

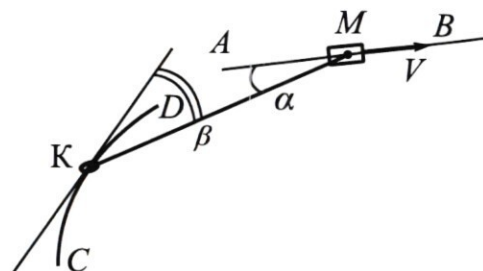
Олимпиада «Физтех» по физике, 11 класс

Вариант 11-01

Класс 11

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

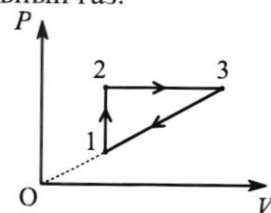
1. Муфту М двигают со скоростью $V = 68$ см/с по горизонтальной направляющей АВ (см. рис.). Кольцо К массой $m = 0,1$ кг может двигаться без трения по проволоке CD в виде дуги окружности радиусом $R = 1,9$ м. Кольцо и муфта связаны легкой нитью длиной $l = 5R/3$. Система находится в одной горизонтальной плоскости. В некоторый момент нить составляет угол α ($\cos \alpha = 15/17$) с направлением движения муфты и угол β ($\cos \beta = 4/5$) 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 количества теплоты, полученной газом, к работе газа.
- 3) Найти предельно возможное максимальное значение КПД такого цикла.

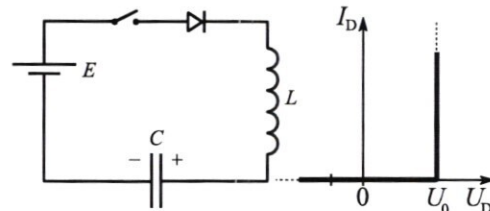


3. Обкладки конденсатора – круглые металлические сетки площадью S , расстояние между обкладками d ($d \ll \sqrt{S}$). Из точки, находящейся между обкладками на оси симметрии на расстоянии $0,25d$ от положительно заряженной обкладки, стартует с нулевой начальной скоростью положительно заряженная частица и через время T вылетает из конденсатора перпендикулярно обкладкам. Удельный заряд частицы $\frac{q}{m} = \gamma$.

- 1) Найдите скорость V_1 частицы при вылете из конденсатора.
- 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.

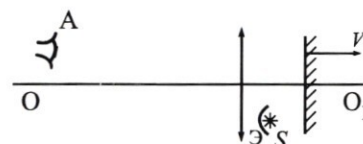
4. В цепи, схема которой показана на рисунке, ключ разомкнут, ЭДС идеального источника $E = 9$ В, конденсатор емкостью $C = 40$ мкФ заряжен до напряжения $U_1 = 5$ В, индуктивность идеальной катушки $L = 0,1$ Гн. Вольтамперная характеристика диода дана на рисунке, пороговое напряжение диода $U_0 = 1$ 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 $F/2$ от плоскости 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.

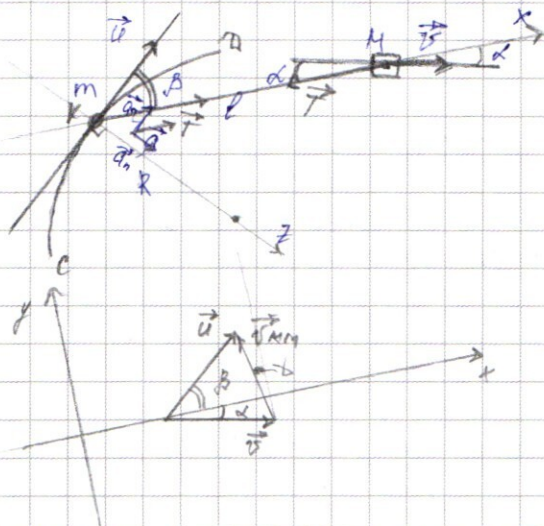
- 1) На каком расстоянии от плоскости линзы наблюдатель А сможет увидеть в этот момент изображение источника в системе?
- 2) Под каким углом α к оси OO_1 движется изображение в этот момент? (Найти значение любой тригонометрической функции угла.)
- 3) Найти скорость изображения в этот момент.



ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

1. $v = 68 \frac{\text{см}}{\text{с}}$
 $R = 1,9 \text{ м}$
 $m = 0,1 \text{ кг}$
 $\cos \alpha = \frac{15}{17}$
 $\rho = \frac{5\pi}{3}$
 $\cos \beta = \frac{4}{5}$

$u = ?$
 $v_{\text{км}} = ?$
 $\gamma = ?$
 $\delta = ?$



1) Так как мурота и кольцо соединены ниткой ниткой, то проекция скоростей тел на ось соединяющую эти тела одинаковы
 $v_x = u_x \Rightarrow v \cos \alpha = u \cos \beta$
 $u = \frac{v \cos \alpha}{\cos \beta} = \frac{68 \frac{\text{см}}{\text{с}} \cdot \frac{15}{17}}{\frac{4}{5}} = 60 \frac{\text{см}}{\text{с}}$

2) По 9. сложения скоростей:
 $\vec{v}_{\text{кз}} = \vec{v}_{\text{км}} + \vec{v}_{\text{кз}} = \vec{v}_{\text{кз}} - \vec{v}_{\text{км}}$
 $\vec{v}_{\text{км}} = \vec{v}_{\text{кз}} - \vec{v}_{\text{мз}}$
 $\vec{v}_{\text{кз}} = \vec{u}; \vec{v}_{\text{мз}} = \vec{v} \Rightarrow \vec{v}_{\text{км}} = \vec{u} - \vec{v}$
 Ох: $v_{\text{км}x} = u \cos \beta - v \cos \alpha$
 Оу: $v_{\text{км}y} = u \sin \beta + v \sin \alpha$
 По 7. Пифагора: $v_{\text{км}} = \sqrt{v_{\text{км}x}^2 + v_{\text{км}y}^2}$
 $v_{\text{км}} = \sqrt{u^2 \cos^2 \beta + v^2 \cos^2 \alpha - 2uv \cos \alpha \cos \beta + (u \sin \beta + v \sin \alpha)^2}$

$$v_{\text{км}} = \sqrt{u^2 (\sin^2 \beta + \cos^2 \beta) + v^2 (\cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha) - 2uv (\cos \alpha \cos \beta - \sin \alpha \sin \beta)} =$$

$$= \sqrt{u^2 + v^2 + 2uv (\sin \alpha \sin \beta - \cos \alpha \cos \beta)}$$

$$\sin \alpha = \sqrt{1 - \cos^2 \alpha}; \sin \beta = \sqrt{1 - \cos^2 \beta}; \sin \alpha = \sqrt{1 - \frac{225}{289}} = \frac{8}{17}; \sin \beta = \sqrt{1 - \frac{16}{25}} = \frac{3}{5}$$

$$v_{\text{км}} = \sqrt{60^2 + 68^2 + 2 \cdot 60 \cdot 68 \cdot \left(\frac{8}{17} \cdot \frac{3}{5} - \frac{15}{17} \cdot \frac{4}{5} \right)} = \sqrt{3600 + 4624 - 3456} = \sqrt{4768} \approx 69 \frac{\text{см}}{\text{с}}$$

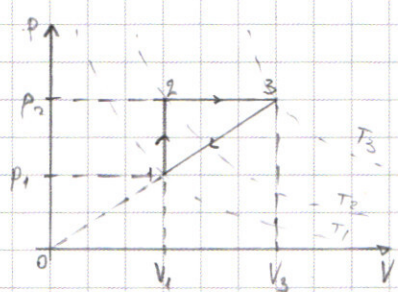
$$\tan \gamma = \frac{v_{\text{км}x}}{v_{\text{км}y}} = \frac{u \cos \beta - v \cos \alpha}{u \sin \beta + v \sin \alpha} = \frac{60 \cdot \frac{4}{5} - 68 \cdot \frac{15}{17}}{60 \cdot \frac{3}{5} + 68 \cdot \frac{8}{17}} = -\frac{3}{17} \quad \gamma > 90^\circ$$

3) На кольцо действует 3 силы: сила тяжести $m\vec{g}$ - направленная от наблюдателя, сила нормальной реакции опоры $\vec{N}$ - к наблюдателю и сила натяжения нити $\vec{T}$ - направленная вдоль нити от кольца. $m\vec{g} + \vec{N} = \vec{0}$; по 2. 3. Ньютона: $\vec{T} = m\vec{a}$
 $\vec{a}$ - полное ускорение кольца; $\vec{a} = \vec{a}_n + \vec{a}_\tau$; $\vec{a}_n, \vec{a}_\tau$ - нормальное, тангенциальное ускорения кольца соответственно

Ох: $T \sin \beta = a_n m$; $a_n = \frac{u^2}{R} \Rightarrow T \sin \beta = \frac{mu^2}{R} \Rightarrow T = \frac{mu^2}{R \sin \beta}$
 $T = \frac{(0,1 \text{ кг}) \cdot (60 \frac{\text{см}}{\text{с}})^2}{1,9 \text{ м} \cdot \frac{3}{5}} = \frac{(0,1 \text{ кг}) \cdot (0,6 \frac{\text{м}}{\text{с}})^2}{1,9 \text{ м} \cdot \frac{3}{5}} = \frac{0,036 \text{ кг} \cdot \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}}{1,14 \text{ м}} \approx 0,032 \text{ Н}$

Ответ: 1) $u = 60 \frac{\text{см}}{\text{с}}$
 2) $v_{\text{км}} = 69 \frac{\text{см}}{\text{с}}$; $\tan \gamma = -\frac{3}{17}$ ($\gamma = \arctan(-\frac{3}{17})$)
 3) $T = 0,032 \text{ Н}$

№ 2.
ИОГ
p(V)



$M_{12} = ?$
 $M_{23} = ?$
 $A'_{12} = ?$
 $A'_{23} = ?$
 $A'_{31} = ?$

1) 2→3: т.к. процесс изобарный, то по 3.
Гей-Люссака: $V \sim T$; $V \uparrow \Rightarrow T \uparrow$; $\frac{V_1 T_1}{T_2} = \frac{V_3}{T_3} \dots (1)$
1→2: т.к. процесс изотермический (изохорический), то по 3. Шарлье: $p \sim T$; $p \uparrow \Rightarrow T \uparrow$; $\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2} \dots (2)$
3→1: т.к. $p \sim V$, то $p = kV$, по 3. Клапейрона:
 $\frac{pV}{T} = \text{const} \Rightarrow \frac{kV^2}{T} = \text{const}$; $V \downarrow \Rightarrow T \downarrow$
 $\frac{kV_3^2}{T_3} = \frac{kV_1^2}{T_1} \Rightarrow \frac{V_3^2}{T_3} = \frac{V_1^2}{T_1} \Rightarrow \frac{T_1}{T_3} = \frac{V_1^2}{V_3^2} = \frac{p_1^2}{p_2^2} \dots (3)$

$$Q_{12} = M_{12} \Delta T_{12} = M_{12} (T_2 - T_1); \quad Q_{23} = M_{23} \Delta T_{23} = M_{23} (T_3 - T_2) \dots (4) \dots (5)$$

по I з. термодинамики: $Q_{12} = \Delta U_{12} + A'_{12}$; $Q_{23} = \Delta U_{23} + A'_{23}$
т.к. газ идеальный и одноатомный, то $\Delta U_{12} = \frac{3}{2} DR (T_2 - T_1)$; $\Delta U_{23} = \frac{3}{2} DR (T_3 - T_2)$
 $A'_{12} = 0$ (т.к. $V = \text{const}$); по геометрическому толкованию работы: $A'_{23} = p_2 V_3 - p_2 V_1$
Учитывая ур-ие Менделеева-Клапейрона: $A'_{23} = DR (T_3 - T_2) \dots (6)$
5) примет вид: $Q_{12} = \frac{3}{2} DR (T_2 - T_1)$; $Q_{23} = \frac{3}{2} DR (T_3 - T_2) + DR (T_3 - T_2) = \frac{5}{2} DR (T_3 - T_2) \dots (7)$
4) примет вид: $\frac{3}{2} DR (T_2 - T_1) = M_{12} \Delta T_{12} \Rightarrow M_{12} = \frac{3}{2} R$
 $\frac{5}{2} DR (T_3 - T_2) = M_{23} \Delta T_{23} \Rightarrow M_{23} = \frac{5}{2} R$

2) Учитывая (6) и (7), запишем отношение: $\frac{Q_{23}}{A'_{23}} = \frac{\frac{5}{2} DR (T_3 - T_2)}{DR (T_3 - T_2)} = \frac{5}{2}$

3) По определению КПД цикла: $\eta = \frac{Q_{12}}{Q_{12} + |Q_{31}|}$ $\eta = 1 - \frac{|Q_{31}|}{Q_{12}} \dots (8)$

$Q_{12} = \frac{3}{2} DR (T_2 - T_1)$; $T_2 > T_1 \Rightarrow Q_{12} > 0$ - получает
 $Q_{23} = \frac{5}{2} DR (T_3 - T_2)$; $T_3 > T_2 \Rightarrow Q_{23} > 0$ - получает $\Rightarrow Q_{31}$ - отдает

по I з. термодинамики: $Q_{31} = A'_{31} + \Delta U_{31}$; $\Delta U_{31} = \frac{3}{2} DR (T_1 - T_3)$
по геометрическому толкованию работы: $A'_{31} = \frac{1}{2} (p_2 V_3 - p_1 V_1)$
Учитывая ур-ие Менделеева-Клапейрона: $A'_{31} = \frac{1}{2} DR (T_2 - T_1)$
 $Q_{31} = \frac{1}{2} DR (T_2 - T_1) + \frac{3}{2} DR (T_1 - T_3) = DR (T_1 - T_3)$ — $T_3 > T_1 \Rightarrow Q_{31} < 0$ - отдает

$Q_{31} = Q_{31} = DR (T_1 - T_3)$; $Q_H = Q_{12} + Q_{23} = \frac{1}{2} DR (3T_2 - 3T_1 + 5T_3 - 5T_2) = \frac{1}{2} DR (5T_3 - 3T_1 - 2T_2)$

8) примет вид: $\eta = 1 - \frac{|DR (T_1 - T_3)|}{\frac{1}{2} DR (5T_3 - 3T_1 - 2T_2)} = 1 - \frac{5T_3 - 3T_1 - 2T_2}{4T_1 - 4T_3}$
 $\eta = \frac{4T_1 - 4T_3 + 5T_3 - 3T_1 - 2T_2}{4(T_1 - T_3)} = \frac{T_1 + T_3 - 2T_2}{4(T_1 - T_3)}$

из (1): $\frac{V_3}{V_1} = \frac{T_3}{T_2}$
из (3): $\frac{V_3}{V_1} = \sqrt{\frac{T_3}{T_1}}$ $\Rightarrow \frac{T_3}{T_2} = \sqrt{\frac{T_3}{T_1}} \Rightarrow T_2 = \sqrt{T_1 T_3}$

$\eta = \frac{T_1 + T_3 - 2\sqrt{T_1 T_3}}{4(T_1 - T_3)} = \frac{(\sqrt{T_1} - \sqrt{T_3})^2}{4(\sqrt{T_1} - \sqrt{T_3})(\sqrt{T_1} + \sqrt{T_3})} = \frac{\sqrt{T_1} - \sqrt{T_3}}{4(\sqrt{T_1} + \sqrt{T_3})}$

Ответ: 1) $\frac{M_{12}}{M_{23}} = \frac{3}{5}$, 2) $\frac{Q_{23}}{A'_{23}} = \frac{5}{2}$, 3)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

3. S
 d
 $d \ll \sqrt{S}$
 $\kappa = 0.25d$
 $v_0 = 0$
 $\vec{E}$
 $\frac{q}{m} = \delta$
 k, ε
 $v_1 = ?$
 $Q = ?$
 $v_2 = ?$

1) П.к. поле можно считать однородным (вблизи оси симметрии), то $\vec{E} = \text{const}$
По определению напряженности: $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$
П.к. $q > 0$, то $E = \frac{F}{q} \dots (1)$
По II з. Ньютона для частицы: $\vec{F} = m\vec{a}$
 $F = ma$
Учитывая (1): $a = \frac{Eq}{m} \dots (2)$
Учитывая условие: $a = E\delta$; $\vec{E} = \text{const} \Rightarrow \vec{a} = \text{const}$
П.к. $\vec{a} = \text{const}$, то можем воспользоваться:
 $v_x^2 - v_{0x}^2 = 2ax\delta_x$
Ох: $v_1^2 - 0 = 2a \cdot 0.25d \Rightarrow v_1 = \sqrt{0.5d\delta} \dots (3)$
Учитывая (2): $v_1 = \sqrt{1.5d\delta} = \sqrt{1.5dE\delta} \dots (4)$

По формуле расчета напряженности поле конденсатора: $E = \frac{2\varepsilon\varepsilon_0 S}{d}$
 $v_1 = \sqrt{1.5 \cdot 2\varepsilon\varepsilon_0 S} = \sqrt{3\varepsilon\varepsilon_0 S}$

$v_x = v_{0x} + at$ В момент $t = T$: $v_1 = aT \Rightarrow a = \frac{v_1}{T}$
(3) примет вид: $v_1 = \sqrt{1.5 \frac{v_1 d}{T}}$ $v_1^2 T = 1.5 v_1 d \Rightarrow v_1 = \frac{1.5 d}{T} \dots (5)$

2) $E = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0 \varepsilon} = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}$ σ — пл. поверхностная
 σ — поверхностная плотность заряда. По определению: $\sigma = \frac{|Q|}{S} = \frac{Q}{S}$
 $E = \frac{Q}{2\varepsilon_0 S}$

(4) примет вид: $v_1 = \sqrt{1.5d\delta} \cdot \frac{Q}{2\varepsilon_0 S}$ $2\varepsilon_0 S v_1^2 = 1.5d\delta Q$
 $Q = \frac{2\varepsilon_0 S v_1^2}{1.5d\delta}$ Учитывая (5): $Q = \frac{2\varepsilon_0 S \cdot 1.5^2 d^2}{1.5d\delta \cdot T^2} = \frac{3d\varepsilon_0 S}{\delta T^2} \dots (6)$

3) По з. сохранения энергии: $\frac{mv_1^2}{2} + \frac{kqQ}{d^2} = \frac{mv_2^2}{2}$
при переходе из начального положения в положение на бесконечно большом расстоянии от конденсатора для системы «конденсатор — частица»
 $\frac{mv_1^2}{2} + \frac{kqQ}{d^2} = \frac{mv_2^2}{2}$ $\frac{m(v_2^2 - v_1^2)}{2} = \frac{kqQ}{d^2} \Rightarrow v_2^2 - v_1^2 = \frac{kqQ \cdot 2}{md^2} = \frac{2kQ\delta}{d^2}$
 $v_2 = \sqrt{\frac{2kQ\delta}{d^2} + v_1^2}$
Учитывая (5) и (6): $v_2 = \sqrt{\frac{2k\delta \cdot 3d\varepsilon_0 S}{d^2 \cdot \delta T^2} + \frac{9d^2}{4T^2}} = \sqrt{\frac{6k\varepsilon_0 S}{dT^2} + \frac{9d^2}{4T^2}} = \sqrt{\frac{24k\varepsilon_0 S}{dT^2} + \frac{9d^2}{4T^2}}$
Ответ: 1) $v_1 = \frac{1.5d}{T}$; 2) $Q = \frac{3d\varepsilon_0 S}{\delta T^2}$; 3) $v_2 = \sqrt{\frac{24k\varepsilon_0 S}{dT^2} + \frac{9d^2}{4T^2}}$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

из $\triangle FAB$ ($\angle A = 90^\circ$): $\operatorname{tg} \alpha = \frac{h}{F} = \frac{3F}{4F} = \frac{3}{4} \dots (2)$

3) За время $t = T$ зеркало проходит расстояние $x = vT$, S' проходит расстояние $2x$, значит, движется со скоростью $2v$

Спроецируем (1) на Ox : $\frac{1}{F} = \frac{-1}{x} + \frac{1}{x_0} \Rightarrow x = \frac{-Fx_0}{x_0 - F}$

$$x' = -F \cdot \frac{x_0'(x_0 - F) - x_0 \cdot (x_0' - F)}{(x_0 - F)^2} = \frac{x_0' F^2}{(x_0 - F)^2}$$

Учитывая определение скорости: $2v_x = x_0'$; $u_x = x'$

$$u_x = + \frac{2v_x F^2}{(x_0 - F)^2}$$

т.к. $\vec{v} \parallel Ox$, то $v_x = v \Rightarrow u_x = + \frac{2vF^2}{(x_0 - F)^2}$

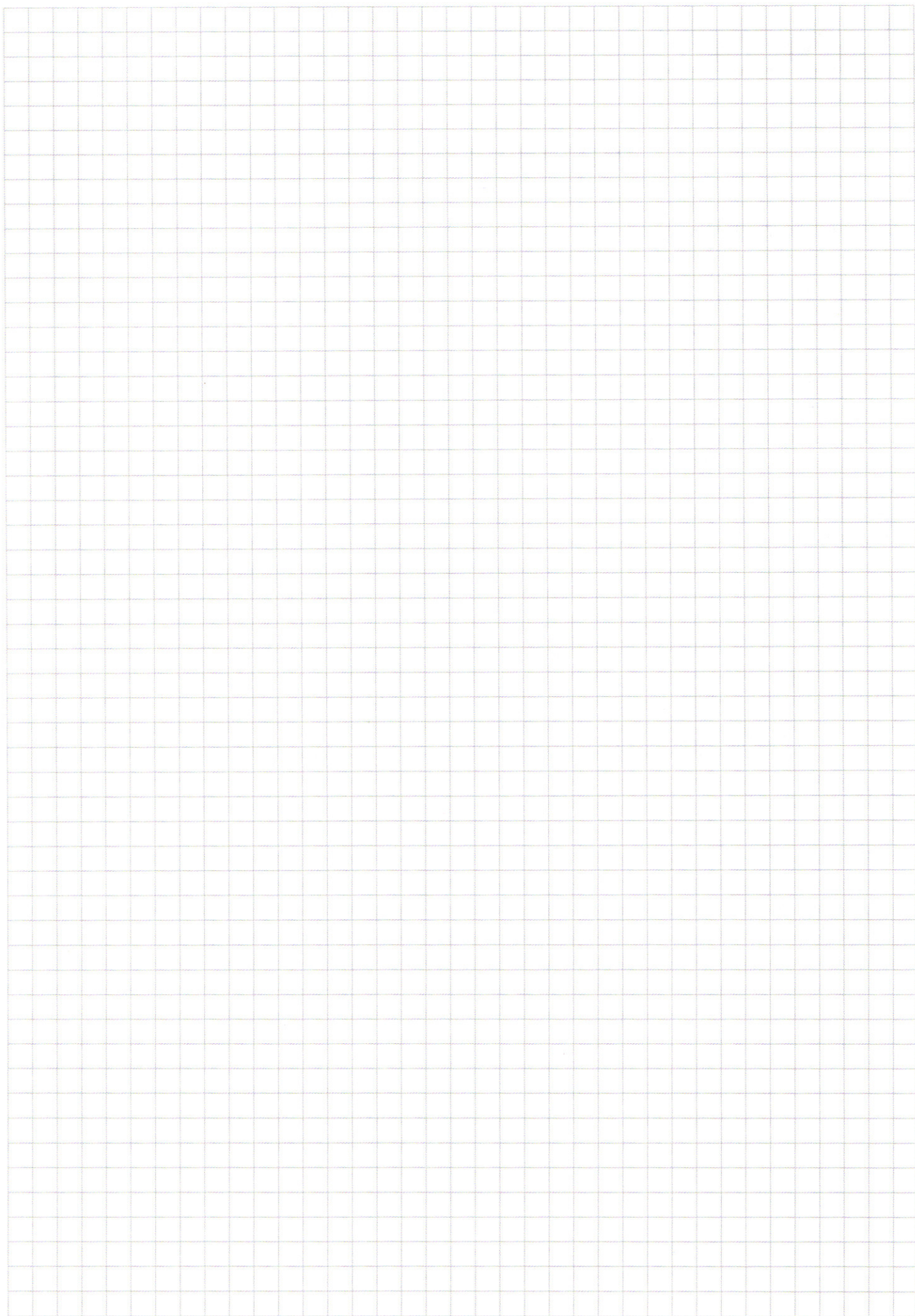
$$x_0 = \frac{3}{2}F \Rightarrow u_x = \frac{2vF^2}{(\frac{3F}{2} - F)^2} = \frac{8vF^2}{F^2} = 8v$$

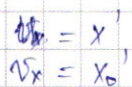
$$\cos \alpha = \frac{u_x}{u} \Rightarrow u = \frac{u_x}{\cos \alpha}; \quad \cos \alpha = \sqrt{\frac{1}{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha}}$$

Учитывая (2): $\cos \alpha = \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{9}{16}}} = \frac{4}{5}$

$$u = \frac{8v}{\frac{4}{5}} = 10v$$

Ответ: 1) $f = 3F$
2) $\operatorname{tg} \alpha = 0,75$
3) $u = 10v$





$$-\frac{1}{F} = \frac{1}{x} + \frac{1}{x_0}$$

$$Y = - \frac{FX_0}{F + Y_0}$$

$$x' = -f$$

$$\frac{1}{x} = \frac{1}{F} - \frac{1}{x_0} = \frac{x_0 - F}{F x_0}$$

$$\cos^2 \angle + \sin^2 \angle = 1$$

$$1 + \operatorname{tg}^2 \alpha = \frac{1}{\cos^2 \alpha}$$



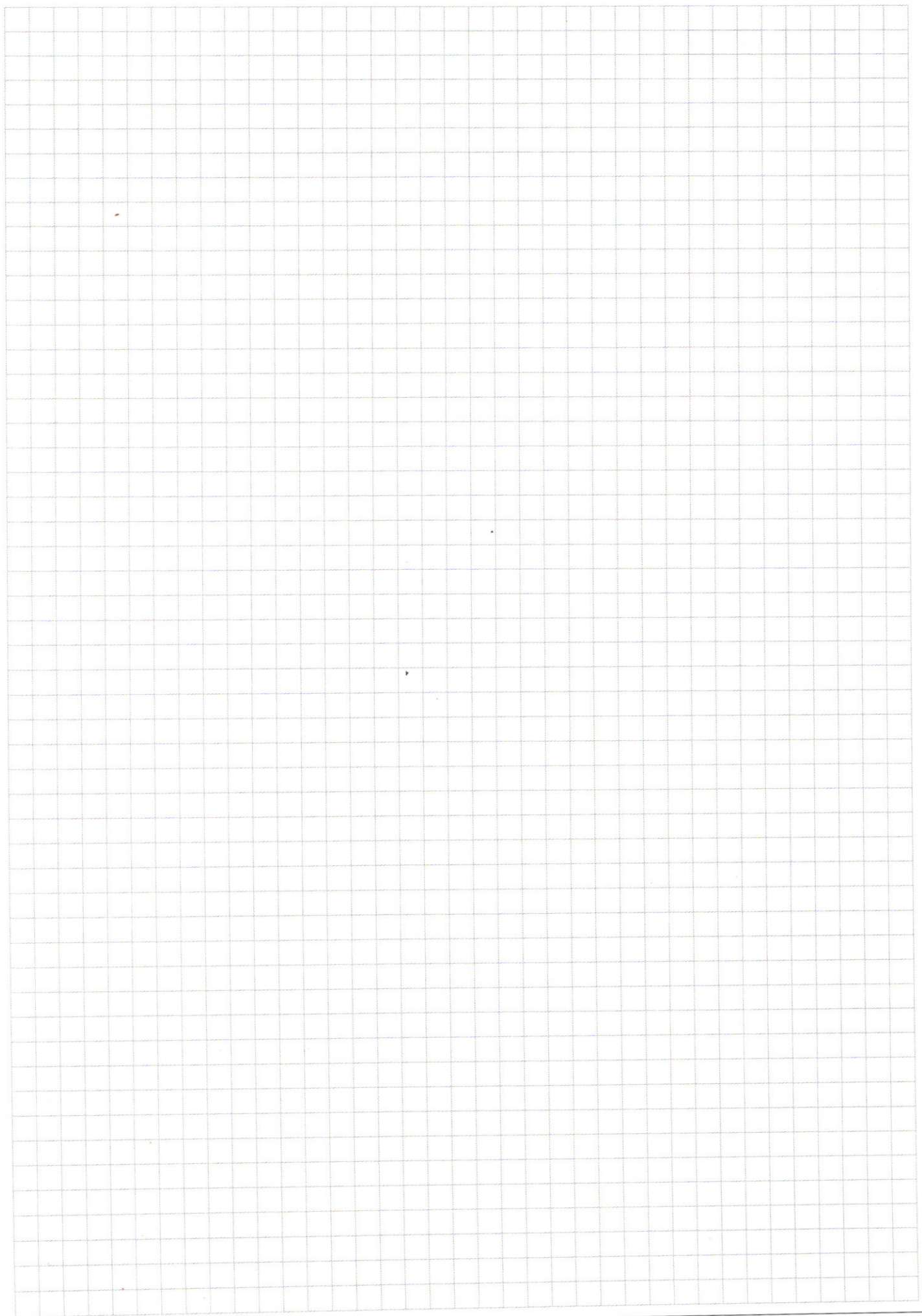
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ

«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)