

Олимпиада «Физтех» по физике, ф

Класс 10

Вариант 10-02

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

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?

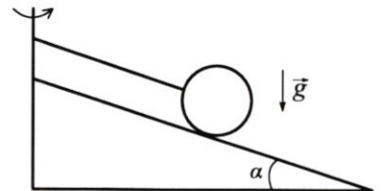
Ускорение свободного падения принять $g = 10$ м/с². Сопротивление воздуха не учитывать.

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 F_0 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.

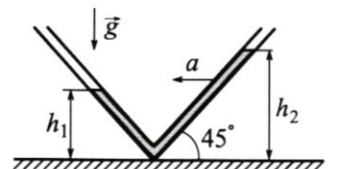


- 1) Найти силу давления шара на клин, если система покоится.
- 2) Найти силу давления шара на клин, если система вращается с угловой скоростью ω вокруг вертикальной оси, проходящей через вершину клина, а шар не отрывается от клина.

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. Дано:

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

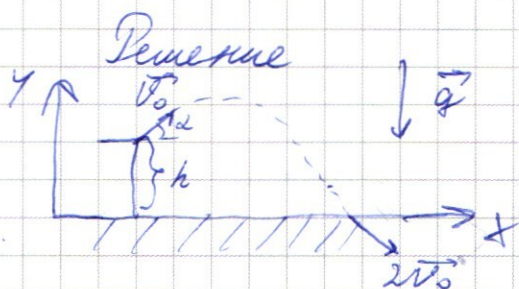
$$\alpha = 30^\circ$$

$$V_k = 2V_0$$

$$V_{ky} - ?$$

$$t - ?$$

$$h - ?$$



Решение
Рассмотрим движение относительно осей x и y .

$$V_{oy} - \text{проекция на } Oy = V_0 \cdot \sin \alpha$$

$$V_{ox} = V_0 \cdot \cos \alpha - \text{проекция на ось } x.$$

В проекции на ось x ускорение g не действует на тело $\Rightarrow V_{ox} = \text{const}$. При этом из т.-и. Пифагора:
 $V_k^2 = V_{ky}^2 + V_{kx}^2$, где V_{ky} - проекция V_k на Oy , V_{kx} - проекция V_k на ось Ox .

$$V_{kx} = V_{ox} = V_0 \cdot \cos \alpha; V_k = 2V_0$$

$$4V_0^2 = V_{ky}^2 + V_0^2 \cdot \cos^2 \alpha \Rightarrow V_{ky}^2 = V_0^2 (4 - \cos^2 \alpha)$$

$$V_{ky} = V_0 \sqrt{4 - \cos^2 \alpha} = 10 \cdot \sqrt{4 - \frac{3}{4}} = 10 \cdot \frac{\sqrt{13}}{2} = 5\sqrt{13} \approx 18 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Запишем ур-ние движения на ~~по оси~~ Oy :

$$V_{oy} - g t = -V_{ky} \Rightarrow g t = V_{oy} + V_{ky} \Rightarrow t = \frac{V_0 \cdot \sin \alpha + V_{ky}}{g}$$

$$t = \frac{10 \cdot \frac{1}{2} + 18}{10} = \frac{18 + 5}{10} = 2,3 \text{ с}$$

Запишем ЗСЭ для этой системы (т.к. потерь нет):

$$\frac{m V_0^2}{2} = m \frac{(2V_0)^2}{2} - m g h \Rightarrow h = \frac{\frac{4V_0^2}{2} - \frac{V_0^2}{2}}{g} = \frac{3V_0^2}{2g} = 15 \text{ м}$$

Ответ: $V_{ky} = 18 \frac{\text{м}}{\text{с}}$; $t = 2,3 \text{ с}$; $h = 15 \text{ м}$

3. Дано:

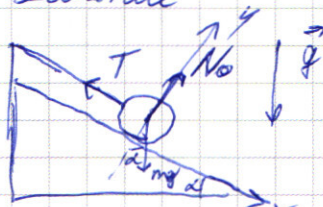
m, R, g

L, L, W

$N_0 - ?$

$N_1 - ?$

Решение

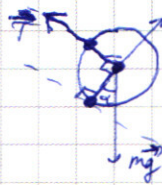
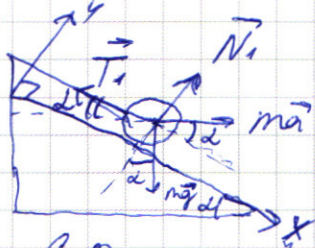


$$Ox: mg \cdot \sin \alpha = T$$

$$Oy: mg \cdot \cos \alpha = N_0$$

Найдем силы реакции
отсюда N_0 и N_1 , т.к. по
III закону Ньютона они равны
силы давления шара

Также для равновесия необходимо, чтобы сумма моментов сил
равнялась 0.



Здесь крутящего момента не
создается, т.к. все силы направлены
либо из центра, либо перпендикулярно,
касательным. $N_0 = mg \cdot \cos \alpha$

С.О. "шар" В системе отсчета относительно шара на
него действует сила, равная ma и направленная перпендику-
лярно от оси вращения.

$$Oy: N_1 + ma \cdot \sin \alpha = mg \cdot \cos \alpha \Rightarrow N_1 = m(g \cdot \cos \alpha - a \cdot \sin \alpha)$$

$$Ox: ma \cdot \cos \alpha + mg \cdot \sin \alpha = T_1 \quad (N_1 \neq 0, \text{ т.к. шар не отрывается})$$

$$\text{Найдем } a: ma = W^2(R+L) \cdot \cos \alpha$$

$$N_1 = m(g \cdot \cos \alpha - W^2(R+L) \cdot \cos \alpha \cdot \sin \alpha) = m(g - W^2(R+L) \sin \alpha) \cos \alpha$$

$$\text{Ответ: } N = mg \cdot \cos \alpha; N_1 = m(g - W^2(R+L) \sin \alpha) \cos \alpha$$

4. Дано:

$$\alpha = 45^\circ$$

$$a = 4 \frac{m}{c^2}$$

$$h_1 = 10 \text{ см} = 0.1 \text{ м}$$

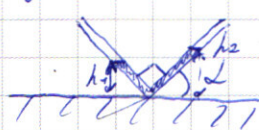
$h_2 - ?$

$V - ?$

Решение

Перейдем в С.О. "трубка". Тогда она
будет неподвижна, но появится g' .

$$\vec{g}' = \vec{g} - \vec{a}$$



$$\gamma = \arctg \frac{a}{g}$$

Равновесие возможно, если
давления будут равны.

$$p_1 = p_2$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Н. (предметные) Рассмотрим задачу:

Найти угол β между трубой и
ускорением g' .

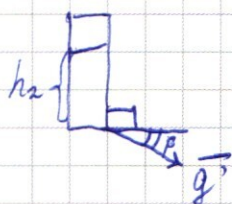


$$\beta = 2 - \gamma$$

$$\beta \gamma = \arctg \frac{a}{g}$$

$$p_1 = \rho g' \cos \beta h_1$$

Рассмотрим вторую трубу:



$$p_2 = \rho g' \sin \beta \cdot h_2$$

$$p_1 = p_2 \Rightarrow \rho g' \sin \beta h_2 = \rho g' \cos \beta h_1$$

$$h_2 = \cotg(\beta) \cdot h_1 = h_1 \cdot \cotg \beta$$

$$\cotg \beta = \frac{\cos \beta}{\sin \beta} = \frac{\cos(2 - \gamma)}{\sin(2 - \gamma)}$$

$$\cos(2 - \gamma) = \cos\left(\frac{\pi}{4} - \arctg \frac{a}{g}\right) = \cos \frac{\pi}{4} \left(\cos(\arctg \frac{a}{g}) + \sin(\arctg \frac{a}{g}) \right)$$

$$\sin(2 - \gamma) = \sin \frac{\pi}{4} \left(\cos(\arctg \frac{a}{g}) - \sin(\arctg \frac{a}{g}) \right)$$

$$\cotg \beta = \frac{\cos(\arctg \frac{a}{g}) + \sin(\arctg \frac{a}{g})}{\cos(\arctg \frac{a}{g}) - \sin(\arctg \frac{a}{g})} \quad \arctg \frac{a}{g} = \gamma \Rightarrow \tg \gamma = \frac{a}{g} = 0,4$$

$$\sin \gamma = 0,4 \cos \gamma \Rightarrow 0,16 \cos^2 \gamma + \cos^2 \gamma = 1 \Rightarrow \cos \gamma = \frac{1}{\sqrt{1,16}}$$

$$\sin \gamma = \sqrt{1 - \frac{1}{1,16}} = \frac{0,4}{\sqrt{1,16}}; \arctg \frac{a}{g} = \arccos \frac{1}{\sqrt{1,16}} = \arcsin \frac{0,4}{\sqrt{1,16}}$$

$$\cotg \beta = \frac{1 + 0,4}{1 - 0,4} = \frac{1,4}{0,6} = 2,33 = \frac{7}{3}$$

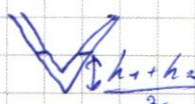
$$h_2 = \frac{7}{3} \cdot 0,1 \approx 0,23 \text{ м}$$

Теперь найдем скорость. Для этого рассмотрим расположение
центров масс вначале и в конечном, когда стволы сравняются

было



стало:



4) (продолжение) По ЗСЭ: $E_k = Q_k + E$

$$E = \frac{mV^2}{2} \text{ Найдем } E \text{ из ЗСЭ:}$$

$$Q_k = \rho h_2 g \frac{h_2}{2} + \rho h_1 g \frac{h_1}{2} \quad (\rho - \text{линейная плотность жидкости,}$$

$$Q_k = 2 \cdot \rho \frac{h_1 + h_2}{2} g \frac{h_1 + h_2}{2} \quad \text{чтобы посчитать массу)}$$

$$E = \rho (h_1 + h_2) \frac{V^2}{2}$$

$$\rho g \frac{h_2^2}{2} + \rho g \frac{h_1^2}{2} = \rho g \frac{(h_1 + h_2)^2}{2} + \rho \frac{(h_1 + h_2) V^2}{2}$$

$$\frac{h_2^2}{2} + \frac{h_1^2}{2} - \frac{(h_1 + h_2)^2}{2} = \frac{(h_1 + h_2) V^2}{2g}$$

$$h_1^2 + h_2^2 - \frac{h_1^2}{2} - \frac{h_2^2}{2} - h_1 h_2 = \frac{(h_1 + h_2) V^2}{2g}$$

$$h_1^2 + h_2^2 - 2h_1 h_2 = \frac{2(h_1 + h_2) V^2}{g} \Rightarrow V^2 = \frac{(h_1 - h_2)^2 \cdot g}{2(h_1 + h_2)}$$

$$V^2 = \frac{(0,13)^2 \cdot 10}{2 \cdot 0,33} = \frac{(0,13)^2 \cdot 5}{0,33} \approx 15 \cdot (0,13)^2$$

$$V = 0,13 \cdot \sqrt{15} \approx 0,13 \cdot 3,9 = 1,3 \cdot 10^{-1} \cdot 3 \cdot 1,3 = (1,3)^2 \cdot 0,3 \approx 0,5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$\text{Ответ: } h_2 = 0,23 \text{ м; } V = 0,5 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

5. Дано:

$$T = 300 \text{ K}$$

$$p = 2,55 \cdot 10^5 \text{ Па}$$

$$\frac{\rho_n}{\rho_b} - ?$$

$$\frac{V_n}{V_b} - ?$$

$$\rho_b = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$\mu = 18 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$$

$$\gamma = 5,6$$

Решение

$$pV = \frac{m}{\mu} RT; \quad \rho_n = \frac{m}{V}$$

$$\frac{m}{V} = \frac{\mu p}{RT} = \rho_n$$

$$\rho_n = \frac{18 \cdot 10^{-3} \cdot 2,55 \cdot 10^5}{8,31 \cdot 300} = \frac{18 \cdot 2,55}{8,31} \approx 2,56 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$\frac{\rho_n}{\rho_b} = \frac{2,56}{1000} = 2,56 \cdot 10^{-3}$$

$$V_0 = \gamma V_n$$

$$V_0 \cdot \rho_n = m_0$$

$$V_n \cdot \rho_n = m_n; \quad V_b \cdot \rho_b = m_b$$

$$m_n + m_b = m_0 \quad (\text{по закону сохранения массы})$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

⑤ (продолжение) $V_n \cdot g_n + V_b g_b = V_0 g_n = 8 V_n g_n$

$$V_n g_n (8-1) = V_b g_b$$

$$\frac{V_n}{V_b} = \frac{g_b}{g_n} \cdot \frac{1}{(8-1)}$$

$$\frac{V_n}{V_b} = \frac{1}{2,56 \cdot 10^{-3}} \cdot \frac{1}{4,6} = \frac{1000}{2,56 \cdot 4,6} \approx 85$$

Ответ: $\frac{g_n}{g_b} = 2,56 \cdot 10^{-3}$; $\frac{V_n}{V_b} = 85$

② Дано:

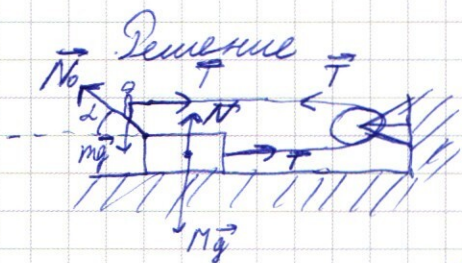
$$m, M = 2m$$

$$\mu$$

$$N - ?$$

$$F_0 - ?$$

$$t - ?$$



Найдём N , т.к. по III з-ку Ньютона она равна силе давления ящика с веревкой на пол.

$$N = Mg + No \cdot \sin \alpha \text{ — для ящика}$$

$$\text{Для веревки: } No \cdot \sin \alpha = mg$$

$$No \cdot \cos \alpha = T \Rightarrow No^2 = (mg)^2 + T^2$$

$$N = Mg + mg = 3mg$$

$$F_0 = T. \text{ Уравнение для ящика: } T + No \cdot \cos \alpha = F_{\text{тр}}$$

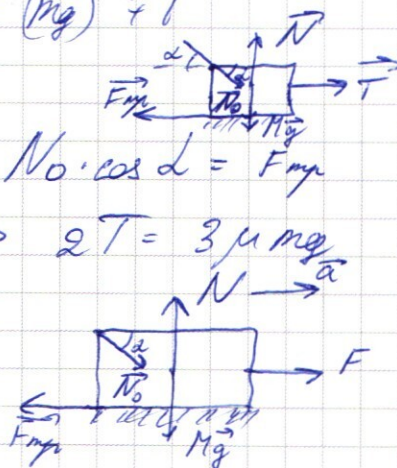
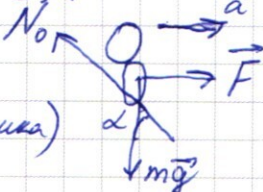
$$F_{\text{тр}} = \mu N = 3mg\mu. \quad No \cdot \cos \alpha = T \Rightarrow 2T = 3\mu mg$$

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

Если веревка приложит силу $F > F_0$:

$$ma + No \cdot \cos \alpha = F \text{ (для веревки)}$$

$$No \cdot \cos \alpha + F - F_{\text{тр}} = 2Ma \text{ (для ящика)}$$



• (проверка)

$$N \cdot \cos \alpha = F - ma$$

②

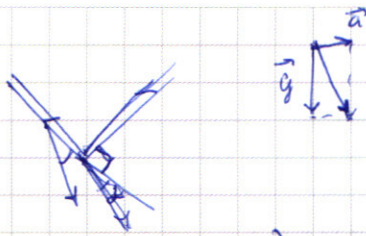
$$N \cdot \cos \alpha + F - F_{\text{тр}} = Ma$$

$$2F - ma - \mu N = Ma$$

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

$$t = \sqrt{\frac{2S \cdot 3m}{2F - 3\mu mg}} = \sqrt{\frac{6m \cdot S}{2F - 3\mu mg}}$$

$$\text{Ответ: } N = 3mg; F_0 = \frac{3\mu mg}{2}; t = \sqrt{\frac{6m \cdot S}{2F - 3\mu mg}}$$



$$Q = \Delta U + A$$

$$Q = \Delta U + A'$$

A' — работа газа

$$\rho_{\text{н}} = \frac{RT}{\mu p}$$

$$V \cdot \rho_{\text{н}} = m$$

$$V_1 \rho_{\text{н}} = m_{\text{н}}$$

$$V_2 \rho_{\text{в}} = m_{\text{в}}$$

$$\sqrt{15} = 3,8$$

$$68600$$

$$84$$

$$524$$

$$765 \quad 5600$$

$$5 \quad 25$$

$$T = \text{const}$$

$$p = \text{const}$$

$$\begin{array}{r} 1,69 \\ 0,3 \\ \hline 0,507 \end{array}$$

$$pV = \frac{m}{\mu} RT$$

$$pV = \frac{\rho_n V}{\mu} RT \quad V_1 = \frac{V}{8}$$

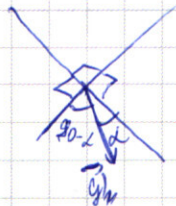
$$\frac{V_n}{m_n} = \text{const}$$

$$V_n = C \cdot (m - m_0)$$

$$V_n = C m - C \rho_0 V_0$$

$$\frac{g}{2} (h_1 - h_2)^2 = (h_1 + h_2) V^2$$

$$V_1 \rho_{\text{н}} + V_2 \rho_{\text{в}} = V \rho_{\text{н}}$$



(4)

$$\rho g' \cos \alpha h_1 = \rho g' \sin \alpha h_2$$

$$\frac{h_1}{h_2} = \tan \alpha$$

$$\frac{h_1 + h_2}{2}$$

$$\int_{h_2}^{\frac{h_1 + h_2}{2}} \rho g' dp =$$

$$\frac{\rho g' (h_1 + h_2)^2}{2}$$

$$\int_{h_2}^{\frac{h_1 + h_2}{2}} \rho g' \ell dp = A$$

h_2

$$\rho h_2 g \frac{h_2}{2} - \rho g \frac{h_1 + h_2}{2} \frac{h_1 + h_2}{4} =$$

$$= \rho \frac{h_1 + h_2}{2} g \frac{h_1 + h_2}{4} + \rho h_1 g \frac{h_1}{2} + E_k$$

$$\rho g \frac{h_2^2}{2} - \rho g \frac{(h_1 + h_2)^2}{8} =$$

$$= \rho g \left(\frac{h_2^2}{8} - \frac{h_1^2}{8} - \frac{h_1 h_2}{4} \right) + E_k$$

$$E_n = \rho g \left(\frac{h_2^2}{2} + \frac{h_1^2}{2} - \frac{(h_1 + h_2)^2}{4} \right)$$

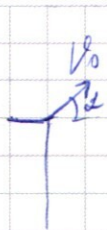
$$E_k = \rho g \left(\frac{h_1^2}{2} + \frac{h_2^2}{2} - \frac{h_1^2}{4} - \frac{h_2^2}{4} - \frac{h_1 h_2}{2} \right)$$

$$E_k = \rho g \frac{1}{4} (2h_1^2 + 2h_2^2 - h_1^2 - h_2^2 - 2h_1 h_2)$$

$$= \rho g \frac{1}{4} (h_1 - h_2)^2 =$$

$$= \rho \frac{(h_1 + h_2)}{2} V^2$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$$\begin{array}{r} 256 \\ 46 \\ \hline 1536 \\ 1024 \\ \hline 11276 \end{array}$$

$$\sqrt{13} = 3,60$$

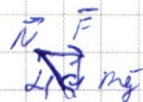
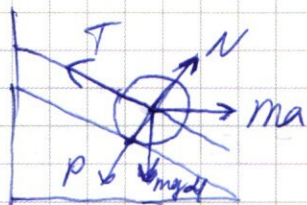
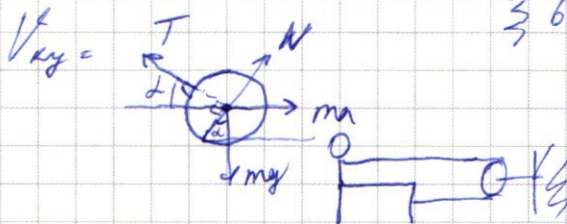
$$\begin{array}{r} 3,55 \\ 6 \\ \hline 21,30 \\ 21,30 \\ \hline 0 \end{array}$$

$$3 \cdot \frac{2}{3} = 2$$

$$3 \cdot \frac{2}{3} = \frac{11}{3}$$

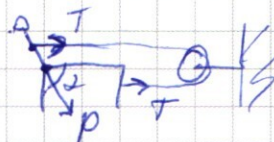
$$6 \cdot 3,55$$

$$1$$



$$T = mg \sin \alpha$$

$$N = mg \cdot \cos \alpha$$



$$ma \cdot \cos \alpha + mg \sin \alpha = T$$

$$ma \cdot \sin \alpha + N = mg \cdot \cos \alpha$$

$$N \cdot \sin \alpha = mg$$

$$N \cdot \cos \alpha + F = T$$

$$T = \mu (3mg)$$

$$10000 \mid 11,8$$

$$T + P \cdot \cos \alpha =$$

$$= \mu (P \sin \alpha + 2mg)$$

$$N = \left(\frac{\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}{\cos \alpha} \right) = mg$$

$$\frac{N}{\cos \alpha} = mg$$

$$N \cos \alpha - T \cos \alpha = 0$$

$$N \cos \alpha + T \sin \alpha = mg$$

$$N \sin \alpha = T$$

$$T = \frac{mg}{\sin \alpha} - \frac{N \cos \alpha}{\sin \alpha}$$

$$N \left(\frac{\sin^2 \alpha}{\cos \alpha} + \cos \alpha \right) = mg$$

$$N \frac{\sin^2 \alpha}{\cos \alpha} = mg - N \cos \alpha$$

$$\begin{array}{r} 10000 \mid 11,8 \\ 944 \\ \hline 560 \\ 472 \\ \hline 880 \end{array}$$



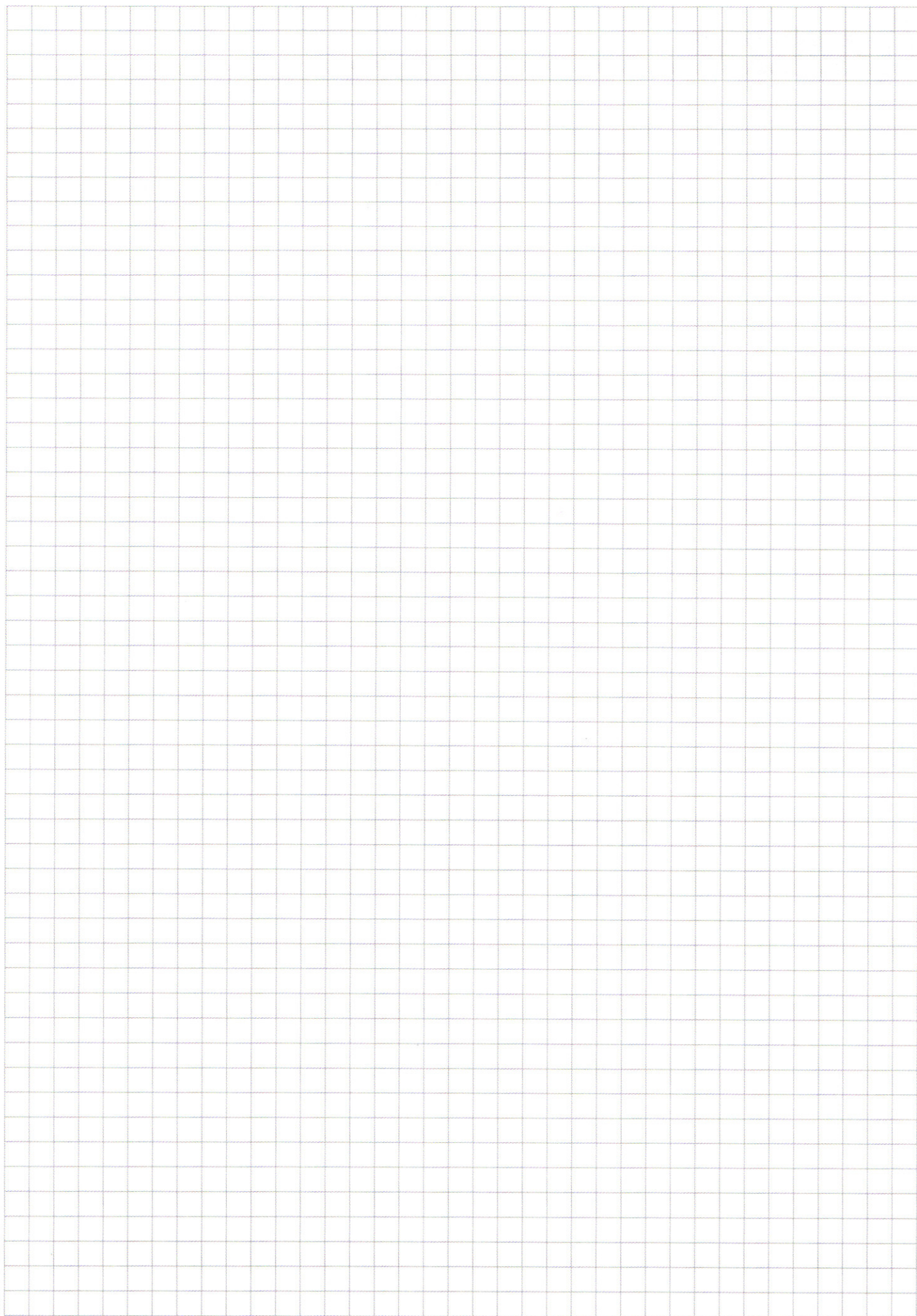
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ

«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)