

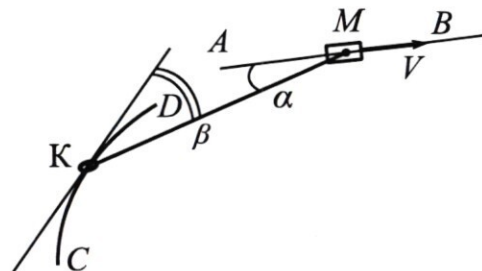
Олимпиада «Физтех» по физике, ф

Вариант 11-03

Класс 11

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.



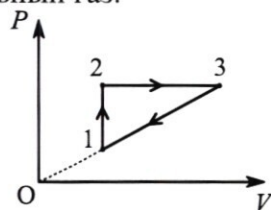
- 1) Найти скорость кольца в этот момент.
- 2) Найти скорость кольца относительно муфты в этот момент.
- 3) Найти силу натяжения нити в этот момент.

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.



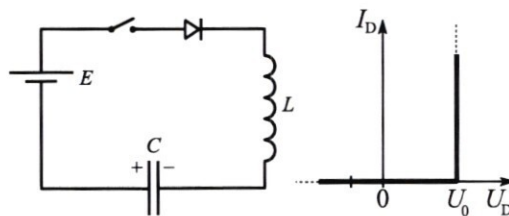
3. Обкладки конденсатора – круглые металлические сетки, радиус обкладок намного больше расстояния d между обкладками. Из точки, находящейся между обкладками на оси симметрии на расстоянии $0,3d$ от отрицательно заряженной обкладки стартует с нулевой начальной скоростью отрицательно заряженная частица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

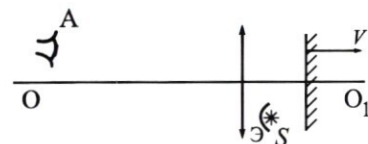
замыкания ключа.

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 $F/4$ 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.

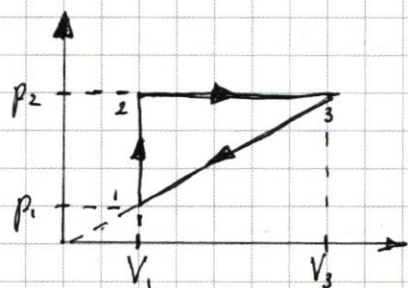
1) На каком расстоянии от плоскости линзы наблюдатель А сможет увидеть в этот момент изображение источника в системе?

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) $\frac{C_{23}}{C_{12}} - ?$

$$C_{23} = C_p = \left(\frac{\gamma}{2} + 1\right) R; \quad C_{12} = C_v = \frac{\gamma}{2} R$$

$$\frac{C_{23}}{C_{12}} = \frac{\gamma + 2}{\gamma}$$

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

2) $\frac{\Delta U_{23}}{A'_{23}} - ?$

$$\Delta U_{23} = \frac{\gamma}{2} 2R(T_3 - T_2) = \frac{\gamma}{2} p_2(V_3 - V_1)$$

$$A'_{23} = p_2(V_3 - V_1)$$

$$\frac{\Delta U_{23}}{A'_{23}} = \frac{\gamma}{2} \Rightarrow \frac{\Delta U_{23}}{A'_{23}} = \frac{3}{2}$$

3) $\eta = \frac{A'}{Q_1}$; $A' = A'_{23} + A'_{31} = p_2(V_3 - V_1) - (p_1 + p_2)(V_3 - V_1) + (p_2 - p_1)(V_3 - V_1)$

$$Q_1 = Q_{12} + Q_{23} = \frac{\gamma}{2} 2R(T_2 - T_1) + \frac{\gamma}{2} 2R(T_3 - T_2) + p_2(V_3 - V_1) =$$

$$= \frac{\gamma}{2} (p_2 - p_1) V_1 + \frac{\gamma}{2} p_2 (V_3 - V_1) + p_2 V_3 - p_2 V_1 = \frac{\gamma}{2} p_2 V_1 - \frac{\gamma}{2} p_1 V_1 + \frac{\gamma}{2} p_2 V_3 -$$

$$- \frac{\gamma}{2} p_2 V_1 + p_2 V_3 - p_2 V_1 = \frac{\gamma}{2} (p_2 V_3 - p_1 V_1) + p_2 (V_3 - V_1)$$

$$\frac{p_2}{V_3} = \frac{p_1}{V_1} \Rightarrow p_2 = p_1 \frac{V_3}{V_1} \Rightarrow A' = p_1 \left(\frac{V_3 - V_1}{2 V_1} \right) (V_3 - V_1) = \frac{p_1}{2 V_1} (V_3 - V_1)^2$$

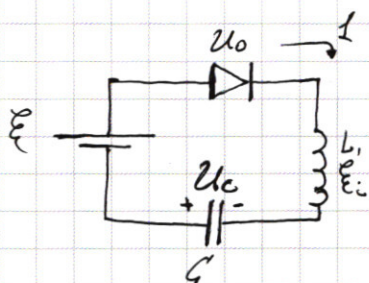
$$Q_1 = \frac{\gamma}{2} \left(\frac{p_1 V_3^2}{V_1} - p_1 V_1 \right) + \frac{p_1 V_3}{V_1} (V_3 - V_1) = \frac{p_1}{V_1} \left(\frac{\gamma}{2} (V_3^2 - V_1^2) + V_3^2 - V_1 V_3 \right) =$$

$$= \frac{p_1}{V_1} (V_3 - V_1) \left(\left(\frac{\gamma}{2} + 1 \right) V_3 + \frac{\gamma}{2} V_1 \right)$$

$$\Rightarrow \eta = \frac{\frac{p_1}{2 V_1} (V_3 - V_1)^2}{\frac{p_1}{V_1} (V_3 - V_1) \left(\left(\frac{\gamma}{2} + 1 \right) V_3 + \frac{\gamma}{2} V_1 \right)} = \frac{\frac{1}{2} (V_3 - V_1)}{\left(\frac{\gamma}{2} + 1 \right) V_3 + \frac{\gamma}{2} V_1} = \frac{V_3 - V_1}{(\gamma + 2) V_3 + \gamma V_1}$$

Пусть: $V_3 = k V_1 \Rightarrow \eta = \frac{k V_1 - V_1}{(\gamma + 2) k V_1 + \gamma V_1} = \frac{k - 1}{(\gamma + 2) k + \gamma} = \frac{k - 1}{5k + 3}$

$$= \frac{1}{5} - \frac{2}{5(5k + 3)}; \quad k > 1 \Rightarrow \boxed{\eta_{\max} = \frac{1}{5} = 0.2}$$



✓ 4.
1) В начальный момент времени:

$$\xi - U_0 + U_1 = L \cdot \dot{I}_0 \Rightarrow \boxed{\dot{I}_0 = \frac{\xi - U_0 + U_1}{L}} \quad \dot{I}_0 = \frac{7B}{0,1H} = 70 \frac{B}{с}$$

2) До того, как диод закроется:

$$\xi - U_0 + U_1 - \frac{\Delta q}{C} = 0 \quad (\Delta q - \text{перетекший на конденсатор заряд})$$

$$-\frac{\Delta q}{C} + (\xi + U_1 - U_0) = L \cdot \dot{I} = 0, \quad \dot{I} = \Delta \ddot{q} \Rightarrow$$

$$-\frac{\Delta q}{CL} + \Delta \ddot{q} = 0 \Rightarrow \text{ур. колебаний для } \Delta q_s = \Delta q - C(\xi + U_1 - U_0)$$

$$\omega_0^2 = \frac{1}{CL}; \quad I(t) = \frac{d}{dt}(\Delta q) = \frac{d}{dt}(\Delta q_s) \Rightarrow I_m = \Delta q_m \cdot \omega_0$$

• $I = I_m$, тогда, когда диод почти уже закроется, а

$$\Delta q = C(\xi - U_0 + U_1) = \Delta q_m \Rightarrow I_m = \frac{C(\xi - U_0 + U_1)}{\sqrt{CL}}$$

$$\boxed{I_m = \sqrt{\frac{C}{L}} (\xi + U_1 - U_0)} \quad I_m = \sqrt{\frac{40 \cdot 10^{-6}}{0,1H}} \cdot 7B = 20 \cdot 7 \text{ мА} = 140 \text{ мА}$$

3) когда диод закроется, вся энергия в катушке ($W_m = \frac{L I_m^2}{2}$) переходит в конденсатор:

$$\Rightarrow \frac{C U_2^2}{2} = \frac{C(\xi - U_0)^2}{2} + \frac{L I_m^2}{2} \Rightarrow U_2^2 = (\xi - U_0)^2 + \frac{L}{C} I_m^2 =$$

$$= \frac{L}{C} + \frac{C}{L} (\xi + U_1 - U_0)^2 + (\xi - U_0)^2 \Rightarrow$$

$$\boxed{U_2 = \sqrt{(\xi + U_1 - U_0)^2 + (\xi - U_0)^2}} \quad U_2 = \sqrt{7^2 B^2 + 5^2 B^2} = \sqrt{74} B \approx 8,3 B$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

3. $d_0 = 0,3d$

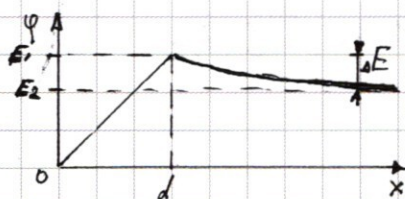
1) Частица ускоряется: $a = \frac{F}{m} = \text{const}$
 $F = |q|E_0$, $E_0 = \frac{\sigma}{\epsilon_0} = \frac{Q}{S\epsilon_0}$
 $\Rightarrow 2a(d-d_0) = v_1^2 \Rightarrow a = \frac{v_1^2}{2(d-d_0)}$
 $\frac{a}{2}T^2 = \left(\frac{d}{2} - d_0\right) \Rightarrow T^2 = \frac{d-2d_0}{a}$
 $T = \sqrt{\frac{d-2d_0}{\frac{v_1^2}{2(d-d_0)}}} \Rightarrow T = \frac{1}{v_1} \cdot \sqrt{2(d-d_0)(d-2d_0)}$
 $T = \frac{1}{v_1} \cdot \sqrt{2 \cdot 0,7d \cdot 0,4d} = \frac{d}{v_1} \sqrt{0,56} = \frac{d}{10v_1} \sqrt{56} = \frac{\sqrt{14}}{5} \frac{d}{v_1}$

2) ~~Теперь о кин. энергии:~~ Теорема о кин. энергии:

$$\frac{mv_1^2}{2} = F(d-d_0) = qE_0(d-d_0) = \frac{qQ}{S\epsilon_0}(d-d_0) \Rightarrow$$

$$Q = \frac{\epsilon_0 m S v_1^2}{2q(d-d_0)} \Rightarrow Q = \frac{\epsilon_0 S v_1^2}{2q(d-d_0)} \quad Q = \frac{\epsilon_0 S m v_1^2}{2q \cdot 0,7d} = \frac{5}{7} \frac{\epsilon_0 S m v_1^2}{qd}$$

3) Вблизи конденсатора поля нет, и заряженная частица продолжает двигаться со скоростью v_1 . Ответ на большое расстояние (такое, что можно считать обкладки точечными зарядами), частица теряет часть скорости из-за того, что положительная масса притягивает её чуть сильнее, чем отрицательная. Но здесь потенциалов.



$$\Delta E = \Delta U \cdot q; \Delta U = \frac{kQ}{d} \Rightarrow$$

$$\frac{mv_1^2}{2} - \frac{mv_2^2}{2} = kqQ$$

$$v_2^2 = v_1^2 - \frac{2kqQ}{m} = v_1^2 - \frac{2kq}{m} \cdot \frac{5}{7} \frac{\epsilon_0 S m v_1^2}{qd}$$

$$v_2 = \sqrt{v_1^2 - \frac{2kq}{m} \cdot \frac{5}{7} \frac{\epsilon_0 S m v_1^2}{qd}}$$

Пусть расстояние, на котором начинается проявление "точечности" источников - z
 Для z : $\frac{kQ}{z^2} = \frac{E_0}{2}$, $\Delta E = q\Delta\varphi$; $\Delta\varphi = \frac{kQ}{z} - \frac{kQ}{z+dz}$

✓3 (кредитные)

$$\Delta \varphi = kQ \left(\frac{d \cdot 2 - r}{r^2} \right) \approx kQ \cdot \frac{d}{r^2}; \quad r^2 = \left(\frac{E_0}{kQ} \right)^{-1} = \frac{2kQ}{E_0}$$

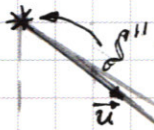
$$\Rightarrow \Delta \varphi = \frac{kQd}{E_0} = \frac{dE_0}{2} = d \cdot \frac{Q}{2\epsilon_0 S} \Rightarrow \Delta E = \frac{dQ}{2\epsilon_0 S} = \frac{dQ}{2\epsilon_0 S} \cdot \frac{\epsilon_0 S V_1^2 m}{2Q(d-d_0)}$$

$$\Delta E = m V_1^2 \cdot \frac{d}{2(d-d_0)}$$

$$\frac{m V_2^2}{2} = \frac{m V_1^2}{2} - \frac{m V_1^2}{2} \cdot \frac{d}{2(d-d_0)} \Rightarrow V_2 = V_1 \sqrt{1 - \frac{d}{2(d-d_0)}}$$

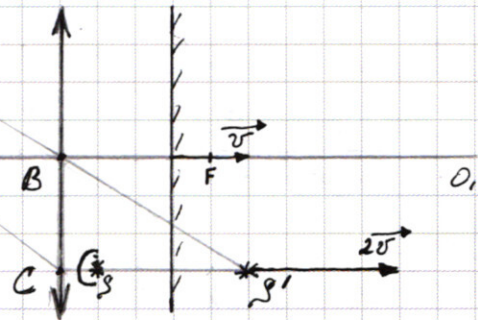
$$V_2 = V_1 \sqrt{\frac{2d - 2d_0 - d}{2(d-d_0)}} = V_1 \sqrt{\frac{d - 2d_0}{2(d-d_0)}} \Rightarrow \boxed{V_2 = V_1 \cdot \sqrt{\frac{d - 2d_0}{2(d-d_0)}}}$$

$$V_2 = V_1 \sqrt{\frac{d - 0.6d}{1.4d}} = V_1 \sqrt{\frac{4}{14}} = \sqrt{\frac{2}{7}} V_1$$



✓5.

1) Наблюдатель видит S'' -изобр.
 S'' , как. на расст $d = \frac{5}{4}F$ от
линзы (см. чертёж) $\Rightarrow$



$$\Rightarrow \text{Ур. тонкой линзы: } \frac{1}{\frac{5}{4}F} + \frac{1}{AB} = \frac{1}{F} \Rightarrow \frac{1}{AB} = \frac{1}{F} - \frac{4}{5F} = \frac{1}{5F} \Rightarrow$$

$$\boxed{AB = 5F}$$

2) Изображение движется по линии $S''C \Rightarrow$

$$\boxed{\lg d = \frac{3}{4}}$$

$$3) u = \frac{+d(SF'')}{dt}; \quad SF'' = \sqrt{S''A^2 + FA^2}; \quad S''A = kCB, \quad FA = kCS' - F$$

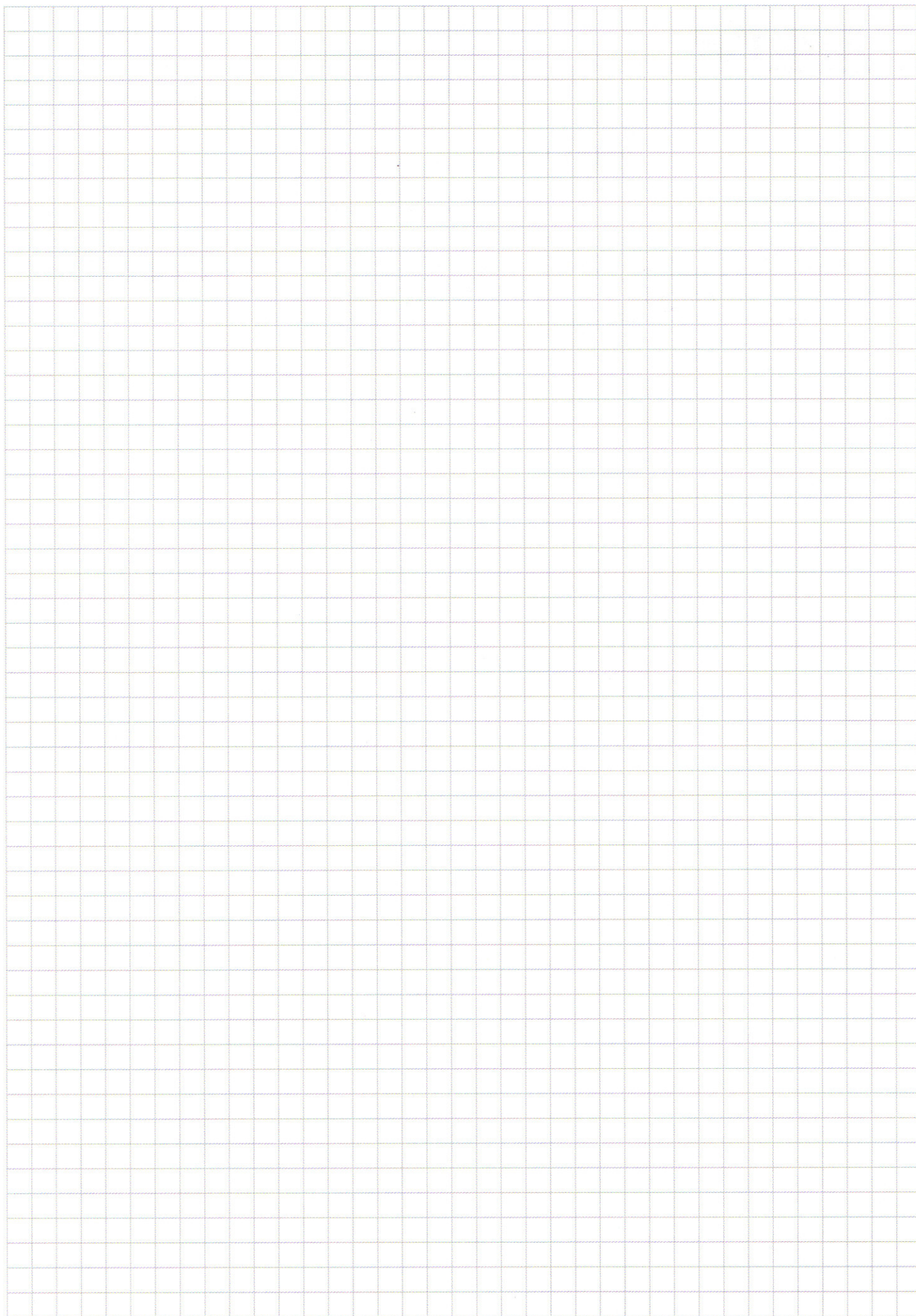
(k -коэффициент подобия, $k=4$) $\Rightarrow SF'' = \sqrt{(kCB)^2 + (kCS' - F)^2}$

$$u = \frac{+d}{dt} \left(\sqrt{(kCB)^2 + (kCS' - F)^2} \right) = + \frac{1}{2SF''} \cdot 2(kCS' - F) \cdot k \cdot 2v$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

5 (продолжение)

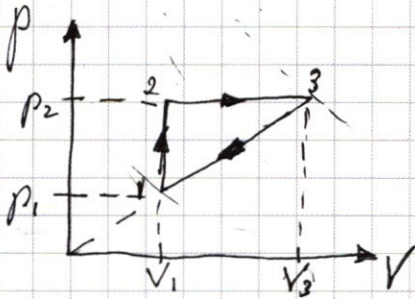
$$U = \frac{(4 \cdot CS' - F) \cdot 4 \cdot 25}{10 \cdot \frac{1}{2} F} = \frac{(4 \cdot \frac{5}{4} F - F) \cdot 85}{5 F} = \frac{32}{5} 25 = 6,4 25$$



☐ черновик ☐ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$$\eta = \frac{A'}{Q_1}$$

$$\frac{C_{12}}{C_{23}} = \sqrt{2}, \quad C_{12} = \frac{\gamma}{2} R, \quad C_{23} = \left(\frac{\gamma}{2} + 1\right) R, \quad \boxed{\gamma = \frac{\gamma - 1}{\gamma}}$$

$$Q = A' + Q_1$$

$$A' = p_{23} \cdot (V_3 - V_2) = 2R(T_3 - T_2)$$

$$Q_1 = \frac{\gamma}{2} 2R(T_3 - T_2)$$

$$\boxed{\gamma = \frac{\gamma}{2}}$$

$$A' = p_2(V_3 - V_1) - \frac{(p_2 + p_1)}{2}(V_3 - V_1) = \frac{(p_2 - p_1)}{2}(V_3 - V_1)$$

$$Q_1 = Q_{12} + Q_{23} = \frac{\gamma}{2} 2R(T_2 - T_1) + p_2(V_3 - V_1) + \frac{\gamma}{2} p_2(V_3 - V_1) =$$

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

$$+ \frac{\gamma}{2} p_2 V_3 - \frac{\gamma}{2} p_2 V_1 = \left(\frac{\gamma}{2} + 1\right) p_2 V_3 - \left(\frac{\gamma}{2} p_1 + p_2\right) V_1 =$$

$$= \frac{\gamma}{2} p_2 V_3 - \frac{\gamma}{2} p_1 V_1 + p_2(V_3 - V_1) = \frac{\gamma}{2} (p_2 V_3 - p_1 V_1) + p_2(V_3 - V_1) =$$

$$\frac{V_3}{p_2} = \frac{V_1}{p_1} \Rightarrow p_1 = p_2 \cdot \frac{V_1}{V_3} = \frac{\gamma}{2} (p_2 V_3 - p_2 \cdot \frac{V_1}{V_3} V_1) + p_2(V_3 - V_1) =$$

$$= \frac{\gamma}{2} p_2 \left(\frac{V_3^2 - V_1^2}{V_3} \right) + p_2(V_3 - V_1) = (V_3 - V_1) \left(\frac{\gamma}{2} p_2 \left(\frac{V_3 + V_1}{V_3} \right) + p_2 \right)$$

$$= \frac{p_1}{V_1} \left(\frac{\gamma}{2} (V_3 - V_1) (V_3 + V_1) + V_3(V_3 - V_1) \right) =$$

$$= \frac{p_1}{V_1} (V_3 - V_1) \left(\frac{\gamma}{2} (V_3 + V_1) + V_3 \right) = \frac{p_1}{V_1} (V_3 - V_1) \left(\left(\frac{\gamma}{2} + 1\right) V_3 + \frac{\gamma}{2} V_1 \right)$$

$$V_3 = k V_1 \Rightarrow \frac{p_1}{V_1} (V_3 - V_1) \left(\left(\frac{\gamma}{2} + 1\right) k V_1 + \frac{\gamma}{2} V_1 \right)$$

$$= \frac{k-1}{5k-3} = \frac{5k-3-5k+2}{5k-3} = \frac{k-3}{5k-3} = \frac{1}{5} \frac{(5k-3)-2}{5k-3}$$

$$= \frac{1}{5} = \frac{2}{5k-3} \Rightarrow \frac{1}{5} = \frac{2}{5k-3}$$

$$\mathcal{E} - U_0 + \mathcal{E}_i = 0$$

$$\mathcal{E} - U_0 + \mathcal{E}_i = U_0$$

$$\ddot{\varphi} + \frac{\Delta q - C(\mathcal{E} + U_1 - U_0)}{CL} = 0$$

$$\mathcal{E}_i = -L \frac{dI}{dt} \quad \mathcal{E} - U_0 = L \frac{dI}{dt} = \frac{q}{C}$$

$$\frac{q}{C} + L \cdot \ddot{\varphi} - (\mathcal{E} - U_0) = 0$$

$$\mathcal{E} - U_0 + U_1 = L \cdot \ddot{\varphi} + \Delta q$$

$$\mathcal{E} - U_0 + U_1 - \Delta q = L \ddot{\varphi}$$

$$L \ddot{\varphi} + \Delta q - \mathcal{E} + U_0 - U_1 = 0$$

$$I(t) = I_m \cdot \cos(\omega_0 t + \varphi_0) = \omega_0 q_m$$

$$q_m^2 C U_1 + C(\mathcal{E} - U_0)$$

$$C = \sqrt{\frac{q_m^2}{40 \cdot 10^{-6} \Phi}} (7B) = 7.20 \text{ nF}$$

$$\frac{25}{15} = \frac{12}{3} = 4$$

$$F(d - d_0) = \frac{m V_i^2}{2}$$

$$\frac{q}{\epsilon_0} \quad F = qE; E = \frac{\sigma}{\epsilon_0} = \frac{Q}{S \epsilon_0}$$

$$\frac{kQ_1}{r} - \frac{kQ_2}{r+d} = kQ \left(\frac{r+d-d}{r(r+d)} \right) = kQ \cdot \frac{d}{r^2}$$

$$\frac{kQ}{r^2} = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$$

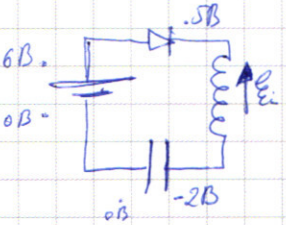
$$\frac{1}{d} + \frac{1}{F} = \frac{1}{F}$$

$$d = \frac{1}{3} F$$

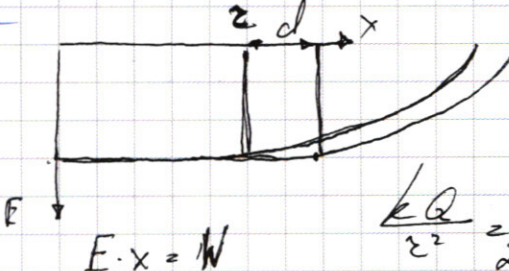
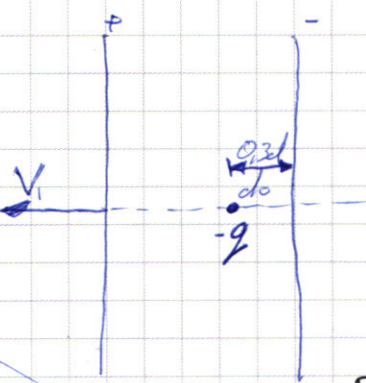
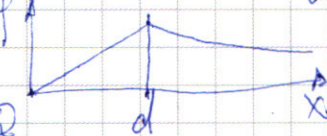
$$\frac{1}{F} + \frac{3}{4F} = \frac{1}{F}$$

$$F = \frac{1}{F} - \frac{3}{4F} = \frac{4F - 3F}{4F^2} = \frac{1}{4F}$$

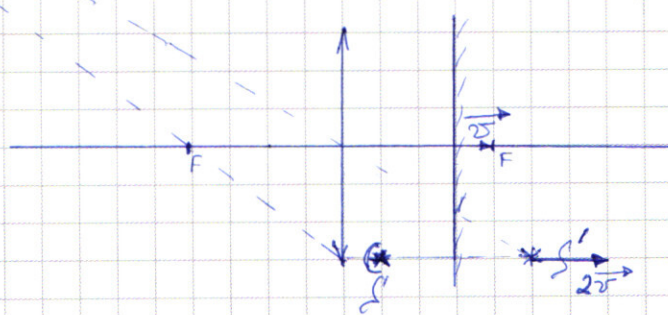
$$F = 4F$$



$$\Delta q = -F \cdot ad$$



$$E \cdot x = W$$



$$S^u F = \sqrt{AB^2 + AS^{u2}}$$

$$AB = kCS'$$

$$AS^u = kCSB$$



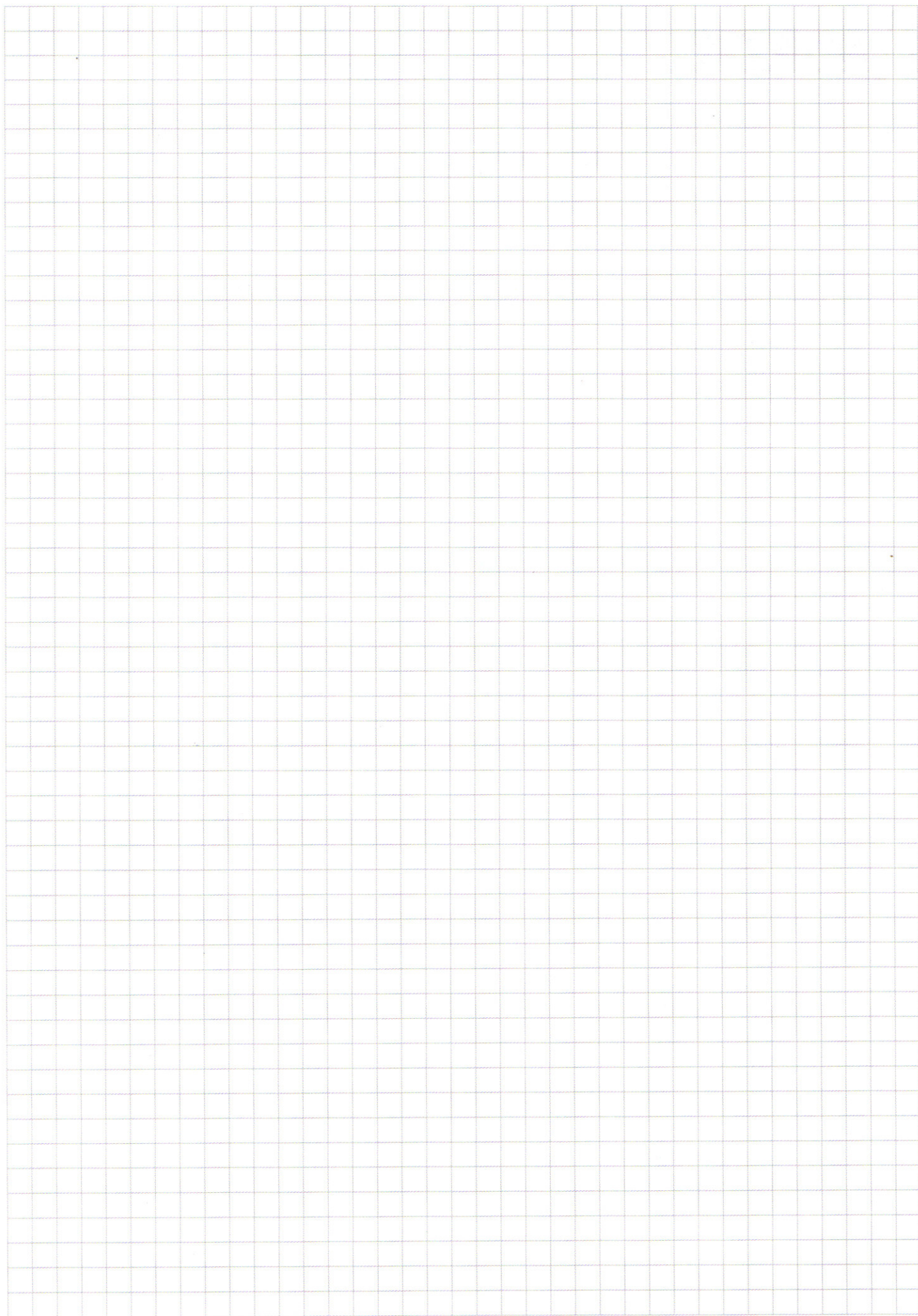
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ

«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)