

Олимпиада «Физтех» по физике, 10 класс

Класс 10

Вариант 10-02

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?

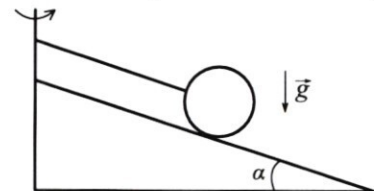
Ускорение свободного падения принять $g = 10$ м/с². Сопротивление воздуха не учитывать.

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.

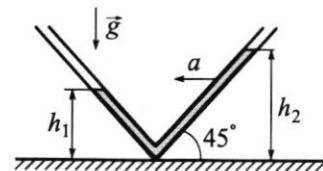


- 1) Найти силу давления шара на клин, если система покоится.
- 2) Найти силу давления шара на клин, если система вращается с угловой скоростью ω вокруг вертикальной оси, проходящей через вершину клина, а шар не отрывается от клина.

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.

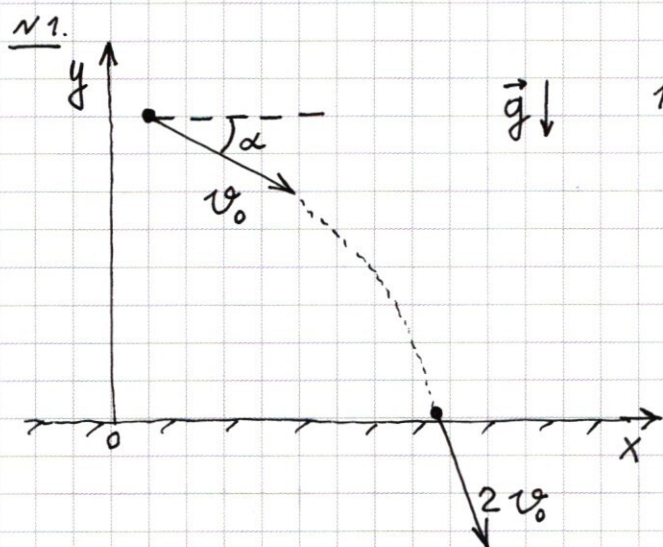


5. В цилиндрическом сосуде под поршнем находится насыщенный водяной пар при температуре 27°C и давлении $P = 3,55 \cdot 10^3$ Па. В медленном изотермическом процессе уменьшения объема пар начинает конденсироваться, превращаясь в воду.

- 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.

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$$1) \quad v_0^2 = v_{0x}^2 + v_{0y}^2 \quad - \quad (1)$$

в верхней точке

$$(2v_0)^2 = v_x^2 + v_y^2 \quad - \quad (2)$$

у пов-ти Земли,

где x - ось параллельная горизонту,

y - ось, перпендикулярная

плоскости горизонта.

$$v_{0x} = v_x \Rightarrow v_{0x}^2 = v_x^2$$

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

$$(2) - (1): \quad (2v_0)^2 - v_0^2 = (v_x^2 - v_{0x}^2) + (v_y^2 - v_{0y}^2)$$

$$3v_0^2 = v_y^2 - v_{0y}^2$$

$$3v_0^2 = v_y^2 - (v_0 \sin \alpha)^2$$

$$v_y^2 = 3v_0^2 + v_0^2 \sin^2 \alpha$$

$$v_y = -\sqrt{v_0^2 (3 + \sin^2 \alpha)}$$

$$|v_y| = v_0 \cdot \sqrt{3 + \sin^2 \alpha} = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot \sqrt{3 + \left(\frac{1}{2}\right)^2} =$$

$$= 5\sqrt{13} \frac{\text{м}}{\text{с}} \approx 5 \cdot 3,6 = 18 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$2) \quad t = \frac{|v_y - v_{y0}|}{g}$$

$$t = \frac{|v_y - v_{y0}|}{g} = \frac{|-\sqrt{v_0^2 (3 + \sin^2 \alpha)} + v_0 \sin \alpha|}{g} = \frac{v_0 (\sqrt{3 + \sin^2 \alpha} - \sin \alpha)}{g} =$$

$$= \frac{10 \frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot (\sqrt{3 + \left(\frac{1}{2}\right)^2} - \frac{1}{2})}{10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}} = (\sqrt{13} - 1) \cdot \frac{1}{2} \text{ с} \approx (3,6 - 1) \cdot \frac{1}{2} \text{ с} =$$

$$= 1,3 \text{ с}$$

3) Система "гайка + Земля" замкнута.

Запишем ЗСЭ:

$$\frac{mv_0^2}{2} + mgh = \frac{m \cdot (2v_0)^2}{2}$$

$$mgh = \frac{m(2v_0)^2}{2} - \frac{mv_0^2}{2}$$

$$gh = \frac{3v_0^2}{2}$$

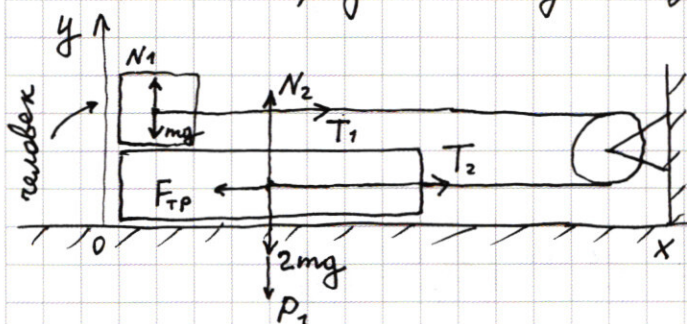
$$h = \frac{3v_0^2}{2g} = \frac{3 \cdot (10 \text{ м/с})^2}{2 \cdot 10 \text{ м/с}^2} = 15 \text{ м}$$

Ответ: 1) 18 м/с; 2) 1,3 с; 3) 15 м.

№2.

$$1) P = (m+M)g = 3mg$$

2) По III з-ку Ньютона сила, с которой человек тянет канат, равна силе упругости каната, действующей на человека (T).



П.к. канат невесом, то $T_1 = T_2 = T$

$N_1 = P_1$ по III з-ку

Ньютона (сила реакции

ящика и его вес). Наша задача: найти мин. T, при которой человек и ящик начнут двигаться (т.е. $a > 0$).

II з-к Ньютона:

$$\vec{N}_1 + m\vec{g} + \vec{T}_1 = m\vec{a}$$

$$\vec{N}_2 + 2m\vec{g} + \vec{P}_1 + \vec{T}_2 + \vec{F}_{тр} = m\vec{a}$$

(ускорения равны, т.к. человек не движется от-но ящика).

Введём систему координат, как на рис.

$$\text{ох. } T_1 = ma$$

Человек:

Ящик:

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$\text{ох: } T = ma$$

$$\text{ох: } T - F_{\text{тр}} = 2ma \quad (1)$$

$$\text{оу: } N_1 - mg = 0$$

$$\text{оу: } N_2 - 2mg - N_1 = 0$$

$$F_{\text{тр}} = \mu N_2 \quad (\text{скольжения})$$

$$N_1 = mg$$

$$T = 2ma + \mu N_2 = 2ma + \mu(2mg + N_1) =$$

$$= 2ma + \mu \cdot (2mg + mg) \geq 3\mu mg$$

$$T_{\min} = 3\mu mg \Rightarrow F_{\min} = 3\mu mg$$

3) Сила F по III з-ну Ньютона равна T .

$$\text{Из (1): } F - F_{\text{тр}} = 2ma$$

$$F - \mu N_2 = 2ma$$

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

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

Равноускоренное движение языка из
состояния покоя:

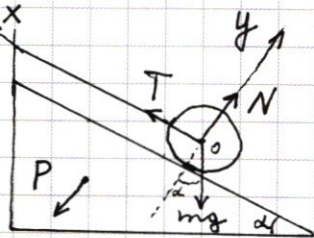
$$S = \frac{at^2}{2}$$

$$t = \sqrt{\frac{2S}{a}} = \sqrt{\frac{2S}{\frac{F}{2m} - \frac{3\mu g}{2}}} = \sqrt{\frac{4mS}{F - 3\mu mg}} \quad (F > F_0)$$

Ответ: 1) $3mg$; 2) $3\mu mg$; 3) $\sqrt{\frac{4mS}{F - 3\mu mg}}$

№3.

1)



Сила давления P , по III з-ну
Ньютона равна силе

реакции клина N . Выберем

систему координат, как на рис. $\vec{N}_1 + \vec{T} + m\vec{g} = 0$ по

II з-н Ньютона (м.к. шар покоится)
Шар:

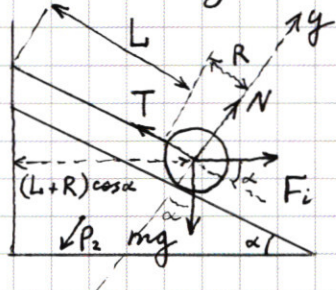
~~$$\text{ox: } T - mg \sin \alpha = 0$$~~

$$\text{oy: } N_1 - mg \cos \alpha = 0$$

$$P_1 = N_1 = mg \cos \alpha$$

2) Перейдём в НЕИСО, связанную с клином.

В этой СО шар неподвижен. Чтобы вытол-
каться II з-н Ньютона введём $\vec{F}_i$ (сила инерции)



F_i лежит в плоскости, $\perp$ оси вращения, и направлена от неё.

II з-н Ньютона для шара:

$$\vec{N}_2 + m\vec{g} + \vec{T} + \vec{F}_i = 0$$

$$\text{oy: } N_2 + F_i \sin \alpha - mg \cos \alpha = 0$$

$$F_i = m a_n = m \omega^2 \cdot (L+R) \cos \alpha$$

нормальная составляющая ускорения ($a_x = 0$)

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

$P_2 = N_2$ - сила давления на клин

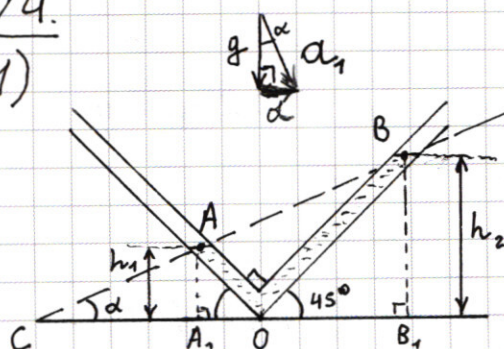
$$P_2 = m \cos \alpha \cdot (g - \omega^2 (L+R) \sin \alpha)$$

Ответ: 1) $mg \cos \alpha$; 2) $m(g - \omega^2 (L+R) \sin \alpha) \cos \alpha$.

при $\omega \leq \sqrt{\frac{g}{(L+R) \sin \alpha}}$, в противном случае 0.

№4.

1)



Перейдём в НЕИСО,

связанную с трубкой.

$\vec{a}_1 = \vec{g} - \vec{a}$ - ускорение в НЕИСО

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

α - угол между $\vec{a}_1$ и $\vec{g}$. Он равен углу между прямой, ^{содержащей} ~~соед.~~ точки A и B и горизонталю.

$$AO = l_1; BO = l_2.$$

$$\triangle AOA_1 \sim \triangle BOB_1 \Rightarrow \frac{l_1}{l_2} = \frac{h_1}{h_2}$$

(по 2 углам)

~~$$\angle CAO = 180^\circ - \alpha - 45^\circ \Rightarrow \angle BAO = 180^\circ - \beta$$~~

$$\angle BAO = \angle ACO + \angle AOC = \alpha + 45^\circ \quad (\text{внешний в } \triangle AOC)$$

$$\operatorname{tg} \angle BAO = \frac{BO}{AO} \quad (\text{т.к. } \angle AOB = 90^\circ)$$

$$\operatorname{tg}(\alpha + 45^\circ) = \frac{l_2}{l_1}$$

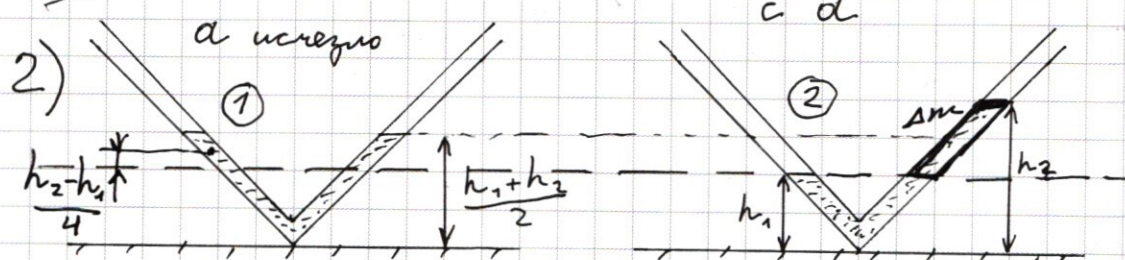
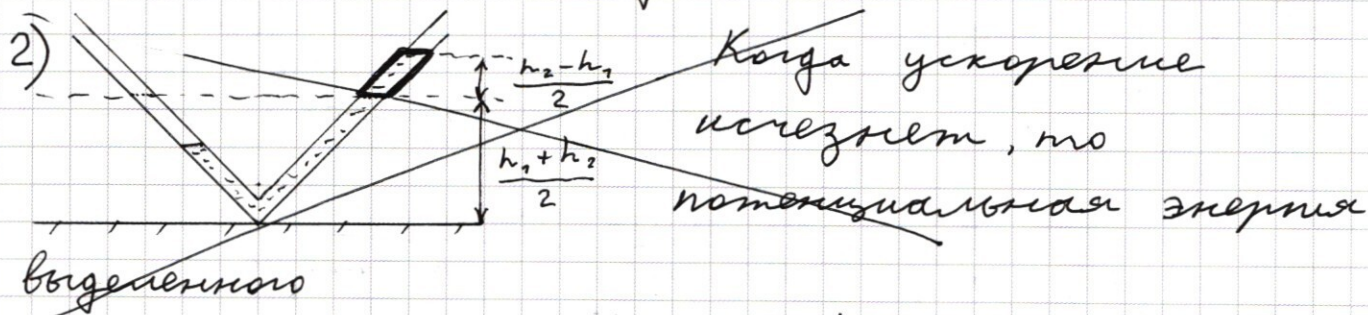
$$\operatorname{tg}(\alpha + 45^\circ) = \frac{\operatorname{tg} \alpha + 1}{1 - \operatorname{tg} \alpha} \Rightarrow \frac{\operatorname{tg} \alpha + 1}{1 - \operatorname{tg} \alpha} = \frac{h_2}{h_1}$$

~~$$h_2 - h_2 \operatorname{tg} \alpha = h_1 + \operatorname{tg} \alpha \cdot h_1$$~~

~~$$\operatorname{tg} \alpha \cdot (h_1 + h_2) = h_2 - h_1$$~~

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{a}{g} \Rightarrow h_2 = h_1 \cdot \frac{\frac{a}{g} + 1}{1 - \frac{a}{g}}$$

$$h_2 = h_1 \cdot \frac{g + a}{g - a} = 10 \text{ см} \cdot \frac{10 + 4}{10 - 4} \approx 23 \text{ см}$$



Разность
Потенциальной энергии в случаях ② и ①
будет равна кинетической энергии, когда
уровни масла будут находиться на
одной высоте.

$$\Delta m g \left(\frac{h_1 + h_2}{2} \right) - \Delta m g \left(\frac{h_2 - h_1}{4} \right) = \frac{m v^2}{2} \quad \left(\begin{array}{l} \text{на высоте } h_1 \\ \text{от земли при-} \\ \text{ная за 0} \\ \text{потенц. энергии} \end{array} \right)$$

$$\frac{3h_1 + h_2}{4} \Delta m g = \frac{m v^2}{2}$$

$$\Delta m = m \cdot \frac{h_2 - h_1}{h_2 + h_1} = m \frac{\sqrt{2}h_2 - \sqrt{2}h_1}{\sqrt{2}h_2 + \sqrt{2}h_1} = m \frac{h_2 - h_1}{h_2 + h_1}$$

$$\frac{3h_1 + h_2}{4} \cdot g \cdot m \frac{h_2 - h_1}{h_1 + h_2} = \frac{m v^2}{2} \quad | \cdot \frac{2}{m}$$

$$\frac{(3h_1 + h_2)(h_2 - h_1)}{2(h_1 + h_2)} g = v^2$$

$$v = \sqrt{g \cdot \dots}$$

$$v = \sqrt{\frac{g}{2} (h_2 - h_1) \cdot \left(1 + \frac{2h_1}{h_1 + h_2} \right)} = \sqrt{5 \cdot (0,23 - 0,1) \left(1 + \frac{0,2}{0,1 + 0,23} \right)}$$

$$\approx \sqrt{0,69} \approx 0,83 \text{ м/с}$$

Ответ: 1) 0,23 м; 2) 0,83 м/с.

N5.

1) Ур-е Менделеева-Клапейрона для пара:

$$pV = \nu RT, \text{ где } V - \text{объем пара, } \nu - \text{кол-во в-ва.}$$

$$pV = \frac{m}{\mu} RT \Rightarrow p = \frac{\rho_n}{\mu} RT, \text{ где } \rho_n - \text{плотность пара.}$$

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

$$k = \frac{\rho_n}{\rho} = \frac{\frac{p \mu}{RT}}{\frac{p \mu}{RT \rho}} = \frac{3,55 \cdot 10^3 \text{ Па} \cdot 18 \text{ кг/моль} \cdot 10^{-3}}{8,31 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)} \cdot 300 \text{ К} \cdot 1000 \text{ кг/м}^3} =$$

$$= \frac{3,55 \cdot 18}{8,31 \cdot 300 \cdot 1000} \approx 2,5 \cdot 10^{-5} - \text{искомое отношение}$$

2)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$\rho_n = \frac{\rho}{k}$ (из пункта 1)

$n = \frac{V_n}{V_B}$ — искомое отношение.

$V = V_B + V_n$ (1)

$\delta V = \frac{m_n}{\mu} = \frac{m_n}{\delta V} \cdot \frac{V \delta}{\mu} = \frac{\rho_n V \delta}{\mu} = \frac{\rho V \delta}{k \mu}$

(вычитаем для (1))

$$V_B = \frac{\rho V_B}{\mu} ; \quad V_n = \frac{\rho V_n}{k \mu}$$

Кон-во в

из (1) и (1):

$$\frac{\rho V \delta}{k \mu} = \frac{\rho V_B}{\mu} + \frac{\rho V_n}{k \mu} \quad | \cdot \frac{\mu \cdot k}{\rho}$$

$$\delta V = k V_B + V_n$$

, умножим $V_n + V_B = V$

$$\delta(V_n + V_B) = k V_B + V_n \quad | \cdot \frac{1}{V_B}$$

$$\delta\left(\frac{V_n}{V_B} + 1\right) = k + \frac{V_n}{V_B}$$

$$\delta(n + 1) = k + n$$

$$\delta n + \delta = k + n$$

$$n(\delta - 1) = k - \delta$$

$$n = \frac{k - \delta}{\delta - 1} =$$

①: $\gamma = \frac{m_n}{\mu} = \frac{m_n}{\delta V} \cdot \frac{V \delta}{\mu} = \frac{\rho_n \delta V}{\mu} = \frac{k \rho V \delta}{\mu}$

$$V_B = \frac{\rho V_B}{\mu} ; \quad V_n = \frac{k \rho V_n}{\mu}$$

из (1):

$$\frac{k \cdot \rho \cdot \delta V}{\mu} = \frac{\rho V_B}{\mu} + \frac{k \cdot \rho V_n}{\mu} \quad | \cdot \frac{\mu}{k \cdot \rho}$$

$$\delta V = \frac{V_B}{k} + V_n, \text{ умножим } V = V_n + V_B$$

$$\delta(V_B + V_n) = \frac{V_B}{k} + V_n \quad | \cdot \frac{1}{V_B}$$

$$\delta\left(1 + \frac{V_n}{V_B}\right) = \frac{1}{k} + \frac{V_n}{V_B}$$

$$\delta(1+n) = \frac{1}{k} + n$$

$$n\delta + \delta = \frac{1}{k} + n$$

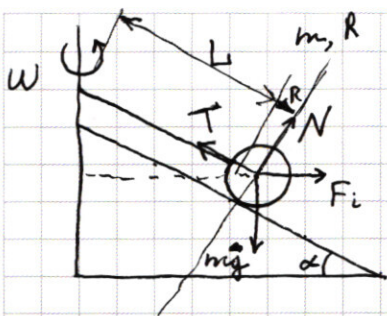
$$k\delta n + k\delta = 1 + nk$$

$$n(k\delta - k) = 1 - k\delta$$

$$n = \frac{1 - k\delta}{k(\delta - 1)}, \quad k\delta \ll 1 \text{ (можно пренебречь)}$$

$$n = \frac{1}{k(\delta - 1)} = \frac{1}{4,6 \cdot 2,5 \cdot 10^{-5}} = \frac{4}{4,6} \cdot 10^5 \approx 8,7 \cdot 10^4$$

Ответ: 1) $2,5 \cdot 10^{-5}$; 2) $8,7 \cdot 10^4$.



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

$$T \cos \alpha = N \sin \alpha + m a_n$$

$$a_n = \omega^2 (L + R) \cos \alpha$$

$$l_1 + l_2$$

$$\frac{l_2 - l_1}{2(l_1 + l_2)} m$$

$$\frac{l_2 - l_1}{2(l_1 + l_2)} m$$

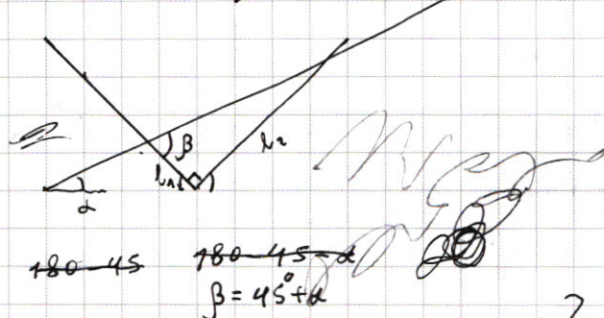
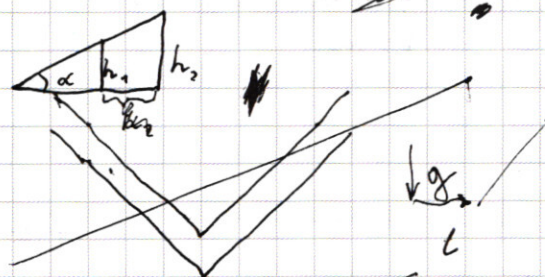
$$g - \omega^2 (L + R) \sin \alpha \geq 0$$

$$\omega^2 (L + R) \sin \alpha \leq g$$

$$\omega \leq \sqrt{\frac{g}{(L + R) \sin \alpha}}$$

$$\vec{F}_A \uparrow \vec{g}$$

$$\tan(\alpha + \beta) = \frac{\tan \alpha + \tan \beta}{1 - \tan \alpha \tan \beta}$$



$$180 - 45$$

$$180 - 45 - \alpha$$

$$\beta = 45^\circ + \alpha$$

$$2,33$$

$$\frac{a + g}{g - a}$$

$$\frac{70}{3}$$

$$\frac{m v^2}{2} = \frac{l_2 - l_1}{2(l_1 + l_2)} m g h$$

$$h_1$$

$$\frac{140}{6}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$F = 3\mu mg$

$F = 3\mu mg = 2ma$

$N_1 = mg$

$N_2 = 2mg + mg = 3mg$

$F_{TP} = \mu N_2 = 3\mu mg$

$T - F_{TP} \geq ma > 0$

$T > F_{TP} \quad T > 3\mu mg$

$T - \mu N_2 > 0$

$h =$

$F_{тяж} =$

$v_0 \cos \alpha = 2v_0 \cos \beta$

$\cos \beta = \frac{\cos \alpha}{2}$

$5\sqrt{13}$

$v_y = 2v_0 \sin \beta - ?$

$2v_0 \sin \beta = \sqrt{1 - \frac{\cos^2 \alpha}{4}} \cdot 2v_0 =$

$t = \frac{|v_y| - |v_{y0}|}{g}$

$a = \frac{v - v_0}{t}$

$g = \frac{v}{t}$

$v_0^2 = v_x^2 + v_y^2$

$(2v_0)^2 = v_x^2 + v_y^2$

$3v_0^2 = v_y^2 - v_x^2$

$12,25$

$1 \times \frac{36}{36}$

$\frac{216}{36}$

$\frac{208}{36}$

$\frac{12}{36}$

$3,6$

$\sin 30^\circ = \frac{1}{2}$

$4 \cdot 3 + \frac{1}{4}$

$\frac{12}{4}$

$\sqrt{13}$

$\frac{3,6}{180}$

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

$\frac{2,6}{2}$

$\frac{3\mu g}{2}$

$$\frac{3,55 \cdot 10^3 \cdot 18 \cdot 10^{-3}}{8,31 \cdot 100 \cdot 3}$$

$$0,025 \quad \frac{\delta V_B}{\mu} = \frac{\delta(V_n + V_B)}{k \mu}$$



$$k_B = \delta(h + \frac{1}{2})$$

$$k = \delta h + \frac{1}{2} \quad n = \frac{k - \frac{1}{2}}{\delta}$$

$$\begin{array}{r} 22.750 \overline{) 3300} \\ - 19800 \\ \hline 289500 \\ - 29700 \\ \hline \end{array} \quad \sqrt{0,69}$$

$$\begin{array}{r} 83 \\ 83 \end{array}$$

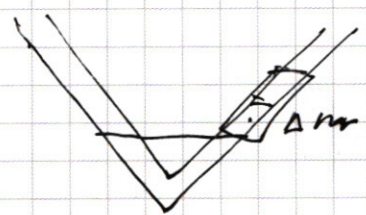
$$\frac{21}{2,46} \cdot 10^5 \quad 360 + 54$$

$$\begin{array}{r} 82 \\ \times 82 \\ \hline 164 \\ + 656 \\ \hline 6724 \end{array}$$

$$(80 + 2)^2 = 6400 + 480 + 9 = 6889$$

$$\begin{array}{r} 400 \overline{) 46} \\ - 368 \\ \hline 320 \\ - 300 \\ \hline 20 \end{array} \quad 8,7 \cdot 10^1$$

$$6400 \times 0,82 \quad 6400 + 65$$



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

$$- \Delta m g \left(\frac{h_2 - h_1}{4} \right) + \Delta m g \left(\frac{h_1 + h_2}{2} \right) = \frac{m v^2}{2}$$

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

$$\begin{array}{r} 3 \overline{) 13} \\ \times 35 \\ \hline 65 \\ + 39 \\ \hline 455 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 4,55 \\ \times 5 \\ \hline 22,75 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 2275 \\ \times 33 \\ \hline 3300 \end{array}$$

$$\frac{h_2 + 3h_1}{4}$$

$$45^2$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$pV = \gamma RT$
 $p = p_{\text{un}}$
 $T = \text{const}$
 $p = \frac{\rho}{\mu} RT$
 $\rho = \frac{m}{V}$
 $pV = \frac{m}{\mu} RT$
 $p = \frac{\rho}{\mu} RT$
 $\rho = \frac{m}{V}$
 $pV = \gamma RT$
 $pV_n = \gamma_n RT$
 $V_B = V - V_n$
 $\frac{\rho V_B}{k \mu} = -\rho \frac{1}{k} V_n + \rho \frac{1}{k} \cdot \gamma (V_n + V_B)$
 $\rho V_B = \frac{\rho \gamma}{k} \cdot (m V_B + V_B) - \rho \frac{1}{k} V_n$
 $\frac{\gamma (V_n + V_B)}{V_B} = \frac{V_n}{V_B} + k$
 $\gamma (n+1) = n + k$
 $\gamma n - \gamma = n + k$
 $(\gamma - 1)n = \gamma + k$