

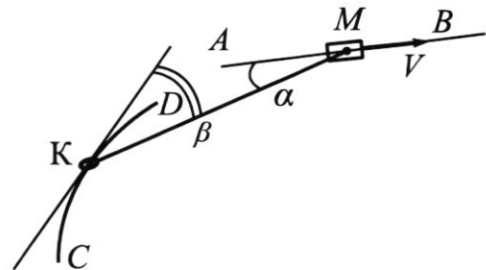
Олимпиада «Физтех» по физике, 11 класс

Класс 11

Вариант 11-02

Бланк задания обязательно должен быть вложен в работу. Работы без вложения бланка задания не принимаются.

1. Муфту M двигают со скоростью $V = 40$ см/с по горизонтальной направляющей AB (см. рис.). Кольцо K массой $m = 1$ кг может двигаться без трения по проволоке CD в виде дуги окружности радиусом $R = 1,7$ м. Кольцо и муфта связаны легким тросом длиной $l = 17R/15$. Система находится в одной горизонтальной плоскости. В некоторый момент трос составляет угол α ($\cos \alpha = 3/5$) с направлением движения муфты и угол β ($\cos \beta = 8/17$) с направлением движения кольца.



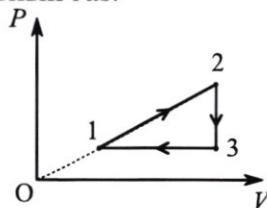
- 1) Найти скорость кольца в этот момент.
- 2) Найти скорость кольца относительно муфты в этот момент.
- 3) Найти силу натяжения троса в этот момент.

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 понижение температуры газа.

2) Найти для процесса 1-2 отношение количества теплоты, полученной газом, к работе газа.

3) Найти предельно возможное максимальное значение КПД такого цикла.



3. Обкладки конденсатора – квадратные металлические сетки, сторона квадрата во много раз больше расстояния d между обкладками. Положительно заряженная частица движется на большом расстоянии к конденсатору по оси симметрии, перпендикулярно обкладкам, влетает в него со скоростью V_1 и останавливается между обкладками на расстоянии $0,2d$ от положительно заряженной

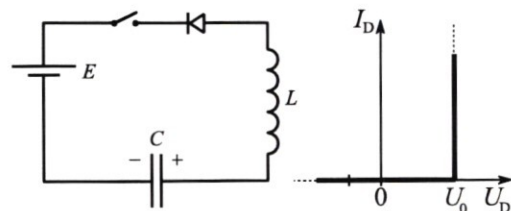
обкладки. Удельный заряд частицы $\frac{q}{m} = \gamma$.

- 1) Найдите продолжительность T движения частицы в конденсаторе до остановки.
- 2) Найдите напряжение U на конденсаторе.
- 3) Найдите скорость V_0 частицы 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 $E = 3$ В, конденсатор емкостью $C = 20$ мкФ заряжен до напряжения $U_1 = 6$ В, индуктивность идеальной катушки $L = 0,2$ 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.

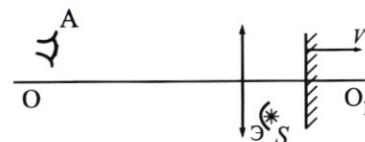


5. Оптическая система состоит из тонкой линзы с фокусным расстоянием F , плоского зеркала и небольшого экрана $\mathcal{E}$, расположенного так, что свет от источника S может попасть на линзу только после отражения от зеркала (см. рис.). Зеркало расположено перпендикулярно главной оптической оси OO_1 линзы. Источник S находится на расстоянии $8F/15$ от оси OO_1 и на расстоянии плоскости $F/3$ от линзы. Линза и источник неподвижны, а зеркало движется со скоростью V вдоль оси OO_1 . В некоторый момент зеркало оказалось на расстоянии F от линзы.

1) На каком расстоянии от плоскости линзы наблюдатель A 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

$$\vec{v}_A = \vec{v}_{\text{omk.}} + \vec{v}_{\text{neg.}}$$

$$\vec{v}_{\text{omk.}} = \vec{v}_A - \vec{v}_{\text{neg.}}$$

$$\begin{array}{r} 051 \\ 04 \\ \hline + 0204 \\ 02601 \\ \hline \cancel{04601} \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 177 \\ 177 \\ \hline + 119 \\ 177 \\ \hline 289 \end{array}$$

$$Eg = \max_{a \in E} g$$

$$\begin{array}{r} 0.51 \\ + 0.51 \\ \hline 1.02 \\ + 1.51 \\ \hline 2.53 \\ \hline 0.2601 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 1 \\ 02601 \\ + 016 \\ \hline 0,4201 \end{array}$$

$$\frac{2}{3} \cdot \frac{1}{\cancel{4}2} = \frac{1}{6}$$

$$P_1 V_1 - P_2 V_2$$

$$\begin{array}{r} 85.7 \\ \times 2 \\ \hline 171.4 \end{array}$$

$$p_2 V_2 - p_1 V_2 - V_1 p_2 + p_1 V_1$$

$$\begin{array}{r} 4 \\ 12,76 \overline{) 85} \\ \underline{85} \\ 0,00 \end{array} \quad \begin{array}{l} P_{LK} - 1 \cdot V_{LK} - 1 \\ P_{LK} V_{LK} - 1 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 0.8 \\ \times 36 \\ \hline 48 \\ 720 \\ \hline 2880 \end{array}$$

2017

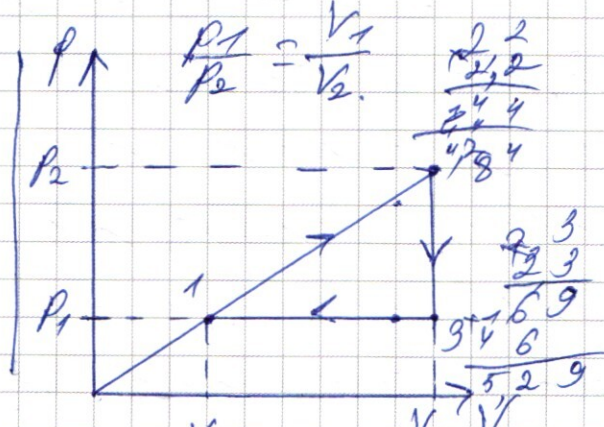
[Handwritten signature]

$$\begin{array}{r} 0,52 \\ 3 \overline{) 1,56} \\ \underline{15} \\ 6 \\ \underline{6} \\ 0 \end{array}$$

$$P_2 = K P_1$$

$$V_2 = KV_1 \quad (P_2 V_2 = P_1 V_1)$$

$$A = \frac{(P_2 - P_1) \cdot (V_2 - V_1)}{8}$$



$$\Delta Q_1 = A'_{13} + \Delta U_{13} = \frac{p_1 + p_2}{2} (V_2 - V_1) - \frac{3}{2} (p_2 V_2 - p_1 V_1) = \frac{(p_2 V_2 - p_1 V_1)}{2} + \frac{3}{2} (p_2 V_2 - p_1 V_1) = 2(p_2 V_2 - p_1 V_1)$$

$$\eta_1 = \frac{P_1 V_1 (K-1)^2}{2 P_1 V_1 (K^2-1)} = \frac{(K-1)(K-1)}{2(K-1)(K+1)} = \frac{K-1}{2(K+1)}$$

$$\begin{array}{r} 21 \\ 21 \\ \times 25 \\ \hline 105 \\ 420 \\ \hline 10625 \end{array}$$

$$\frac{h \cdot \mu^2}{k_B} = \frac{\mu \cdot k_B}{k_B \cdot C^2}$$

$$\cancel{K_L} \cdot [B]_2 = \cancel{Dm} = \cancel{K_L} \cdot \frac{\mu}{c^2} \cdot \mu \cdot \cancel{[B]}$$

$$\frac{K_L}{c^2} \cdot \mu \cdot [B]$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

перпендикуляр к касательной тогда по 3-му
Ньютона

$$m a_{\frac{1}{2}} = T \sin \alpha$$

$$m \frac{v_k}{R} = T \cdot \frac{15}{14} \quad T = \frac{17}{15} m \frac{v_k^2}{R} = \frac{17}{15} \cdot 1 \cdot \frac{0.51^2}{1.7}$$

$$= \frac{10}{15} \cdot 0.51^2 \approx \frac{10}{15} \cdot 0.26 \approx 0.17 \text{ Н.}$$

~~Ответ:~~ Так как трение лёгкий, сила его ма-
жетения постоянна по всей его дли-
не.

Ответ: $v_k = 0.51 \text{ м/с}$, $v_{k.м.} = 0.59 \text{ м/с}$, $T = 0.17 \text{ Н.}$

Задача 2.

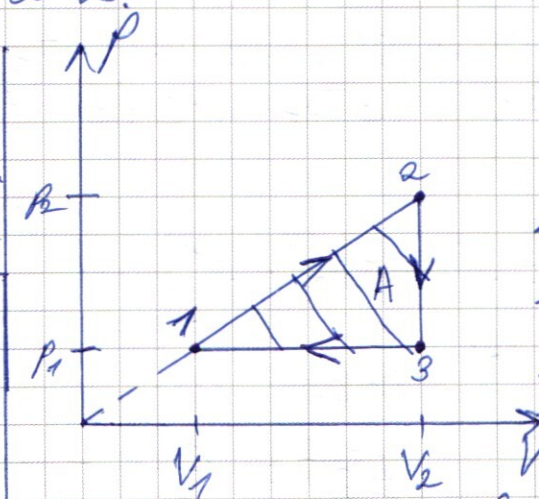
$i = 3$.

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{v_2}{v_1} = k$$

$$\frac{Q_{23}}{Q_{31}} = ?$$

$$\frac{Q_{12}}{A_{12}} = ?$$

$$\eta_{\text{max}} = ?$$



$$dQ = C_V \cdot dT = C_V \cdot \frac{p}{V} dV$$

→ определение для тепло-
емкости

Добавьте найденный
в 1-м термод. для
в 2-м.

$$\Delta Q_{12} = A'_{12} + \Delta U_{12} \quad A'_{12} > 0, \quad \Delta U_{12} > 0$$

$$\Delta Q_{23} = A'_{23} + \Delta U_{23} \quad \Delta U_{23} > 0 \Rightarrow \Delta Q_{23} > 0$$

$$\Delta Q_{31} = A'_{31} + \Delta U_{31}$$

$$A'_{23} = 0, \quad \Delta U_{23} < 0, \text{ т.к.}$$

$$p_1 < p_2 \Rightarrow \Delta Q_{23} < 0$$

$$A'_{31} < 0, \quad \Delta U_{31} < 0 \Rightarrow \Delta Q_{31} < 0$$

$$A'_{12} = \frac{p_1 + p_2}{2} \cdot (V_2 - V_1) \Delta U_{12} = \frac{p_2 - p_1}{2} (V_2 - V_1)$$

$$\Delta Q_{12} = A'_{12} = \frac{p_2 - p_1}{2} (V_2 - V_1)$$

$$\Delta Q_{23} = A'_{23} = \frac{p_2 + p_3}{2} \cdot (V_3 - V_2) \Delta U_{23} = \frac{p_3 - p_2}{2} (V_3 - V_2)$$

$$\Delta Q_{31} = A'_{31} = \frac{p_3 + p_1}{2} \cdot (V_1 - V_3) \Delta U_{31} = \frac{p_1 - p_3}{2} (V_1 - V_3)$$

$$\Delta Q_{12} = A'_{12} = \frac{p_2 - p_1}{2} (V_2 - V_1)$$

$$\Delta Q_{23} = A'_{23} = \frac{p_2 + p_3}{2} \cdot (V_3 - V_2) \Delta U_{23} = \frac{p_3 - p_2}{2} (V_3 - V_2)$$

$$\Delta Q_{31} = A'_{31} = \frac{p_3 + p_1}{2} \cdot (V_1 - V_3) \Delta U_{31} = \frac{p_1 - p_3}{2} (V_1 - V_3)$$

Получается, что тепло к газу поведет так-
ко на участке 1-2 $\Rightarrow \eta = \frac{Q_{12}}{Q_{23}}$ Работа газа

$$\text{равна площади цикла} \Rightarrow A = \frac{(p_2 - p_1)(V_2 - V_1)}{2}$$

$$= \frac{p_1 V_1 (k-1)}{2} \quad \Delta Q_{12} = A'_{12} = \frac{p_2 - p_1}{2} (V_2 - V_1) \Delta U_{12} = \frac{p_2 - p_1}{2} (V_2 - V_1)$$

$$A'_{12} = \frac{p_1 V_1 (k+1)}{2} \cdot V_1 (k-1) = \frac{p_1 V_1}{2} (k^2 - 1) \Delta Q_{12} = \frac{3}{2} p_1 V_1 (k^2 - 1) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \Delta Q_{12} = 2 p_1 V_1 (k^2 - 1).$$

$$\eta = \frac{\left(\frac{p_1 V_1 (k-1)}{2} \right)^2}{\left(\frac{3}{2} p_1 V_1 (k^2 - 1) \right)} = \frac{p_1 V_1 (k-1)^2}{3 p_1 V_1 (k^2 - 1)} = \frac{k-1}{3(k+1)}.$$

максимум этого выражения. $\eta = \frac{1}{4} \left(\frac{k-1}{k+1} \right) = \frac{1}{4} \left(1 - \frac{2}{k+1} \right)$.

Поградику видно, что $k > 0$, а из этого выражения видно, что где $k = 0$, или большие k , тем больше и $\eta \Rightarrow \eta_{\max} = \frac{1}{4}$ при $k \rightarrow +\infty$.

$$A'_{12} = \frac{p_1 V_1}{2} (k^2 - 1) \Delta Q_{12} = 2 p_1 V_1 (k^2 - 1) = \frac{A'_{12}}{2} = \frac{1}{4}.$$

$$\Delta Q_{23} = C V_{23} \cdot \Delta T_{23} = \frac{3}{2} R \Delta T_{23} = \frac{3}{2} R = C V_{23} \Delta T_{23} < 0$$

$$\Delta Q_{31} = C V_{31} \cdot \Delta T_{31} = \frac{3}{2} (R \Delta T_{31}) - p_1 (V_2 - V_1) \Delta T_{31} < 0$$

$$\frac{3}{2} R \Delta T_{31} - p_1 V_2 + p_1 V_1 \Delta T_{31} = 0 \quad V_2 = k V_1.$$

$$\Delta T_{31} = T_3 - T_1. \quad p_1 V_2 = p_1 V_1 k = R T_3. \quad p_1 V_1 = R T_1.$$

$$\Delta Q_{31} = C V_{31} \cdot \Delta T_{31} = \frac{3}{2} (R \Delta T_{31}) + R \Delta T_{31} = \frac{5}{2} R \Delta T_{31} \Rightarrow C V_{31} = \frac{5}{2} R \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{C V_{31}}{C V_{23}} = \frac{5}{3}$$

$$\text{Ответ: } \frac{C V_{23}}{C V_{31}} = \frac{3}{5}; \quad \frac{A'_{12}}{\Delta Q_{12}} = \frac{1}{4}; \quad \eta_{\max} = \frac{1}{4} = 0,25$$

Задача 8.

Дано:

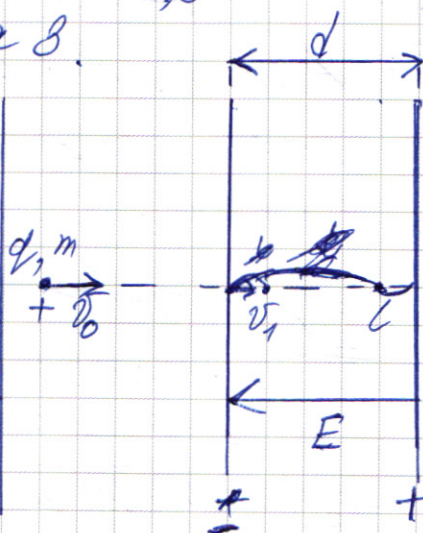
$$d, \frac{q}{m} = \gamma$$

$$L = 0, d$$

$$V_1.$$

$$T = ?$$

$$U = ? \quad V_0 = ?$$



ЗСЭ:

$E q L = \frac{m V_1^2}{2}$ — работа поля по торможению частицы равна её кин. энергии

$$E = \frac{m V_1^2}{2 q L} = \frac{V_1^2}{2 \gamma d} = \frac{V_1^2}{2 \cdot 0,8 d} =$$

$$= \frac{5 V_1^2}{8 \gamma d} \quad U = E d = \frac{5}{8} \frac{V_1^2}{\gamma}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$F_m = Eq$ — тормозящая сила эл. поля, действующая на частицу. $F_m = ma$ $v_1 T = \frac{a T^2}{2} = d - L$ —

з-н Ньютона и закон движения с пост. ускорением. За время T частица затормозит $\Rightarrow$

$$v_1 T = \frac{a T^2}{2} = d - L$$

$$v_1 = a T$$

$$v_1 = Eq T \quad T = \frac{v_1}{Eq}$$

$$d = 25 v_1^2 = 40 Eq$$

$$= \frac{v_1}{Eq} \cdot \frac{2v_1}{1} \cdot \frac{8 \mu d}{5 v_1^2} = \frac{8 d}{5 v_1}$$

Вне конденсатора эл. поле равно 0 $\Rightarrow$

$$v_0 = v_1 \quad T = 1,6 d \quad U = 9625 \frac{v_1^2}{J}$$

Ответ: $T = \frac{8 d}{5 v_1}$, $U = \frac{5 v_1^2}{8 J}$, $v_0 = v_1$.

Задача 4.

Дано:

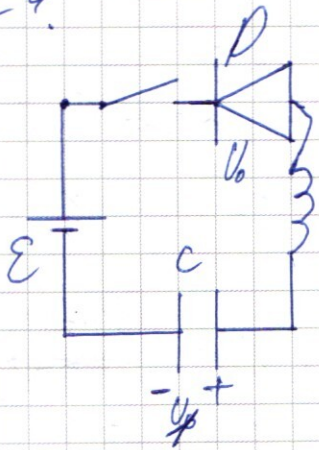
$$E = 3 \text{ В}$$

$$U_d = 6 \text{ В}$$

$$C = 20 \text{ мкФ}$$

$$L = 0,2 \text{ Гн}$$

$$U_0 = 1 \text{ В}$$



* Правило Кирхгофа для замкнутого контура в цепи:

$$U_d - L \frac{dI_0}{dt} - U_C - E = 0$$

$$L \frac{dI_0}{dt} = U_d - U_C - E = 6 - 1 - 3 = 2 \text{ В}$$

$$\frac{dI_0}{dt} = \frac{2 \text{ В}}{0,2 \text{ Гн}} = 10 \frac{\text{А}}{\text{с}}$$

Второй закон Кирхгофа для цепи не применим $\Rightarrow$

$$E_i = 0 \Rightarrow \text{по II правилу Кирхгофа}$$

$$U_2 - U_0 = E \Rightarrow U_2 = 3 + 1 = 4 \text{ В. Из-за того, что}$$

$$\frac{dI_0}{dt} \text{ — ?}$$

$$I_{\text{max}} \text{ — ?}$$

$$U_C \text{ — ?}$$

не пропускает ток в обр. напр.

диод ~~идеальный~~, источник не сможет поменять полярность конденсатора, поэтому в правые киралографа именно такой знак перед U_2' .

U_2' — напряжение конд. при $E_1 = 0$.

Поскольку в правые киралографа $U_c - E_1 = \frac{E + U_0}{U_0 + E} = \text{const}$, то чем больше разряжается конденсатор, тем меньше E — ЭДС самоиндукции катушки, а $|E_1| = L \frac{dI}{dt} \Rightarrow$ когда на конд. будет U_2' , через катушку будет течь макс. ток.

$$\text{ЗСЭ: } \frac{CU_1^2}{2} = \frac{CU_2'^2}{2} + \frac{LI_{\text{max}}^2}{2} + \frac{LI_{\text{max}}^2}{2} + \frac{C(U_1 - U_2')^2}{2}$$

$$\frac{20 \cdot 10^{-6} I_{\text{max}}^2}{2} + \frac{20 \cdot 10^{-6}}{2} (36 - 16)$$

$$I_{\text{max}} = 10^{-4} \cdot 20 \quad I_{\text{max}} \approx 10^{-2} \cdot 20 \cdot 2 = 0,2 \cdot 2 \cdot 2 = 0,8 \text{ А}$$

$$\approx 0,02 \cdot 2,25 = 4,5 \cdot 10^{-5} \approx 0,45 \cdot 10^{-4} = 0,45 \text{ мА}$$

Прошедший заряд равен $C(U_1 - U_2')$

$$\text{ЗСЭ: } \frac{CU_1^2}{2} = \frac{CU_2'^2}{2} + \frac{LI_{\text{max}}^2}{2} + (U_0 + E)(U_1 - U_2')C$$

$$LI_{\text{max}}^2 = C(U_1^2 - U_2'^2 - (U_1 - U_2')(U_0 + E)) -$$

Подставим числа: $0,2 I_{\text{max}}^2 = 20 \cdot 10^{-6} (36 - 16 - 2 \cdot 4) =$
 $= 20 \cdot 10^{-6} \cdot 12 \quad I_{\text{max}}^2 = 12 \cdot 10^{-6} \quad I_{\text{max}} = 0,02 \sqrt{3} \approx$
 $\approx 0,0342 \approx 34 \text{ мА}$

Ответ: $\frac{dI}{dt} = \frac{U}{L}$; $I_{\text{max}} \approx 34 \text{ мА}$; $U_2 = 2 \text{ В}$

Поскольку у катушки еще осталась энергия, она разрядит конд. до $U_2 = 2 \text{ В}$. Катушка может создать любой необходимый э.

$$\frac{CU_1^2}{2} = \frac{CU_2'^2}{2} - \frac{LI_{\text{max}}^2}{2} \quad \text{отсюда } U_2 = 2 \text{ В}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Задача 5. 1-линза 3-зеркало

Дано:

$$F, v$$

$$\frac{F}{3}, \frac{8}{15} F$$

$d = ?$

$L = ?$

$v_i = ?$

$$\frac{1}{(\frac{F}{3})} + \frac{1}{d} = \frac{1}{F}, \quad \frac{1}{d} = \frac{1}{F} - \frac{3}{5F}, \quad \frac{1}{d} = \frac{2}{5F}, \quad d = \frac{5}{2} F.$$

$$\operatorname{tg} L = \frac{(\frac{8}{15} F)}{(\frac{5}{2} F)} = \frac{8}{15} \cdot \frac{2}{5} = \frac{8}{25}.$$

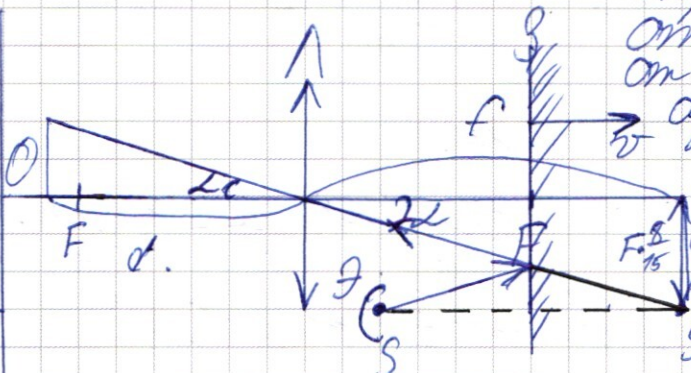
Относительно линзы изображение движется со скоростью $2v$. Тогда для наблюдателя $v_i = \Gamma \cdot 2v$ — по формуле $v = \Gamma \cdot v'$ для объекта, движущегося вдоль ΓO , где Γ — линейное увеличение линзы $\Gamma = \frac{v}{v'} = \frac{(\frac{5}{2} F)}{(\frac{F}{3})} = 2$.

$$v_i = 2 \cdot 2v = 4v.$$

$$\text{Ответ: } d = \frac{5}{2} F; \operatorname{tg} L = \frac{8}{25}; v_i = 4v$$

$$d = 2,5 F \quad \operatorname{tg} L = 0,32 \quad v_i = 4,5 v$$

Отражая источник от зеркала, тогда от него можно будет увидеть луч как от реального, чтобы найти, на каком расстоянии от линзы будет видно.



$$Eq \cdot \frac{4}{5}d = \frac{m v_1^2}{2}$$

$$E = \frac{5 m v_1^2}{8 q d} = \frac{5 v_1^2}{8 q d}$$

$$\frac{5 v_1^2}{8 d} \cdot T = \cancel{v_1} \quad T = \frac{8 d}{5 v_1}$$

$$Eq = m a.$$

$$a = Ej.$$

$$\frac{5 v_1^2}{8 q d} \cdot j = \frac{5 v_1^2}{8 d}.$$

$$\begin{array}{r} 80 \overline{) 25} \\ \underline{40} \\ 45 \\ \underline{40} \\ 50 \end{array}$$

$$\frac{C U_2^2}{2} = \frac{L I_{max}^2}{2} + \frac{C U_3^2}{2}.$$

$$\frac{20 \cdot 10^{-6} \cdot 16}{2} - \frac{0,2 \cdot 12 \cdot 10^{-4}}{2} = \frac{C U_3^2}{2}.$$

$$82 \cdot 10^{-5} - 24 \cdot 10^{-5} = 8 \cdot 10^{-4} = 20 \cdot 10^{-6} \cdot U_3^2$$

$$U_3 = 2 \text{ В.}$$



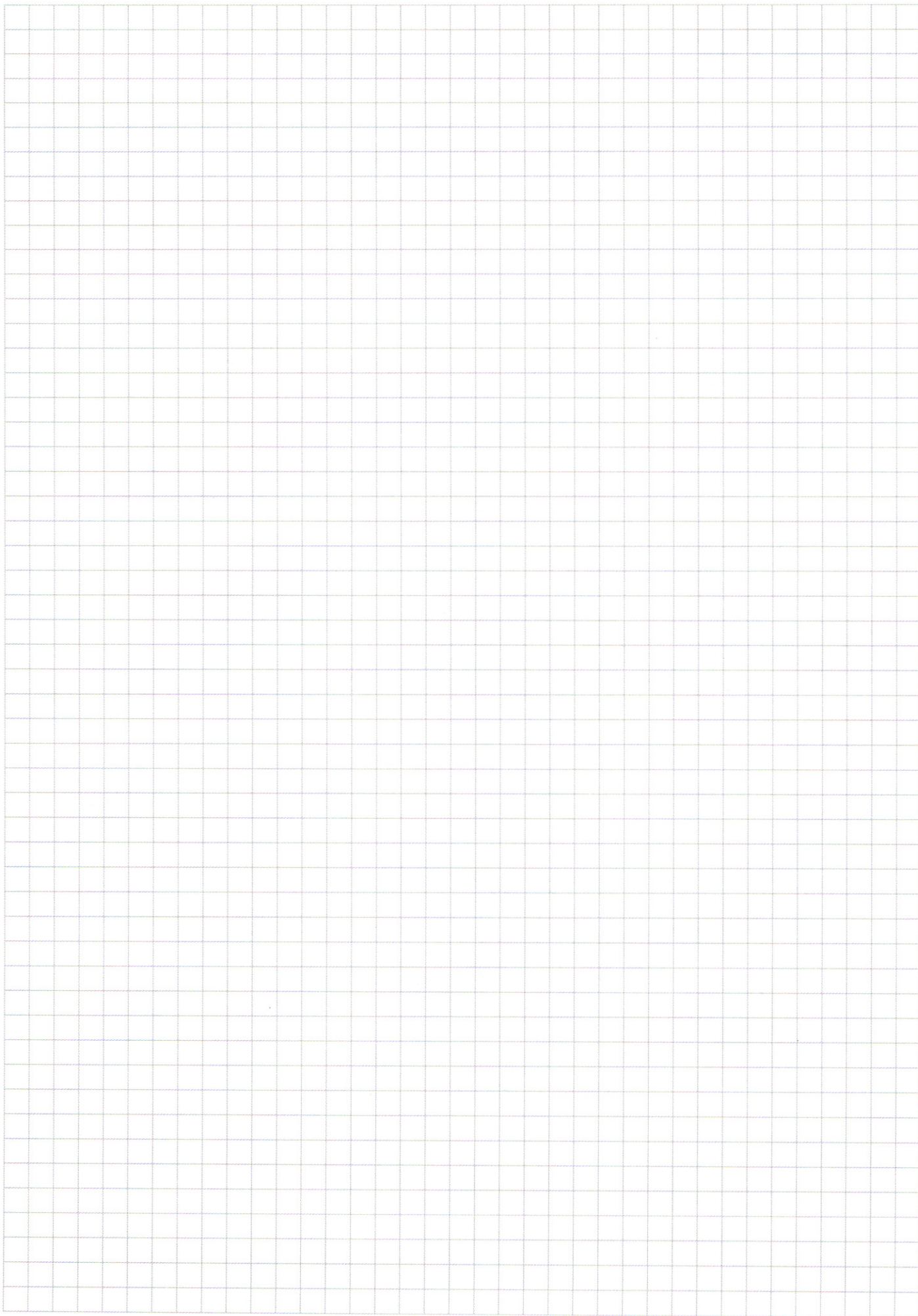
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ

«МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ)»

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

☐ черновик ☐ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)



☐ черновик ☐ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №
(Нумеровать только чистовики)