

Олимпиада «Физтех» по физике,

Вариант 10-02

Класс 10

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

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.

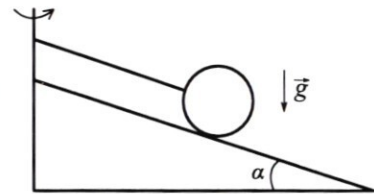
2. Человеку, упирающемуся в ящик ногами, надо передвинуть ящик из состояния покоя по горизонтальному полу на расстояние S к стене (см. рис.). Массы человека и ящика равны соответственно m и $M = 2m$. Натянутые части каната, не соприкасающиеся с блоком, горизонтальны. Массами каната, блока и трением в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

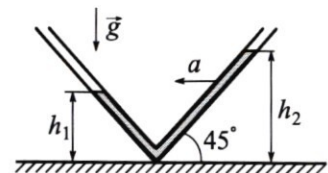
- 1) Найти силу давления шара на клин, если система покоится.
- 2) Найти силу давления шара на клин, если система вращается с угловой скоростью ω вокруг вертикальной оси, проходящей через вершину клина, а шар не отрывается от клина.



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.

3,6
3,6
1,6
3,8
1,2 3 6

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Дано:

$$v_0 = 10 \text{ м/с}$$

$$\alpha = 30^\circ; g = 10 \text{ м/с}^2$$

$$v_k = 2v_0$$

Найти

$$|v_{k,y}| - ?$$

$$t; h - ?$$

№1

Решение

1) Гайка была брошена под углом $\alpha = 30^\circ$ к горизонту, при этом указав, что всё время полёта она приближалась к земле, $\Rightarrow$ начальная верт. составляющая скорости гайки направлена к поверхности земли:

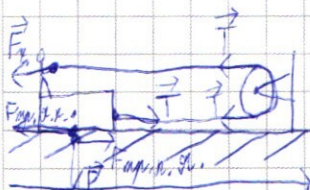
2) Запишем закон сохранения механической энергии гайки: $E_{k,н.} + E_{p,н.} = E_{k,к.} + E_{p,к.} \Rightarrow \frac{mv_0^2}{2} + mgh = \frac{mv_k^2}{2} + 0$ (поверхность земли — нулевой уровень потенциальной энергии), $\Rightarrow v_0^2 + 2gh = v_k^2 = 4v_0^2 \Rightarrow h = \frac{3v_0^2}{2g} = 15 \text{ м}$.

3) Закон движения шарика в проекции на ось OY:

$$-h = -(v_0 \sin \alpha) \cdot t - \frac{gt^2}{2}, \Rightarrow 5t^2 + 5t - 15 = 0, \Rightarrow t^2 + t - 3 = 0. D = 13, \Rightarrow t_{1,2} = \frac{-1 \pm \sqrt{13}}{2}, \Rightarrow$$

$\Rightarrow (t > 0) t = \frac{-1 + \sqrt{13}}{2} \text{ с} \approx (т.к. \sqrt{13} \approx 3,6) 1,3 \text{ с}$. Значит, вертикальная составляющая конечной скорости $|v_{k,y}| = |-v_0 \sin \alpha - g \cdot t| \approx 18 \text{ м/с}$.

Ответ: 1) $|v_{k,y}| \approx 18 \text{ м/с}$; 2) $t \approx 1,3 \text{ с}$; 3) $h = 15 \text{ м}$.



№2
Решение

1) Сила давления на пол при движении шара с человеком складывается из их суммарного веса $P = mg + Mg = 3mg$ и силы трения пола о шарики (т.к. при движении $F_{тр.ч.ш.} = F_{тр.ш.ч.}$ (по 3-му зак. Ньютона) $= \mu \cdot N = (33,3 \text{ Н/кг}) \mu P =$

Дано

$$m; M = 2m; \mu$$

Найти

$$F_{тр.ч.ш.}; F_0; t - ?$$

$$= 3\mu mg) \Rightarrow \vec{F}_{\text{двл.}} = \vec{P} + \vec{F}_{\text{тр. н. д.}} \Rightarrow (\text{м.к. } \vec{F}_{\text{тр. н. д.}} \perp \vec{P}): F_{\text{двл.}} = \sqrt{P^2 + F_{\text{тр. н. д.}}^2} = 3mg\sqrt{1+\mu^2}.$$

2) На шарик с человеком действует сила тяжести $\vec{T}$ и сила трения $\vec{F}_{\text{тр. д. н.}}$, максимальное значение которой $= \mu \cdot 3mg$, $\Rightarrow$ осуществится задуманное у человека получится, если $T \geq F_{\text{тр. д. н.}}$, $\Rightarrow$ (м.к. сила $F_{\text{н.}} = T$ (человек тянет шарик с силой $F_{\text{н.}}$) $\Rightarrow F_{\text{н.}} \geq \mu \cdot 3mg$, $\Rightarrow$ минимальное значение силы $F_0 = 3\mu mg$.

3) Сила $F > F_0$, $\Rightarrow$ в проекции на Ox : (по 2-му зак. Ньютона)

$T - F_{\text{тр. д. н.}} = (3m) \cdot a$, $\Rightarrow$ (м.к. движется человек и шарик: $(3m) = m + M = 3m$), и т.к. $T = F$, то $F - 3\mu mg = 3ma$, $\Rightarrow a = \frac{F}{3m} - \mu g$, $\Rightarrow$ (м.к. нач. скорость равна нулю, из уравнения движения шарика с человеком)

$$s = \frac{at^2}{2}, \Rightarrow t = \sqrt{\frac{2s}{a}} = \sqrt{\frac{65m}{F - 3\mu mg}}.$$

Ответ: 1) $F_{\text{двл.}} = 3mg\sqrt{1+\mu^2}$; 2) $F_0 = 3\mu mg$; 3) $t = \sqrt{\frac{65m}{F - 3\mu mg}}$.

Дано: m, R, L, α
Найти $F_{\text{двл.}}$
Решение.
1) На шар действуют 3 силы: $\vec{T}$; $m\vec{g}$ и $\vec{N}$ (м.к. поверхность клина шероховатая, то трения о него нет, а сила давления $F_{\text{двл.}} =$ весу $P =$ силе нормальной реакции клина N (по 3-му зак. Ньютона)). Все силы проходят через центр шара, т.к. тот не вращается, $\Rightarrow$ (по 2-му зак. Ньютона) в проекции на ось X , $\perp$ -ую поверхности клина: $N - mg \cdot \cos \alpha = 0$, $\Rightarrow N = F_{\text{двл.}} = mg \cdot \cos \alpha$.

2) При вращении у шара появляется ускорение $\vec{a}$, направленное к оси вращения и $= -\omega^2 \cdot r_{\text{м.ос.}}$, где $r_{\text{м.ос.}} = (L+R) \cdot \cos \alpha$ - расст. от центра масс шара (по сути просто шара, т.к. он однородный) до оси вращения, $\Rightarrow$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Вновь запишем 2-й закон Ньютона: $\vec{N} + \vec{T} + m\vec{g} = m\vec{a}$. В проекциях на горизонтальную и вертикальную оси: $\begin{cases} N \cdot \sin \alpha - T \cdot \cos \alpha = ma \\ N \cdot \cos \alpha + T \cdot \sin \alpha - mg = 0 \end{cases}$

$$\Rightarrow T = \frac{mg - N \cdot \cos \alpha}{\sin \alpha} \Rightarrow N \cdot \sin \alpha - \frac{mg - N \cdot \cos \alpha}{\sin \alpha} \cdot \cos \alpha = ma = m\omega^2 (L+R) \cdot \cos \alpha \Rightarrow \frac{1}{\cos \alpha (1+\tan^2 \alpha)}$$

$$\Rightarrow N \cdot \tan \alpha - \frac{mg}{\sin \alpha} + N \cdot \cot \alpha = m\omega^2 (L+R) \Rightarrow N (\tan \alpha + \cot \alpha) = \frac{mg}{\sin \alpha} + m\omega^2 (L+R) \Rightarrow N \frac{\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}{(\sin \alpha)(\cos \alpha)} = \frac{mg}{\sin \alpha} + m\omega^2 (L+R)$$

$$\Rightarrow (m \cdot k \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1) N = mg \cos \alpha + m\omega^2 (L+R) \cdot \frac{\sin \alpha}{2} (= F_{\text{прел.}, m.k.} = \text{Р. к. от преломл.}).$$

Ответ: 1) $F_{\text{прел.}, 1} = mg \cdot \cos \alpha$; 2) $F_{\text{прел.}, 2} = mg \cos \alpha + \frac{m\omega^2 (L+R) \cdot \sin(2\alpha)}{2}$.

Дано: $h_1 = 10 \text{ см}$, $\alpha = 45^\circ$, $g = 10 \text{ м/с}^2$, $a = 4 \text{ м/с}^2$.
Найти h_2 , θ - ?

При движении сосуда с жидкостью с горизонтальным ускорением a , поверхность жидкости будет наклонена к горизонту под углом β , где $\tan \beta = \frac{a}{g} = 0,4$. В данной схеме (узкие трубки) поверхность жидкости наклонена к горизонту под углом β , равному углу $\angle BDC$, где BD - горизонтальная поверхность (стена) m . D и C - точка изгиба трубки (в t -почке верхних уровней правой и левой частей трубки), $\Rightarrow \tan \angle BDC = \frac{BD}{DC} = \frac{h_2}{CH + CK + KB}$

где (из $\triangle BDK$ и BHC ($\angle HKC = 90^\circ$; $\angle C = 45^\circ$): $BK - KC = h_1$; $CH = HB = h_2$;
из $\triangle BDK$: $\tan \beta = \frac{BK}{DK} \Rightarrow DK = \frac{h_1}{\tan \beta} = 25 \text{ см}$, $\Rightarrow \tan \beta = \frac{h_2}{h_2 + 35 \text{ см}} \Rightarrow 0,6 h_2 = 0,4 \cdot 35 \Rightarrow h_2 = \frac{2}{3} \cdot 35 = 13,3 \text{ см}$.

2) При движении с ускорением жидкость в трубке не

движется после установившихся уровней h_1 и h_2 в коленах.

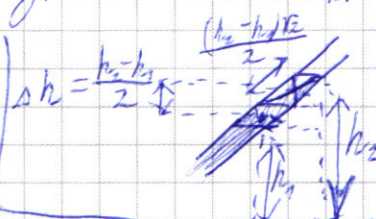
После остановки ускорения жидкость вновь придёт к равенству уровней жидкости в z -х коленах:



Изменение потенциальной энергии

жидкости в трубке при переходе от состояния I до состояния II можно вычислить, как ~~потенциальное~~ изменение потенциальной энергии части Δ при переходе ~~из~~ правого колена ~~на~~ вверх левого (используя равенство). Это значит, что $\Delta E_{\text{п.}} =$

$$= m_{\Delta} \cdot g \cdot \Delta h \approx \frac{(h_2 - h_1) \cdot S \sqrt{2} \rho_{\text{ж}}}{2} \cdot g \cdot \frac{(h_2 - h_1)}{2} \text{ равно}$$



изменению кинетической энергии жидкости

$$\Delta E_{\text{к.}} \approx \frac{\rho^2 \cdot m_{\text{ж.}}}{2}, \text{ где } \rho - \text{скорость жидкости относительно трубки;}$$

$m_{\text{ж.}}$ - масса всей жидкости в трубке; S - площадь сечения трубки

(Зак. сохранения энергии), при этом $m_{\text{ж.}} = V_{\text{ж.}} \cdot \rho_{\text{ж.}} = \rho_{\text{ж.}} \cdot S \cdot (h_1 \sqrt{2} + h_2 \sqrt{2})$

(при расчёте объёмов мы пренебрегаем ~~изменением~~ формой и L -наклоном подставки в узкой трубке, т. к. их объёмы ~~гораздо меньше~~ по сравнению со всей жидкостью), $\Rightarrow$

$$\Rightarrow \Delta E_{\text{п.}} \approx \Delta E_{\text{к.}} \Rightarrow \frac{(h_2 - h_1)^2 \cdot g \sqrt{2}}{4} \cdot \rho_{\text{ж.}} = \frac{\rho^2}{2} \cdot \rho_{\text{ж.}} \cdot \sqrt{2} (h_1 + h_2) \Rightarrow \rho \approx \frac{(h_2 - h_1)^2 g}{2(h_1 + h_2)}$$

$$\Rightarrow \rho \approx (h_2 - h_1) \sqrt{\frac{g}{2(h_1 + h_2)}} \approx 3,3 \cdot \sqrt{\frac{10}{2 \cdot 23,3}} \approx \frac{10}{3} \sqrt{\frac{10 \cdot 3}{2 \cdot 40}} \approx \sqrt{\frac{100}{6 \cdot 4}} \approx \sqrt{2,381} \approx \sqrt{2,4025} \approx 15,5 \text{ см/с}$$

$$\Rightarrow \text{ответ: } 1) h_2 \approx 13,3 \text{ см; } 2) \rho \approx 15,5 \text{ см/с.}$$

Дано:

$$T = 27^\circ \text{C} = 300 \text{ K} = \text{const}; \quad \gamma = 5,6 \text{ рад/с}$$

$$P = 3,55 \cdot 10^5 \text{ Па; } \rho_0 = 1,2 \text{ кг/м}^3; \quad \mu = 70 \text{ мксек}$$

Решение

$$1) \frac{F_{\text{ж.}}}{S_{\text{ж.}}} = 1; 2) \frac{V_{\text{ж.}}}{V_{\text{ж.}}} = 1$$

1) Если при увеличении объёма воздушного пара он начинает конденсироваться в воду, то при данной температуре этот пар насыщенным, и

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

значит его давление при увеличении объёма не изме-
няется, пока конденсируется вода.

Из уравнения Менделеева-Клапейрона можем найти
массу пара в объёме V_0 (до начала конденсации): $pV = \frac{m}{\mu} \cdot R \cdot T, \Rightarrow$

$$\Rightarrow \rho_{\text{п}} = \frac{m}{V} = \frac{p \cdot \mu}{R \cdot T} \approx \frac{3,55 \cdot 18}{8,31 \cdot 300} \approx \frac{3,1}{100 \cdot 2,77} \approx (\text{м.к. } \frac{2,77}{11} \approx 4) \cdot 10^{-4} \text{ кг/м}^3, \text{ и } \rho_{\text{в}} = 1000 \text{ кг/м}^3$$

$$\Rightarrow \frac{\rho_{\text{п}}}{\rho_{\text{в}}} \approx 0,25 \cdot 10^{-6} \approx 25 \cdot 10^{-6}.$$

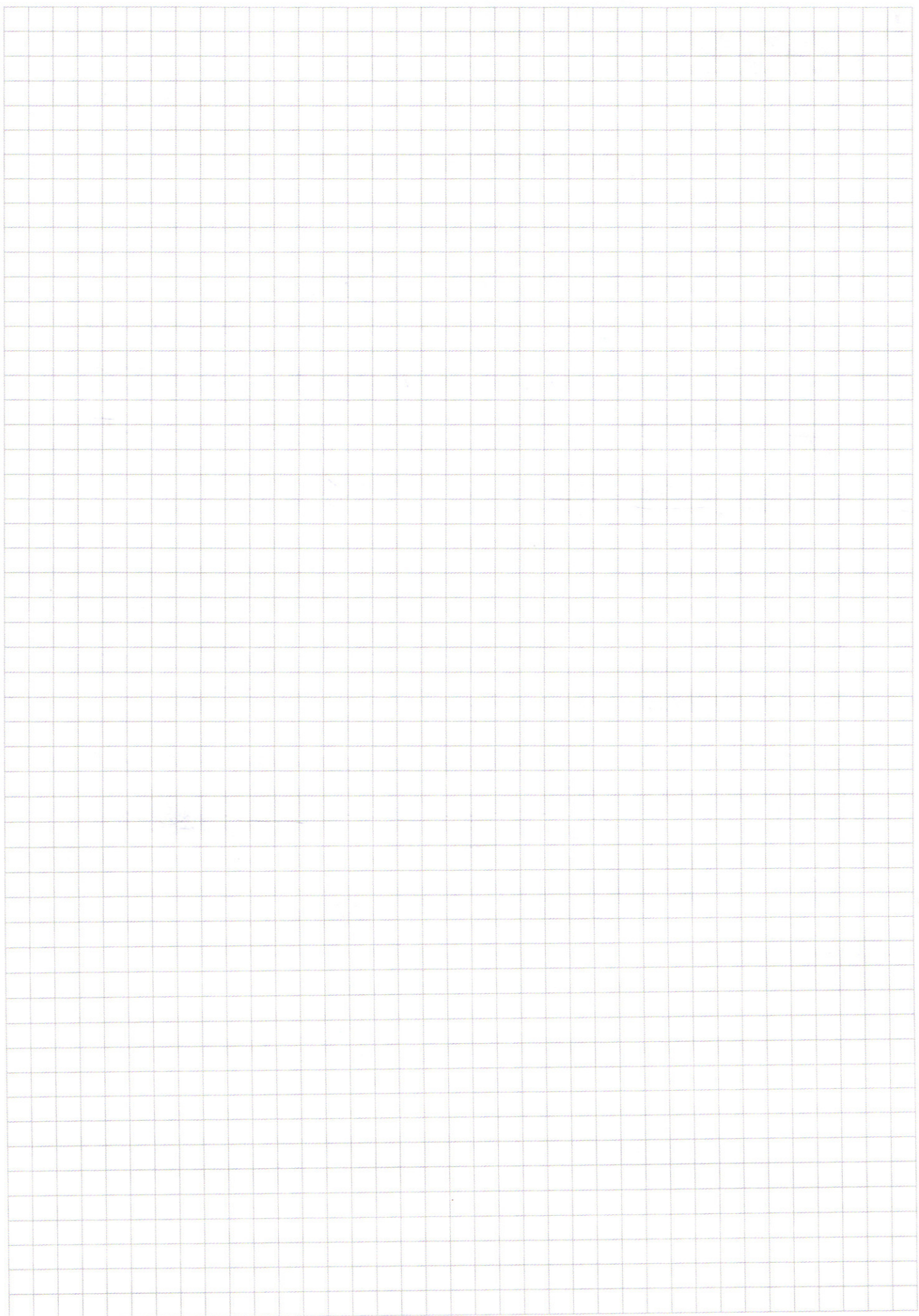
2) Изнач. объём пара V_0 , конечный $= \frac{V_0}{\gamma}, \Rightarrow$ уменьшение массы
пара = увеличение массы воды: $(V_0 - \frac{V_0}{\gamma}) \cdot \rho_{\text{п}} = \Delta V_{\text{в}} \cdot \rho_{\text{в}}, \Rightarrow$

$$\Rightarrow \text{в исходный момент отношение объёма воды } V_{\text{в}} = 0 + \Delta V_{\text{в}} \text{ и}$$

$$\text{пара } V_{\text{п}} = \frac{V_0}{\gamma}; \quad \frac{V_{\text{п}}}{V_{\text{в}}} = \frac{V_0}{\gamma \cdot (V_0 - \frac{V_0}{\gamma})} \cdot \frac{\rho_{\text{п}}}{\rho_{\text{в}}} = \frac{\rho_{\text{п}}}{\rho_{\text{в}} \cdot (\gamma - 1)} \approx \frac{40000}{4,6} \approx 8695.$$

$$\begin{array}{r} 40000 : 4,6 \\ 368 \\ \hline 320 \\ - 240 \\ \hline 80 \\ - 44 \\ \hline 260 \\ - 230 \\ \hline 30 \end{array}$$

Ответ: 1) $\frac{\rho_{\text{п}}}{\rho_{\text{в}}} \approx 25 \cdot 10^{-6}$; 2) $\frac{V_{\text{п}}}{V_{\text{в}}} \approx 8695.$



☐ черновик ☐ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №
(Нумеровать только чистовики)



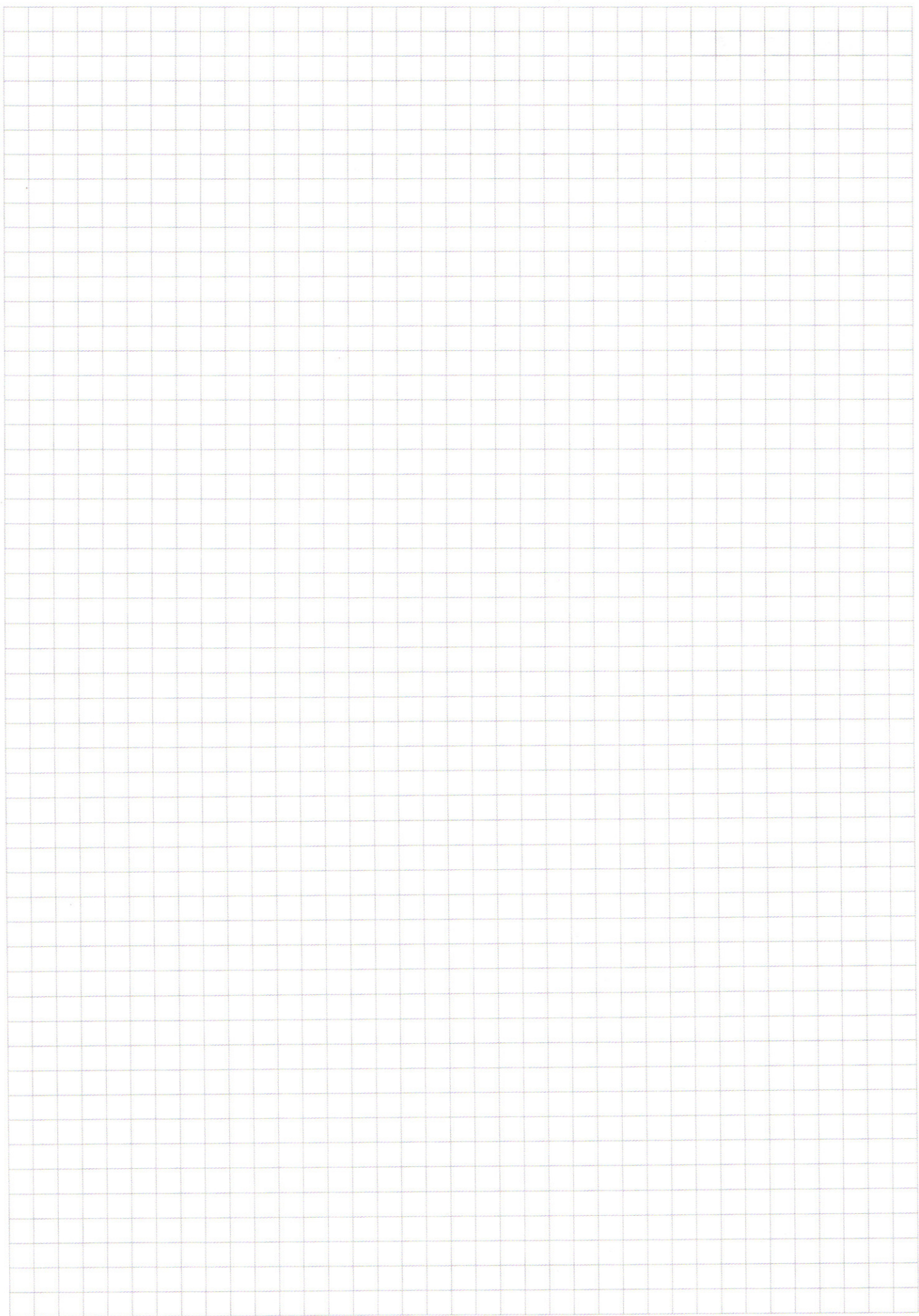
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ

«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)



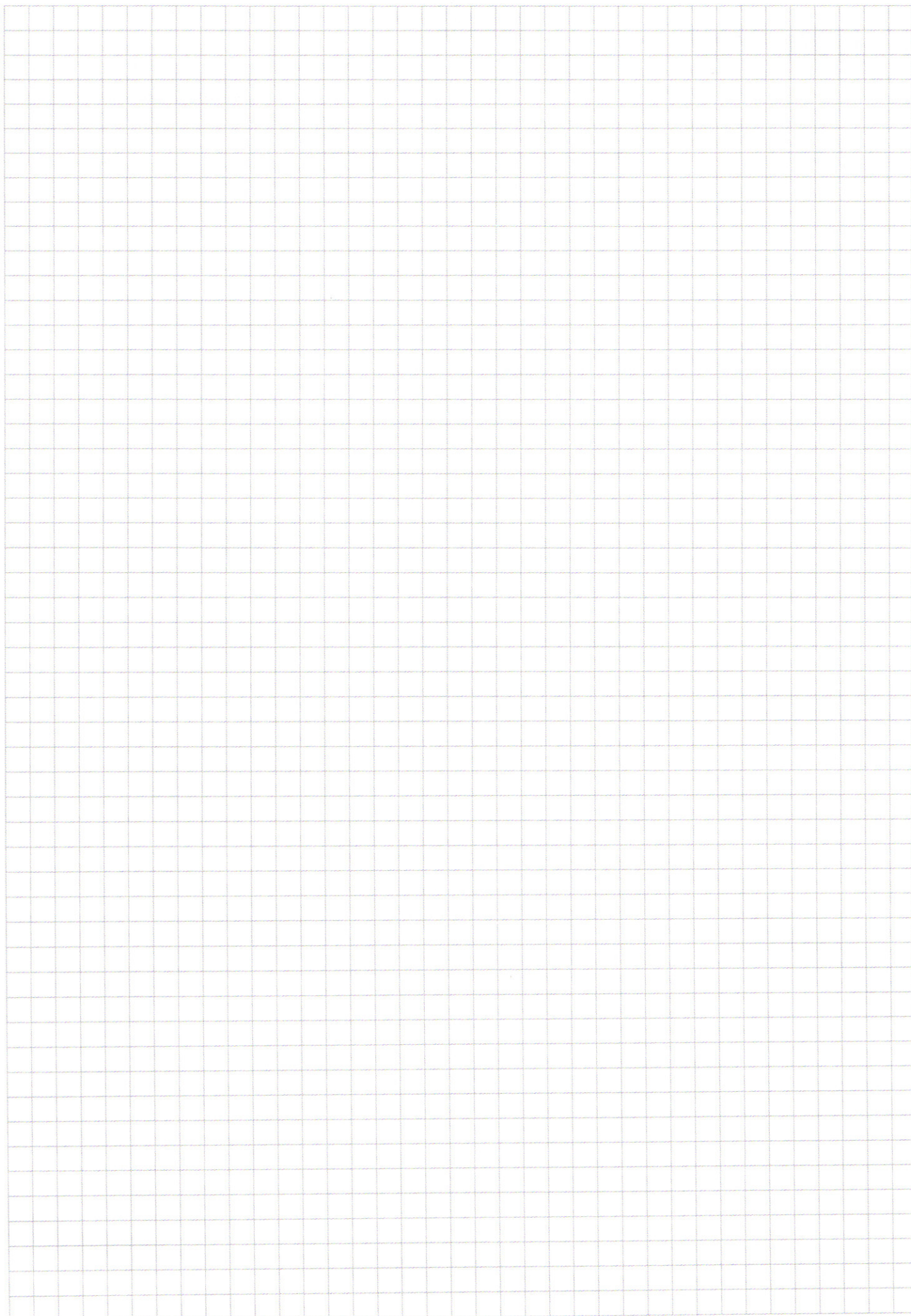
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ

«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)