкладками. Из точки, находящейся между обкладками на оси симметрии на расстоянии $0,3d$ от отрицательно заряженной обкладки стартует с нулевой начальной скоростью отрицательно заряженная частица 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.

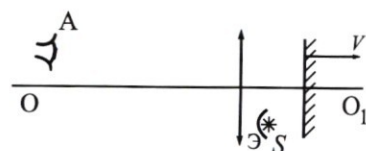
4. В цепи, схема которой показана на рисунке, ключ разомкнут, ЭДС идеального источника $E = 6$ В, конденсатор емкостью $C = 40$ мкФ заряжен до напряжения $U_1 = 2$ В, индуктивность идеальной катушки $L = 0,1$ Гн. Вольтамперная характеристика диода дана на рисунке, пороговое напряжение диода $U_0 = 1$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



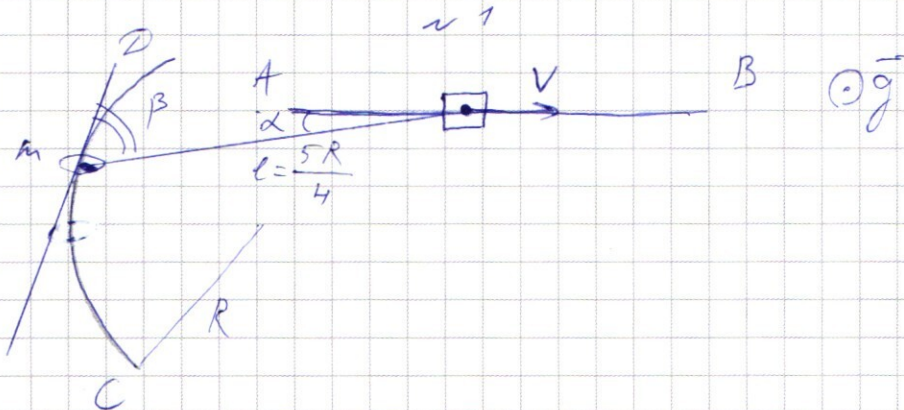
- 1) Найти скорость возрастания тока сразу после замыкания ключа.
- 2) Найти максимальный ток после замыкания ключа.
- 3) Найти установившееся напряжение U_2 на конденсаторе после замыкания ключа.

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.

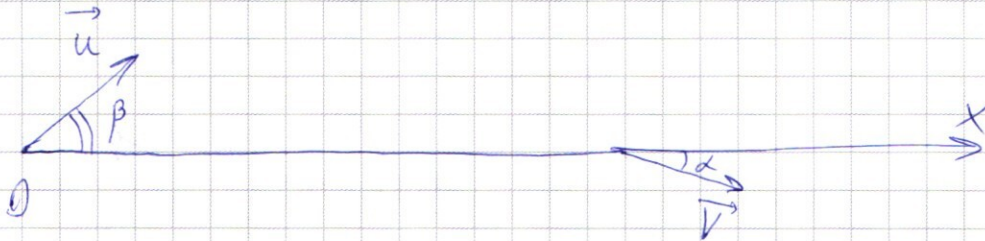
- 1) На каком расстоянии от плоскости линзы наблюдатель А сможет увидеть в этот момент изображение источника в системе?
- 2) Под каким углом α к оси OO_1 движется изображение в этот момент? (Найти значение любой тригонометрической функции угла.)
- 3) Найти скорость изображения в этот момент.



ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



- 1) Нить неразрывна $\Rightarrow$ проекции скоростей кольца и муфты на ось, проходящую через нить равны в любой момент.
Пусть ось Ox проходит через нить:



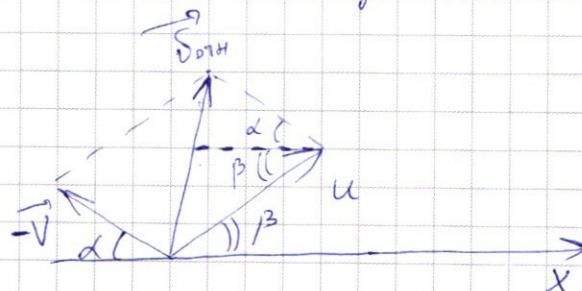
u - скорость кольца

$$V \cos \alpha = u \cos \beta \Rightarrow u = V \frac{\cos \alpha}{\cos \beta} = 34 \frac{\text{см}}{\text{с}} \cdot \frac{15 \cdot 5}{17 \cdot 3} = 34 \cdot \frac{25}{17} = 50 \frac{\text{см}}{\text{с}}$$

- 2) Перейдём в СО, связанную с муфтой. Пусть собственная скорость кольца относительно муфты

$$\vec{v}_{отн} = \vec{u} - \vec{V}$$

$$v_{отн}^2 = u^2 + V^2 - 2u \cdot V \cdot \cos(\alpha + \beta)$$



$$\cos(\alpha + \beta) = \cos \alpha \cdot \cos \beta - \sin \alpha \cdot \sin \beta = \frac{15}{17} \cdot \frac{3}{5} - \frac{8}{17} \cdot \frac{4}{5} \quad \text{③}$$

$$\sin \alpha = \frac{8}{17} \quad \sin \beta = \frac{4}{5}$$

$$\text{③} \quad \frac{45 - 32}{17 \cdot 5} = \frac{13}{85}$$

$$v_{\text{отн}} = \sqrt{50^2 + 34^2 - 2 \cdot 50 \cdot 34 \cdot \frac{13}{85}} = \sqrt{50^2 + 34^2 - 2 \cdot 10 \cdot 2 \cdot 13} =$$

$$= \sqrt{50^2 + 34^2 - 520} =$$

$$= \sqrt{2500 + 1156 - 520} =$$

$$= \sqrt{3136} = 56 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

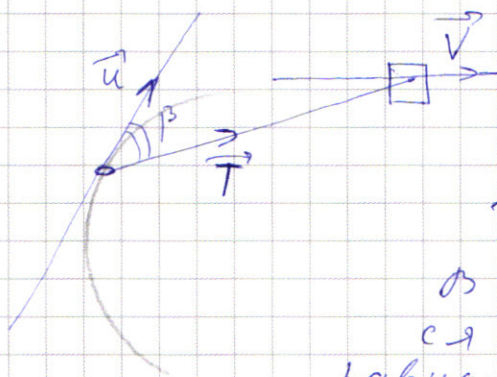
$$v_{\text{отн}} = 56 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$\begin{array}{r} \times 34 \\ 34 \\ \hline 102 \\ 1156 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} + 1980 \\ 1156 \\ \hline 3136 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} \times 46 \\ 46 \\ \hline 276 \\ 184 \\ \hline 2116 \end{array} \quad \begin{array}{r} \times 56 \\ 56 \\ \hline 336 \\ 280 \\ \hline 3136 \end{array}$$

3)



Поскольку нить легкая, она растянута равномерно, в каждой точке нити сила натяжения одинакова.

Перейдем в С.О. муфты:

В этой С.О. кольцо движется по ~~окр-~~ти с радиусом, равным длине веревки.

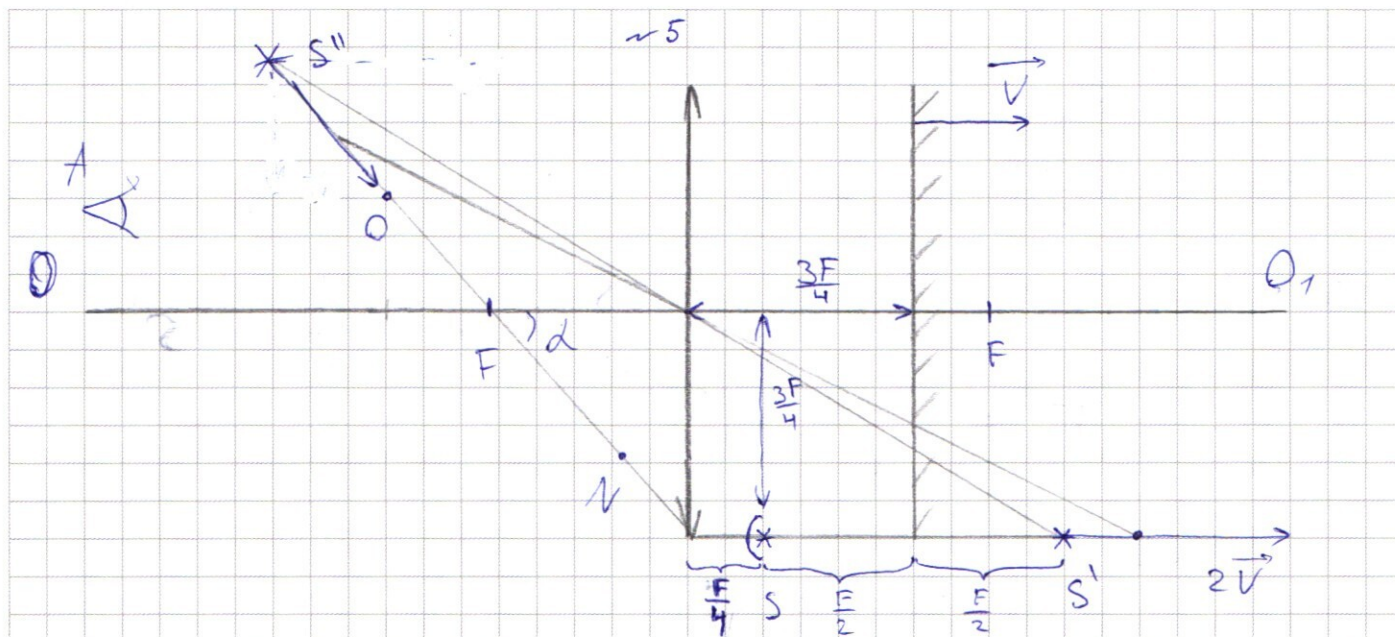
$$T = \frac{m v_{\text{отн}}^2}{l} = \frac{0,3 \text{ кг} \cdot 3136 \left(\frac{\text{м}}{\text{с}}\right)^2}{1,25 \cdot 0,53 \text{ м}} = \frac{30 \cdot 3136 \cdot 10^{-4}}{1,25 \cdot 53} = \frac{3000 \cdot 3136 \cdot 10^{-4}}{125 \cdot 53}$$

$$= \frac{24 \cdot 56 \cdot 56 \cdot 10^{-4}}{53} \approx 24 \cdot 56 \cdot 10^{-4} \text{ Н} =$$

$$\approx \underline{\underline{0,13 \text{ Н}}}$$

$$\begin{array}{r} \times 56 \\ 24 \\ \hline 224 \\ 112 \\ \hline 1344 \end{array}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



S' - изображение источника в зеркале

Пусть d - расстояние от S' до линзы

b - расстояние от изображения S'' ,
которое создаётся линзой

1) По ф-ле тонкой линзы: $d = \frac{5F}{4}$

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{b} \Rightarrow b = \frac{dF}{d-F} = \frac{\frac{5F^2}{4}}{\frac{F}{4}} = 5F$$

2) S' движется со скоростью $2V$ относительно линзы.

Пусть v - составляющая скорости S'' , которая,
перпендикулярна оси линзы

u - параллельна линзе.

$$b = \frac{dF}{d-F} = \frac{\frac{5F^2}{4} + 2Vt}{\frac{F}{4} + 2Vt}$$

Поскольку S' движется параллельно OO_1 , S'' будет двигаться по прямой, обозначенной MN на рисунке, MN проходит через фокус и через линзу на расстоянии $\frac{3F}{4}$ от OO_1 .

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{0,75F}{F} = \left(\frac{3}{4} \right)$$

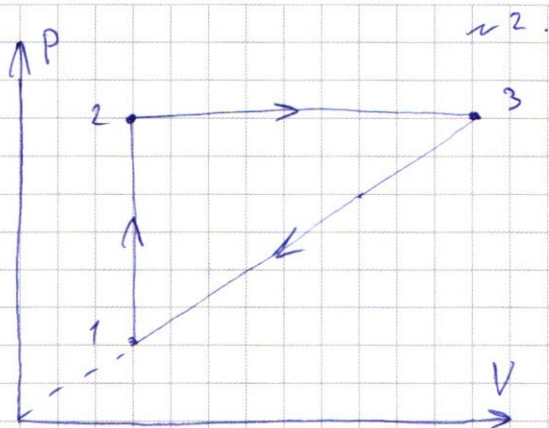
3) Пусть V'' — скорость S'' V' — скорость S'

$$\frac{V''}{V'} = \Gamma^2 = \left(\frac{b}{d} \right)^2 = \left(\frac{5F}{\frac{5F}{4}} \right)^2 = 16$$

$$V' = 2V$$

$$V'' = 16V' = (32V)$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



1) Нагрев газа происходит на участках 1-2 и 2-3

В процессе 1-2 работа газом не совершается

$$Q_{12} = \Delta U_{12} = \frac{3}{2} \nu R \Delta T_{12} \quad \Rightarrow \quad C_{12} = \frac{3}{2} R$$

$$Q_{12} = C_{12} \cdot \nu \cdot \Delta T_{12}$$

Знайдем кол-во теплоты, полученное газом в процессе 2-3

$$Q_{23} = A_{23} + \Delta U_{23} = p_3 V_3 - p_2 V_2 + \frac{3}{2} \nu R \Delta T_{23} =$$

$$= \nu R T_3 - \nu R T_2 + \frac{3}{2} \nu R \Delta T_{23} = \frac{5}{2} \nu R \Delta T_{23}$$

$$Q_{23} = C_{23} \cdot \nu \cdot \Delta T_{23} =$$

$$C_{23} \cdot \nu \cdot \Delta T_{23} = \frac{5}{2} \nu R \Delta T_{23} \quad \Rightarrow \quad C_{23} = \frac{5}{2} R$$

$$\frac{C_{12}}{C_{23}} = \frac{1,5 R}{2,5 R} = \frac{3}{5}$$

2) A_{23} - работа газа в процессе 2-3

ΔU_{23} - изм. внутр. энергии газа в 2-3.

$$A_{23} = p_3 V_3 - p_2 V_2 = \nu R \Delta T_{23} \quad \Rightarrow \quad \frac{\Delta U_{23}}{A_{23}} = \frac{3}{2}$$

$$\Delta U_{23} = \frac{3}{2} \nu R \Delta T_{23}$$

$$3) \quad \eta = \frac{A_{\text{газа}}}{Q}$$

$A_{\text{газа}}$ — работа газа за цикл
 Q — теплота, подведённая к газу за цикл.

$$V_3 - V_2 = \Delta V$$

$$P_2 - P_1 = \Delta P$$

$$Q = Q_{12} + Q_{23} =$$

$$Q_{23} = \frac{5}{2} \nu R \Delta T_{23} = \frac{5}{2} (P_3 V_3 - P_2 V_2) = \frac{5}{2} P_2 (V_3 - V_2) =$$

$$= \frac{5}{2} P_2 \Delta V$$

$$Q_{12} = \frac{3}{2} \nu R \Delta T_{12} = \frac{3}{2} (P_2 V_2 - P_1 V_1) = \frac{3}{2} V_2 (P_2 - P_1) = \frac{3}{2} V_2 \Delta P$$

В процессе 3-1 $P \sim V \Rightarrow \frac{P_3}{V_3} = \frac{P_1}{V_1}$

$$P_3 = P_2, V_1 = V_2$$

$$P_3 = P_2, P_3 = P_1 \frac{V_3}{V_1} \Rightarrow P_2 = P_1 \frac{V_3}{V_1}$$

$$P_2 - P_1 = \Delta P$$

$$P_1 \left(\frac{V_3}{V_1} - 1 \right) = \Delta P \Rightarrow \frac{P_1 \Delta V}{V_1} = \Delta P \Rightarrow P_1 \Delta V = \Delta P V_1$$

$$Q_{23} = \frac{5}{2} P_2 \Delta V = \frac{5}{2} P_1 \Delta V + \frac{5}{2} \Delta P \Delta V = \frac{5}{2} \Delta P V_1 + \frac{5}{2} \Delta P \Delta V$$

$$Q_{12} = \frac{3}{2} V_2 \Delta P = \frac{3}{2} V_1 \Delta P$$

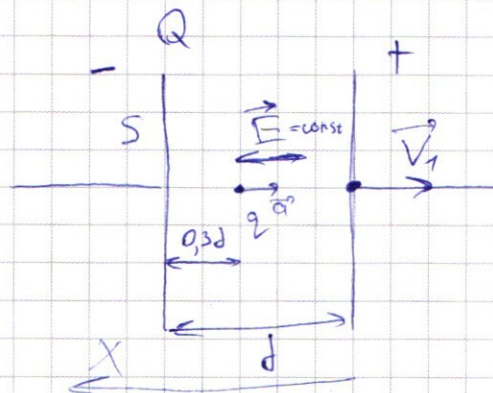
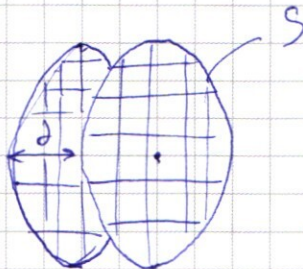
$A_{\text{газа}}$ можно найти, вычислив площадь под графиком в осях $P(V)$

$$A_{\text{газа}} = \frac{\Delta P \cdot \Delta V}{2}$$

$$\eta = \frac{0,5 \cdot \Delta P \Delta V}{\frac{5}{2} \Delta P V_1 + \frac{3}{2} \Delta P V_1 + \frac{5}{2} \Delta P \Delta V} \Rightarrow \eta \rightarrow \eta_{\text{max}} \text{ при } V_1 \rightarrow 0$$

$$\eta_{\text{max}} = \frac{0,5 \Delta P \Delta V}{2,5 \Delta P \Delta V} = 0,2$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$$q < 0$$

$$\frac{|q|}{m} = \gamma$$

$$1) E = 4\pi k \sigma = \frac{4\pi k Q}{S}$$

$$F_{\text{ex}} = -4\pi k \sigma q = -ma$$

a — ускорение частицы
 Q — заряд конденсатора

$$a = \frac{4\pi k \sigma}{m} = \frac{4\pi k Q}{mS}$$

$$0,7d = \frac{v_1^2}{2a} \Rightarrow a = \frac{5v_1^2}{7d} = \frac{4\pi k Q q}{mS} = \frac{4\pi k Q \gamma}{S}$$

$$T = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,2d}{a}} =$$

$$Q = \frac{5v_1^2 S}{28\pi k \gamma}$$

$$= \sqrt{\frac{0,4d \cdot 7d}{5v_1^2}} = \sqrt{\frac{2,8d^2}{5v_1^2}} = \frac{d}{v_1} \sqrt{\frac{28}{50}}$$

$$= \frac{d\sqrt{14}}{5v_1}$$

$$T = \frac{d\sqrt{14}}{5v_1}$$

$$S = \pi R^2$$

$$R = \sqrt{\frac{S}{\pi}}$$

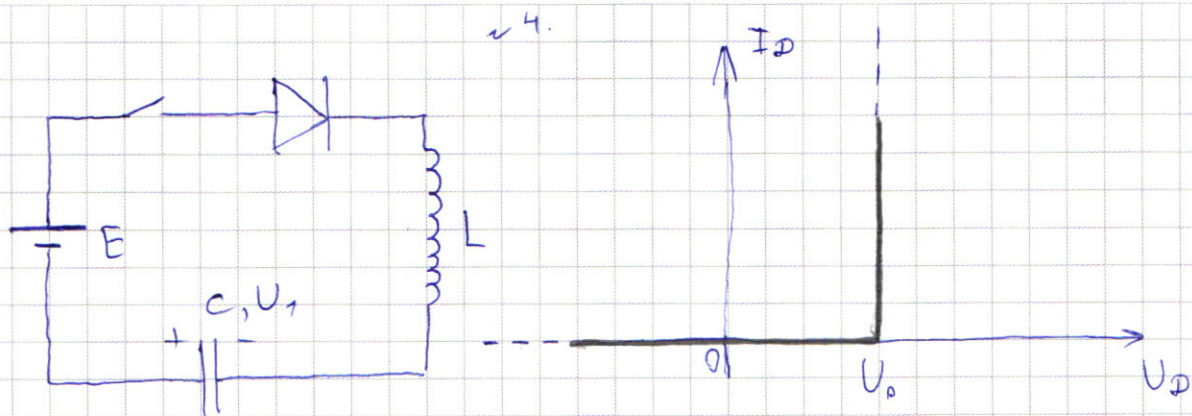
V_2

$$dQ = Q \cdot \frac{d\ell \cdot 2\pi R}{\pi R^2} = \frac{2d\ell}{R} Q$$

$$d\varphi = \frac{k dQ}{\sqrt{R^2 + \ell^2}} = \frac{2kQ}{R\sqrt{R^2}} d\ell = \frac{2kQ}{R^2} d\ell$$

$$\varphi = -\frac{2kQ}{R}$$

$$d\varphi = \frac{k dQ}{R} = \frac{2k d\ell \cdot Q}{R^2}$$



$$E = 6\text{ В}, C = 40\text{ мкФ}, U_1 = 2\text{ В}, L = 0,1\text{ Гн}, U_0 = 1\text{ В}$$

1) Сразу после замыкания ключа диод открыт, напряжение на нём U_0

$$E = U_0 + U_L - U_1 \quad (\text{Второй закон Кирхгофа})$$

$$U_L = E + U_1 - U_0$$

$$L \dot{I}_1 = E + U_1 - U_0 \Rightarrow \dot{I}_1 = \frac{E + U_1 - U_0}{L} = \frac{6\text{ В} + 2\text{ В} - 1\text{ В}}{0,1\text{ Гн}} =$$

$$= 70 \frac{\text{А}}{\text{с}}$$

2) Δq - заряд, прошедший через источник тока
Запишем Закон Сохр. Энергии.:

$$W_{\text{ос}} + A = W_{\text{с}} + W_{\text{л}} \quad W_{\text{с}}, W_{\text{л}} - \text{энергии конд. и катуш.}$$

$W_{\text{ос}}$ - начальная энергия конд. Q_1 - нач. заряд C

$$W_{\text{л}} = A + W_{\text{ос}} - W_{\text{с}} = E \Delta q + \frac{C U_1^2}{2} - \frac{(Q_1 + \Delta q)^2}{2C} =$$

$$= E \Delta q + \frac{C U_1^2}{2} - \frac{Q_1^2}{2C} + \frac{Q_1 \Delta q}{C} - \frac{\Delta q^2}{2C} =$$

$$= -\frac{\Delta q^2}{2C} + \Delta q (U_1 + E)$$

$$W_{\text{л}} \rightarrow \max \quad \text{при} \quad I \rightarrow \max$$

$$W_{\text{л} \max} \quad \text{при} \quad \Delta q = \frac{-(U_1 + E)}{-\frac{2}{2C}} = C(U_1 + E)$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$W_{L\max} = C(U_1 + E)^2 - \frac{C(U_1 + E)^2}{2} = \frac{C(U_1 + E)^2}{2}$$

$$\frac{L I_{\max}^2}{2} = \frac{C(U_1 + E)^2}{2}$$

$$I_{\max} = (U_1 + E) \sqrt{\frac{C}{L}} = 8 \text{ В} \cdot \sqrt{\frac{40 \text{ нФ}}{0,1 \text{ Гн}}} =$$

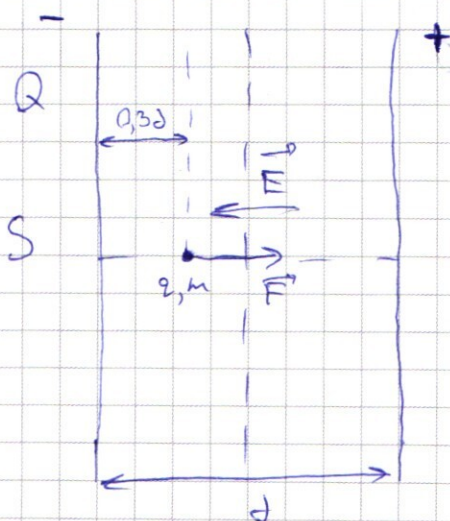
$$= 8 \cdot \sqrt{400 \cdot 10^{-6}} = 8 \cdot 20 \cdot 10^{-3} = 0,16 \text{ А}$$

3) П.и. переходные процессы в ^{цепи} катушке прекратились, ток в цепи равен 0 и не меняется $\Rightarrow$ на катушке напряжения нет.

на диоде напряжение U_0

$$E = U_0 + U_2 \Rightarrow U_2 = E - U_0 = 5 \text{ В}$$

~ 3



$$\frac{|q|}{m} = \mu, \mu < 0$$

частица будет двигаться в сторону заряженной пластинки конденсатора под действием постоянной силы.

$$|F| = |E| \cdot |q| = \frac{4\pi\epsilon_0 Q \cdot |q|}{S}$$

$$ma = \frac{4\pi\epsilon_0 Q |q|}{S} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow a = \frac{4\pi\epsilon_0 Q \mu}{S}$$

Частица движется равно ускоренно, потому что E вблизи оси симметрии постоянна

$$l_1 = d - 0,3d = 0,7d$$

$$l_1 = \frac{V_1^2}{2a} \Rightarrow a = \frac{V_1^2}{2l_1}$$

$l_2 = 0,2d$ — расстояние от начального положения частицы до точки, в которой частица находится на одинаковом расстоянии от обкладок.

$$l_2 = \frac{aT^2}{2} \Rightarrow T = \sqrt{\frac{2l_2}{a}} = \sqrt{\frac{4l_2 \cdot l_1}{V_1^2}} =$$

$$= \frac{2}{V_1} \sqrt{0,2d \cdot 0,7d} = \frac{2d}{V_1} \sqrt{0,14} = \frac{2\sqrt{14}d}{10 \cdot V_1} = \frac{\sqrt{14}d}{5V_1} =$$

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

$$Q \cdot \frac{4\pi \kappa r}{S} = a \Rightarrow Q = \frac{a \cdot S}{4\pi \kappa r} = \frac{V_1^2 \cdot S}{8\pi \kappa r \cdot l_1} =$$

$$= \frac{V_1^2 \cdot S}{5,6\pi \kappa r d} = \frac{10V_1^2 S}{56\pi \kappa r d} = \frac{5V_1^2 S}{28\pi \kappa r d}$$

Чтобы найти V_2 , необходимо найти потенциальную энергию частицы в поле конденсатора, приняв 0 энергии бесконечно далеко, а далее записать ЗСЭ

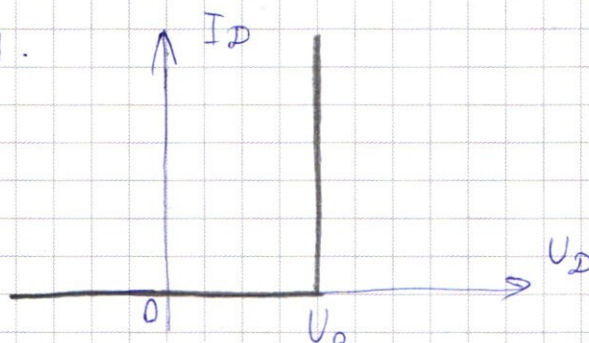
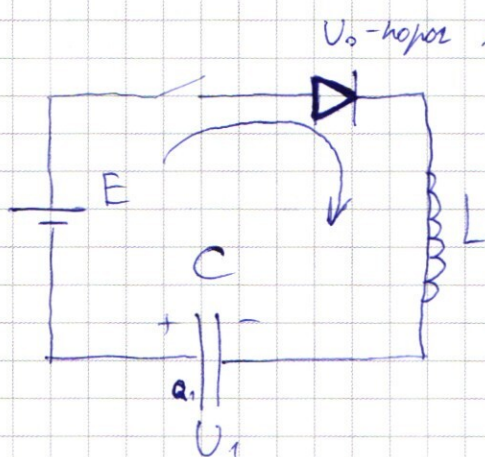
$$E \cdot l_1 \cdot q = \frac{mV_2^2}{2}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$Q_{23} = \frac{5}{2} \Delta P V_1 + \frac{5}{2} \Delta P \Delta V \quad Q_{12} = \frac{3}{2} \Delta P V_1$$

$$\eta = \frac{0,5 \Delta P \Delta V}{Q_{23} + Q_{12}} = \frac{0,5 \Delta P \Delta V}{\frac{5}{2} \Delta P V_1 + \frac{5}{2} \Delta P \Delta V + \frac{3}{2} \Delta P V_1} = \frac{0,5 \Delta P \Delta V}{4 \Delta P V_1 + 2,5 \Delta P \Delta V}$$

$$V_1 = 0 \quad \Rightarrow \quad \eta_{\max} = \frac{1}{5} = 0,2.$$



$$1) \quad U_1 + E = L \dot{I}_1 \Rightarrow \dot{I}_1 = \frac{U_1 + E}{L} = \frac{8 \text{ В}}{40 \text{ мГ}} = 2 \cdot 10^5 \frac{\text{А}}{\text{с}}$$

$$U_{D0} - L \dot{I}_1 - U_1 = E$$

$$\dot{I}_1 = \frac{E + U_1 - U_{D0}}{L} = \frac{4}{40} \cdot 10^5 \frac{\text{А}}{\text{с}} = 1,75 \cdot 10^5 \frac{\text{А}}{\text{с}}$$

$$2) \quad Q = CU$$

$$U_1 = 3 \text{ В} - \frac{Q_1}{C}$$

$$A_{\text{ист}} = (Q_1 - Q) E = (CU_1 - Q) E$$

$$W_c = \frac{CU^2}{2} = \frac{Q^2}{2C}$$

$$W_L = \frac{LI^2}{2}$$

$$W_{c0} + A = W_c + W_L$$

$$\Rightarrow W_L = A + W_{c0} - W_c = E(CU_1 - Q) +$$

$$+ \frac{CU_1^2}{2} - \frac{Q^2}{2C}$$

$$W_L = E \Delta q + \frac{C U_1^2}{2} - \frac{(Q_1 - \Delta q)^2}{2C} = E \Delta q + \frac{C U_1^2}{2} - \frac{Q_1^2}{2C} + \frac{Q_1 \Delta q}{C} - \frac{\Delta q^2}{2C} = -\frac{\Delta q^2}{2C} + \Delta q \left(\frac{Q_1}{C} + E \right)$$

$$= -\frac{\Delta q^2}{2C} + \Delta q (U_1 + E)$$

$$\frac{dW_L}{d\Delta q} = 0 \Rightarrow \Delta q = \frac{-(U_1 + E)}{-\frac{1}{C}} = C(U_1 + E)$$

$$W_L = -\frac{C(U_1 + E)^2}{2} + C(U_1 + E)^2 = \frac{C(U_1 + E)^2}{2}$$

$$\frac{L I_{\max}^2}{2} = \frac{C(U_1 + E)^2}{2} \Rightarrow I_{\max} = (U_1 + E) \sqrt{\frac{C}{L}}$$

3)

$$\frac{Q}{C} + E = U_D + U_L$$

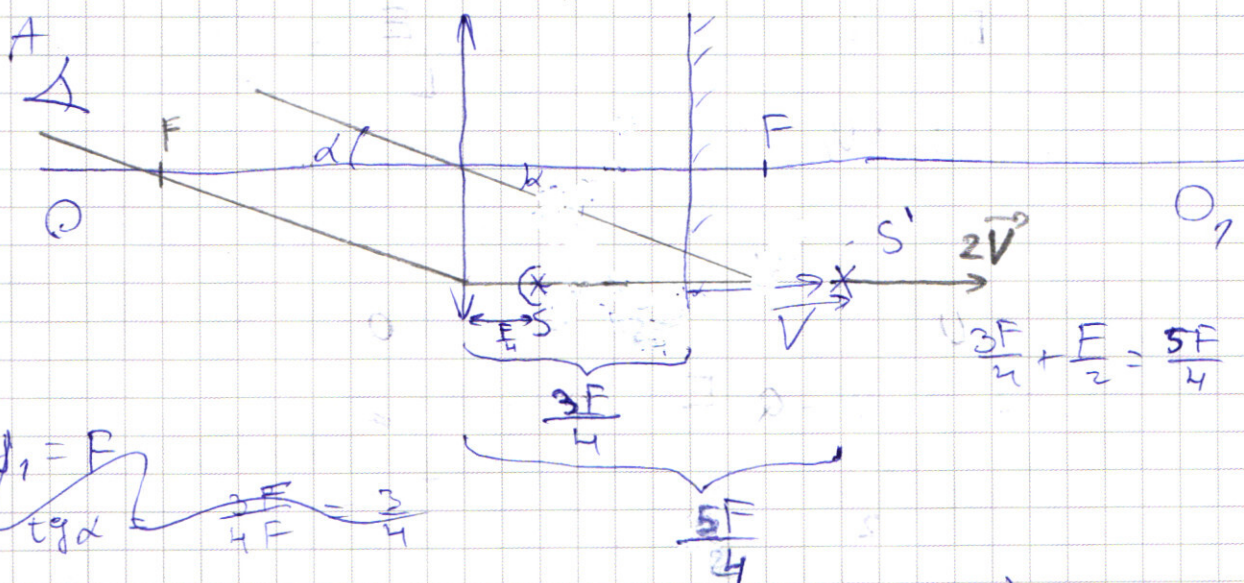
$$U_D + U_2 = E$$

$$U_2 = 5B$$

$$U_C + E = U_D + U_L$$

- Q

~ 5.



$$1) d_1 = F$$

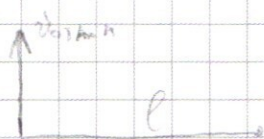
$$2) \tan \alpha = \frac{3F}{4F} = \frac{3}{4}$$

1) б-иск. велич.

$$b = \frac{2F}{1-F} = \frac{\frac{5F}{4}}{\frac{1}{4}} = 5F$$

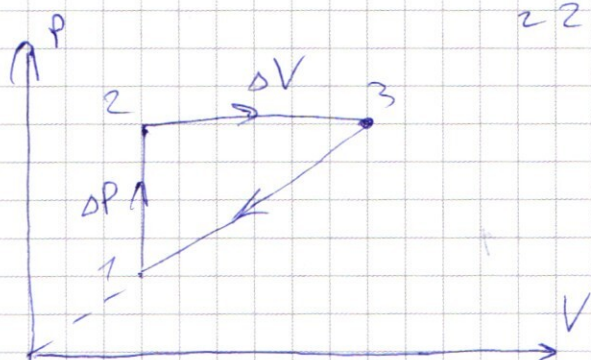
$$b = 5F$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$$T = \frac{m \sigma_{\text{отн}}^2}{l} = \frac{0,3 \cdot 56^2}{\frac{5}{4} \cdot 0,53} = 0,24$$

$$\frac{24 \cdot 3136}{53}$$



1) $\frac{C_{12}}{C_{23}}$

$$Q_{12} = C_{12} \Delta T = \frac{3}{2} \nu R \Delta T$$

$$C_{12} = \frac{3}{2} R$$

$$Q_{23} = \nu C_{23} \Delta T = P_2 \Delta V + \frac{3}{2} \nu R \Delta T = \nu R \Delta T + \frac{3}{2} \nu R \Delta T = \frac{5}{2} \nu R \Delta T$$

$$C_{23} = \frac{5}{2} R$$

$$\frac{C_{12}}{C_{23}} = \frac{3}{5}$$

2) $\frac{\Delta U_{23}}{A_{23}} = \frac{3}{2}$

3) $A_2 = \frac{\Delta P \cdot \Delta V}{2} = \frac{(P_2 - P_1)(V_3 - V_2)}{2}$

$$Q = \frac{3}{2} \nu R \Delta T_{12} + \frac{5}{2} \nu R \Delta T_{23} =$$

$$= \frac{\nu R}{2} (3T_2 - 3T_1 + 5T_3 - 5T_2) =$$

$$= \frac{\nu R}{2} (5T_3 - 2T_2 - 3T_1) =$$

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{P_1}{P_2} \quad \frac{T_2}{T_3} = \frac{V_2}{V_3} \quad \frac{T_2}{T_3} = \frac{V_2}{V_3} T_3$$

$$T_1 = \frac{P_1}{P_2} T_2 = \frac{P_1 V_2}{P_2 V_3} T_3 \quad \frac{P_1}{P_3} = \frac{V_1}{V_3}$$

$$Q = \frac{\nu R}{2} \left(5 T_3 - \frac{2 V_2}{V_3} T_3 - \frac{3 P_1 V_2}{P_2 V_3} T_3 \right) =$$

$$= \frac{\nu R T_3}{2} \left(5 - \frac{2 V_2}{V_3} - \frac{3 P_1 V_2}{P_2 V_3} \right) = \frac{5 P_3 V_3}{2} - P_3 V_2 - \frac{3 P_3 P_1 V_2}{P_2}$$

$$A_1 = \frac{(P_2 - P_1)(V_3 - V_2)}{2} = \frac{P_2 V_3 - P_2 V_2 - P_1 V_3 + P_1 V_2}{2}$$

=

$$P_2 = P_3$$

$$V_2 = V_1 = \frac{P_1 V_3}{P_3}$$

$$\frac{P_1}{P_3} = \frac{V_1}{V_3}$$

$$Q = \frac{5}{2} P_3 V_3 - P_3 \quad A_2 = \nu R T_3 - \nu R T_2$$

$$Q = Q_{12} = \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_1) = \frac{3}{2} (P_2 V_2 - P_1 V_1) = \frac{3}{2} \Delta P \cdot V_1$$

$$Q_{23} = \frac{5}{2} \nu R (T_3 - T_2) = \frac{5}{2} (P_3 V_3 - P_2 V_2) = \frac{5}{2} P_2 \Delta V$$

$$P_2 = P_3$$

$$\frac{P_3}{P_1} = \frac{V_2}{V_1}$$

$$Q_{23} = \frac{5}{2} P_1 \Delta V + \frac{5 P_1}{2} \frac{\Delta V^2}{V_1}$$

$$P_2 - P_1 = \Delta P$$

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{V_2}{V_1} = \frac{V_1 + \Delta V}{V_1}$$

$$Q_{12} = \frac{3}{2} \Delta P V_1 = \frac{3}{2} P_1 \Delta V$$

$$\frac{V_3}{V_1} P_1 + P_1 = \Delta P$$

$$P_2 = P_1 + P_1 \frac{\Delta V}{V_1}$$

$$Q_{23} = \frac{5}{2} P_2 \Delta V = \frac{5}{2} P_1 \Delta V$$

$$P_1 \frac{V_3 - V_1}{V_1} = \Delta P$$

$$V_2 = V_1$$

$$P_2 = P_1 + \Delta P \frac{V_1}{\Delta V}$$

$$P_2 = \frac{\Delta P}{\Delta V} V_3$$

$$Q_{23} = \frac{5}{2} \frac{\Delta P}{\Delta V} V_3 \Delta V =$$

$$P_1 \frac{\Delta V}{V_1} = \Delta P$$

$$\frac{P_1}{V_1} = \frac{\Delta P}{\Delta V} = \frac{P_2}{V_3} = \frac{P_2}{V_3} =$$

$$= \frac{5}{2} (\Delta P V_1 + \Delta P \Delta V)$$