

Олимпиада «Физтех» по физике, ф

Вариант 10-02

Класс 10

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?

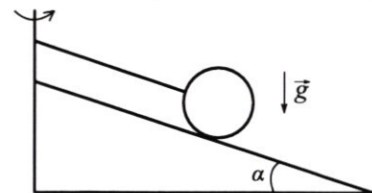
2) С какой минимальной постоянной силой надо тянуть человеку канат, чтобы осуществить задуманное?

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.

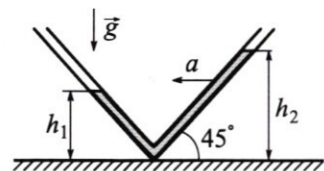


4. Трубка, изогнутая под прямым углом, расположена в вертикальной плоскости и заполнена маслом (см. рис.). Угол $\alpha = 45^\circ$. При равноускоренном движении трубки в горизонтальном направлении с ускорением $a = 4$ м/с² уровень масла в одном из колен трубки устанавливается на высоте $h_1 = 10$ см.

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

$$\frac{V^2}{2} + \frac{g(h_1^2 + h_2^2)}{2(h_1 + h_2)} = \frac{g(h_1 + h_2)}{4} + \frac{V_{0\text{cm}}^2}{2} + \frac{V^2}{2} - \frac{\sqrt{2} V_{0\text{cm}} V}{2}$$

$$\frac{2g(h_1^2 + h_2^2)}{2(h_1 + h_2)} - \frac{g(h_1 + h_2)}{2(h_1 + h_2)} = V_{0\text{cm}}^2 - \sqrt{2} V_{0\text{cm}} V$$

$$\frac{\sqrt{2} M g (h_1^2 + h_2^2)}{4(h_1 + h_2)} - \frac{\sqrt{2} M g (h_1 + h_2)}{4(h_1 + h_2)} = \frac{M V_{0\text{cm}}^2}{2}$$

$$\frac{g(2h_1^2 + 2h_2^2 - h_1^2 - h_2^2 - 2h_1 h_2)}{2(h_1 + h_2)} = \frac{g(h_1 - h_2)^2}{2(h_1 + h_2)} = \frac{M V_{0\text{cm}}^2}{2}$$

3.5 $\rho_n = 3,55 \cdot 10^3 \text{ Па};$
 $T = 300 \text{ К};$

$$\frac{\sqrt{2} g (2 h_1 h_2)}{2} = V_{0\text{cm}}^2$$

$$V_{0\text{cm}} = \sqrt{\frac{2 g h_1 h_2}{2}} = \sqrt{1,4 \cdot 10 \cdot 23,3 \cdot 10} =$$

$$\rho V_0 = \frac{m_0 R T}{M_n}; \quad \rho_n = \frac{P M_n}{R T} \quad \frac{\rho_n}{\rho V} = \frac{P M_n}{R T \rho V} = \frac{3,55 \cdot 10^3 \cdot 18 \cdot 10^{-3}}{8,31 \cdot 300 \cdot 10^3} =$$

$$= \frac{6,39 \cdot 10^{-5}}{8,31} \approx \frac{2,45}{8,31} \cdot 10^{-5} \approx \frac{1,88}{10,8} \approx 2,6 \cdot 10^{-5}$$

$$\frac{V_0}{V} = \gamma \quad V_{\text{конт}}: V_0 - V = V(\gamma - 1)$$

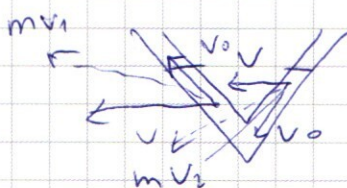
$$V_{\text{конт}} \rho_n = V \rho V;$$

$$V = V_{\text{конт}} \frac{\rho_n}{\rho V} =$$

$$\frac{V}{V} = \frac{\rho V}{\rho_n (\gamma - 1)} = \frac{1}{2,6 \cdot 10^{-5} \cdot 4,6} = V(\gamma - 1) \frac{\rho_n}{\rho V};$$

$$= \frac{10^4}{12} \approx \frac{5}{6} \cdot 10^4 \approx 0,84 \cdot 10^4 = 8,4 \cdot 10^3;$$

3.4 2)

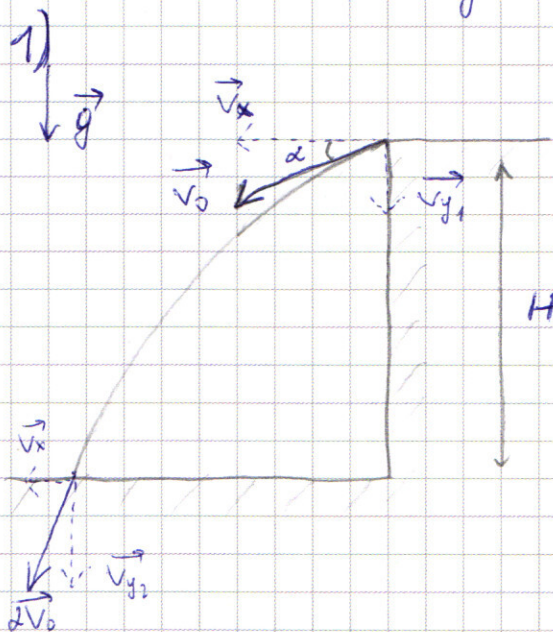


$$13,4 \cdot \frac{10}{2,3} \sqrt{\frac{2,4 \cdot 10 \cdot 3}{100}} =$$

$$= \frac{20}{3} \sqrt{0,42} \approx$$

$$\frac{0,65 \cdot 20}{3} \cdot \frac{1}{3} \approx 4,2$$

Задача 1



$$\begin{aligned}
 v_x &= \text{const}; \\
 v_x &= v_0 \cos \alpha; \\
 v_{y1} &= v_0 \sin \alpha; \\
 v_0^2 &= v_x^2 + v_{y1}^2; \\
 4v_0^2 &= v_x^2 + v_{y2}^2; \\
 4(v_x^2 + v_{y1}^2) - v_{y2}^2 &= 4v_0^2 - v_x^2 = \\
 &= 4v_0^2 - v_0^2 \cos^2 \alpha = \\
 &= v_0^2 (4 - \cos^2 \alpha) = v_0^2 (3 + \sin^2 \alpha) = \\
 &= v_0^2 \cdot 3,25;
 \end{aligned}$$

$$v_{y2} = \sqrt{v_0^2 (3 + \sin^2 \alpha)} = v_0 \sqrt{3,25} \approx 1,8v_0 = 18 \text{ м/с};$$

Ответ: 18 м/с;

$$\begin{aligned}
 2) \quad v_{y2} - v_{y1} &= gt; \quad t = \frac{v_{y2} - v_{y1}}{g} = \frac{v_0 (\sqrt{3 + \sin^2 \alpha} - \sin \alpha)}{g} = \\
 &= \frac{v_0 (1,8 - 0,5)}{g} = \frac{1,3 \cdot 10}{10} = 1,3 \text{ (с)}
 \end{aligned}$$

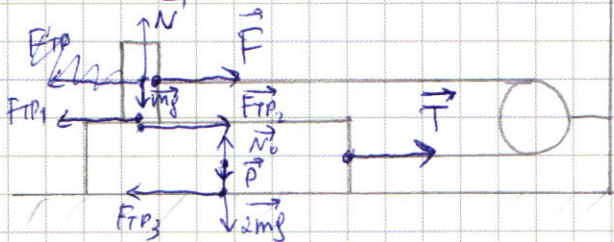
Ответ: 1,3 с;

$$\begin{aligned}
 3) \quad 2gH &= v_{y2}^2 - v_{y1}^2; \quad H = \frac{v_{y2}^2 - v_{y1}^2}{2g} = \frac{v_0^2 (3 + \sin^2 \alpha - \sin^2 \alpha)}{2g} = \\
 &= \frac{3v_0^2}{2g} = \frac{3 \cdot 100}{2 \cdot 10} = 15 \text{ (м)};
 \end{aligned}$$

Ответ: 15 м;

Задача 2

1) Р - вес человека, N - сила реакции опоры на человека; По 3-му закону Ньютона:
 N - сила реакции опоры на систему; $P = N; \quad \cancel{F = T};$
 T - сила натяжения нити



$$F_{TP1} = F_{TP2};$$

$F = T$, так как нить невесомая и нерастяжимая

$$mg = N; \quad N_0 = P + 2mg = 3mg \text{ — по 3-му закону Ньютона,}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

это и есть сила, с которой система давит на пол

Ответ: $N = 3mg$

2) чтобы ~~система~~ Если система начнет двигаться,
то $F_{TP3} = N_0 m = 3mg$;

$$F_0 = F_{TP1};$$

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

$$F_{TP3} = T + F_{TP2} = 2F_0;$$

Ответ: $F_0 = \frac{3mg}{2}$

3) В этом случае система будет двигаться
с ускорением a ,

$$F - F_{TP1} = ma;$$

сложим уравнения:

$$T + F_{TP2} - F_{TP3} = 2ma;$$

$$F + T - F_{TP3} = 3ma;$$

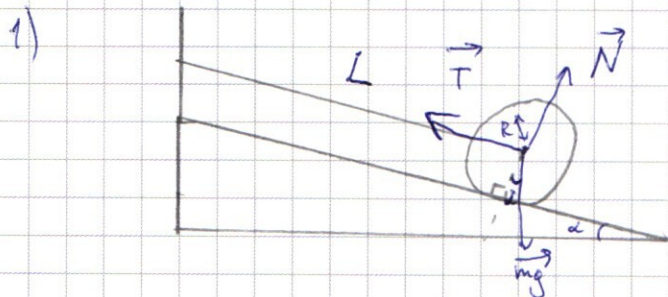
$$2F - 3mg = 3ma;$$

$$a = \frac{2F - 3mg}{3m};$$

$$S = \frac{at^2}{2}; \quad t = \sqrt{\frac{2S}{a}} = \sqrt{\frac{6mS}{2F - 3mg}};$$

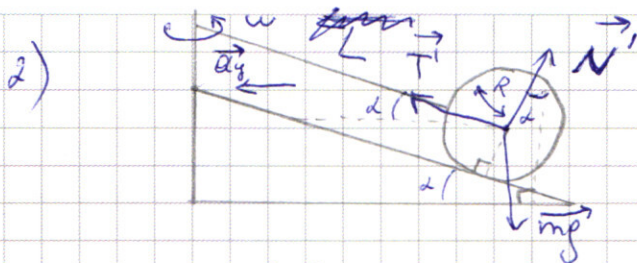
Ответ: $t = \sqrt{\frac{6mS}{2F - 3mg}};$

Задача 3



$N = mg \cos \alpha$ — по 3-му
закону Ньютона, это
 N равна силе давления
шара на клин

Ответ: $N = mg \cos \alpha$



$a_y = \omega^2 (L+R) \cos \alpha$ - центростремительное ускорение;

$$mg = N' \cos \alpha + T' \sin \alpha;$$

$$m\omega^2 (L+R) \cos \alpha = T' \cos \alpha - N' \sin \alpha$$

$$T' = \frac{mg - N' \cos \alpha}{\sin \alpha};$$

$$m\omega^2 (L+R) \cos \alpha = \frac{(mg - N' \cos \alpha) \cos \alpha}{\sin \alpha} - N' \sin \alpha;$$

$$m\omega^2 (L+R) \cos \alpha \sin \alpha = mg \cos \alpha - N' \cos^2 \alpha - N' \sin^2 \alpha;$$

$$m \cos \alpha (g - \omega^2 (L+R) \sin \alpha) = N'; \text{ по 3-му закону}$$

Ньютона, эта сила равна силе давления
шара на клин

$$\text{Ответ: } N' = m \cos \alpha (g - \omega^2 (L+R) \sin \alpha);$$

Задача 5

1) $P = \text{const}$, при этом это давление насыщенного
пара при изотермическом процессе.

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

V_0 - объем воды;

V_0 - начальный объем пара; $V_{\text{конд}}$ - объем пара, кото-
рый конденсировался;

ρ_p - плотность пара, m_p - масса пара, V - объем остав-
шегося пара

По закону Клайперона - Менделеева; ρ_v - плотность воды;

$$PV_0 = \frac{m_p RT}{\mu}; \quad \frac{m_p}{V_0} = \rho_p = \frac{P\mu}{RT}; \quad \frac{\rho_p}{\rho_v} = \frac{P\mu}{RT\rho_v} =$$

$$= \frac{3,51 \cdot 10^3 \cdot 18 \cdot 10^{-3}}{8,31 \cdot 300 \cdot 10^3} = \frac{6 \cdot 3,51}{8,31} \cdot 10^{-5} \approx 2,6 \cdot 10^{-5};$$

$$\text{Ответ: } \frac{\rho_p}{\rho_v} \approx 2,6 \cdot 10^{-5};$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$2) V_{\text{конг}} = V_0 - V = V(\gamma - 1); \quad \gamma = \frac{V_0}{V}$$

$$\rho_{\text{м}} V_{\text{конг}} = \rho_{\text{в}} V_{\text{в}};$$

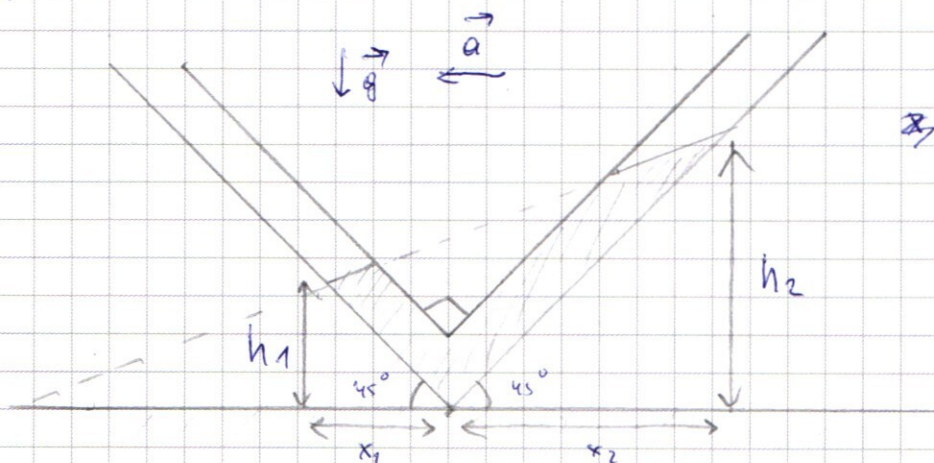
$$V_{\text{в}} = \frac{\rho_{\text{м}}}{\rho_{\text{в}}} V(\gamma - 1); \quad \frac{V}{V_{\text{в}}} = \frac{1}{\frac{\rho_{\text{м}}}{\rho_{\text{в}}}(\gamma - 1)} = \frac{1}{2,6 \cdot 4,6} \cdot 10^5 \approx$$

$$\approx 8,4 \cdot 10^3;$$

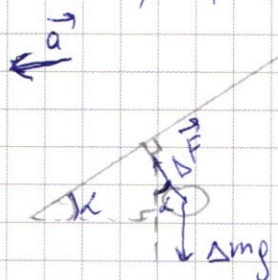
Ответ: $\frac{V}{V_{\text{в}}} = 8,4 \cdot 10^3;$

Задача 4

1)



из-за ускорения поверхность жидкости будет искривлена; рассмотрим участок жидкости массой Δm :



где ΔF — сила архимеда, перпендикулярная поверхности жидкости

$$\Delta F \sin \alpha = \Delta m a; \quad \frac{a}{g} = \tan \alpha;$$

$$\Delta F \cos \alpha = \Delta m g;$$

$$x_1 = h_1 \tan 45^\circ = h_1;$$

$$x_2 = h_2 \tan 45^\circ = h_2;$$

$$\tan \alpha = \frac{h_2 - h_1}{x_1 + x_2} =$$

$$\frac{h_2 - h_1}{h_2 + h_1} = \frac{a}{g};$$

$$\rho h_2 - \rho h_1 = \rho h_1 + \rho a h_1;$$

$$h_2 (g - a) = (a + g) h_1;$$

$$h_2 = h_1 \frac{g+a}{g-a} = 10 \cdot \frac{10+7}{10-7} = 10 \cdot \frac{17}{3} = 23,3 \text{ (см)};$$

Ответ: $h_2 = 23,3 \text{ см}$;

2) Перейдем в систему отсчета, связанную с трубой;

$$P_1 = \frac{m_1 g h_1}{2} = \frac{\rho M h_1^2 g}{4(h_1+h_2)}$$

M — масса всей воды;

$$P_2 = \frac{m_2 g h_2}{2} = \frac{\rho M h_2^2 g}{4(h_1+h_2)} \quad \text{— потенциальная энергия левой и правой частей жидкости}$$

$$P = 2 \cdot \frac{\rho M g (h_1+h_2)}{4} = \frac{\rho M g (h_1+h_2)}{2} \quad \text{— потенциальная энергия жидкости, когда уровни выравнены}$$

По закону сохранения энергии:

$$P_1 + P_2 = P + K$$

$$\frac{\sqrt{2} \rho g (h_1^2 + h_2^2)}{4(h_1+h_2)} - \frac{\sqrt{2} \rho g (h_1+h_2)^2}{8(h_1+h_2)} = \frac{M V_{отн}^2}{2},$$

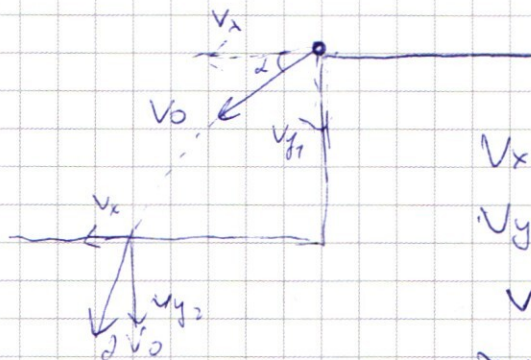
$$\frac{\sqrt{2} \cdot g (2h_2^2 + 2h_1^2 - h_1^2 - h_2^2 - 2h_1 h_2)}{h_1+h_2} = 4M V_{отн}^2,$$

$$\frac{\sqrt{2} g (h_2 - h_1)^2}{4(h_1+h_2)} = V_{отн}^2, \quad V_{отн} = \frac{h_2 - h_1}{2} \sqrt{\frac{\sqrt{2} g}{h_1+h_2}} \approx 0,04 \text{ м/с},$$

Ответ: $V_{отн} \approx 0,04 \text{ м/с}$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

3.1.



$$V_x = V_0 \cos \alpha$$

$$V_{y1} = V_0 \sin \alpha$$

$$V_x^2 + V_{y2}^2 = 4V_x^2 + 4V_{y1}^2;$$

$$\begin{aligned} V_{y2}^2 &= 3V_x^2 + 4V_{y1}^2 = \\ &= 3V_0^2 \cos^2 \alpha + 4V_0^2 \sin^2 \alpha = \\ &= V_0^2 (3 \cos^2 \alpha + 4 \sin^2 \alpha) = \\ &= V_0^2 (3 + \sin^2 \alpha) \end{aligned}$$

$$V_{y2} = V_0 \sqrt{3 + \sin^2 \alpha} = 10 \sqrt{3.25} = 18 \text{ м/с}$$

$$V_{y2} - V_{y1} = gt;$$

$$t = \frac{V_0 (\sqrt{3 + \sin^2 \alpha} - \sin \alpha)}{g}$$

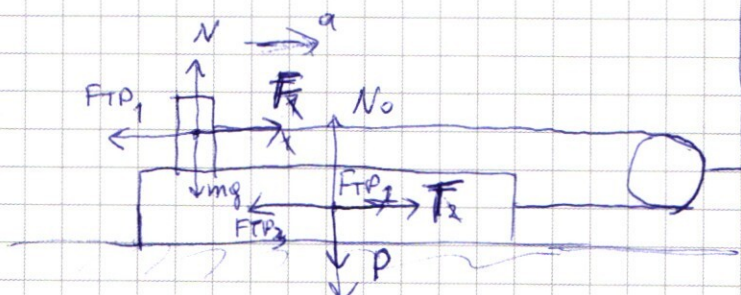
$$= \frac{10 \times 1.3}{10} = 1.3 \text{ с}$$

$$2gh = V_{y2}^2 - V_{y1}^2;$$

$$h = \frac{V_0^2 (3 + \sin^2 \alpha) - V_0^2 \sin^2 \alpha}{2g} = \frac{3V_0^2}{2g} = \frac{3 \cdot 100}{2 \cdot 10} = 15 \text{ м,}$$

3.2

$$t = \sqrt{\frac{2S}{a}} = \sqrt{\frac{8 \text{ м}}{a - 3mg\mu}}$$



$$\frac{F}{T_1} = T_2, \quad F_{T1} = F_{T2}$$

$$N = mg$$

$$P = mgN$$

$$F_{T1} = F; \sim$$

$$F - F_{T1} = am$$

$$ama = F + F_{T1} - F_{T3 \text{ max}}$$

$$3ma = 2F - F_{T3 \text{ max}}$$

$$N_0 = P + 2mg = 3mg$$

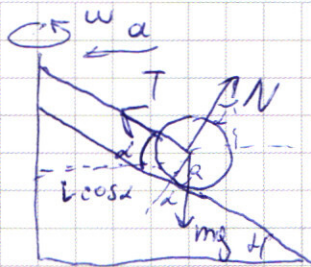
$$F_{T2} + T = F_{T3 \text{ max}} = 3mg\mu$$

$$2F = 3mg\mu; \quad F = \frac{3mg\mu}{2}$$

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

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

3.3



$$N = mg \cos \alpha$$

$$m \omega^2 (L \cos \alpha) = T \cos \alpha - N \sin \alpha;$$

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

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

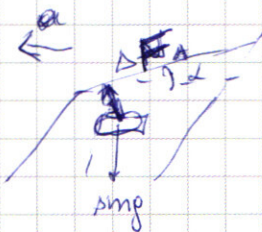
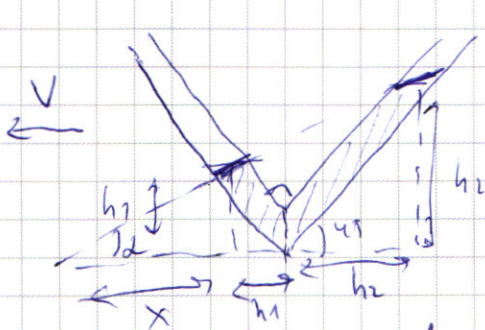
$$m \omega^2 (L \cos \alpha) = (mg - N \cos \alpha) \cot \alpha - N \sin \alpha$$

$$m \omega^2 (L \cos \alpha) \sin \alpha = mg \cos \alpha - N \cos^2 \alpha - N \sin^2 \alpha$$

$$m \omega^2 (L \cos \alpha) \sin \alpha - mg \cos \alpha = -N;$$

$$N = m \cos \alpha (g - \omega^2 (L \sin \alpha));$$

3.4



$$\Delta F_A \sin \alpha = \Delta m a$$

$$\Delta F_A \cos \alpha = \Delta m g;$$

$$\frac{a}{g} = \tan \alpha;$$

$$\tan \alpha = \frac{h_1}{x}; \quad x = \frac{h_1}{\tan \alpha}$$

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

$$\tan \alpha (x + h_1 + h_2) = h_2;$$

$$\tan \alpha \left(\frac{h_1}{\tan \alpha} + h_1 \right) = h_2 (1 - \tan \alpha);$$

$$h_1 (1 + \tan \alpha) = h_2 (1 - \tan \alpha);$$

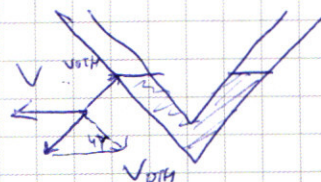
$$h_2 = h_1 \frac{1 + \tan \alpha}{1 - \tan \alpha} = h_1 \frac{1 + \frac{a}{g}}{1 - \frac{a}{g}} = h_1 \frac{g + a}{g - a} = 10 \cdot \frac{10}{8} = 12.5 \text{ m}$$

$$E_1 = \ln \frac{M V^2}{2} + m_1 g h_1 + m_2 g h_2$$

$$m_1 = M \cdot \frac{h_1}{h_1 + h_2}; \quad m_2 = M \cdot \frac{h_2}{h_1 + h_2}$$

$$E_1 = M \frac{V^2}{2} + \frac{M g h_1^2}{2(h_1 + h_2)} + \frac{M g h_2^2}{2(h_1 + h_2)}$$

$$E_2 = M g \left(\frac{h_1 + h_2}{2} \right) + \frac{M (V_{0TH}^2 + V^2 - \sqrt{2} V_{0TH} V)}{2}$$



$$V_{0TH}^2 + V^2 - 2 \cos 45^\circ V_{0TH} V$$



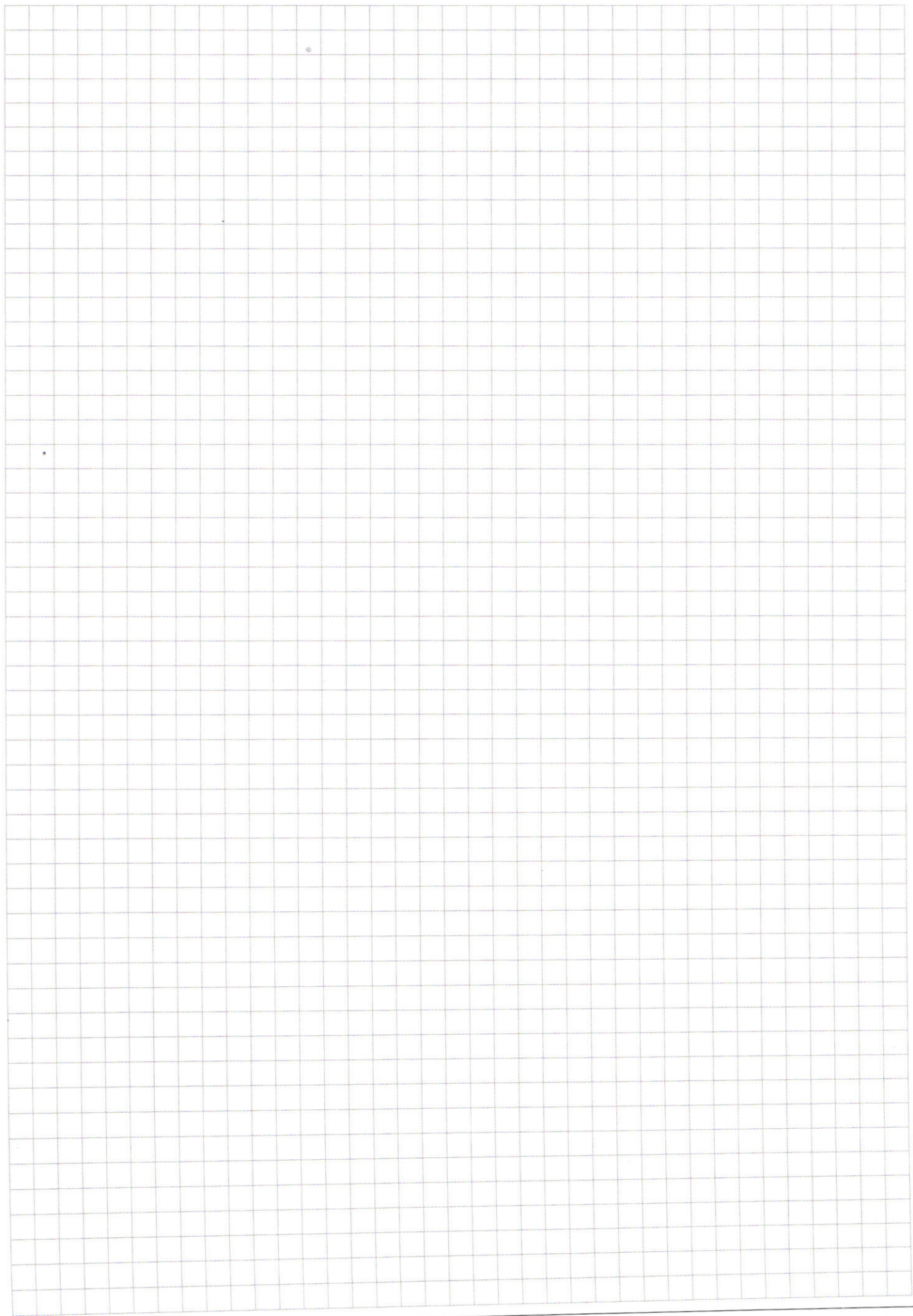
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ

«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)