

Олимпиада «Физтех» по физике, 10 класс

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.

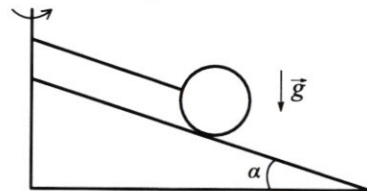
Ускорение свободного падения принять $g = 10$ м/с². Сопротивление воздуха не учитывать.

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?

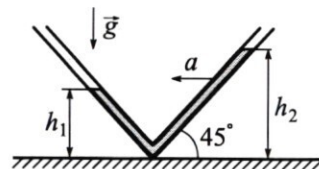
3. Однородный шар массой m и радиусом R находится на гладкой поверхности клина, наклоненной под углом α к горизонту (см. рис.). Шар удерживается нитью длиной L , привязанной к вертикальной оси, проходящей через вершину клина. Нить параллельна поверхности клина.



- ✓ 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

N 5

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

Давление насыщенного пара при изотермическом сжатии не меняется, происходит конденсация.

У-из Менделеева - Клапейрона

$$PV = \nu RT \Rightarrow P = \frac{\rho_n}{\mu} RT \Rightarrow \rho_n = \frac{\mu P}{RT} \approx 0,05 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

где μ - молярная масса воды, ρ_n - плотн. пара

P - давление пара, $R \approx 8,31$ - газов. пост.

T - температура в Кельвинах $T = 95^\circ \text{C} \approx 368 \text{ K}$

1) Отношение плот. пара к плотн. воды

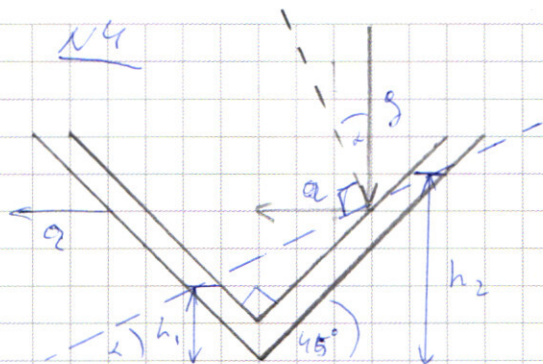
$$\frac{\rho_n}{\rho_v} = \frac{0,05}{1000} \approx 5 \cdot 10^{-5}$$

2) Если объем уменьшится в $\delta = 4,8$ раз, то из объема $V_0 - \frac{V_0}{\delta} = V_0 \left(\frac{\delta-1}{\delta} \right)$ конденсируется вода $\Rightarrow V_0 = V_0 \left(\frac{\delta-1}{\delta} \right) \cdot \frac{\rho_n}{\rho_v}$, новый объем пара $V_{n2} = \frac{V_0}{\delta}$

$$\Rightarrow \frac{V_{n2}}{V_0} = \frac{V_0 \cdot \delta}{V_0 \left(\frac{\delta-1}{\delta} \right) \cdot \frac{\rho_n}{\rho_v}} = \left(\frac{\rho_n}{\rho_v} \right)^{-1} \cdot \frac{1}{\delta-1} = \frac{2 \cdot 10^4}{3,8} \approx 5405 (\text{раз})$$

Ответ 1) Отношение плотн. пара к плотн. воды $\frac{\rho_n}{\rho_v} \approx 5 \cdot 10^{-5} (\text{нога})$

2) Отношение объема пара к объему воды $\frac{V_n}{V_0} \approx 5405 (\text{нога})$



1) Суммарное ускорение перпендикулярно поверхности воды, тогда

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

также можно выразить как

$$\tan \alpha = \frac{h_2 - h_1}{\frac{h_1}{\tan 45^\circ} + \frac{h_2}{\tan 45^\circ}} = \frac{h_2 - h_1}{h_1 + h_2} \Rightarrow \frac{a}{g} = \frac{h_2 - h_1}{h_1 + h_2}$$

$$\Rightarrow g \cdot a = g \cdot \frac{h_2 - h_1}{h_1 + h_2} = 10 \cdot \frac{4}{20} = 2 \left(\frac{м}{с} \right)$$

когда ускорение воды в обоих краях трубы будет одинаковым

2) Скорость движения воды в трубе будет максимальной, потенциальная энергия воды будет минимальной

$$E_{n1} = (\rho S h_1) g \cdot \frac{h_1}{2} + (\rho S h_2) g \cdot \frac{h_2}{2}$$

$$E_{n2} = (\rho S (h_1 + h_2)) g \cdot \frac{h_1 + h_2}{2}$$

$$E_k = \Delta E_n$$

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

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

$$V \approx 0,4 \sqrt{6} \left(\frac{м}{с} \right)$$

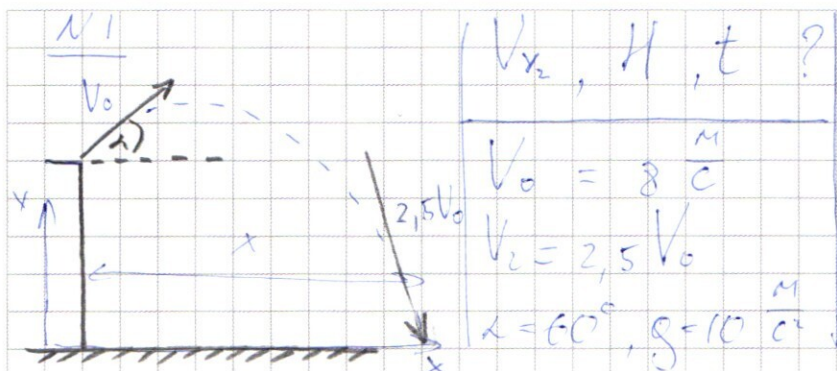
Ответ. 1) Ускорение от трубы

$$a = 2 \frac{м}{с}$$

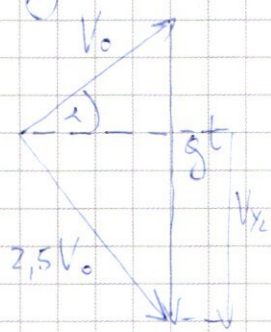
2) Скорость движения воды в трубе

$$V = 0,4 \sqrt{6} \frac{м}{с} \approx 1 \frac{м}{с}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



Вспомогательный треугольник
изменения скорости



По оси Ox скорость не изменяется,
по оси Oy изменяется под действием
ускорения свободного падения

$$V_x = V_0 \cos \alpha$$

$$(2,5 V_0)^2 = (V_0 \cos \alpha)^2 + (V_{y2})^2$$

$$1) \quad 6,25 V_0^2 = \frac{1}{4} V_0^2 + V_{y2}^2 \Rightarrow V_{y2} = V_0 \cdot \sqrt{6} = 8\sqrt{6} \left(\frac{m}{s}\right)$$

Из этого же вспомогательного треугольника найдем
что:

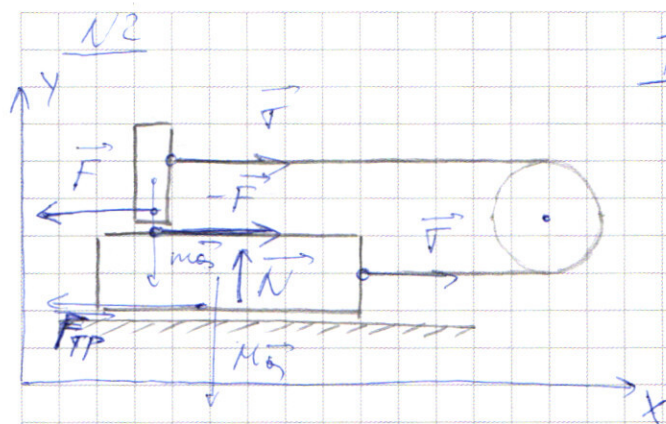
$$2) \Rightarrow t = \frac{V_0 \sin \alpha + V_{y2}}{g} = \frac{V_0 \sqrt{6} + V_0 \frac{\sqrt{3}}{2}}{g} = 0,8 \cdot \left(\frac{2\sqrt{3} + 1}{2} \right) \sqrt{3} \approx 2,584 (с)$$

$$3) \Delta x = V_0 \cos \alpha \cdot t = \frac{1}{2} V_0 \cdot t \approx 4 \cdot 2,584 \approx 10,336 (м)$$

Св. св. 1) Вертикальная сост. скорости при
падении на землю $V_{y2} = 8 \cdot \sqrt{6} \frac{m}{s} \approx 19,6 \frac{m}{s}$

2) Время полета камня $t = 0,8 \sqrt{3} \left(\frac{2\sqrt{3} + 1}{2} \right) \approx 2,584 (с)$

3) Горизонтальное смещение $\Delta x \approx 10,336 (м)$



I Человек упирается в ящик ногой и не двигается относительно него $\Rightarrow$ в первом случае прикладывая

минимальную силу F_0 к мити ($F_0 = T$)

$\vec{T} = -\vec{F}$, такая же сила $\vec{T}$ действует на ящик со стороны мити

($\vec{T}$ — сила натяжения мити $\vec{T} = -\vec{F}_0$ — по

II закону Ньютона)

По оси OX на ящик дейст. силы:

$$(1) \vec{T} + \vec{F}_{тр} = 0 \Rightarrow F_{тр} = T$$

По оси OY внешние силы это $m\vec{g}$, $M\vec{g}$, и $\vec{N}$

$$\Rightarrow m\vec{g} + M\vec{g} + \vec{N} = 0 \Rightarrow N = (m+M)g, \text{ где } M=5m$$

$$(2) \Rightarrow N = 6mg \text{ (сила кот. чел. и ящ. давят на пол)}$$

$$F_{тр} = \mu N = 6mg\mu \text{ (сила трения)}$$

$$\Rightarrow (1) \Rightarrow 6mg\mu = T \Rightarrow T = 3mg\mu$$

$F_0 = T = 3mg\mu$ — минимальная сила с которой нужно тянуть ящик верёвкой.

II Если человек будет тянуть верёвку с силой $F > F_0$, то человек и ящик

будут двигаться равноускоренно, причём с одинаковым ускорением, т.к. человек не движется относит. ящика. $\Rightarrow (a_1 = a_2 = a)$ (см. стр. 3) $\rightarrow$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

N_2 (продолжение)
 т.к. сила реакции опоры со стороны пола на ящик не изменяется, то, сила трения останется прежней.

Сила F_1 — новая сила с которой человек отталкивается от ящика, $T_2 = -F$, так как сила действия равна силе противодействия.

Запишем II з. Ньютона для чел-ка и для ящика по оси Ox :

$$\begin{aligned}
 T_2 - F_1 &= ma, \\
 T_2 + F_1 - F_{тр} &= Ma_2 \Rightarrow \begin{cases} F - F_1 = ma \\ F + F_1 - F_{тр} = 5ma \end{cases}
 \end{aligned}$$

Решая систему получим, что

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

Поског, зная ускорение, найдём скорость которую приобретёт ящик пройдя расстояние S

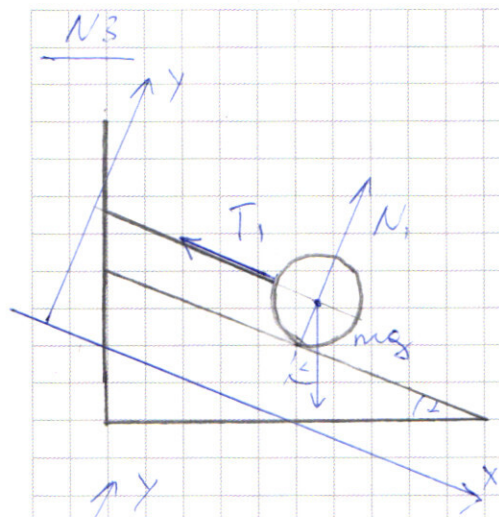
$$S = \frac{at^2}{2} \Rightarrow t = \sqrt{\frac{2S}{a}} \Rightarrow V = at = \sqrt{2Sa}$$

$$V = \sqrt{2S \left(\frac{F}{3m} - g\mu \right)}$$

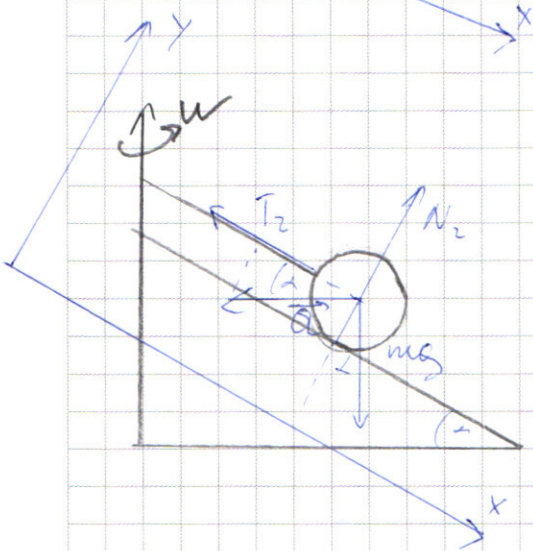
Совст. 1) При взаимодействии ящик с человеком давят на пол с силой $N = 6\text{ мН}$

2) Минимальная постоянная сила $F_0 = 3\text{ мН}$

3) Ящик достигнет скорости $V = \sqrt{2S \left(\frac{F}{3m} - g\mu \right)}$



В первом случае шар покоится и система не движется, тогда в проекции на ось Ox параллельной наклонной плоскости

$$T_1 = mg \sin \alpha$$


Во втором случае шар вращается по окружности радиусом l
 $l = (L + R) \cos \alpha$, где L - длина нити, R - радиус окружности, тогда ускорение a с которым движется шар

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

Тогда в проекции на ось Ox параллельной наклонной плоскости

$$T_2 - mg \sin \alpha = ma \cos \alpha$$

$$\Rightarrow T_2 = m(g \sin \alpha + \omega^2 (L + R) \cos^2 \alpha)$$

Ответ.

- 1) В состоянии покоя сила натяжения нити $T_1 = mg \sin \alpha$
- 2) При вращении сила натяжения нити $T_2 = m(g \sin \alpha + \omega^2 (L + R) \cos^2 \alpha)$



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)

$$865g \left(\frac{h_1^2}{2} + \frac{h_2^2}{2} \right)$$

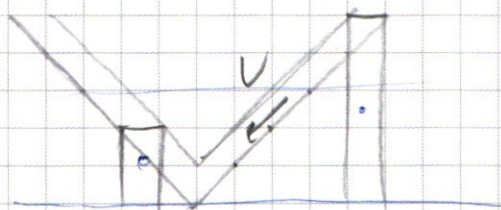
$$865g \left(\frac{h_1^2 + 2h_1h_2 + h_2^2}{2} \right)$$

$$\Delta E = 865g \frac{2h_1h_2}{2} = \frac{865g(h_1 + h_2) V^2}{2}$$

$$g 2h_1h_2 (h_1 + h_2) V^2$$

$$V^2 =$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$$E_n =$$

$$E_{n1} = m_1 g \frac{h_1}{2} + m_2 g \frac{h_2}{2}$$

$$E_{n2} = m_1 = \rho h_1$$

$$m_2 = \rho h_2$$

$$E_{n1} = \frac{\rho g}{2} (h_1^2 + h_2^2)$$

$$E_{n1} = \rho \frac{h_1^2 g}{2} + \rho \frac{h_2^2 g}{2}$$

$$E_{n2} = \frac{\rho g}{2} (h_1 + h_2)^2$$

$$E_{n2} = \rho (h_1 + h_2) \frac{h_1 + h_2}{2} g$$

$$E_{n2} - E_{n1} = \frac{\rho g}{2} (2 h_1 h_2) =$$

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

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

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

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

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

$$\mu = 19 \frac{\text{мкПа}}{\text{ммоль}} = 0,018 \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$$

$$P = 8,5 \cdot 10^4, R = 8,31$$

$$T = 368$$

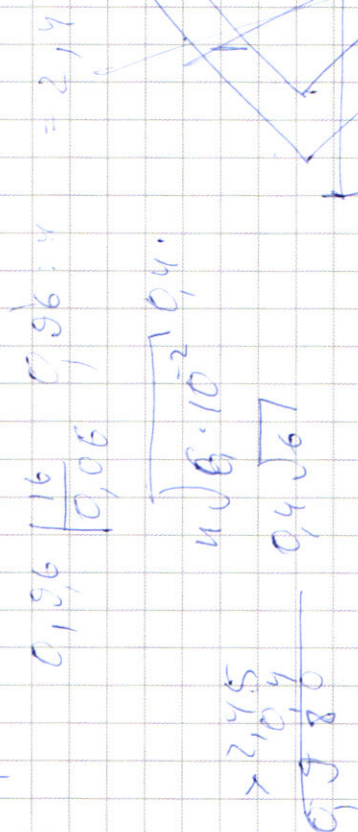
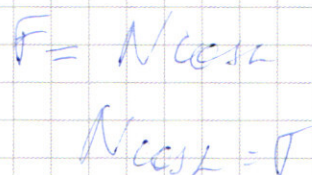
$$\rho_n = \frac{0,018 \cdot 8,5 \cdot 10^4}{8,31 \cdot 368}$$

$$\rho_n = \frac{18 \cdot 8,5}{8,31 \cdot 368} \approx 0,05 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$\begin{array}{r} 1,9 \\ 1,7 \\ \hline 1,33 \\ 1,2 \\ \hline 3,23 \\ 1 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 323 \\ \times 808 \\ \hline 3584 \end{array}$$

$$\begin{aligned} \sqrt{\frac{1,9}{1,7}} &= \sqrt{1,1176} \\ \sqrt{\frac{1,33}{1,2}} &= \sqrt{1,1083} \\ \sqrt{\frac{3,23}{1}} &= \sqrt{3,23} \\ \sqrt{1,1176} &\approx 1,057 \\ \sqrt{1,1083} &\approx 1,052 \\ \sqrt{3,23} &\approx 1,797 \end{aligned}$$



$$\begin{array}{r} 9600 \\ 3 \overline{) 28800} \\ \underline{288} \\ 0 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 153086 \\ 15124 \overline{) 153086} \\ \underline{15124} \\ 184 \\ 180 \\ \underline{40} \\ 405 \\ \underline{405} \\ 0 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 18 \\ \times 85 \\ \hline 90 \\ 144 \\ \hline 1530 \end{array}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Diagram showing a projectile launched from height h at an angle 60° with initial velocity V_0 . The horizontal component is V_x and the vertical component is V_y . The acceleration is g .

Initial velocity components:

$$V_{x0} = V_0 \cos 60^\circ = \frac{1}{2} V_0$$

$$V_{y0} = V_0 \sin 60^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2} V_0$$

Equations of motion:

$$V_y = V_{y0} - gt$$

$$V_x = V_{x0}$$

At the peak, $V_y = 0$:

$$0 = \frac{\sqrt{3}}{2} V_0 - gt$$

$$t = \frac{\sqrt{3} V_0}{2g}$$

Horizontal distance L :

$$L = V_{x0} t = \frac{1}{2} V_0 \cdot \frac{\sqrt{3} V_0}{2g} = \frac{\sqrt{3} V_0^2}{4g}$$

Given $L = 10$ m, $g = 10$ m/s²:

$$10 = \frac{\sqrt{3} V_0^2}{4 \cdot 10}$$

$$V_0^2 = \frac{400}{\sqrt{3}}$$

$$V_0 = \frac{20}{\sqrt{3}} \approx 11.55 \text{ m/s}$$

Final velocity components at peak:

$$V_x = \frac{1}{2} V_0 \approx 5.77 \text{ m/s}$$

$$V_y = 0$$

Final velocity V_1 :

$$V_1 = V_x = 5.77 \text{ m/s}$$

Angle of final velocity α :

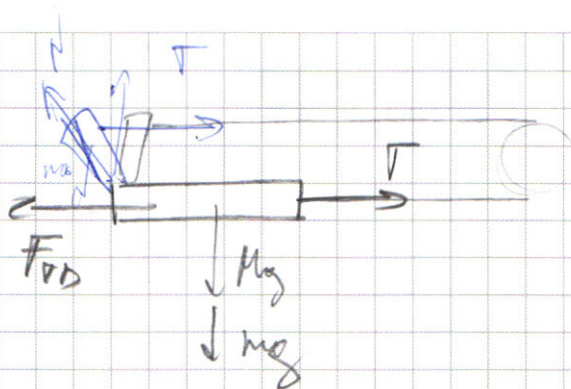
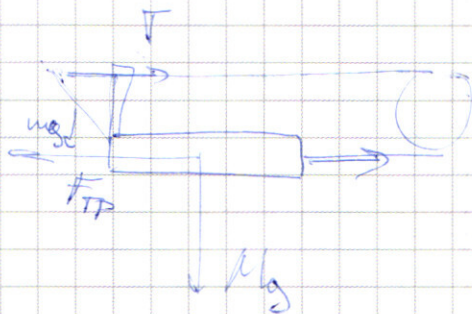
$$\tan \alpha = \frac{V_y}{V_x} = 0$$

$$\alpha = 0^\circ$$

12 m

M

μ



$$F_{TP} = (M + m)g\mu = T$$

$$1) mg \sin \alpha = T$$

$$\cos \alpha = \frac{e}{L + R}$$

$$a_y = \frac{v^2}{R} = \omega^2 R$$

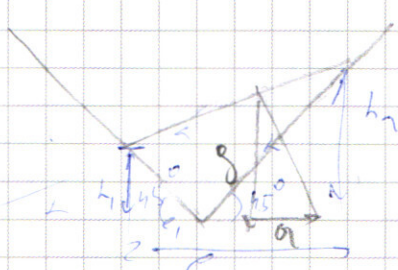
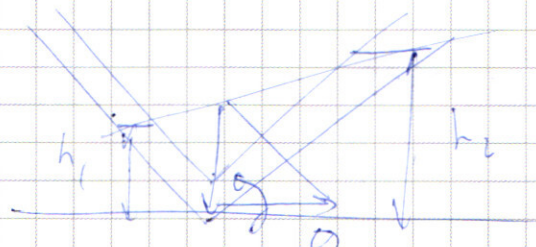
$$a_y = \omega^2 \cdot l$$

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

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

$$T_2 - mg \sin \alpha = m a$$

$$(2) T_2 = m a + mg \sin \alpha = m (\omega^2 (L + R) \cos \alpha + g \sin \alpha)$$



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

$$a = g \tan \alpha$$

$$\tan \alpha = \frac{h_1}{c_1}$$

$$\tan \alpha = \frac{h_2}{c_2}$$

$$c = c_1 + c_2$$

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

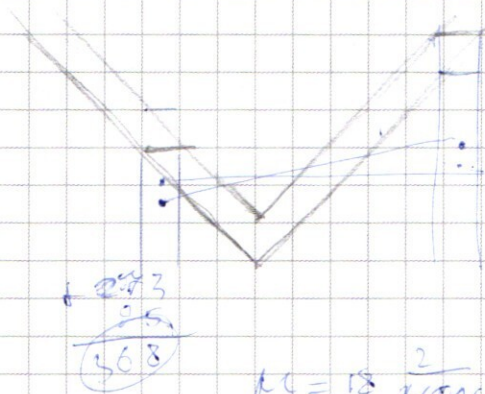
$$\tan \alpha = \frac{h_2 - h_1}{h_2 + h_1}$$

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

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

$$\frac{98.8 \cdot 0.1}{1.0386} = 9.52 \text{ m/s}^2$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$$\Delta P = \rho g (h_2 - h_1)$$

$$PV = \nu RT$$

$$P = \frac{\nu}{V} RT$$

$$P = \frac{\rho}{M} RT$$

$$\rho = 18 \frac{2}{\pi \cdot 0.368} = 0.018 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

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

$$\rho_n = \frac{PM}{RT} = \frac{0.5 \cdot 10^4 \cdot 0.018}{8.31 \cdot 368}$$

$$\rho_n = \frac{8.5 \cdot 10^4 \cdot 0.018}{8.31 \cdot 368}$$

$$V_1 = V_0$$

$$V_2 = \frac{V_0}{\delta}$$

$$V_{n \rightarrow 0} = \left(V_0 - \frac{V_0}{\delta} \right) = V_0 \frac{\delta - 1}{\delta}$$

$$m_{n \rightarrow 0} = V_0 \frac{\delta - 1}{\delta} \cdot \rho_n$$

$$V_0 = V_0 \frac{\delta - 1}{\delta} \cdot \frac{\rho_n}{\rho}$$

mm

$$\frac{V_2}{V_0} = \frac{\frac{V_0}{\delta}}{V_0 \frac{\delta - 1}{\delta} \cdot \frac{\rho_n}{\rho}} = \frac{1}{\delta - 1} \cdot \frac{\rho}{\rho_n}$$

$$\frac{1}{5} = 0.2 \cdot 10^{-2}$$

$$2 \cdot 10^{-4}$$

$$2000 \cdot 10^{-4}$$

$$\begin{array}{r} 20000 \\ 5045 \\ 181 \\ 150 \\ 148 \end{array}$$

$$5045$$

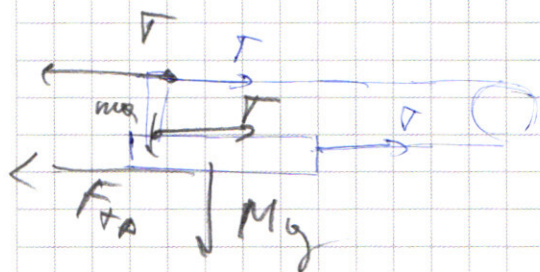
$$5045$$

$$2F - 6mgH = 6ma$$

$$2F - F_{\text{op}} = 6ma$$

$$F + F - ma - F_{\text{op}} = 5ma$$

$$F_1 = F - ma$$



$$F_{TP} = 2T$$

$$m = 4$$

$$M = 5m$$

$$F_{TP} = (m+M)g$$

$$F_{TP} = 6mg = 2T$$

$$N = (m+M)g = 6mg$$

$$F_0 = T = 3mg$$

$$\Rightarrow 2T = (m+M)g$$

$$2T = 6mg$$

$$T = 3mg = F_0 \quad (1)$$

$$F_{TP} = 2T = 6mg \quad (2)$$

$$\begin{cases} F_1 + F - 6mg = 5ma \\ F - F_1 = ma \end{cases}$$

$$\begin{aligned} F_1 + F - 6mg &= 5F - 5F_1 \\ 6F_1 &= 4F + 6mg \end{aligned}$$

$$\begin{cases} F - F_1 = ma \\ F + F_1 - F_{TP} = 5ma \end{cases}$$

$$F + F_1 - F_{TP} = 5F - 5F_1$$

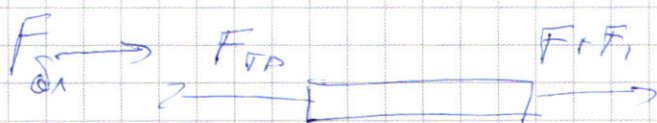
$$\begin{aligned} 6F_1 &= 4F + F_{TP} \\ F_1 &= \frac{4F + 6mg}{6} \end{aligned}$$

$$F_1 = \frac{2}{3}F + mg$$

$$F - F_1 = ma$$

$$\begin{aligned} F - \frac{2}{3}F - mg &= ma \\ \frac{1}{3}F - mg &= ma \end{aligned}$$

$$a = 1$$



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

$$V = at$$

$$V = \sqrt{a2S}$$