

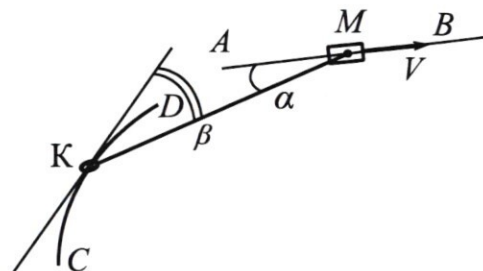
Олимпиада «Физтех» по физике, ф

Вариант 11-03

Класс 11

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

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.



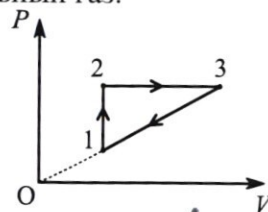
- 1) Найти скорость кольца в этот момент.
- 2) Найти скорость кольца относительно муфты в этот момент.
- 3) Найти силу натяжения нити в этот момент.

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?

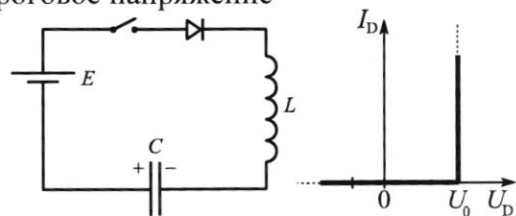
При движении частицы электрическое поле, созданное зарядами конденсатора, считать неизменным, а электрическое поле внутри конденсатора вблизи оси симметрии считать однородным.

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.

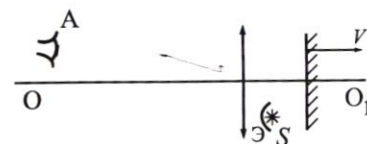


5. Оптическая система состоит из тонкой линзы с фокусным расстоянием F , плоского зеркала и небольшого экрана Э, расположенного так, что свет от источника S может попасть на линзу только после отражения от зеркала (см. рис.). Зеркало расположено перпендикулярно главной оптической оси OO_1 линзы. Источник 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?

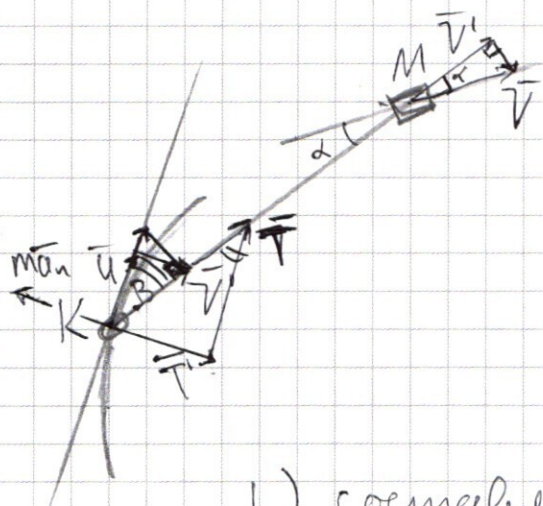
2) Под каким углом α к оси OO_1 движется изображение в этот момент? (Найти значение любой тригонометрической функции угла.)

3) Найти скорость изображения в этот момент.



ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

~1.



$$l = \frac{5}{4} R \quad R = 0,53 \text{ м}$$

$$m = 0,3 \text{ кг}$$

$$v = 34 \text{ м/с}$$

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

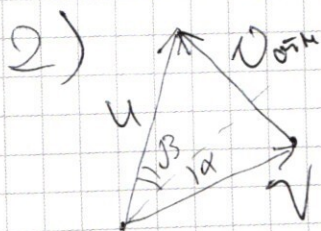
$$\cos \beta = \frac{3}{5}$$

1) составляющие скоростей v и u
(u — скорости колеса) вдоль нити
равны

$$v' = v \cos \alpha = u \cos \beta$$

$$u = \frac{v \cos \alpha}{\cos \beta} = \frac{34 \cdot \frac{15}{17}}{\frac{3}{5}} = \frac{30 \cdot 5}{3} = 50 \text{ м/с}$$

Ответ 1) $u = 0,5 \text{ м/с} = 50 \text{ м/с}$



рассмотрим эти скорости
в векторном виде
по теореме косинусов

$$|\vec{v}_{\text{отн}}|^2 = |\vec{v}|^2 + |\vec{u}|^2 - 2 \cos(\alpha + \beta) |\vec{v}| |\vec{u}|$$

$$V_{\text{отн}} = \sqrt{v^2 + u^2 - 2(\cos \alpha \cos \beta - \sin \alpha \sin \beta)vu} =$$

$$= \sqrt{}$$

$$3) T' = T \cdot \sin \beta$$

$$T' = m a_n = m \frac{u^2}{R}$$

$$T = \frac{T'}{\sin \beta} = \frac{m u^2}{R \sin \beta} = \frac{m u^2}{R \sqrt{1 - \cos^2 \beta}} = \frac{0,3 \cdot 0,5^2}{0,53 \sqrt{1 - 0,6^2}} =$$

$$= \frac{0,3 \cdot 0,5^2}{0,53 \cdot 0,8} = \frac{0,3 \cdot 0,5^2}{0,424}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

✓ 2.

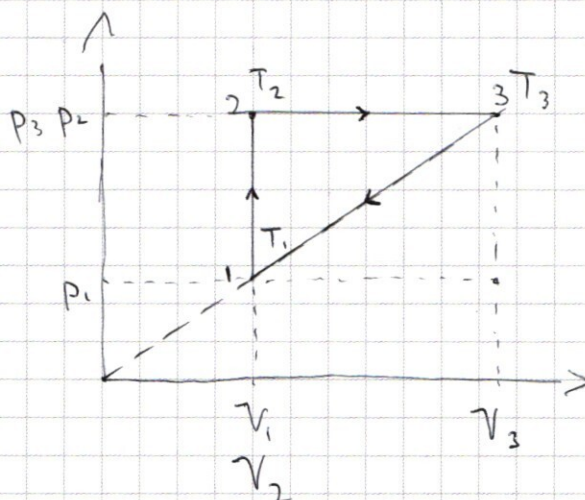
$$p_1 = p_3$$

$$V_1 = V_2$$

$$\frac{p_1}{p_3} = \frac{V_1}{V_3}$$

в процессе 31
м.к. $p \sim V$

$$p_1 V_3 = p_3 V_1$$



1) проц. 12

$$Q_{12} = \Delta U_{12} + A_{12} \quad V_1 = V_2 \Rightarrow A_{12} = 0$$

$$\Rightarrow Q_{12} = \Delta U_{12} = \frac{i}{2} \nu R \Delta T_{12}$$

$$C = \frac{Q}{\Delta T}$$

$$C_{12} = \frac{Q_{12}}{\Delta T_{12}} = \frac{\frac{i}{2} \nu R \Delta T_{12}}{\Delta T_{12}} = \frac{i}{2} R$$

$i = 3$ м.к. газ одноатомный

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

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

$$= \frac{i}{2} \nu R \Delta T_{23} + p_2 \Delta V_{23} = \frac{i}{2} \nu R \Delta T_{23} + \nu R \Delta T_{23}$$

м.к. $p_2 = p_3$

$$p = \text{const} \Rightarrow p V = \nu R T$$

$$\Rightarrow T \sim V \Rightarrow p \Delta V = \nu R \Delta T$$

$$Q_{23} = \frac{i+2}{2} \nu R \Delta T_{23}$$

$$C_{23} = \frac{Q_{23}}{\nu \Delta T_{23}} = \frac{\frac{i+2}{2} \nu R \Delta T_{23}}{\nu \Delta T_{23}} = \frac{i+2}{2} R = \frac{5}{2} R$$

В процессе 3-1 T не возрастает

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

Ответ 1) $\frac{C_{23}}{C_{12}} = \frac{5}{3}$

2) $Q_{23} = \Delta U_{23} + A_{23}$ $\Delta T_{23} = T_3 - T_2$

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

$$A_{23} = p_2 (V_3 - V_2)$$

$$pV = \nu R T$$

$$V = \frac{\nu R T}{p} \Rightarrow A_{23} = p_2 \left(\frac{\nu R T_3}{p_2} - \frac{\nu R T_2}{p_2} \right) =$$

$$= \nu R (T_3 - T_2) = \nu R \Delta T_{23}$$

$$\frac{\Delta U_{23}}{A_{23}} = \frac{\frac{i}{2} \nu R \Delta T_{23}}{\nu R \Delta T_{23}} = \frac{\frac{3}{2}}{1} = \frac{3}{2} = 1,5$$

Ответ 2) $\frac{\Delta U_{23}}{A_{23}} = 1,5$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

~2 (процентов).

$$3) \quad \eta = \frac{A_{\text{пол}}}{Q_{\text{зат}}}$$

$$Q_{\text{зат}} = Q_{12} + Q_{23} + Q_{31}$$

$$Q_{12} = \frac{i}{2} \nu R \Delta T_{12}$$

$$Q_{23} = \frac{i+2}{2} \nu R \Delta T_{23}$$

$$\Delta T_{31} = T_1 - T_3 < 0$$

$$Q_{31} = \Delta U_{31} + A_{31} = \frac{i}{2} \nu R (T_1 - T_3) + p_1 (V_1 - V_3) +$$

$$+ \frac{1}{2} (p_3 - p_1) (V_1 - V_3) = \frac{i}{2} \nu R (T_1 - T_3) + \frac{p_3 + p_1}{2} (V_1 - V_3) =$$

$$= \frac{i}{2} \nu R (T_1 - T_3) + \frac{p_3 V_1 - p_1 V_3 + p_1 V_1 - p_3 V_3}{2} =$$

$$= \frac{i}{2} \nu R \Delta T_{31} + \frac{p_1 V_1 - p_3 V_3}{2} = \frac{i}{2} \nu R \Delta T_{31} + \frac{1}{2} (\nu R T_1 - \nu R T_3) =$$

$$= \frac{i+1}{2} \nu R \Delta T_{31}$$

$$A_{\text{пол}} = A_{23} + A_{31} = \nu R \Delta T_{23} + \frac{1}{2} \nu R \Delta T_{31}$$

$$\eta = \frac{\nu R \Delta T_{23} + \frac{1}{2} \nu R \Delta T_{31}}{\frac{i}{2} \nu R \Delta T_{12} + \frac{i+2}{2} \nu R \Delta T_{23} + \frac{i+1}{2} \nu R \Delta T_{31}}$$

$$\eta = \frac{2(\Delta T_{23} + \frac{1}{2}\Delta T_{31})}{3\Delta T_{12} + 5\Delta T_{23} + 4\Delta T_{31}} = \frac{2T_3 - 2T_2 + T_1 - T_3}{3T_2 - 3T_1 + 5T_3 - 3T_2 +$$

$$\frac{\quad}{+4T_1 - 4T_3} = \frac{T_3 - 2T_2 + T_1}{-2T_2 + T_3 + T_1} = 1$$

Ответ 3) 4) $\eta = 100\%$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$\sqrt{3}$

v_1

d

$0,3 d$

$\frac{1}{2} q = \gamma$

m

γ

h — расстояние, которое частица проходит
прежде, чем выйдет из конденсатора
через сетку

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

$$W_k = \frac{mv_1^2}{2} = Fh = Eqh$$

$$E = \frac{kQ}{d^2} = \frac{2kQ}{d^2} = \frac{U}{d} = \frac{Q}{Cd} = \frac{Q}{\frac{\epsilon_0 S d}{d}} = \frac{Q}{\epsilon_0 S}$$

$$\frac{mv_1^2}{2} = \frac{2kQqh}{d^2}$$

$$\frac{mv_1^2}{2} = \frac{Q}{\epsilon_0 S} q \cdot 0,7d$$

$$Q = \frac{mv_1^2 \epsilon_0 S}{2 \cdot 0,7d q} = \frac{mv_1^2 \epsilon_0 S}{1,4d q}$$

$$E = \frac{mv_1^2}{1,4d q}$$

r - расст до середины между обклад.

$$r = \frac{d}{2} - 0,3d = 0,2d$$

$$F = Eq$$

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

$$r = \frac{at^2}{2} = \frac{\frac{Eq}{m}t^2}{2}$$

$$t = \sqrt{\frac{2rm}{Eq}} = \sqrt{\frac{2r}{E\gamma}} = \sqrt{\frac{2r}{\frac{mV_1^2}{1,4dq}}}$$

$$= \sqrt{\frac{2,8rdq}{mV_1^2\gamma}} = \sqrt{\frac{2,8rd\gamma}{V_1^2\gamma}} = \frac{2\sqrt{0,7rd}}{V_1} = \frac{2\sqrt{0,14'd}}{V_1}$$

$$d \ll R$$

$\Rightarrow$ Вблизи осей конденсатора поле можно считать
полем бесконечной плоскости

$\Rightarrow |E_+| = |E_-|$ т.к. $|E| = \frac{|Q|}{\epsilon_0}$ обеих пластин

одинаковы $\Rightarrow E_e = E_+ - E_- = 0 \Rightarrow$ поле
вылетает из конденсатора на расстоянии
никакие силы не действуют и скорость её
не меняется $\Rightarrow V_2 = V_1$

Ответ: 1) $t = \frac{2\sqrt{0,14'd}}{V_1}$; 2) $Q = \frac{\epsilon_0 V_1^2 d}{1,4d\gamma}$; 3) $V_2 = V_1$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

~ч.

$$\mathcal{E} = 6 \text{ В}$$

$$C = 4 \cdot 10^{-5} \text{ Ф}$$

$$L = 0,1 \text{ Гн}$$

$$V_0 = 1 \text{ В}$$

$$V_1 = 2 \text{ В}$$

$$1) \mathcal{E} = V_0 + V_1 + V_L$$

$$V_0 = 1 \text{ В}$$

т.к. ток в катушке

мог возрастать у него

должна быть возможность ignition,

а значит на диоде будет V_0

$$V_L = \mathcal{E} - V_0 - V_1$$

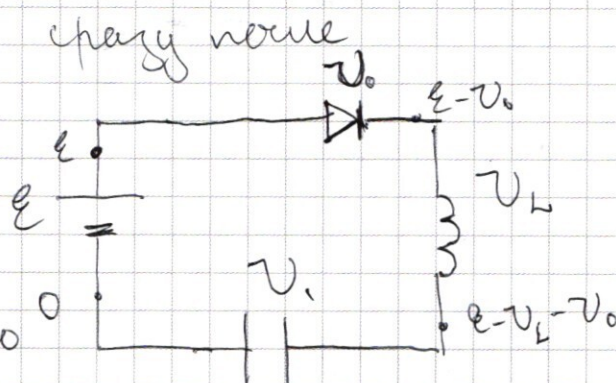
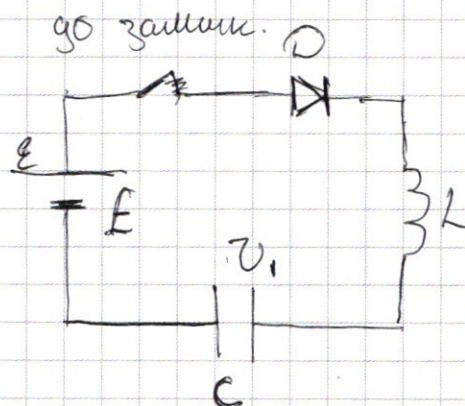
$$L \frac{dI}{dt} = V_L$$

$$\frac{dI}{dt} = \frac{V_L}{L} = \frac{\mathcal{E} - V_0 - V_1}{L} = \frac{6 - 2 - 1}{0,1} =$$

$$= 30 \text{ А/с}$$

Ответ 1) $\frac{dI}{dt} = 30 \text{ А/с}$

2) если в цепи идет ток, то её можно



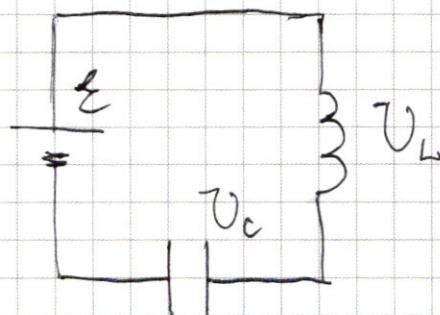
заменить эквивалентной цепью без Д и С $\mathcal{E}' = \mathcal{E} - V_1 = 5\text{В}$

$$V_c > V_1$$

$$\mathcal{E}' = V_c + V_L$$

$$V_L = \mathcal{E}' - V_c = \mathcal{E}' - \frac{q}{C}$$

$$\Delta q = q - q_0 \quad q_0 = V_1 C$$



$$V_L = \mathcal{E}' - \frac{\Delta q}{C} + \frac{q_0}{C} = \mathcal{E}' + V_1 - \frac{\Delta q}{C} = 0$$

сила тока будет максимальной в тот момент, когда он перестанет возрастать $\Rightarrow V_L = 0$

$$\frac{\Delta q}{C} = \mathcal{E}' - V_1$$

из ЗСЭ

$$W_{co} + \mathcal{E} \Delta q = W_{ck} + \frac{L I_{\max}^2}{2}$$

$$\Delta q = \int_0^{I_{\max}} I dt$$

$I_{\max}$

$$W_{ck} = \frac{C \mathcal{E}'^2}{2} - \text{энергия С в момент, когда в L максим ток}$$

$$\text{т.к. } V_c^* = \mathcal{E}' \text{ при } I_{\max}$$

$$\frac{C V_1^2}{2} + \mathcal{E} \Delta q = \frac{C \mathcal{E}'^2}{2} + \frac{L I_{\max}^2}{2}$$

$$\Delta q = C \mathcal{E}' - C V_1 = C \Delta V$$

$$\frac{C V_1^2}{2} + \mathcal{E} C (\mathcal{E}' - V_1) - \frac{C \mathcal{E}'^2}{2} = \frac{L I_{\max}^2}{2}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

и (продолж.)

$$L I_{\max}^2 = C U_1^2 + 2 \varepsilon C (\varphi' - U_1) - \frac{C \varepsilon'^2}{2}$$

$$I_{\max} = \sqrt{\frac{C (U_1^2 + 2 \varepsilon (\varphi' - U_1) - \varepsilon'^2)}{L}}$$

$$= \sqrt{\frac{4 \cdot 10^{-5}}{10^{-1}} (2^2 + 2 \cdot 6 \cdot (5 - 3) - 5^2)} =$$

$$= 2 \cdot 10^{-2} \sqrt{4 + 24 - 25} = 2 \sqrt{3} \cdot 10^{-2} \text{ A} \approx 3,4 \cdot 10^{-2} \text{ A}$$

Отв 2) $I_{\max} \approx 0,034 \text{ A}$

3) после того, как конденсатор зарядится до ε' ~~и ток~~ ток в цепи перестанет течь, но ~~он~~ ещё останется в катушке.

После того, как она "разрядится" диод не даст заряду конденсатора течь.

W' - конеч. энергия конд. U_k - конеч. напр.

$$W' = W_{\text{ск}} + \frac{L I_{\max}^2}{2} = \frac{C U_1^2}{2} + \varepsilon C (\varphi' - U_1) = \frac{C U_k^2}{2}$$

$$U_k^2 = U_1^2 + 2 \varepsilon (\varphi' - U_1)$$

$$U_k = \sqrt{U_1^2 + 2\mathcal{E}(\mathcal{E}' - U_1)} = \sqrt{2^2 + 62(5-3)} = \sqrt{4 + 24} =$$

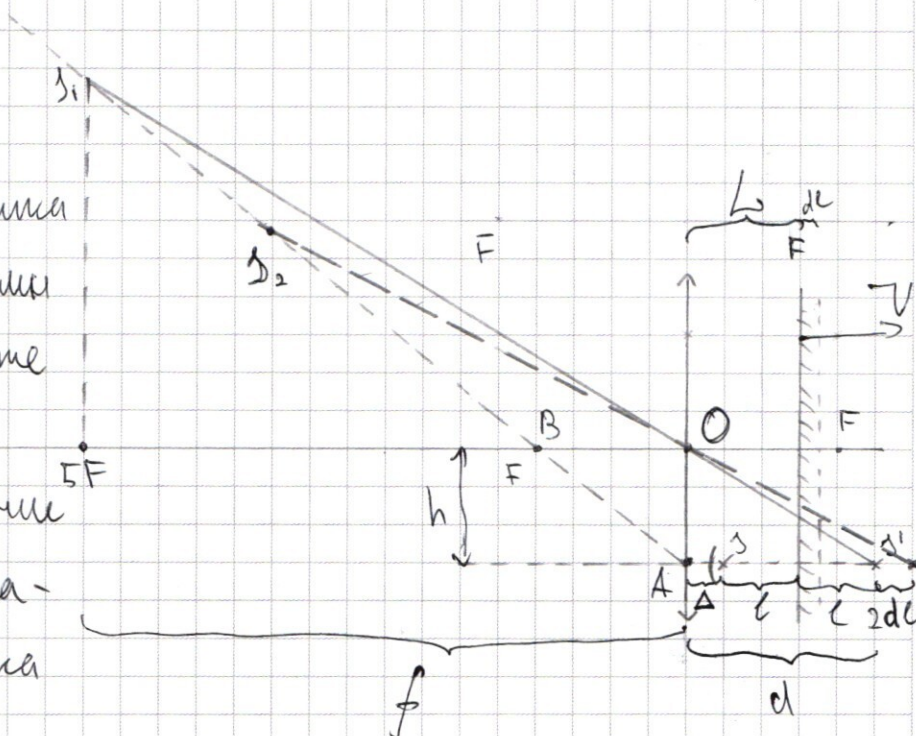
$$= 2\sqrt{7} \text{ В}$$

Ответ 3) $U_k = 2\sqrt{7} \text{ В}$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

√5.

1) отраженные от
зеркала лучи источника
совпадают с минимумами
лучами его изображе-
ния $\Rightarrow$ д можно
считать расстояние
от луча до изобра-
жения источника
в зеркале - Δ



$$d = \Delta + 2L = \frac{F}{4} + \frac{2F}{2} = \frac{5}{4}F$$

$$\Delta = \frac{F}{4}$$

$$L = \frac{5}{4}F - \Delta = \frac{3}{4}F - \frac{F}{4} = \frac{F}{2}$$

Вспомогательная формула точки линзы

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{f} + \frac{1}{d}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{F} - \frac{1}{d}$$

$$f = \frac{dF}{d-F} = \frac{\frac{5}{4}F \cdot F}{\frac{5}{4}F - F}$$

$$= \frac{\frac{5}{4}F}{\frac{1}{4}} = 5F$$

Ответ 1) $f = 5F$

2) зеркало перемещается вниз и движется
вдоль $\Gamma OO \Rightarrow$ объект $S - S'$ движется
так же $\parallel \Gamma OO \Rightarrow$ ее изображение все время
будет на прямой AB , где A - точка пересек
луча $S \parallel \Gamma OO$, а B - фокус, с другой стороны
линзы от предмета.

O - оптич. центр линзы

$\triangle BOA$ прямоугольн.

$$OA = h = \frac{3}{4} F$$

$$OB = F$$

Изображение движется вдоль $AB \Rightarrow$ тангенс
между векторами его скорости и $\Gamma OO = \tan \angle OBA =$
 $= \frac{OA}{OB} = \frac{\frac{3}{4} F}{F} = \frac{3}{4} = \tan \alpha$

Ответ 2) $\tan \alpha = \frac{3}{4}$

3) При сдвиге зеркала на d изображение
 $S - S'$ движется на $2d \Rightarrow$

$\Rightarrow v$ - скорость S' $v = 2V$

u - скорость S , - объект данного линзы

$$\Gamma^2 = \frac{u}{v} \quad \Gamma = \frac{f}{d}$$

$$\frac{u}{v} = \frac{f^2}{d^2}$$

$$u = \left(\frac{f}{d} \right)^2 v = \left(\frac{5F}{5F} \right)^2 v = 16v = 32V$$

Ответ 3) $u = 32V$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

~3.

$$d \ll R \Rightarrow$$

$\Rightarrow$ можно считать, что
в центре конденсатора
однородное электрич
еское поле

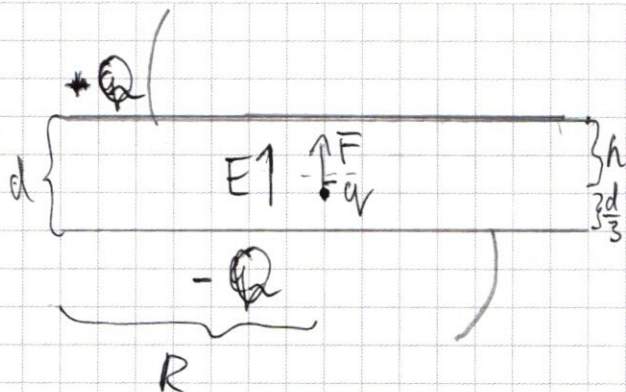
r - расстояние от $-q$ до середины между
облаками

$$r = \frac{d}{2} - \frac{d}{3} = \frac{d}{6}$$

$$F = E q = \frac{k \Delta Q}{d^2} = \frac{2kQ}{d^2} q$$

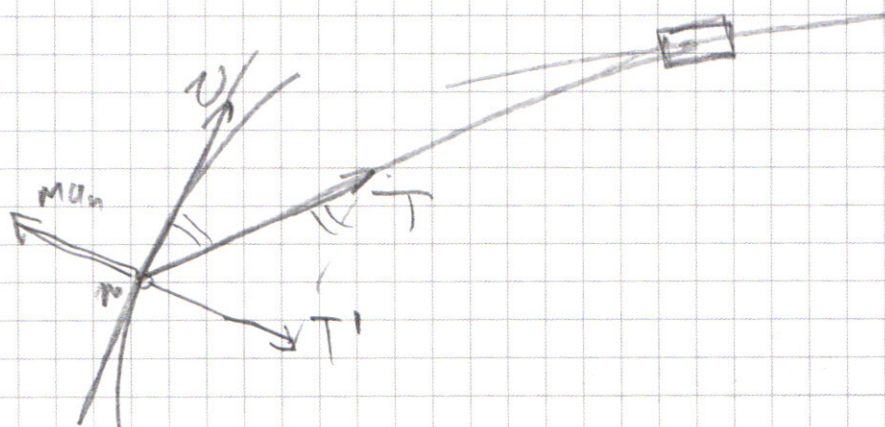
$$a = \frac{F}{m} = \frac{2kQ}{d^2} \frac{q}{m} = \frac{2kQ}{d^2} \cdot \gamma$$

$$r = \frac{a t^2}{2} \quad t = \sqrt{\frac{2r}{a}} = \sqrt{\frac{2 \frac{d}{6}}{\frac{2kQ}{d^2} \gamma}} = \sqrt{\frac{d^3}{6kQ\gamma}}$$



$$E = \frac{U}{d} = \frac{Q/C}{d} = \frac{\cancel{Q} \cdot \cancel{d}}{d^2 \epsilon_0 \epsilon_s} = \frac{Q}{d \epsilon_0 \epsilon_s} = \frac{Q}{\epsilon_0 \epsilon_s d}$$

$$\frac{Q}{C} = \frac{Qd}{\epsilon_0 \epsilon_s} \Rightarrow E = \frac{Q}{\epsilon_0 \epsilon_s d}$$

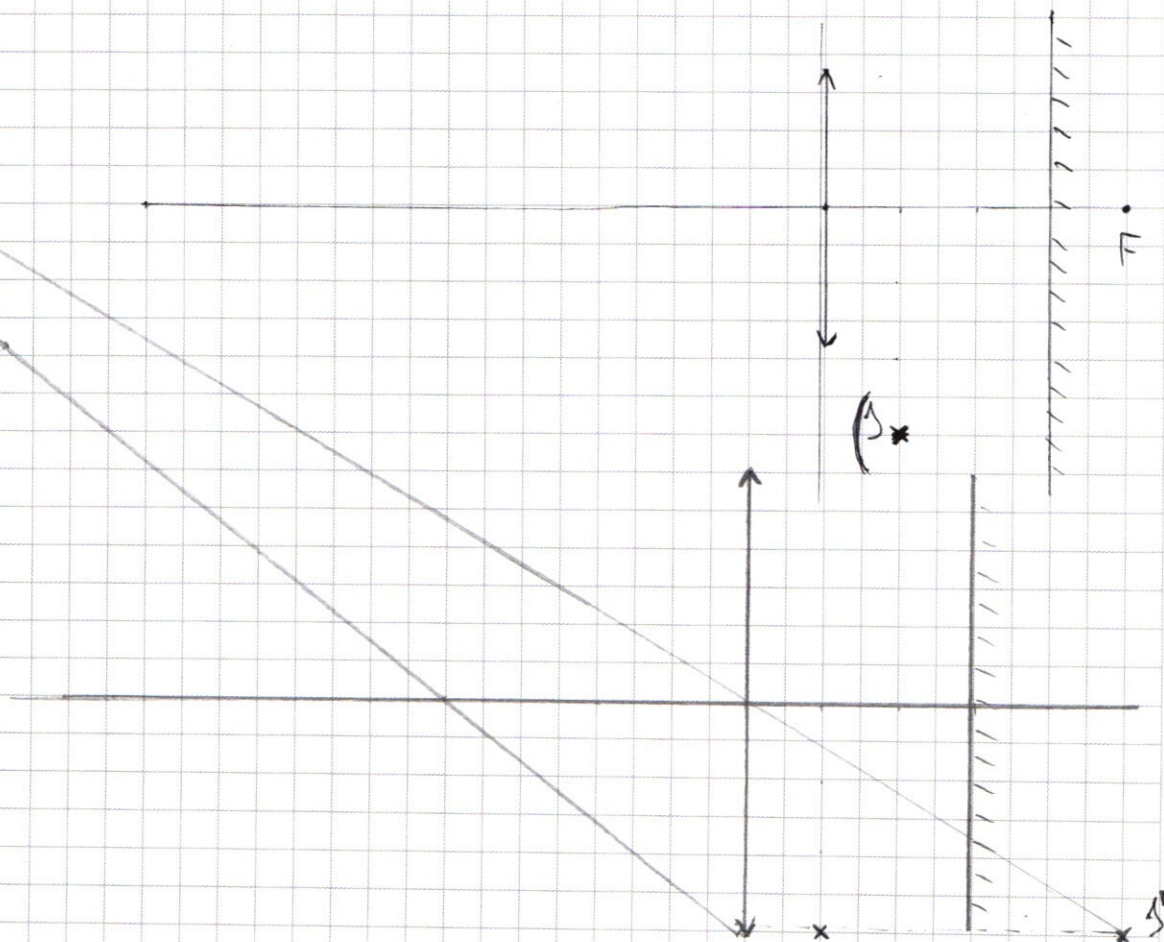


$$\frac{0,3 \cdot \frac{0,5^2}{0,53}}{0,8} = \frac{0,3 \cdot 0,5^2}{0,8 \cdot 0,53} = \frac{0,15}{1,6 \cdot 0,53} =$$

$$= \frac{1}{1,6 \cdot 3,5} =$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№ 5.



$$V' = V \cos \alpha = 30 \text{ м/с}$$

$$u = V \cos \alpha \cos \beta = \frac{30}{5} \cdot \frac{3}{5} = 18$$

$$u = \frac{V \cos \alpha}{\cos \beta} = \frac{30}{\frac{3}{5}} = 50$$

$$0,34^2 + 0,5^2 - 2 \left(\frac{15}{17} \cdot \frac{3}{5} - \frac{8}{17} \cdot \frac{4}{5} \right) 0,34 \cdot 0,5 =$$

$$= 0,34^2 + 0,5^2 - 2 \left(\frac{45 - 32}{17 \cdot 5} \cdot 0,34 \cdot 0,5 =$$

$$= 0,34^2 + 0,5^2 - 2 \cdot \frac{13}{17 \cdot 5} \cdot 0,02 \cdot 0,1 =$$

$$= 0,1156 + 0,25 - 0,052 =$$

$$\frac{2 \cdot 13}{17 \cdot 5} \cdot 0,02 \cdot 0,18$$

$$\begin{array}{r} 34 \\ \times 34 \\ \hline 136 \\ 102 \\ \hline 1156 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 1156 \\ \times 2506 \\ \hline 520 \\ 4176 \\ \hline 64 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 289 \\ \times 225 \\ \hline 64 \end{array}$$

$$0,52 \cdot \frac{0,18}{5} =$$

$$= 0,104 \cdot 0,18$$

$$\begin{array}{r} 1156 \\ \times 324 \\ \hline \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 104 \\ \times 18 \\ \hline 832 \\ 104 \\ \hline 1872 \\ 11560 \\ 3240 \\ \hline 2 \end{array}$$

$$\frac{0,3 \cdot 0,18^2}{0,424} = \frac{0,3 \cdot 0,324}{0,424} =$$

$$Q_{\text{заг}} = \frac{1}{2} V_1 (p_2 - p_1) + \frac{i+2}{2} p_2 (V_3 - V_1) - \frac{1}{2} (p_3 V_3 - p_1 V_1)$$

$$- \frac{1}{2} (p_3 V_3 - p_1 V_1) = 3V_1 p_2 - 3V_1 p_1 + 5p_2 V_3 - 5p_2 V_1 -$$

$$- 4p_3 V_3 + 4p_1 V_1 = p_1 V_1 - 2p_2 V_1 + 5p_2 V_3 - 4p_3 V_3$$