

Олимпиада «Физтех» по физике, с

Класс 10

Вариант 10-02

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

1. Гайку бросают с вышки со скоростью $V_0 = 10$ м/с под углом $\alpha = 30^\circ$ к горизонту. В полете гайка все время приближалась к горизонтальной поверхности Земли и упала на нее со скоростью $2V_0$.

- 1) Найти вертикальную компоненту скорости гайки при падении на Землю.
- 2) Найти время полета гайки.
- 3) С какой высоты была брошена гайка?

Ускорение свободного падения принять $g = 10$ м/с². Сопротивление воздуха не учитывать.

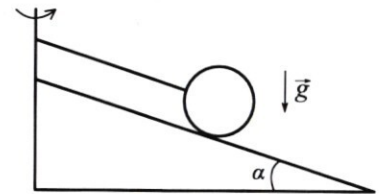
2. Человеку, упирающемуся в ящик ногами, надо передвинуть ящик из состояния покоя по горизонтальному полу на расстояние S к стене (см. рис.). Массы человека и ящика равны соответственно m и $M = 2m$. Натянутые части каната, не соприкасающиеся с блоком, горизонтальны. Массами каната, блока и трением в оси блока можно пренебречь. Коэффициент трения между ящиком и полом μ .



- 1) С какой силой ящик с человеком давят на пол при движении ящика?
- 2) С какой минимальной постоянной силой надо тянуть человеку канат, чтобы осуществить задуманное?
- 3) За какое время человек осуществит задуманное, приложив постоянную силу F ($F > F_0$) к канату?

3. Однородный шар массой m и радиусом R находится на гладкой поверхности клина, наклоненной под углом α к горизонту (см. рис.). Шар удерживается нитью длиной L , привязанной к вертикальной оси, проходящей через вершину клина. Нить параллельна поверхности клина.

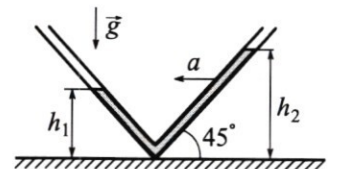
- 1) Найти силу давления шара на клин, если система покоится.
- 2) Найти силу давления шара на клин, если система вращается с угловой скоростью ω вокруг вертикальной оси, проходящей через вершину клина, а шар не отрывается от клина.



4. Трубка, изогнутая под прямым углом, расположена в вертикальной плоскости и заполнена маслом (см. рис.). Угол $\alpha = 45^\circ$. При равноускоренном движении трубки в горизонтальном направлении с ускорением $a = 4$ м/с² уровень масла в одном из колен трубки устанавливается на высоте $h_1 = 10$ см.

- 1) На какой высоте h_2 установится уровень масла в другом колене?
- 2) С какой скоростью V будет двигаться жидкость в трубке относительно трубки после того как трубка внезапно станет двигаться равномерно (ускорение «исчезнет») и когда уровни масла будут находиться на одинаковой высоте?

Ускорение свободного падения $g = 10$ м/с². Действие сил трения пренебрежимо мало.



5. В цилиндрическом сосуде под поршнем находится насыщенный водяной пар при температуре 27°C и давлении $P = 3,55 \cdot 10^3$ Па. В медленном изотермическом процессе уменьшения объема пар начинает конденсироваться, превращаясь в воду.

- 1) Найти отношение плотности пара к плотности воды в условиях опыта.
 - 2) Найти отношение объема пара к объему воды к моменту, когда объем пара уменьшится в $\gamma = 5,6$ раза.
- Плотность и молярная масса воды $\rho = 1$ г/см³, $\mu = 18$ г/моль.

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

1. $V_0 = 10 \frac{m}{c}$
 $\alpha = 30^\circ$
 $V = 2V_0$
 $g = 10 \frac{m}{c^2}$

1) V_y ; 2) T ; 3) H

$V_{0x} = V_0 \cos \alpha = V_x$
 $V_{0y} = V_0 \sin \alpha$
 $V_{0x} = V_x$ т.к. $g_x = 0$
 По т. Пиф.
 $(2V_0)^2 = V_x^2 + V_y^2$
 $V_y^2 = 4V_0^2 - V_0^2 \cos^2 \alpha$
 $V_y = \sqrt{4V_0^2 - V_0^2 \cos^2 \alpha} = V_0 \sqrt{4 - \cos^2 \alpha}$
 $V_y = 10 \sqrt{4 - (\frac{\sqrt{3}}{2})^2} = 10 \sqrt{4 - \frac{3}{4}} = 10 \sqrt{\frac{16-3}{4}} = 5\sqrt{13} \frac{m}{c}$?

2) $H = \frac{V_y^2 - V_{0y}^2}{2g}$ ~~$H = V_0 \sin \alpha T + 0,5 g T^2$~~

$V_y = V_{0y} + g T$
 $T = \frac{V_y - V_{0y}}{g} = \frac{V_y - V_0 \sin \alpha}{g} = \frac{V_0 (\sqrt{4 - \cos^2 \alpha} - \sin \alpha)}{g}$
 $T = \frac{5\sqrt{13} - 10 \cdot 0,5}{10} = \frac{5\sqrt{13} - 5}{10} = 0,5(\sqrt{13} - 1) c$

3) $H = \frac{V_y^2 - V_{0y}^2}{2g}$ $H = \frac{V_0^2 (4 - \cos^2 \alpha) - V_0^2 \sin^2 \alpha}{2g}$

$H = \frac{25 \cdot 13 - 25}{2 \cdot 10} = \frac{25 \cdot 12}{20} = \frac{5 \cdot 12}{4} = 5 \cdot 3 = 15 m$
 $\frac{3V_0^2}{2g} = \frac{3 \cdot 10^2}{2 \cdot 10} = \frac{3 \cdot 100}{20} = 15$

Ответы: 1) $V_y = 5\sqrt{13} \frac{m}{c}$; 2) $T = \frac{\sqrt{13} - 1}{2} c$; 3) $H = 15 m$

2.

S
 m
 $M = 2m$
 M
 F

1) P
 2) F_0
 3) t

$\odot$ — сила, с которой тянется канат.
 (т.к. человек не движется) отп. левина,
 N_{1x}, N_{1y} — силы реакции левина на тел.
 P_{2x}, P_{2y} — силы давления человека на левин.
 По 3 зак. Ньютона, $N_{1x} = P_{2x}$; $N_{1y} = P_{2y}$
 N_2 — сила реакции пола; 3з.н. — $N_2 = P$

§ 2 зак. Ньютона: где сила

$$Ox: T + P_{zx}$$

$$Oy: N_2 = Mg + P_{zy}$$

где зер.

$$Ox: mg = N_{xy} = P_{zy}$$

$$P = N_2 = 2mg + mg = 3mg$$

2) Минимальная сила будет получена при р/м движении.

тогда 2 зак. Ньютона где сила:

$$Ox: T + P_{zx} - F_{тр} = 0$$

$$\text{где зер. на } Ox: T = N_{zx}$$

$$\text{тогда } F_0 = T = F_{тр} - P_{zx} = \mu N_2 - F_0$$

$$2F_0 = \mu \cdot 3mg$$

$$F_0 = \frac{3}{2} \mu mg$$

3) Если $F > F_0$, человек и ящик движутся с ускорением a из 2 з.н.

$$1: Ox: F + P_{zx} - F_{тр} = 3ma$$

$$\Rightarrow 2F + 0 - F_{тр} = 3ma$$

$$2: Ox: F - N_{1x} = ma$$

$$3ma = 2F - \mu N_2 = 2F - 3\mu mg \quad | : 3m$$

$$a = \frac{2F}{3m} - \mu g$$

из кинематики:

$$S = \frac{at^2}{2}$$

$$\Rightarrow t = \sqrt{\frac{2S}{a}} = \sqrt{\frac{2S}{\frac{2F}{3m} - \mu g}}$$

$$F = F_0 \Rightarrow \frac{\frac{3}{2} \cdot \frac{3}{2} \mu mg}{\frac{3}{2} \cdot \frac{3}{2} \mu mg} - \mu g = 0$$

Ответ: 1) $P = 3mg$; 2) $F_0 = \frac{3}{2} \mu mg$

$$3) t = \sqrt{\frac{2S}{\frac{2F}{3m} - \mu g}}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

3. m, R, α, L
 ω

1) P_0 2) P

2 зк на ОУ:

$$P_0 = N_0 = mg \cos \alpha$$

$\vec{N}_0$ — сила реакции нити
3 зк: $N_0 = P_0$
 $\vec{T}_0$ — сила натяжения нити

2)

перейдем в НСО, связанную с шаром.
тогда появляется центростремительная сила $-m\vec{a}_y$, где $\vec{a}_y$ — центростр. ускор.

2 зк. на ОУ:

$$N + m a_y \sin \alpha = mg \cos \alpha$$

$$P = mg \cos \alpha - m \cdot \omega^2 r \sin \alpha, \quad r = (L + R) \cos \alpha$$

r — расстояние центра шара до оси

$$P = m(g \cos \alpha - \omega^2 (L + R) \cos \alpha \sin \alpha) =$$

$$= m \cos \alpha (g - \omega^2 (L + R) \sin \alpha)$$

Ответ: 1) $P_0 = mg \cos \alpha$; 2) $P = m \cos \alpha (g - \omega^2 [L + R] \sin \alpha)$

5

$$N = mg \cos \alpha = -m a_y \sin \alpha$$

$$\begin{aligned} 5. \quad t &= 27^\circ\text{C} \\ p &= 3,55 \cdot 10^3 \text{ Па} \\ S &= 1 \frac{\text{см}^2}{3} \\ \mu &= 18 \frac{\text{г}}{\text{моль}} \\ f &= 5,6 \end{aligned}$$

$$1) \frac{p_{\pi}}{p} \quad 2) \frac{V_{\pi}}{V_0}$$

P_1	T_1	v_1
P_2	T_2	v_2

$$T = 273 + 27 = 300 \text{ K}$$

Ур-ие Менделеева - Клапейрона:

$$pV_0 = \frac{M}{\mu} RT \quad 1: \text{v.o.}$$

$$p = \frac{p_n}{M} RT \Rightarrow p_n = \frac{pM}{RT}$$

$$\frac{P_n}{P} = \frac{P_n}{RT_P}$$

$$\frac{f_n}{f} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$= \frac{\rho_{\text{max}} \frac{1}{2}}{\rho_{\text{max}} \frac{1}{2} \frac{1}{3}} \text{ cm}^3$$

$$\frac{p_n}{p} = \frac{3,55 \cdot 10^2 \cdot 18 \cdot 10^{-3}}{8,31 \cdot 300 \cdot 10^{-3}} = \frac{3,55 \cdot 18}{8,31 \cdot 3} \cdot 10^{-5} =$$

$$= \frac{355.6}{831} \cdot 10^{-5} = \frac{2130}{831} \cdot 10^{-5} \approx 2,6 \cdot 10^{-5}$$

$$\begin{array}{r} 33 \\ 355 \\ 6 \\ \hline 2130 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 2130 \overline{) 831} \\ \underline{1662} \\ 4680 \\ \underline{4755} \\ 5250 \end{array}$$

2) $p_n = \text{const}$, т.е. $T = \text{const}$ (изохор)

$$\frac{V_{\pi}}{V_e} = 1$$

$$V_n = \cancel{V_0} \cdot \rho_n$$

$$f m_n = m$$

$$\downarrow m = m_{\pi} + m_{\theta}$$

$$\gamma m_n = m_n + m_B$$

$$(Y-1) m_n = m_B \Rightarrow \frac{m_n}{m_B} = \frac{1}{Y-1}$$

$$\begin{array}{r} 355 \\ 6 \\ \hline 130 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 2130 \overline{) 1831} \\ \underline{1662} \\ 4680 \\ \underline{4155} \\ 5250 \\ \underline{4986} \\ 264 \end{array}$$

$$\frac{P_r}{V_B} = \frac{\frac{m_p}{P_r}}{\frac{m_e}{P}} = \frac{m_p P}{m_e P_r} = \frac{P}{P_r (\gamma - 1)} = \frac{RT P}{P M (\gamma - 1)}$$

$$\frac{V_{\pi}}{V_6} = \frac{1}{2,6 \cdot 10^{-5} \cdot 4,6} \approx \frac{10^5}{12} \approx 0,083 \cdot 10^5 = 8,3 \cdot 10^3$$

$$\begin{array}{r} 13 \\ \times 96 \\ \hline 2, 08 \\ 276 \\ 92 \\ \hline 11,96 \approx 12 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 1 \overline{) 72} \\ \underline{0} 0,833333 \\ \underline{70} \\ 0 \\ \underline{700} \\ 96 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 56 \\ \underline{} \\ 40 \end{array}$$

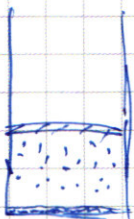
$$\begin{array}{r} 279 \overline{) 27913} \\ \underline{6} \\ \underline{23} \\ \underline{21} \\ \underline{21} \\ 0 \\ \underline{279} \\ \underline{21} \\ \underline{67} \end{array}$$

Q. Rem: 1) $\frac{\rho_n}{\rho} \approx 2,6 \cdot 10^{-5}$; 2) $\frac{v_n}{v_0} = 8,3 \cdot 10^3$

$$\frac{V_{II}}{V_B} = \frac{831}{2130} \cdot 10^5 \cdot \frac{1}{4,6} =$$

$$\begin{array}{r|l} 831 & 3 \\ 277 & \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 277 \overline{) 13} \\ \underline{20} \\ 12 \end{array}$$



ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№1. Дано:

$$V_0 = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$\alpha = 30^\circ$$

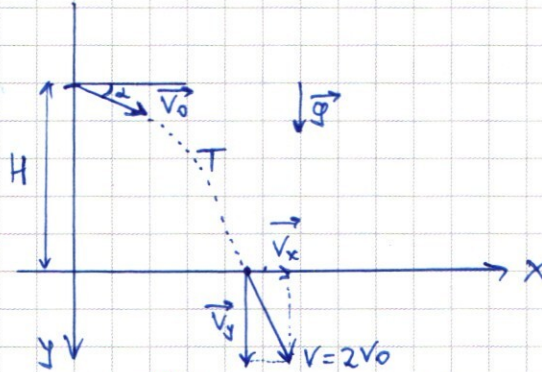
$$V = 2V_0$$

$$g = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

1) V_y ;

2) T ;

3) H .



1) $V_{0x} = V_0 \cos \alpha = \frac{V_x}{\text{const}}$, т.к. $g_x = 0$

$$V_{0y} = V_0 \sin \alpha$$

По т. Пифагора $(2V_0)^2 = V_x^2 + V_y^2$

$$V_y^2 = 4V_0^2 - V_0^2 \cos^2 \alpha$$

$$V_y = V_0 \sqrt{4 - \cos^2 \alpha}; \quad V_y = 10 \cdot \sqrt{4 - \left(\frac{\sqrt{3}}{2}\right)^2} = 10 \sqrt{\frac{13}{4}} = 5\sqrt{13} \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

2) $V_y = V_{0y} + gT \Rightarrow T = \frac{V_y - V_{0y}}{g} = \frac{V_y - V_0 \sin \alpha}{g} = \frac{V_0 (\sqrt{4 - \cos^2 \alpha} - \sin \alpha)}{g}$

$$T = \frac{5\sqrt{13} - 10 \cdot 0,5}{10} = \frac{\sqrt{13} - 1}{2} \text{ с}$$

3) $H = \frac{V_y^2 - V_{0y}^2}{2g} = \frac{V_0^2 (4 - \cos^2 \alpha) - V_0^2 \sin^2 \alpha}{2g} = \frac{V_0^2 (4 - \cos^2 \alpha - \sin^2 \alpha)}{2g} = \frac{3V_0^2}{2g}$

$$H = \frac{3 \cdot 100}{2 \cdot 10} = 15 \text{ м}$$

Ответ: 1) $V_y = 5\sqrt{13} \frac{\text{м}}{\text{с}}$; 2) $T = \frac{\sqrt{13} - 1}{2} \text{ с}$; 3) $H = 15 \text{ м}$.

№2. Дано:

m

S

$$M = 2m$$

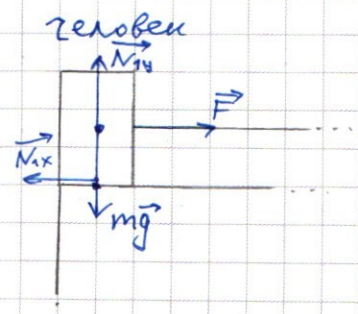
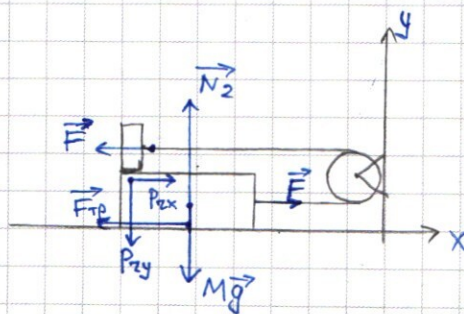
μ

$$F > F_0$$

1) P

2) F_0

3) t



F - сила, с которой человек тянет канат, а также сила его натяжения (по 3-м.).

N_{1x}, N_{1y} - силы реакции ледника на человека.

R_{2x}, R_{2y} - силы давления человека на ледник.

N_2 - сила реакции пола.

По 3 зак. Ньютона, $N_{1x} = R_{2x}$, $N_{1y} = R_{2y}$, $N_2 = F$.

1) 2 зак. Ньютона.

для ледника:

для чел.:

$$\text{ОУ: } N_2 = mg + R_{2y}$$

$$\text{ОУ: } mg = N_{1y}$$

$$F = N_2 = 2mg + N_{1y} = 2mg + mg = 3mg.$$

2) Минимальная сила будет получена при равномерном движении.

для ледника:

для чел.

$$\text{ОХ: } F + R_{2x} - F_{\text{тр}} = 0$$

$$\text{ОХ: } F = N_{1x}$$

$$F + F - F_{\text{тр}} = 0; \quad 2F = \mu N_2,$$

$$2F = \mu \cdot 3mg$$

$$F_0 = F = \frac{3\mu mg}{2} = \frac{3}{2}\mu mg.$$

3) Если $F > F_0$, человек и ледник движутся с одинаковым ускорением $\vec{a}$.

Из 2 зак. Ньютона

$$\text{для ледника на ОХ: } \begin{cases} F + R_{2x} - F_{\text{тр}} = 2ma \end{cases}$$

$$\text{для чел. на ОХ: } \begin{cases} F - N_{1x} = ma \end{cases}$$

$$2F + 0 - F_{\text{тр}} = 3ma$$

$$3ma = 2F - \mu N_2$$

$$3ma = 2F - 3\mu mg \quad | : 3m$$

$$a = \frac{2F}{3m} - \mu g.$$

Из кинематики:

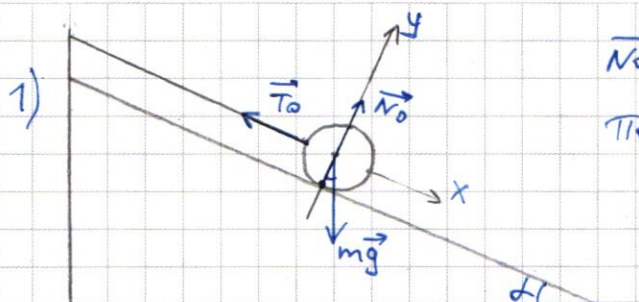
$$s = \frac{at^2}{2}$$

$$t = \sqrt{\frac{2s}{a}} = \sqrt{\frac{2s}{\frac{2F}{3m} - \mu g}}$$

$$\text{Ответ: 1) } F = 3mg; \quad 2) F_0 = \frac{3}{2}\mu mg; \quad 3) t = \sqrt{\frac{2s}{\frac{2F}{3m} - \mu g}}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№3. ДАНО.
 m
 R
 α
 L
 ω
 1) P_0
 2) P



$\vec{N}_0$ - сила реакции нити

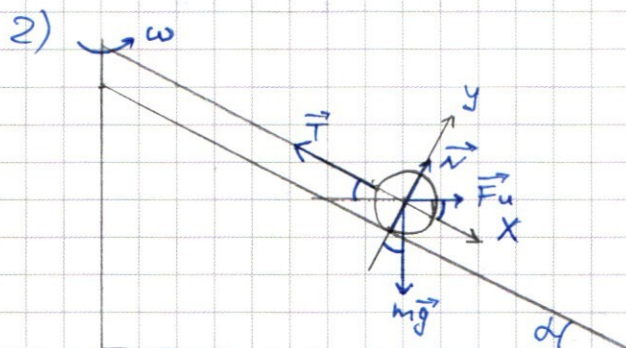
По 3 зак. н., $N_0 = P_0$

$\vec{T}_0$ - сила натяжения нити.

2 зак. Ньютона на ОУ

$$N_0 - mg \cos \alpha = 0$$

$$P_0 = mg \cos \alpha$$



По 3 з.н., $N = P$

Перейдем в НСО, связанную с шаром.

Тогда появляется сила инерции $\vec{F}_u = -m\vec{a}_u$, где $\vec{a}_u$ - центростремительное ускорение шара.

2 зак Ньютона на ОУ:

$$N + ma_u \sin \alpha - mg \cos \alpha = 0$$

$$P = mg \cos \alpha - m\omega^2 r \sin \alpha, \text{ где } r - \text{расстояние от центра шара до оси вращения}$$

$$r = (L + R) \cos \alpha.$$

$$P = m \cos \alpha (g - \omega^2 [L + R] \sin \alpha)$$

Ответ. 1) $P_0 = mg \cos \alpha$

$$2) P = m \cos \alpha (g - \omega^2 [L + R] \sin \alpha).$$

№ 5. Дано.

$$t = 27^\circ\text{C}$$

$$p = 3,55 \cdot 10^3 \text{ Па}$$

$$\gamma = 1,5$$

$$\mu = 18 \frac{\text{г}}{\text{моль}}$$

$$\gamma = 5,6$$

m — масса пара в начальный момент

V_0 — начальный объём.

$$T = 273 + 27 = 300 \text{ К.}$$

1) Ур-ие Менделеева — Клапейрона:

$$pV_0 = \frac{m}{M} RT \quad | : V_0$$

$$p = \frac{p_n}{M} RT$$

$$p_n = \frac{pM}{RT}; \quad \frac{p_n}{p} = \frac{pM}{RTp}$$

$$\frac{p_n}{p} = \frac{3,55 \cdot 10^3 \cdot 18 \cdot 10^{-3}}{8,31 \cdot 300 \cdot 1000} = \frac{355 \cdot 6 \cdot 10^{-5}}{831} \approx 2,6 \cdot 10^{-5}$$

2) $p_n = \text{const}$, т.к. $T = \text{const}$

$$V_0 = \gamma V_n \quad | \cdot p_n$$

$$m = \gamma m_n$$

$$m_n + m_v = \gamma m_n$$

$$m_v = m_n (\gamma - 1)$$

$$\frac{m_n}{m_v} = \frac{1}{\gamma - 1}$$

$$\frac{V_n}{V_0} = \frac{\frac{m_n}{p_n}}{\frac{m_v}{p}} = \frac{m_n p}{m_v p_n} = \frac{p}{p_n (\gamma - 1)} = \frac{RTp}{pM(\gamma - 1)}$$

$$\frac{V_n}{V_0} = \frac{1}{2,6 \cdot 10^{-5} \cdot (5,6 - 1)} = \frac{10^5}{2,6 \cdot 4,6} \approx 8,3 \cdot 10^3$$

Ответ: 1) $\frac{p_n}{p} \approx 2,6 \cdot 10^{-5}$; 2) $\frac{V_n}{V_0} \approx 8,3 \cdot 10^3$

$m = m_n + m_v$ в любой момент времени,
где m_n — масса пара
 m_v — масса воды.



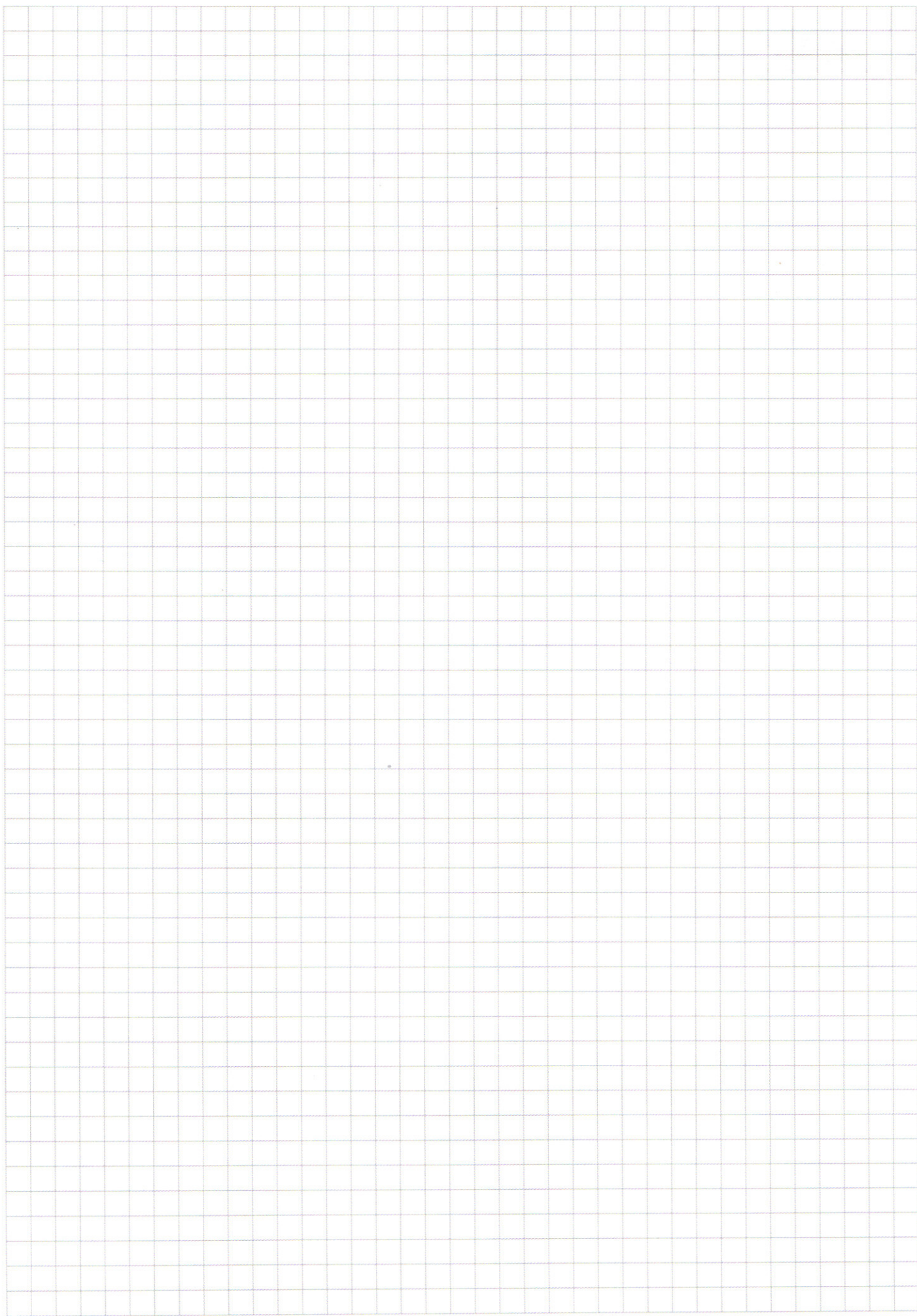
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ

«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)