

Олимпиада «Физтех» по физике, 10 класс

Вариант 10-02

Класс 10



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?

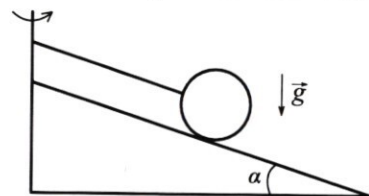
Ускорение свободного падения принять $g = 10$ м/с². Сопротивление воздуха не учитывать.

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.

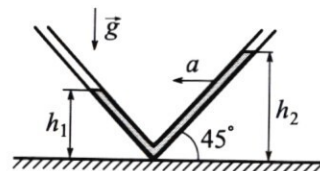


- 1) Найти силу давления шара на клин, если система покоится.
- 2) Найти силу давления шара на клин, если система вращается с угловой скоростью ω вокруг вертикальной оси, проходящей через вершину клина, а шар не отрывается от клина.

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.

$$p_g = \frac{h_1}{4}$$

$$x = \frac{h_2}{p_g}$$

$$\text{ау.с.} = \frac{v^2}{R} = \omega^2 R$$

$$\frac{\omega^2 R^2}{R}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

① $v_0 = 10 \text{ м/с}$

$\alpha = 30^\circ$

$v_{\text{кон}} = 2v_0$

1) $v_{\text{кон. y}} - ?$

2) $t_{\text{полёта}} - ?$

3) $H - ?$

$g = 10 \text{ м/с}^2$

v_{ky} — конечная
скорость по
вертикальной оси

v_{kx} — кон. скорость по
горизонтали

v_{0x} — нач. скорость по
горизонтали

$v_{kx} = v_{0x}$

$\cos 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2}$

$\cos^2 30^\circ = \frac{3}{4}$

$325 = 25 \cdot 13$

$\frac{325 \sqrt{13}}{25 \sqrt{13}}$

$\frac{\sqrt{13} + \sqrt{13}}{2}$

Ответ:

4) $v_y(t) = v_0 \sin \alpha - gt$

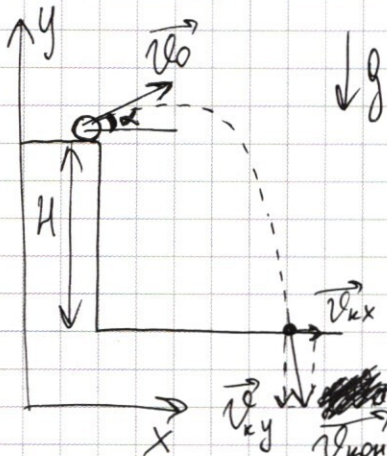
Пусть $t = t_{\text{полёта}}$

$-v_{ky} = v_0 \sin \alpha - g \cdot t_{\text{полёта}} \rightarrow$

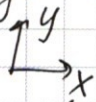
$t_{\text{пол}} = \frac{10 \text{ м/с} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} + 5 \sqrt{13} \text{ м/с}}{10 \text{ м/с}^2} = \frac{5(\sqrt{3} + \sqrt{13}) \text{ м/с}}{10 \text{ м/с}^2}$

$gt_{\text{пол}} = v_0 \sin \alpha + v_{ky}$

$t_{\text{пол}} = \frac{v_0 \sin \alpha + v_{ky}}{g}$



1) введём систему координат



2) $v_y(t) = v_0 \sin \alpha - gt$

$v_x(t) = v_0 \cos \alpha$

3) По оси x скорость от
времени не меняется

$\vec{v}_{\text{кон}} = \vec{v}_{ky} + \vec{v}_{kx}$

$v_k^2 = v_{ky}^2 + v_{kx}^2$

$v_{ky} = \sqrt{v_k^2 - v_{kx}^2} = v_{0x}$

$= \sqrt{(2 \cdot 10 \text{ м/с})^2 - (10 \text{ м/с} \cdot \cos 30^\circ)^2} =$
 $= \sqrt{400 \text{ м}^2/\text{с}^2 - 100 \cdot \frac{3}{4} \text{ м}^2/\text{с}^2} =$

$= \sqrt{400 \text{ м}^2/\text{с}^2 - 75 \text{ м}^2/\text{с}^2} = \sqrt{325 \text{ м}^2/\text{с}^2} =$

$= 5\sqrt{13} \text{ (м/с)}$

Ответ:

это её
модуль,
но направ-
лена по
оси y она
вниз

5) Найти высоту H:

ЗСЭ: $mgH + \frac{mv_0^2}{2} = \frac{m \cdot (2v_0)^2}{2} : \left(\frac{m}{2}\right)$

$$2gH + v_0^2 = (2v_0)^2$$

$$2gH + v_0^2 = 4v_0^2$$

$$2gH = 3v_0^2$$

$$H = \frac{3v_0^2}{2g} = \frac{3 \cdot 10^2 \text{ м}^2/\text{с}^2}{2 \cdot 10 \text{ м}/\text{с}^2} =$$

$$= \frac{3 \cdot 10}{2} \text{ м} = 3.5 \text{ м} = \boxed{15 \text{ м}}$$

Ответ:

5) Нас. пар
 $t = 27^\circ\text{C}$

$$P = 3,55 \cdot 10^3 \text{ Па}$$

Изотермический процесс, т.е.
 $T = \text{const} = t + 273 \text{ K} =$
 $= 300 \text{ K}$

$\nabla \downarrow \Rightarrow$ пар конденсируется

1) $\frac{\rho_{\text{пар}}}{\rho_{\text{возд}}}$ - ?

2) $\frac{V_{\text{пар } 1}}{V_{\text{возд } 1}}$ - ?

когда $V_{\text{пар}} = \frac{V_{\text{пар } 0}}{\gamma}$
 $\gamma = 5,6 \text{ раз}$

$$\rho_{\text{возд}} = 1 \text{ г}/\text{см}^3$$

$$\mu = 18 \text{ г}/\text{моль}$$

1) Ур-ие Менделеева-Клапейрона
в начале процесса:

$$\frac{+273}{27} = 300$$

$$p V_{\text{пар } 0} = \nu_{\text{пар } 0} R \cdot T$$

$$p V_{\text{пар } 0} = \frac{\rho_{\text{пар}} V_{\text{пар } 0}}{\mu_{\text{пар}}} \cdot R T$$

$$p = \frac{\rho_{\text{пар}}}{\mu_{\text{пар}}} \cdot R \cdot T$$

$$\rho_{\text{пар}} = \frac{p \cdot \mu_{\text{пар}}}{R T}$$

$$\frac{\rho_{\text{пар}}}{\rho_{\text{возд}}} = \frac{\left(\frac{p \cdot \mu_{\text{пар}}}{R T}\right)}{\rho_{\text{возд}}} =$$

$$= \frac{p \cdot \mu_{\text{пар}}}{\rho_{\text{возд}} \cdot R T} = \frac{3,55 \cdot 10^3 \text{ Па} \cdot 18 \cdot 10^{-3} \text{ кг}/\text{моль}}{1000 \text{ кг}/\text{м}^3 \cdot 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{К} \cdot \text{моль}} \cdot 300 \text{ K}}$$

$$= \frac{3,55 \cdot 18}{1000 \cdot 8,31 \cdot 3} = \frac{63,9}{2493 \cdot 1000} \approx$$

$V_{\text{пар } 0}$ - начальный объём пара

$\nu_{\text{пар } 0}$ - кол-во вещества пара

М.к. пар конденсируется, преобразуясь в воду, он всегда остаётся насыщенным

$$\nu = \frac{m}{\mu} = \frac{\rho V}{\mu}$$

$\rho_{\text{возд}} = \text{const}$

$$\begin{array}{r} 831 \cdot 3 \\ \times 3,55 \\ \hline 2493 \end{array} \quad \begin{array}{r} 3,55 \\ \times 18 \\ \hline 2840 \\ 355 \\ \hline 63,90 \end{array}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

⑤ Продолжение

$$\approx \frac{64}{2500} \cdot 10^{-3} = \frac{64}{25} \cdot 10^{-5} = \boxed{2,56 \cdot 10^{-5}}$$

Ответ:

$$\begin{array}{r} 64 \overline{) 25} \\ -50 \overline{) 2,56} \\ \hline 140 \\ -125 \\ \hline 150 \\ -150 \\ \hline 0 \end{array}$$

2) Рассмотрим момент, когда $v_{\text{пара } 1} = \frac{v_{\text{пара } 0}}{\gamma}$

$$p v_{\text{пара } 0} = v_{\text{пара } 0} \cdot RT$$

$$p v_{\text{пара } 1} = v_{\text{пара } 1} \cdot RT$$

→ в этот момент
 $v_{\text{пара } 1}$

~~В этот момент~~

~~В этот момент~~

$$\frac{v_{\text{пара } 0}}{v_{\text{пара } 1}} = \frac{v_{\text{пара } 0}}{v_{\text{пара } 1}}$$

$$\frac{v_{\text{пара } 1} \cdot \gamma}{v_{\text{пара } 1}} = \frac{v_{\text{пара } 0}}{v_{\text{пара } 1}} \Rightarrow \boxed{\frac{v_{\text{пара } 0}}{v_{\text{пара } 1}} = \gamma}$$

$$\Rightarrow \boxed{\frac{v_{\text{пара } 0}}{v_{\text{пара } 1}} = \gamma}$$

$$\frac{v_{\text{пара } 0}}{v_{\text{пара } 1}} = \frac{m_{\text{пара } 0}}{m_{\text{пара } 0} - m_{\text{в}}} = \frac{m_{\text{пара } 0}}{m_{\text{пара } 0} - m_{\text{в}}} = \gamma$$

$m_{\text{пара } 0}$ — начальная масса пара

$m_{\text{пара } 1}$ — масса пара в рассматриваемый момент

$m_{\text{в}}$ — масса образовавшейся воды и талого льда

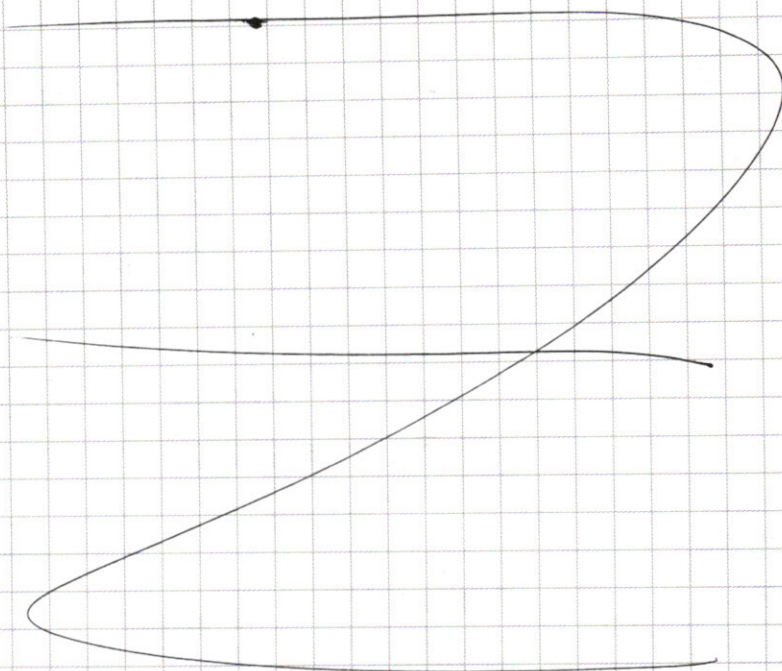
$$m_{\text{пара } 0} = \gamma m_{\text{пара } 0} - \gamma m_{\text{в}}$$

$$\gamma m_{\text{в}} = m_{\text{пара } 0} (\gamma - 1)$$

$$m_{\text{в}} = \frac{m_{\text{пара } 0} (\gamma - 1)}{\gamma}$$

$$\rho_{\text{в}} \cdot V_{\text{водог}} = \frac{\rho_{\text{пара}} \cdot v_{\text{пара } 0} \cdot (\gamma - 1)}{\gamma} \Rightarrow \boxed{\frac{v_{\text{пара } 0}}{v_{\text{водог}}} = \frac{\rho_{\text{в}} \cdot \gamma}{\rho_{\text{пара}} \cdot (\gamma - 1)}}$$

$$\boxed{\frac{v_{\text{пара } 0}}{v_{\text{водог}}} = \frac{\rho_{\text{в}} \cdot \gamma}{\rho_{\text{пара}} \cdot (\gamma - 1)}}$$



Quem:

$$\boxed{8500} \approx \frac{10^5}{11,8} \approx \frac{1}{4,6} \cdot \frac{10^5}{2,56} =$$

$$= \frac{1}{2,56 \cdot 10^{-5}} \cdot \frac{1}{5,6 - 1} =$$

$$= \frac{V_{\text{нара 1}}}{V_{\text{огор 1}} (l-1)} = \frac{V_{\text{огор 1}}}{V_{\text{огор 1}} (l-1)}$$

$$V_{\text{нара 0}} = l \cdot V_{\text{нара 1}} \Rightarrow \frac{V_{\text{нара 1}} \cdot l}{V_{\text{огор 1}} (l-1)} =$$

$$\begin{array}{r} 68 \\ 242 \\ \hline 545 \\ 926 \\ \hline 880 \\ 242 \\ \hline 560 \\ 1844 \\ \hline 10000 \end{array}$$

$\approx 844,5$

$$\begin{array}{r} 11,776 \approx 11,8 \\ 1024 \\ \hline 1536 \\ 46 \\ \hline 2156 \\ 826 \\ \hline 2000 \end{array}$$

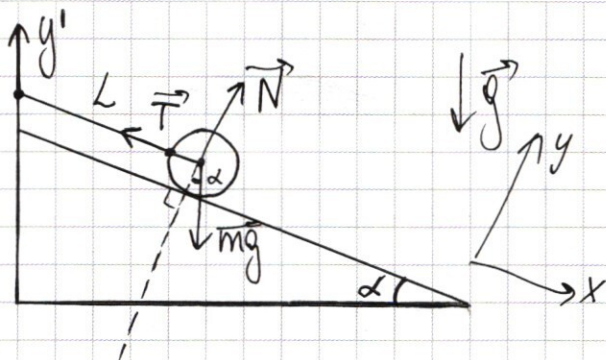
$$\begin{array}{r} 11,8 \\ 400 \\ \hline 478 \\ 1800 \\ \hline 1800 \\ 400 \\ \hline 2200 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 11,8 \\ 400 \\ \hline 478 \\ 1800 \\ \hline 1800 \\ 400 \\ \hline 2200 \end{array}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

③

m - масса шара
 R - радиус шара
 α - длина клина
поверхность клина, т.е.
нет трения!



1) Отметим на рисунке все силы, действующие на шар:

N - сила реакции опоры со стороны клина

$$|\vec{F}| = |\vec{N}| \text{ по III закону Ньютона}$$

T - сила натяжения нити

Найти:

1) $F_{\text{равн. шара на клин}}$ - ?
 $\downarrow$
 F

2) Система вращается с угловой скоростью ω вокруг оси y' , шар не оторвется. Найти F_g - ?

2) Система покоится $\Rightarrow$

$\Rightarrow$ по II з.н.:

по оси y : $N = mg \cos \alpha$

Ответ: $F = mg \cos \alpha$

по оси x : $T = mg \sin \alpha$

У шара возникает $a_{\text{ц.с.}}$

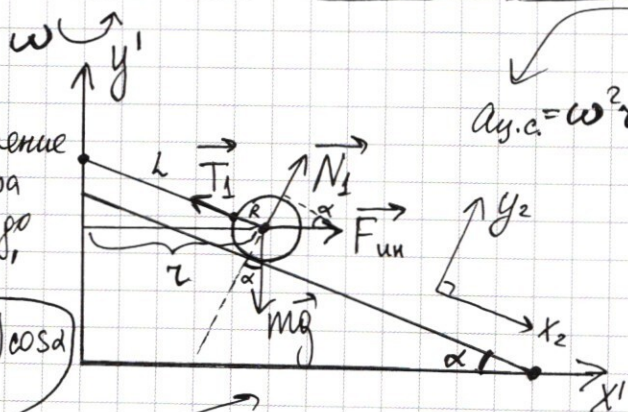
$$a_{\text{ц.с.}} = \omega^2 r$$

центростремительное ускорение, направленное к оси y'

1. Перейдем в н.и.с.о

(неинерциальную систему отсчета вращающегося клина)

В ней шар покоится, на него действует дополнительная сила -



r - расстояние от центра шара до оси y'

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

$$\vec{F}_{\text{ц.с.}} = m \vec{a}_{\text{ц.с.}}$$

- сила инерции, направленная по оси x'

Снова запишем II з.ч. для поворачивающейся системы в н.ч.с. (на шар)

по оси

y_2 :

$$N_1 + F_{\text{ин}} \cdot \sin \alpha = mg \cos \alpha$$

N_1 — новая сила реакции опоры со стороны клина на шар

$$N_1 + m \cdot a_{\text{ц.с.}} \cdot \sin \alpha = mg \cos \alpha$$

$$N_1 = m (g \cos \alpha - \cancel{\omega^2 r} \cdot \omega^2 r \cdot \sin \alpha)$$

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

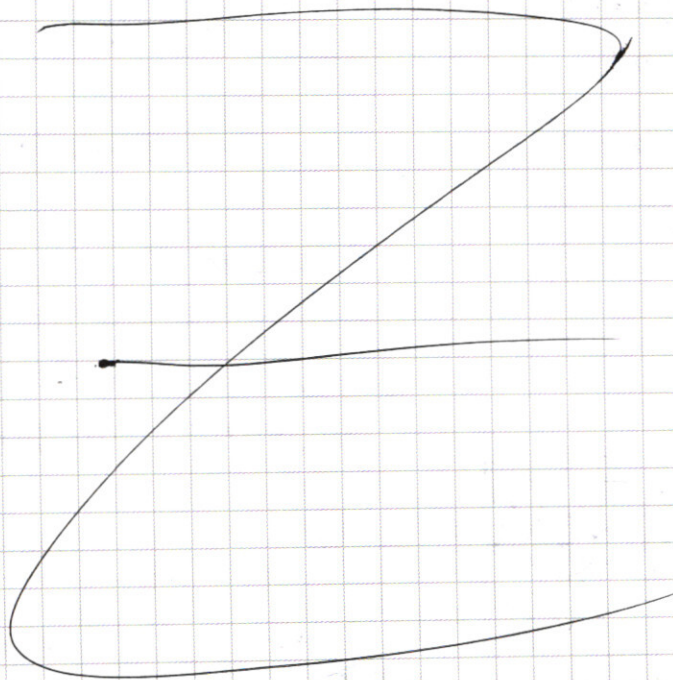
по III з.ч.

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

$$|F_g| = |N_1|$$

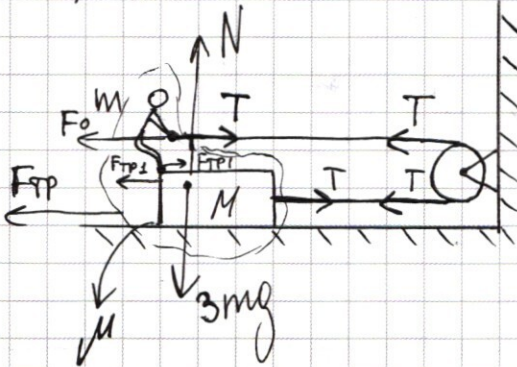
Ответ:

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



ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

② m
 $M = 2m$



Человек упирается ногами
в лужик $\Rightarrow$ есть какая-то

сила трения и коэффициент μ

$F_{тр}$

1) Расставим все силы
на картинке

Рассматриваем систему

человек + лужик

N - сила реакции опоры
со стороны пола
на систему

Относительно друг
друга чел. и лужик
неподвижны

F_g - сила давления сист. на пол

по III з.н. : $|F_g| = |N|$

2) По вертикали система не движется $\Rightarrow$

II з.н. : $3mg = N$

ответ: $F_g = 3mg$

3) мин сила F_0 , которую нужно приложить, чтобы сдвинуть лужик, такая, при которой человек + лужик движется равномерно без ускорения:

II з.н.
по оси x :

Все силы на систему человек + лужик!

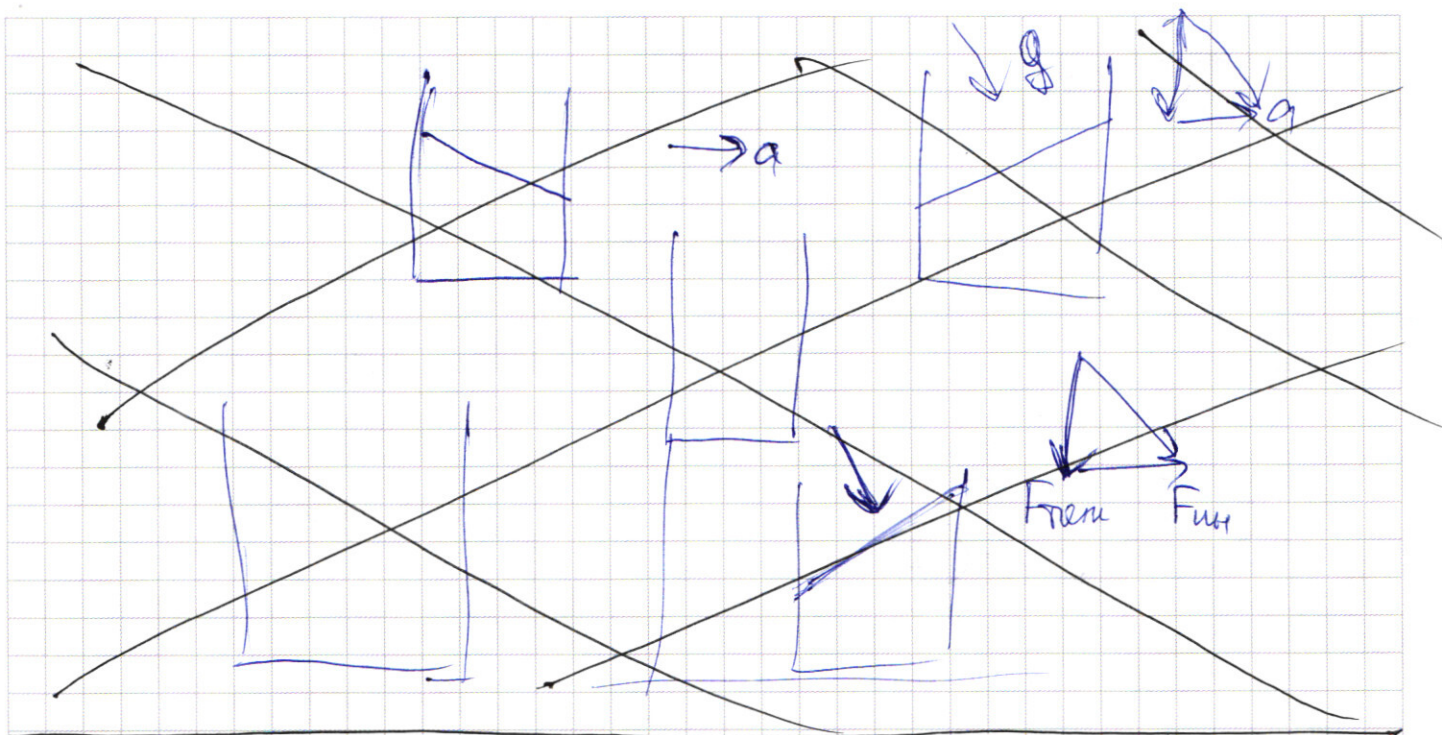
$$2T - F_0 - F_{тр} = 0$$

$$2T = F_0 + F_{тр}$$

$$2F_0 - F_0 = F_{тр} \Rightarrow F_0 = F_{тр} = 3\mu mg$$

$$F_{тр} = \mu N = 3\mu mg$$

по III з.н.
 $F_0 = T$, т.к.
тянет человек
нить действует на чел



~~Если человек...~~

Человек как бы "подбирает" канат под себя, то есть воздействует его

Если $F > F_0$, то возникнет ускорение a

$$S = v_0 t + \frac{at^2}{2}$$

$v_0 = 0$ т.к. из состояния покоя. $\Rightarrow$

$$\Rightarrow S = \frac{at^2}{2} \rightarrow t = \sqrt{\frac{2S}{a}}$$

Если человек ~~вытянет~~ вытянет канат на какую-то длину l , то сам он, относительно земли сдвинется на $\frac{l}{2} \Rightarrow$ и лужик

Чтобы сдвинуть лужик на S надо вытянуть ~~вытянуть~~ канат на $2S$.

Если действовать с силой F , то возникнет сила натяжения $T_1 = F$, тогда на систему (чел + лужик) Π 3.н.:

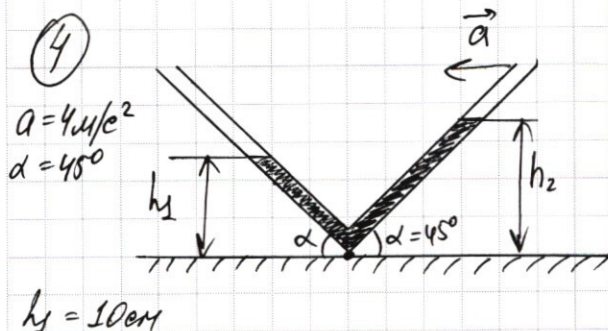
$$2T_1 - F_{тр} = 3ma$$

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

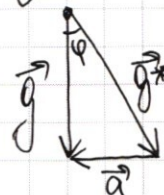
$$\Leftarrow a = \frac{2F - 3\mu mg}{3m}$$

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

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$$1) \vec{g}^* + \vec{a} = \vec{g}$$



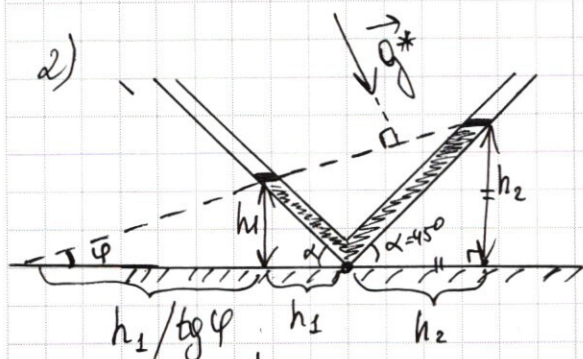
$\vec{g}^*$ — эффектив-
ное ускорение
свободного
падения

Жидкость будет
наклонена $\perp \vec{g}^*$

φ — угол
между $\vec{g}$ и
 $\vec{g}^*$

$$\varphi = \arctg\left(\frac{a}{g}\right)$$

$$\text{tg } \varphi = \frac{a}{g}$$



Геометрически найдем h_2 :

$$\frac{h_2}{h_1 + h_2 + h_1/\text{tg } \varphi} = \text{tg } \varphi$$

$$h_2 = \text{tg } \varphi \cdot h_1 + \text{tg } \varphi \cdot h_2 + h_1$$

$$h_2(1 - \text{tg } \varphi) = h_1(1 + \text{tg } \varphi)$$

Ответ:

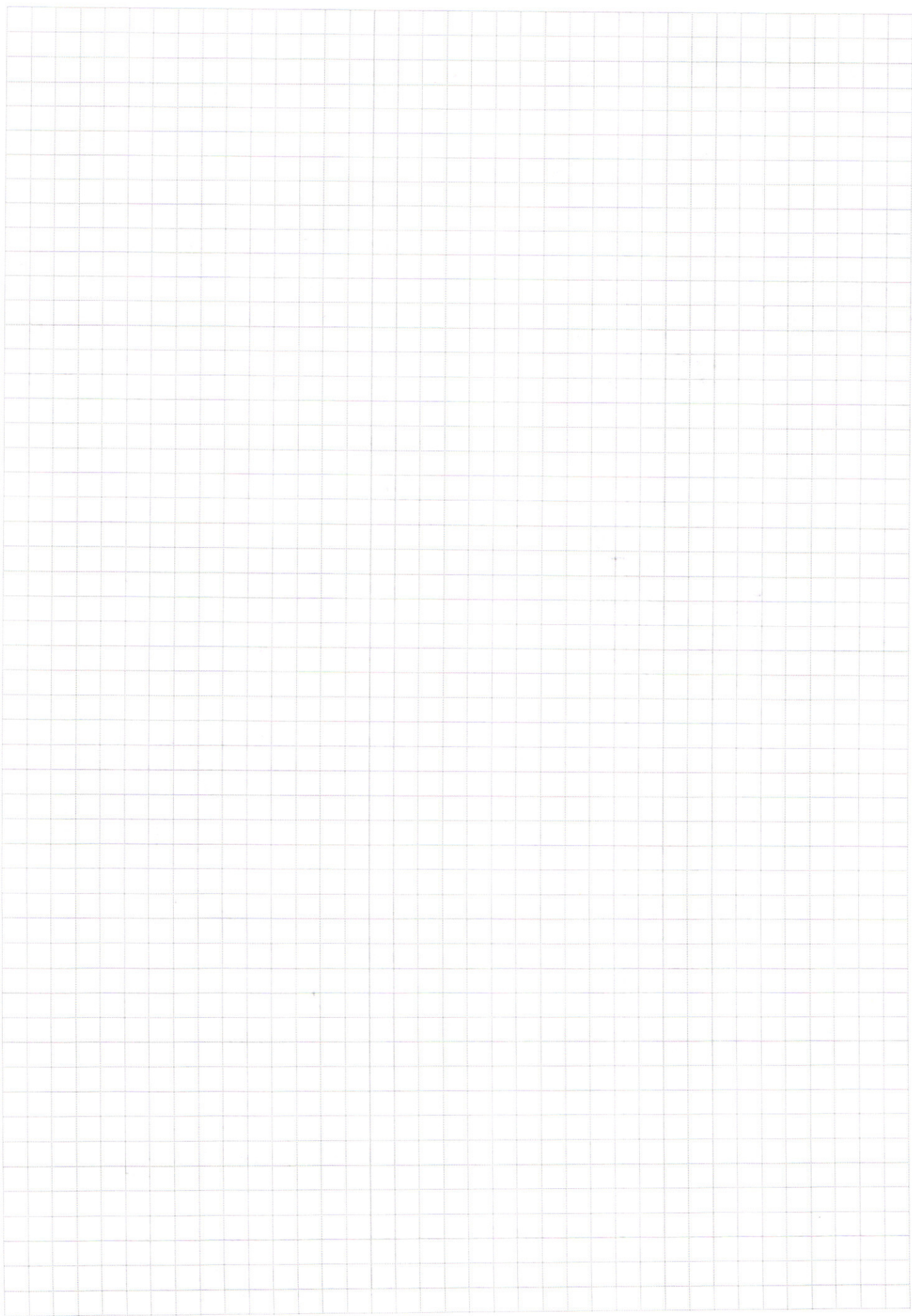
$$h_2 = h_1 \frac{1 + \text{tg } \varphi}{1 - \text{tg } \varphi} = 10 \text{ см} \cdot \frac{1 + \frac{2}{5}}{1 - \frac{2}{5}} =$$

$$= 10 \text{ см} \cdot \frac{1 + \frac{2}{5}}{\frac{3}{5}} = 10 \text{ см} \cdot \frac{7}{3} \approx 23,3 \text{ см}$$

3) Когда жидкость выровняется на один уровень h , то

$$= \frac{50}{3} \text{ см}$$

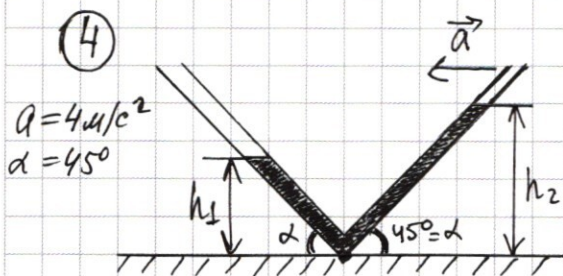
$$h = \frac{h_1 + h_2}{2} = \frac{10 + 23,3}{2} = 16,65 \text{ см} \approx \frac{50}{3} \text{ см}$$



☐ черновик ☐ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

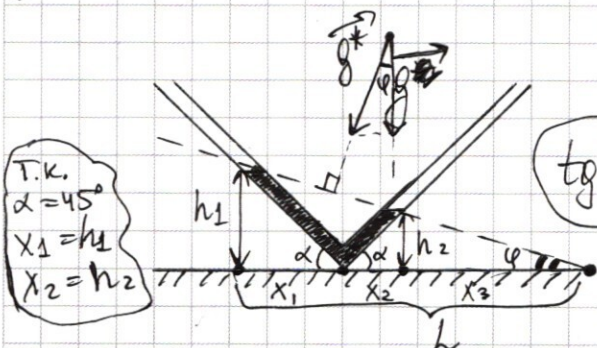
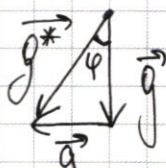


$h_1 = 10 \text{ см}$

1) $h_2 = ?$

$g = 10 \text{ м/с}^2$

φ - угол между $\vec{g}$ и $\vec{g}^*$



Жидкость «выстроится» $\perp \vec{g}^* \Rightarrow$

$\tan \varphi = \frac{h_2}{x_3} \Rightarrow$

угол между линией наклона жидкости будет равен φ ,

где $\varphi = \arctg\left(\frac{a}{g}\right)$

$(\tan \varphi = \frac{a}{g}) = \frac{4}{10} =$

$= \frac{2}{5}$

$\tan \varphi = \frac{2}{5}$

Рассчитаем h_2 геометрически:

$\tan \varphi = \frac{h_1}{L}$

$L = x_1 + x_2 + x_3 = h_1 + h_2 + \frac{h_2}{\tan \varphi}$

$\tan \varphi = \frac{h_1}{h_1 + h_2 + \frac{h_2}{\tan \varphi}}$

$\tan \varphi \left(h_1 + h_2 + \frac{h_2}{\tan \varphi} \right) = h_1$

$h_1 \cdot \tan \varphi + h_2 \cdot \tan \varphi + h_2 = h_1$

$h_2 (\tan \varphi + 1) = h_1 (1 - \tan \varphi)$

$\Rightarrow \frac{2}{5} \cdot 10 \text{ см} = \frac{30}{7} \text{ см} \approx 4,3 \text{ см} = h_2$ Ответ

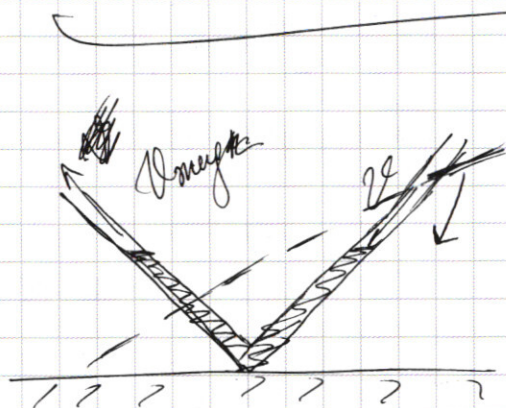
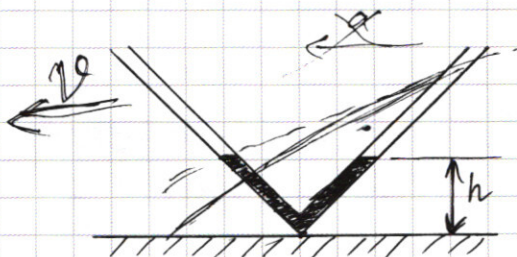
Ответ:

$h_2 = h_1 \cdot \frac{(1 - \tan \varphi)}{(1 + \tan \varphi)}$

$= 10 \text{ см} \cdot \frac{1 - \frac{2}{5}}{1 + \frac{2}{5}} = \frac{\frac{3}{5}}{\frac{7}{5}} \cdot 10 = \frac{3}{7} \cdot 10 = 4,3 \text{ см}$

2) С какой скоростью v_0 будет двигаться ~~тело~~^{жидкость} относительно трубки, когда "ускорение исчезнет"
Уровень жидкости - одинаковый

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



Черновик



$$\begin{array}{r} 44 \\ \times 3,55 \\ \hline 2840 \\ 355 \\ \hline 63,90 \\ \times 831 \\ \hline 2493 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 23 \\ \times 2,56 \\ \hline 1280 \\ 512 \\ \hline 6400 \end{array}$$

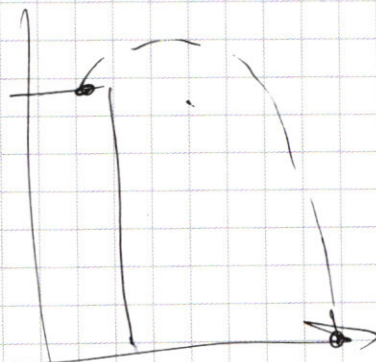
$$6400$$

$$v_0 + v$$

в с.о. покоящейся трубки

$$5 \cdot \frac{8 + \sqrt{39}}{2} - 5\sqrt{3} \cdot \sqrt{3}$$

$$\begin{aligned} 5 \cdot \frac{8 + \sqrt{39}}{2} - 5\sqrt{3} \cdot \left(\frac{\sqrt{3} + \sqrt{13}}{2} \right) &= \frac{50}{3} \sqrt{166} \\ &= 5 \cdot 4 + \frac{5\sqrt{39}}{2} - \frac{5 \cdot 3}{2} - \frac{5\sqrt{39}}{2} = 18 \\ &= 20 - \frac{15}{2} = \frac{20}{2} = 10 \end{aligned}$$



$$y = v_0 \sin \alpha t$$

$$y = H + v_0 \sin \alpha t - \frac{gt^2}{2}$$

$$-H = v_0 \sin \alpha t - \frac{gt^2}{2}$$

$$H = \frac{gt^2}{2} - v_0 \sin \alpha t$$

$$\begin{aligned} t^2 &= \left(\frac{\sqrt{3} + \sqrt{13}}{2} \right)^2 \\ &= \frac{3 + 13 + 2\sqrt{39}}{4} \end{aligned}$$

$$\frac{10 \cdot \frac{16 + 2\sqrt{39}}{4}}{2} - 10 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{\sqrt{3} + \sqrt{13}}{2}$$