

Олимпиада «Физтех» по физике, ф

Класс 10

Вариант 10-01

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

1. Камень бросают с вышки со скоростью $V_0 = 8$ м/с под углом $\alpha = 60^\circ$ к горизонту. В полете камень все время приближался к горизонтальной поверхности Земли и упал на нее со скоростью $2,5V_0$.

- 1) Найти вертикальную компоненту скорости камня при падении на Землю.
- 2) Найти время полета камня.
- 3) Найти горизонтальное смещение камня за время полета.

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

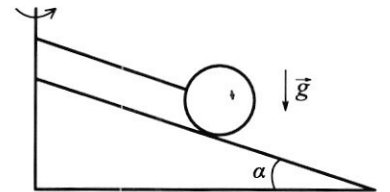
2. Человеку, упирающемуся в ящик ногами, надо передвинуть ящик из состояния покоя по горизонтальному полу на расстояние S к стене (см. рис.). Массы человека и ящика равны соответственно m и $M = 5m$. Натянутые части каната, не соприкасающиеся с блоком, горизонтальны. Массами каната, блока и трением в 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) Какой скорости достигнет ящик, если 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.

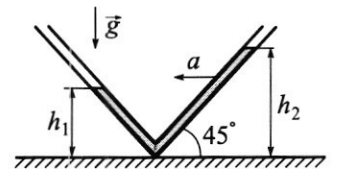
- 1) Найти силу натяжения нити, если система покоится.
- 2) Найти силу натяжения нити, если система вращается с угловой скоростью ω вокруг вертикальной оси, проходящей через вершину клина, а шар не отрывается от клина.



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 уровни масла в коленях трубки устанавливаются на высотах $h_1 = 8$ см и $h_2 = 12$ см.

- 1) Найдите ускорение a трубки.
- 2) С какой максимальной скоростью V будет двигаться жидкость относительно трубки после того как трубка внезапно станет двигаться равномерно (ускорение «исчезнет»)?

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



5. В цилиндрическом сосуде под поршнем находится насыщенный водяной пар при температуре 95°C и давлении $P = 8,5 \cdot 10^4$ Па. В медленном изотермическом процессе уменьшения объема пар начинает конденсироваться, превращаясь в воду.

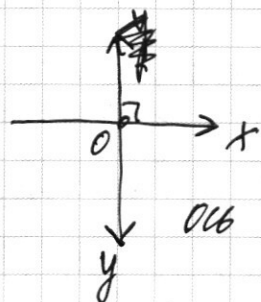
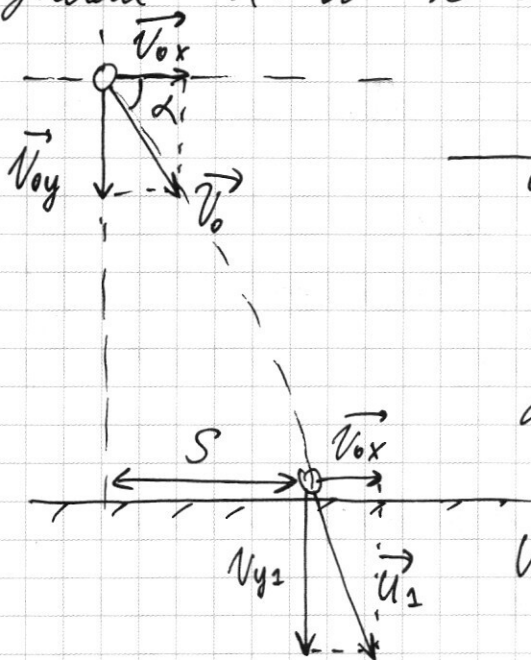
- 1) Найти отношение плотности пара к плотности воды в условиях опыта.
- 2) Найти отношение объема пара к объему воды к моменту, когда объем пара уменьшится в $\gamma = 4,7$ раза.

Плотность и молярная масса воды $\rho = 1$ г/см³, $\mu = 18$ г/моль.

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

N1

Так как по условию в полёте камень всё время приближается к горизонтальной поверхности ~~жизни~~
Значит, по камню бросили вверх с высоты над
улицей $\alpha = 60^\circ$ к горизонту (см. рис.)



$$Ox: V_{0x} = V_0 \cdot \cos \alpha$$

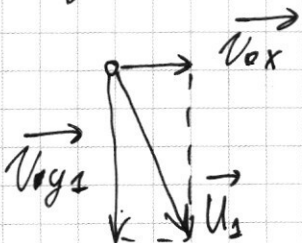
$$Oy: V_{0y} = V_0 \cdot \sin \alpha$$

ось Ox параллельна горизонту

V_{y1} - вертикальная компонента скорости камня при падении

$U_1 = 2,5 V_0$ - скорость камня при падении на землю.

1) Во время падения проекция скорости V_0 на ось Ox (V_{0x}) не изменяется:



по т. Пифагора: $U_1^2 = V_{0x}^2 + V_{y1}^2$

$$(2,5 V_0)^2 = (V_0 \cdot \cos 60^\circ)^2 + V_{y1}^2$$

$$V_{y1} = \sqrt{6,25 V_0^2 - 0,25 V_0^2} = V_0 \sqrt{6} \approx 2,4 V_0 = 19 \text{ м/с}$$

2) Пусть τ - время полёта камня:

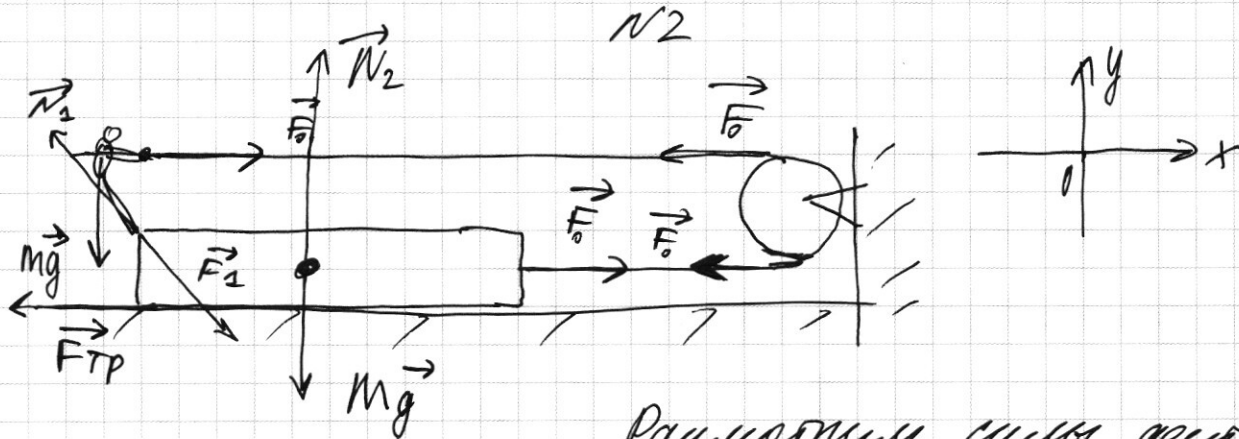
$$Oy: V_{y1} = V_{0y} + g \tau; \quad \tau = \frac{V_{y1} - V_{0y}}{g}$$

$$\tau = \frac{V_0 \sqrt{6} - V_0 \cdot \sin 60^\circ}{g} = \frac{V_0 (2\sqrt{6} - \sqrt{3})}{2g} \approx 1,2 \text{ (с)}$$

3) За 700 время (τ) наименьшее в горизонтальной мощности и расстояние S :

Ох: $S = \frac{v_{xy}^2 - v_{oy}^2}{2}$ $S = v_{ox} \cdot \tau = v_0 \cos 60^\circ \cdot \tau = 4,8 \text{ (м)}$

Ответ: $v_{y1} = 19 \text{ м/с}$, $\tau = 1,2 \text{ с}$, $S = 4,8 \text{ м}$.



Рассмотрим силы, действующие на человека:

по 2 з. Ньютона: Оу: $N_x = mg$

Силы действующие на ящик: по 3 з. Ньютона: $\vec{F}_1 = -\vec{N}_1$

Оу: $N_2 = mg + F_x$; $N_2 = mg + mg$ $F_x = N_x = mg$

$N_2 = (m + m)g = 6mg$

Тогда ящик с человеком будут давить на пол с силой $P = 6mg$ (по 3 з. Ньютона)

2) Пусть человек толкает ящик с силой F_0 , когда ящик начал двигаться:

Для системы человек-ящик:

по 2 з. Ньютона: $\vec{0} = 2\vec{F}_0 + \vec{N}_2 + \vec{Mg} + \vec{mg} + \vec{F}_{тр}$

Оу: $N_2 = (m + m)g$; $F_{тр} = \mu N_2 = \mu \cdot 6mg$

Ох: $2F_0 = F_{тр}$; $F_0 = \frac{F_{тр}}{2} = 3\mu mg$

3) Пусть если человек приложит постоянно силу $F > F_0$ система начнет двигаться с ускорением a в сторону стены.

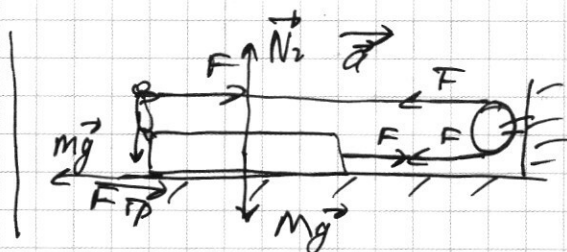
по 2 з. Ньютона: Ох: $(m + m)a = 2F - F_{тр}$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

N2 (продолжение)

$$6ma = 2F - 6\mu mg$$

$$a = \frac{2F - 6\mu mg}{6m}$$



После того как ящик пройдет расстояние S , движась
из с ускорением a : пусть U — ~~начальная~~ конечная скорость
ящика

$$S = \frac{U^2 - 0^2}{2a}; \quad U = \sqrt{2aS} = \sqrt{2S \cdot \frac{2F - 6\mu mg}{6m}} =$$

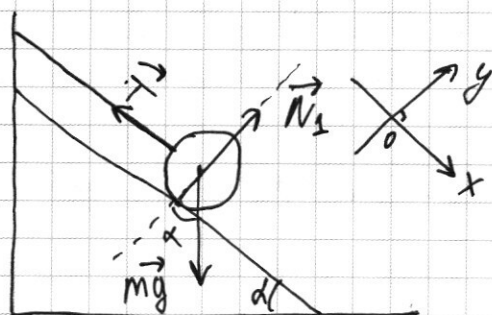
$$= \sqrt{S \cdot \frac{F - 3\mu mg}{3m}}$$

$$U = \sqrt{S \left(\frac{F}{3m} - \mu g \right)}$$

Ответ: $P = 6mg$; $F_0 = 3\mu mg$; $U = \sqrt{S \left(\frac{F}{3m} - \mu g \right)}$

N3

1) Когда система покоится:



ось Ox параллельна поверхности
массы.

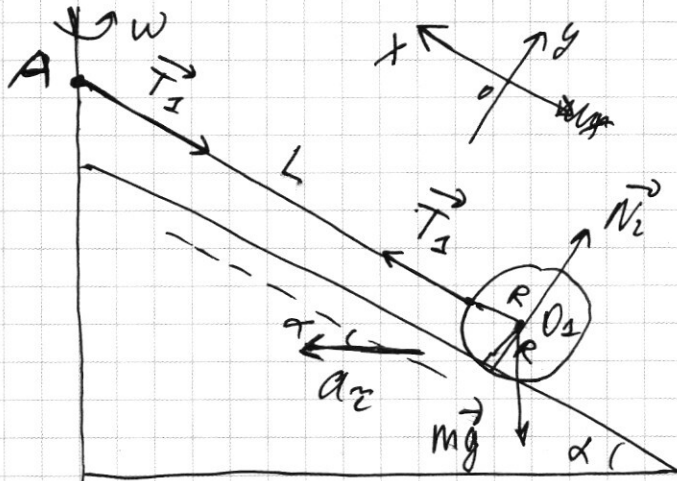
По 2-й, Ньютона:

$$0 = T + N_1 + mg$$

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

T — сила натяжения троса.

2) Когда система начала вращаться с угловой скоростью ω : N_3 (наблюдение)



Расстояние от центра
шара O_1 до точки A
(где шар привязан
к вертикальной оси):

$$r = L + R$$

a_z — тангенциальное ускорение
шара.

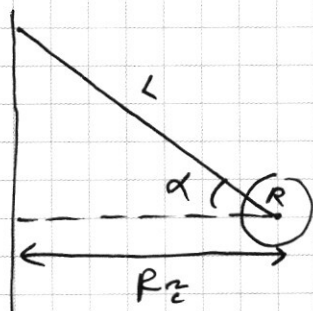
по 2-го Ньютона: $m \vec{a}_z = m \vec{g} + \vec{N}_2 + \vec{T}_1$

Ox: $m a_{zx} = T_1 - mg \sin \alpha$

$$T_1 = m (a_{zx} + g \sin \alpha)$$

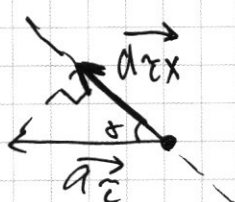
$$a_z = \frac{v^2}{r} = \frac{\omega^2 R^2}{R} = \omega^2 R \quad a_z = \omega^2 \cdot r = \omega^2 (L + R)$$

$$a_z = \omega^2 \cdot R_z$$



$$R_z = r \cdot \cos \alpha = (L + R) \cdot \cos \alpha$$

Тогда: $a_z = \omega^2 \cdot (L + R) \cdot \cos \alpha$



$$a_{zx} = a_z \cdot \cos \alpha = \omega^2 (L + R) \cdot \cos^2 \alpha$$

Получим:

$$T_1 = m (\omega^2 (L + R) \cdot \cos^2 \alpha + g \sin \alpha)$$

Order: $T = mg \sin \alpha$; $T_1 = m (\omega^2 (L + R) \cdot \cos^2 \alpha + g \sin \alpha)$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

N 5

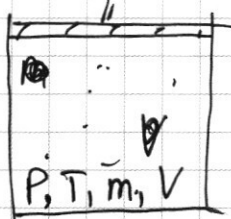
$$P = 8,5 \cdot 10^4 \text{ Па}$$

$$T = 95^\circ \text{C} = 368 \text{ K}$$

~~Пусть V - объем уменьшенного~~

Пусть V - начальный объем насыщенного водяного пара под поршнем, m - масса водяного пара.

1)



по з. Менделеева-Клапейрона:

$$(1) PV = \frac{m}{\mu} RT; P = \frac{m}{V} \cdot \frac{RT}{\mu} = \rho \frac{RT}{\mu}$$

$$\rho_n = \frac{m}{V} - \text{плотность водяного пара.}$$

Отсюда:

$$\rho_n = \frac{P \cdot \mu}{RT}$$

$$\rho_n = \frac{8,5 \cdot 10^4 \cdot 18 \cdot 10^{-3}}{8,31 \cdot 368} \approx 0,15 \text{ кг/м}^3$$

Тогда:

$$\frac{\rho_n}{\rho} = \frac{0,15 \text{ кг/м}^3}{1000 \text{ кг/м}^3} = 5 \cdot 10^{-4}$$

$$2) V_1 = \frac{V}{\gamma}, \quad \gamma = 4,7 - \text{по условию.}$$

$T_2 = T$ - так как состояние происходит в изотермическом процессе.

Так как пар изначально был насыщенным, то после сжатия его давление не изменится, но уменьшится масса. Пусть m_b - масса образовавшейся воды.

по з. Менделеева-Клапейрона:

$$PV_1 = \frac{m - m_b}{\mu} RT; (2) PV = \gamma \frac{m - m_b}{\mu} RT$$

из (1), (2) получим: (2):(1)

$$\frac{PV}{PV_1} = \frac{\gamma \frac{m - m_b}{\mu} RT}{\frac{m - m_b}{\mu} RT}$$

Получим:

$$\frac{pV}{pV} = \frac{\gamma \frac{m-m_B}{\mu} RT}{\frac{m}{\mu} RT}; \quad m = \gamma(m-m_B)$$

$$m_B = \frac{\gamma-1}{\gamma} \cdot m \quad \boxed{m(\gamma-1) = m_B \gamma}$$

Объём, занимаемый водой: $V_B = \frac{m_B}{\rho}$

Объём водяного насыщенного пара: $V_1 = \frac{m}{p_n} = \frac{m \cdot RT}{p \cdot \mu}$

Отношение объёмов:

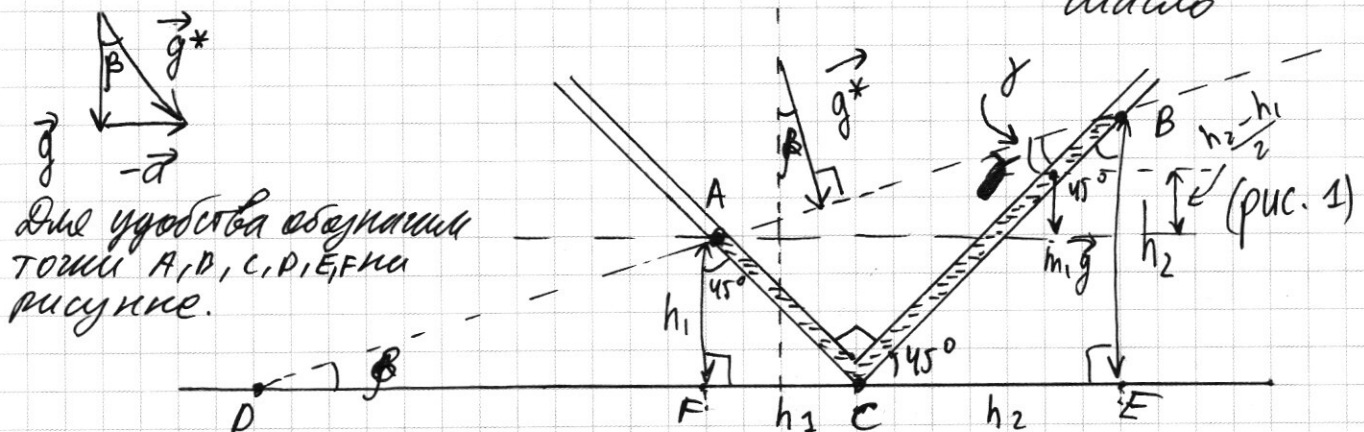
$$\frac{V_1}{V_B} = \frac{m \cdot RT \cdot p}{p \cdot \mu \cdot m_B} = \frac{m \cdot RT \cdot p \cdot \gamma}{p \cdot \mu \cdot m(\gamma-1)} = \frac{RT \cdot p \cdot \gamma}{p \cdot \mu (\gamma-1)} =$$

$$= \frac{p}{p_n} \cdot \frac{\gamma}{\gamma-1} = 2 \cdot 10^3 \cdot \frac{4,7}{3,7} \approx 2,5 \cdot 10^3$$

Ответ: $\frac{p_n}{p} = 5 \cdot 10^{-4}$; $\frac{V_1}{V_B} = 2,5 \cdot 10^3$

№4

Перейдём в СО, связанную с движущейся трубой и рассмотрим эффект Лоренца, действующую на ~~воду~~ ^{масло}.



Для удобства обозначим точки A, B, C, D, E, F на рисунке.

Вектор эффекта Лоренца g^* будет перпендикулярен поверхности ~~поверхности~~ ^{масла} (см. рис.: ~~AB~~ ^{прямая AB} — поверхность).

$$\triangle DBE: \beta = 90^\circ - (\gamma + 45^\circ) = 45^\circ - \gamma$$

$$\triangle ACB: \boxed{\gamma = \arctg \frac{AC}{CB} = \arctg \frac{h_1}{h_2}}$$

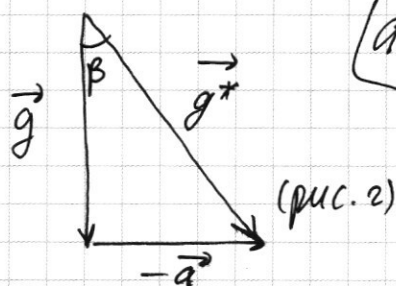
$$AC = h_1 \cdot \sqrt{2} - \triangle AFC$$

$$CB = h_2 \cdot \sqrt{2} - \triangle CBE$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№4 (продолжение)

Получим: $\beta = 45^\circ - \arctg \frac{h_1}{h_2} = 45^\circ - \arctg \frac{2}{3}$



$$a = g \cdot \operatorname{tg} \beta = g \cdot \operatorname{tg} (45^\circ - \arctg \frac{2}{3})$$

2) Пусть m - масса всей жидкости в трубке.
Пусть $k = \frac{m}{\sqrt{2}(h_1 + h_2)}$ - линейная масса ~~жидкости~~ масса.

Жидкость будет двигаться с максимальной скоростью, когда уровни жидкости в обоих частях трубки уравниваются (это следует из ЗСЭ):

$$h_0 = \frac{h_1 + h_2}{2}$$

Запишем ЗСЭ относительно высоты h_1 над поверхностью (см. рис. 1)

(рис. 1): $E = m_1 \cdot (\frac{h_2 - h_1}{2}) \cdot g$

$$m_1 = (h_2 - h_1) \cdot \sqrt{2} \cdot k$$

$$E = k \cdot \frac{(h_2 - h_1)^2}{\sqrt{2}} \cdot g$$

(рис. 3): $E = \frac{mV^2}{2} + 2 \cdot m_2 \cdot (\frac{h_0 - h_1}{2}) \cdot g = \frac{mV^2}{2} + g \cdot k \sqrt{2} (h_0 - h_1)^2$

№4 (проекции)

Получили (из ЗЦЗ: $E = \text{const}$): $m = \sqrt{2}k(h_2 + h_1)$

$$k \cdot g \cdot \frac{(h_2 - h_1)^2}{\sqrt{2}} = \frac{\sqrt{2}k(h_2 + h_1)v^2}{2} + kg \cdot \sqrt{2}(h_2 - h_1)^2$$

$$g \frac{(h_2 - h_1)^2}{\sqrt{2}} = \frac{(h_2 + h_1)v^2}{\sqrt{2}} + g \frac{(h_2 - h_1)^2}{2\sqrt{2}} \quad \Big| \quad h_0 = \frac{h_2 + h_1}{2}$$

$$2g(h_2 - h_1)^2 = 2(h_2 + h_1)v^2 + (h_2 - h_1)^2 g$$

$$v = \sqrt{\frac{g(h_2 - h_1)^2}{(h_2 + h_1) \cdot 2}} = \sqrt{\frac{10 \cdot (12 - 8)^2}{(12 + 8) \cdot 2}}$$

$$v_{\max} = v = \sqrt{\frac{10 \cdot (0,12 - 0,08)^2}{(0,12 + 0,08) \cdot 2}} = \sqrt{\frac{10 \cdot 16 \cdot 10^{-4}}{4 \cdot 10^{-1}}} = 0,2 \text{ м/с.}$$

Ответ: $\alpha = g \cdot \tan(45^\circ - \arctg \frac{2}{3})$; $v_{\max} = 0,2 \text{ м/с.}$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№1

ПРОВЕРИТЬ

$$v_{0x} = v_0 \cos \alpha$$

$$v_{0y} = v_0 \sin \alpha$$

$$v_0 = \sqrt{v_{0x}^2 + v_{0y}^2}$$

В момент:

$$(2.5 v_0)^2 = v_{0y1}^2 + v_{0x}^2$$

$$v_{0y1} = \sqrt{6.25 v_0^2 - v_0^2 \cos^2 \alpha} = v_0 \sqrt{6}$$

05 273 273 368 368 118 20

$$v_0 \sqrt{6} = v_0 \frac{\sqrt{3}}{2} + g t; \quad t = \frac{v_0 (2\sqrt{6} - \sqrt{3})}{2g} \quad (1)$$

$$S = v_{0x} \cdot t = v_0 \cos \alpha \cdot \frac{v_0 (2\sqrt{6} - \sqrt{3})}{2g}$$

№2

Решение:

$$N_x = N_y = mg; \quad F_y = mg \quad (F_0)$$

- 1) $P_{обш} = mg + Mg = (m+M)g$
- 2) $\mu g(m+M) = 2T; \quad T = \frac{\mu g \cdot 6m}{2} = 3\mu mg$
- 3) Система тел блок + шкив:

$$(m+M)a = 2F - F_{тр}$$

$$(m+M)a = 2F - 3\mu mg$$

$$2,4 - 0,9 = 1,5 \times 8 = 44$$

$$= 12$$

$$\frac{44}{484} + 25 = 509$$

$$\frac{125}{50}$$

$$1) \text{ } O_y: mg \cos \alpha = N$$

$$O_x: T = mg \sin \alpha$$

$$\begin{array}{r} \times 24 \\ 24 \\ \hline 96 \\ 486 \\ \hline 576 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} \times 23 \\ 23 \\ \hline 69 \\ 46 \\ \hline 529 \\ \times 22 \\ 22 \\ \hline 44 \end{array}$$

$$r = (l + R) \cdot \cos \alpha$$

$$16 + 3,2$$

$$m a_x = T_1 - mg \sin \alpha$$

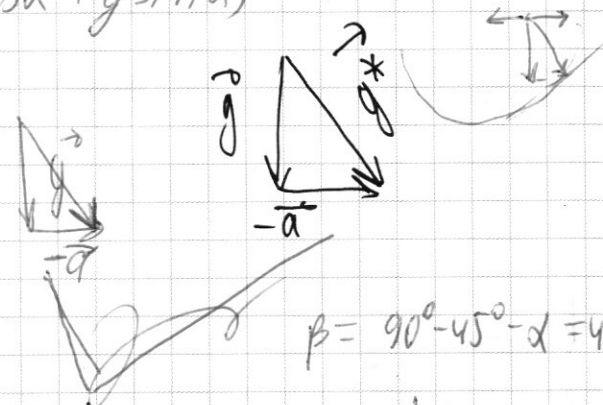
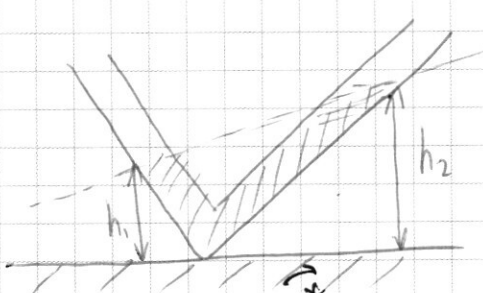
$$16 + 361 = 37$$

$$T_1 = m(a_x + g \sin \alpha)$$

$$a_x = a \cdot \cos \alpha = \frac{v^2 \cdot \cos \alpha}{R} = \omega^2 R \cos \alpha \quad r = \omega^2 (l + R \cos \alpha) \cdot \cos \alpha$$

$$T_1 = m(\omega^2 (l + R \cos \alpha) \cdot \cos \alpha + g \sin \alpha)$$

N4



$$\beta = 90^\circ - 45^\circ - \alpha = 45^\circ - \alpha$$

$$\alpha = \arctg \frac{h_1}{h_2} = \arctg \frac{2}{3}$$

$$\begin{aligned} \text{tg } \beta &= \frac{a}{g} \\ a &= g \cdot \text{tg}(45^\circ - \arctg \frac{2}{3}) \end{aligned}$$



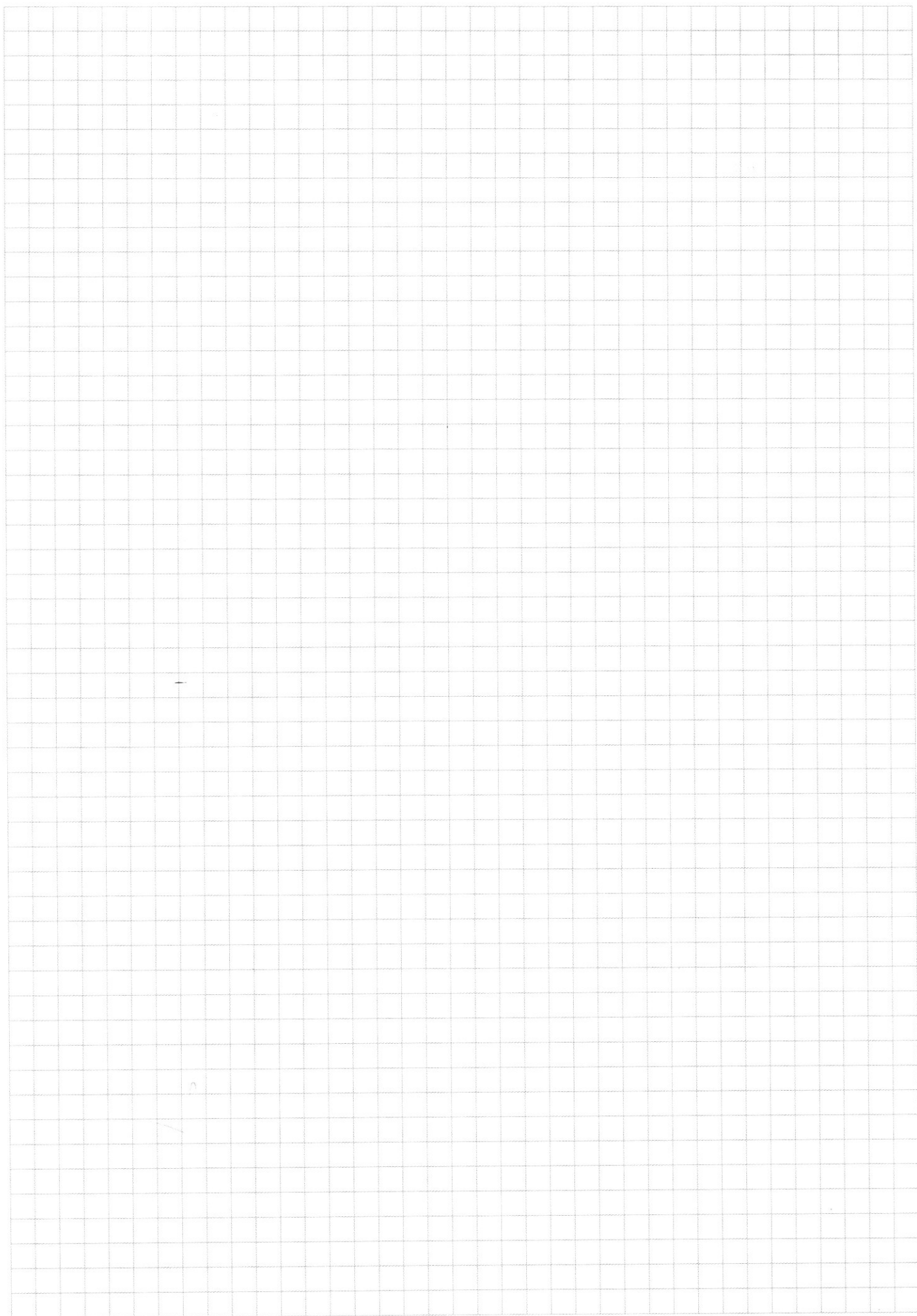
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ

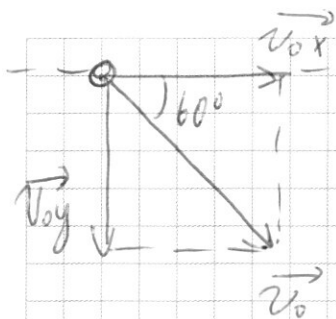
«МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ)»

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

☒ черновик ☐ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)





$$v_{0x} = v_0 \cdot \cos 60^\circ = \frac{v_0}{2}$$

v_{0x} - не меняется

$$(2,5v_0)^2 = (v_{0x})^2 + (v_{0y1})^2$$

$$6,25v_0^2 = 0,25v_0^2 + v_{0y1}^2$$

$$v_{0y1} = v_0 \sqrt{6} \approx 2,2v_0$$

$$\begin{array}{r} \times 2,5 \\ 2,5 \\ \hline 1,25 \\ 50 \\ \hline 6,25 \end{array}$$

$$v_{0y2} = v_{0y1} + g \tau$$

$$\tau = \frac{v_{0y2} - v_{0y1}}{g} = \frac{v_0(\sqrt{6} - 2)}{g} = \frac{v_0(2\sqrt{6} - \sqrt{3})}{2g}$$

$$L = v_{0x} \cdot \tau = \frac{v_0^2(2\sqrt{6} - \sqrt{3})}{4g}$$

~~Н2(проекции)~~

Н2(проекции)

$$a = \frac{2F - 3mgy}{6m}$$

$$v_0 = 0$$

$$S = \frac{v_k^2}{2a}; v_k = \sqrt{S \cdot 2a} =$$

$$= \sqrt{S \cdot \frac{2F - 3mgy}{3m}}$$

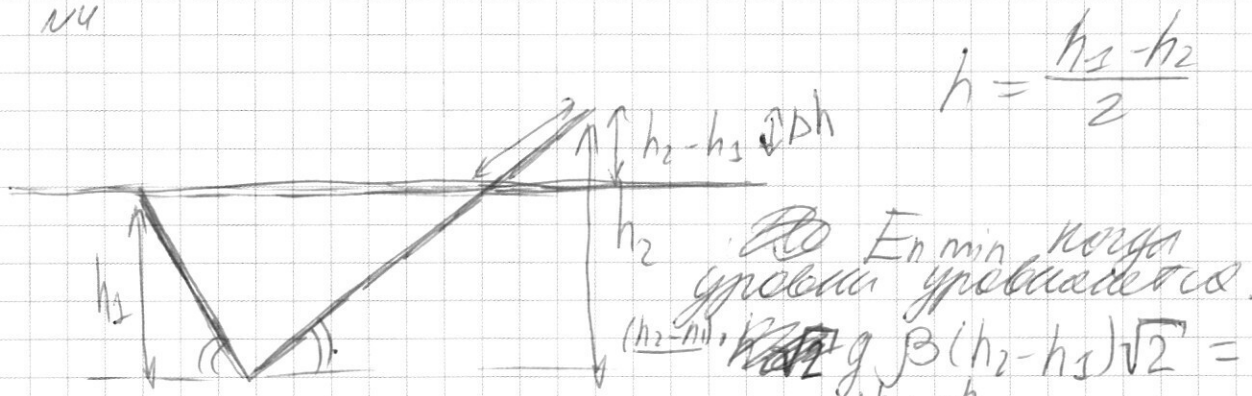
$$\begin{array}{r} 117 \mid 37 \\ 37 \mid 1,3 \\ \hline 100 \end{array}$$

$$2'0 = 40'0 \rho =$$

$$= \sqrt{100'000} = \sqrt{20'000'000 \cdot 0'016} = \sqrt{\frac{20'000'000 \cdot 0'016}{2(0'12 - 0'08)^2}} = \sqrt{\frac{20'000'000 \cdot 0'016}{2(0'04)^2}}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

14



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

По E_{min} когда
уровни уравняются.

$$(h_2 - h_1) \cdot g \cdot \beta (h_2 - h_1) \sqrt{2} =$$

$$= \beta \left(\frac{h_2 - h_1}{2} \right)$$

$$(h_2 - h_1) \cdot g \cdot \beta (h_2 - h_1) \sqrt{2} = 2 \beta \sqrt{2} \left(\frac{h_2 - h_1}{2} \right) \cdot \left(\frac{h_2 - h_1}{2} \right) + \frac{\beta (h_2 + h_1) \sqrt{2} \cdot U^2}{2}$$

$$4 (h_2 - h_1)^2 \cdot g \cdot \beta = 2 \beta (h_2 - h_1)^2 \cdot g + 2 \beta (h_2 + h_1) \cdot U^2$$

$$\beta g (h_2 - h_1)^2 = \beta (h_2 + h_1) \cdot U^2$$

$$U = \sqrt{g (h_2 - h_1)} = 2 \sqrt{g} = 6 \text{ (м/с)}$$

$$V_n = \frac{m_n}{\rho_n}; V_0 = \frac{m_0}{\rho_0}$$

$$V_n = \frac{m_0 (\gamma - 1)}{\rho_n}; V_0 = \frac{m_0}{\rho_0}$$

$$\frac{V_n}{V_0} = \frac{\rho_0 (\gamma - 1)}{\rho_n}$$

$$pV = \frac{m}{M} RT; \quad p = \frac{m}{V \cdot M} RT; \quad p_n = \frac{\rho_n RT}{M}$$

$$\rho_n = \frac{p \cdot M}{RT}$$

$$2) V_0 = \dots \quad \gamma pV = \frac{m_1 RT}{M}$$

$$\gamma pV = \frac{m_2 RT}{M}$$

$$\frac{\gamma pV}{pV} = \frac{m_1 RT}{M m_2 RT}$$

$$\gamma = \frac{m_1}{m_2}; \quad m_1 = \gamma m_2$$

$$m_n = m_0 (\gamma - 1) / m_n + m_0 = \gamma m_0$$