



**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
имени М.В. ЛОМОНОСОВА**

**ОЛИМПИАДНАЯ РАБОТА**

Наименование олимпиады школьников: **«Ломоносов»**

Профиль олимпиады: **ФИЗИКА**

ФИО участника олимпиады: **Зулкашев Мурат Саматович**

Класс: 11

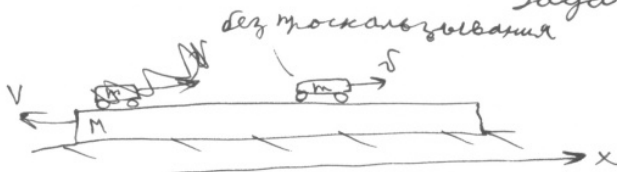
Технический балл: **79**

Дата проведения: 25 февраля 2022 года

ШИФР РАБОТЫ 9910805

	1	2	3	4	$\Sigma$
Задача	<i>10</i>	<i>15</i>	<i>10</i>	<i>10</i>	<b>79</b>
Вопрос	<i>8</i>	<i>10</i>	<i>8</i>	<i>8</i>	

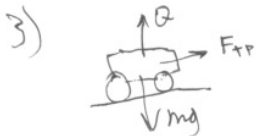
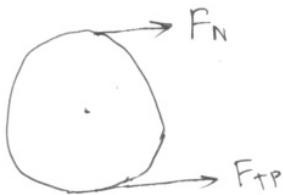
Чистовик  
Задача 1.3.1



1) П.к. на систему «машинка + доска» не действуют внешние силы по горизонтали, но в проекции на ось  $x$  импульс системы сокращается.

$$0 = m\dot{v}_x + M\dot{V}_x; \quad m\dot{v}_x = -M\dot{V}_x; \quad m\dot{v} = M\dot{V}; \quad \dot{v} = \frac{M}{m}\dot{V} \quad (1)$$

2) П.к. колёса лёгкие, то сила крутящего момента со стороны двигателя и сила трения со стороны доски равны по модулю.  $F_N = F_{TP}$ .



3) по 2 закону Ньютона:  $Q = Mmg$   
 $F_{TP} = M \cdot Q \Rightarrow F_{TP} = Mmg$   
 пока колёса проскальзывают.

$$\Rightarrow F_N = Mmg.$$

4)  $N = \frac{A_N}{X}$ , где  $A_N$  — работа двигателя.

П.к. сила, действующая на машинку со стороны двигателя в любой момент времени равна силе трения скольжения, действующей на колёса со стороны доски, то  $A_N = F_{TP} \cdot S$ , где  $S$  — перемещение машинки относительно земли.

П.к. (1) верно для любого момента времени, то

$\dot{v} = \frac{M}{m} \cdot \dot{V} = n \cdot \dot{V} \Rightarrow S = n \cdot l$ , где  $l$  — перемещение доски относительно земли.  $\Rightarrow$  по закону сложения перемещений:

$$X = S - l = (n-1)l \quad \xi = \frac{S}{n} \cdot (n-1) \Rightarrow S = \frac{nX}{n-1} = \frac{3}{2}X$$

По закону изменения мех. энергии:  $A_N + A_{TP} = \frac{m\dot{v}^2}{2} + \frac{M\dot{V}^2}{2}$   
 Когда машинка перестанет проскальзывать:

$$N = F_{TP} \cdot (\dot{v} - \dot{V}) = 2 \cdot \dot{V} \cdot F_{TP} \Rightarrow \dot{V} = \frac{N}{2F_{TP}} = \frac{N}{2Mmg}$$

(мест 1)

$$E_d = U; \quad u = d \cdot \frac{q}{2\epsilon\epsilon_0 S}$$

$$cu = q$$

U produk

$$c \cdot d \cdot \frac{q}{\epsilon\epsilon_0 S} = q;$$

$$c = \frac{\epsilon\epsilon_0 S}{d}$$

Zagawa 3

$$A_{TP2} = \sum F_{TP2}(x) \cdot \Delta x = \mu mg \cdot \frac{1}{l} \cdot \sum x \cdot \Delta x - MF_3 \cdot \sum x =$$

$$= \frac{\mu mg \cdot l \cdot \cos \alpha}{2} - MF_3 \cdot l$$

$$\frac{A_{TP2}}{A_{TP1}} = \frac{\frac{m\sqrt{2}}{2} - mg \cdot l \cdot \sin \alpha}{\frac{m\sqrt{1}}{2} - mg \cdot l \cdot \sin \alpha}$$

$$\frac{A_{TP2}}{A_{TP1}} = \frac{\left(\frac{\mu mg \cdot \cos \alpha}{2} - MF_3\right) l}{\frac{\mu mg l \cdot \cos \alpha}{2}} = \frac{mg \cdot \cos \alpha - 2F_3 \cdot \mu}{mg \cdot \cos \alpha} = \frac{m\sqrt{2} - 2mg l \cdot \sin \alpha}{m\sqrt{1} - 2mg l \cdot \sin \alpha}$$

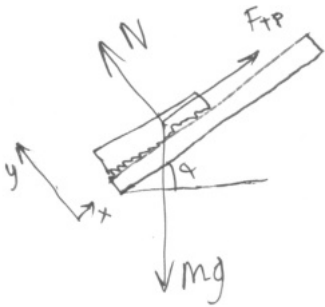
$$m a_y = mg \cdot \sin \alpha$$

$$-a_2 = -g \cdot \sin \alpha + Mg \cdot \cos \alpha \cdot \frac{x}{l} - \frac{\mu q \sigma}{2\epsilon_0 m}$$

$$a_2 = g \cdot \sin \alpha - Mg \cdot \cos \alpha \cdot \frac{x}{l} -$$

Условие  
Задача 3.5.1

1) Когда ~~спускается~~ ~~вверх~~ 1) Когда ~~идет~~ ~~вверх~~ ~~по~~ ~~наклонной~~ ~~плоскости~~:



но 2 3.т.: y:  $N = mg \cdot \cos \alpha_{\text{нп}}$   
x:  $-mg \cdot \sin \alpha_{\text{нп}} + F_{TP} = 0$

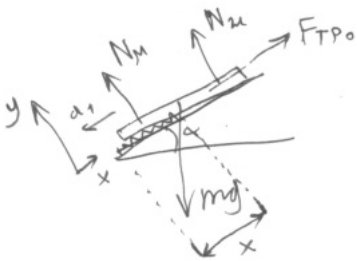
$F_{TP} = mg \cdot \sin \alpha_{\text{нп}}$

$F_{TP} = \mu N \Rightarrow F_{TP} = \mu mg \cdot \cos \alpha_{\text{нп}}$

$\mu mg \cdot \cos \alpha_{\text{нп}} = mg \cdot \sin \alpha_{\text{нп}}$

$\mu = \tan \alpha_{\text{нп}}; \mu = \tan(30^\circ) = \frac{1}{\frac{\sqrt{3}}{2}} = \frac{2}{\sqrt{3}} = \frac{\sqrt{3}}{3}$

2) Когда ~~идет~~ ~~вверх~~ ~~по~~ ~~наклонной~~ ~~плоскости~~ ~~и~~ ~~не~~ ~~задерживается~~:



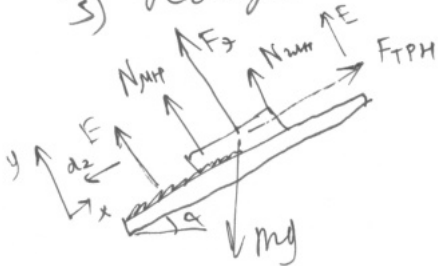
$F_{TP0} = \mu N_n$

но 2 3.т.: y:  $N_n = mg \cdot \frac{2}{l}$

x:  $-mg \cdot \sin \alpha + F_{TP0} = -ma_1$

$\Rightarrow a_1 = g \cdot \sin \alpha - g \cdot \frac{x}{l}$

3) Когда ~~идет~~ ~~вверх~~ ~~по~~ ~~наклонной~~ ~~плоскости~~ ~~и~~ ~~задерживается~~ ~~и~~ ~~идет~~ ~~вверх~~ ~~по~~ ~~наклонной~~ ~~плоскости~~:



$F_{TPH} = \mu N_{MH} \cdot \mu$

но 2 3.т.: y:  $N_{MH} + F_{Э} - mg \cdot \cos \alpha = 0$

x:  $-ma_2 = -mg \cdot \sin \alpha + F_{TPH}$

$F_{Э} = q \cdot E = q \cdot \frac{\sigma}{2 \epsilon_0}$

$\Rightarrow N_{MH} = mg \cdot \cos \alpha - \frac{\sigma q}{2 \epsilon_0} - F_{Э} = mg \cdot \cos \alpha - \frac{\sigma q}{2 \epsilon_0}$

$\Rightarrow F_{TPH} = \mu \cdot (mg \cdot \cos \alpha - \frac{\sigma q}{2 \epsilon_0})$

$\Rightarrow F_{TPH} = \mu \left( \frac{mg \cos \alpha \cdot x}{l} - \frac{q \sigma}{2 \epsilon_0} \right)$

4) По ~~Закону~~ ~~универсальной~~ ~~механической~~ ~~энергии~~:

$\frac{m v_1^2}{2} - 0 + 0 - mgl \cdot \sin \alpha = A_{TP1},$

$\frac{m v_2^2}{2} - 0 + 0 - mgl \cdot \sin \alpha = A_{TP2};$

где l - длина наклонной.

$\delta A_{TP1} = \mu mg \cdot \frac{x}{l} \cdot \cos \alpha \cdot \Delta x$

$\Rightarrow A_{TP1} = \mu \sum \delta A_{TP1} = -\mu mg \cdot \cos \alpha \cdot \frac{1}{l} \cdot \sum x \Delta x = -\frac{1}{2} \mu mg \cdot \cos \alpha \cdot l$

Числовия  
Задача 3.5.1. (гипотеза)

$$\delta A_{TP2} = -F_{TPH} \cdot \Delta X = -\mu \left( \frac{mg \cdot \cos \alpha \cdot x}{L} - \frac{q_0}{2\epsilon_0} \right) \Delta X$$

$$A_{TP2} = \sum \delta A_{TP2} = -\sum F_{TPH} \cdot \Delta X = -\mu mg \cdot \cos \alpha \cdot \frac{1}{L} \cdot \sum x \cdot \Delta x + \frac{q_0}{2\epsilon_0} \cdot \sum \Delta x =$$

$$= -\frac{\mu mgL \cdot \cos \alpha}{2} + \frac{q_0 L}{2\epsilon_0}$$

$$\Rightarrow \frac{\frac{m v_2^2}{2}}{\frac{m v_1^2}{2}} = \frac{v_2^2}{v_1^2} = \frac{A_{TP2} + mgL \cdot \sin \alpha}{A_{TP1} + mgL \cdot \sin \alpha} = \frac{-\frac{\mu mgL \cdot \cos \alpha}{2} + \frac{q_0 L}{2\epsilon_0} + mgL \cdot \sin \alpha}{-\frac{1}{2} \mu mgL \cdot \cos \alpha + mgL \cdot \sin \alpha} =$$

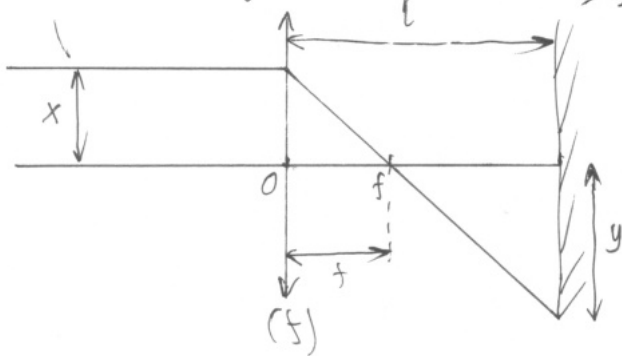
A

12

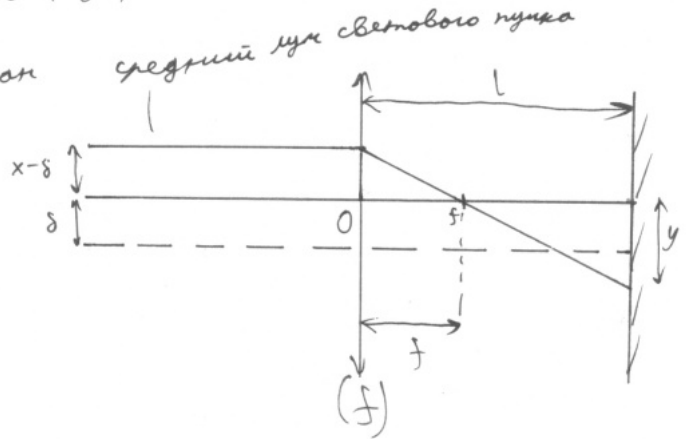
Урок 12

Числовик  
Задача 4.3.1

средний луч светового пучка



Экран



Из подобия:

$$\begin{cases} \frac{y}{x} = \frac{l-f}{f}, \\ \frac{y-\Delta}{x-\delta} = \frac{l-f}{f}, \\ \frac{x}{f} = \frac{y}{l-f}; \end{cases} \quad \begin{cases} \frac{y}{x} = \frac{y-\Delta}{x-\delta} \quad (1) \\ \frac{x}{f} = \frac{y}{l-f} \quad (2) \end{cases}$$

Из (1):  $yx - y\delta = xy - x\Delta$ ;  $y\delta = x\Delta$ ;  $y = \frac{\Delta}{\delta}x$  (3)

Подставим (3) в (2):  $\frac{x}{f} = \frac{\frac{\Delta}{\delta}x}{l-f}$   $\left| :x; \right. \frac{1}{f} = \frac{\Delta}{\delta(l-f)}$ ;

$$\delta(l-f) = \Delta f; \quad \delta l - \delta f = \Delta f; \quad f(\Delta + \delta) = \delta l;$$

$$f = \frac{\delta l}{\delta + \Delta}$$

$$f = \frac{0,5 \text{ см} \cdot 20 \text{ см}}{0,5 \text{ см} + 1 \text{ см}} = \frac{\frac{1}{2} \cdot 20 \text{ см}}{\frac{3}{2}} = \frac{10 \cdot 2 \text{ см}}{3} = \frac{20}{3} \text{ см}$$

Ответ:  $f = \frac{\delta l}{\delta + \Delta} = \frac{20}{3} \text{ см}$

Чистовик  
Вопрос 2.2.1

~~Влажность - масса водяного пара, содержащаяся в единице об~~

Влажность - физическая величина, показывающая, какая масса водяного пара содержится в единице объёма ( $\rho = \frac{m}{V}$ )

Относительная влажность воздуха - физическая величина, равная отношению влажности пара к влажности насыщенного пара при данной температуре

Вопрос 4.37.

$$\left( \varphi = \frac{P_{\text{п}}}{P_{\text{нас. п}}} \right)$$

Фокусное расстояние точечной линзы - это расстояние до той точки, лежащей на главной оптической оси линзы, где сходятся все лучи (или их продолжения) параллельного пучка света, падающего на линзу.

Оптическая сила линзы - физическая величина, обратная фокусному расстоянию линзы. ( $D = \frac{1}{F}$ )

Вопрос 3.5.1.

Емкость - физическая величина, показывающая, какой заряд нужно передать данному телу, для того, чтобы на нём было такое же напряжение. Емкость не зависит от заряда данного тела или напряжения на нём. Емкость проводника определяется лишь его геометрическими характеристиками.

$$\begin{cases} U = Ed, \\ CU = q, \\ E = \frac{q}{\epsilon \epsilon_0 S}; \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} U = \frac{q d}{\epsilon \epsilon_0 S}, \\ q = CU; \end{cases} \quad C \cdot \frac{q \cdot d}{\epsilon \epsilon_0 S} = q$$

$$\Rightarrow C = \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{d}, \text{ где } S - \text{площадь обкладок конденсатора,}$$

$d$  - расстояние между пластинами плоского конденсатора  
 $\epsilon_0$  - электрическая постоянная,  $\epsilon$  - диэлектрическая проницаемость среды вещества, занимающего всё пространство между пластинами конденсатора



Чистовик

Вопрос 1.3.1.

Импульс системы материальных точек определяется как векторная сумма импульсов всех тел, входящих в систему.

Импульс тела (системы тел) сохраняется, ~~в том случае~~ если векторная сумма всех сил, действующих на тел (систему тел) равна нулю, или на тело ~~не действует~~ (систему тел) ~~не действуют~~ внешние силы.

Условие  
 равномерное движение 1.3.1.

$$A_N = S \cdot F_N = \frac{3}{2} \times F_N = \frac{3}{2} \times F_{TP}$$

$$A_{TP} = X \cdot F_{TP}$$

$$\Rightarrow A_N + A_{TP} = \frac{5}{2} \times F_{TP}$$

$$\frac{m v^2}{2} + \frac{M V^2}{2} = \frac{M}{2h} \cdot h^2 V^2 + \frac{M V^2}{2} = \frac{M \cdot h V^2}{2} + \frac{M V^2}{2} = \frac{M V^2}{2} \cdot (h+1)$$

$$\Rightarrow \frac{5}{2} \times M m g = \frac{M V^2}{2} \cdot (h+1)$$

$$V^2 = \frac{N^2}{4 M^2 m^2 g^2} \Rightarrow \frac{5}{2} \times M m g = \frac{M(h+1)}{2} \cdot \frac{N^2}{4 M^2 m^2 g^2}$$

$$X = \frac{2}{5} \frac{M(h+1)}{2} \cdot \frac{N^2}{4 M^2 m^2 g^2}$$

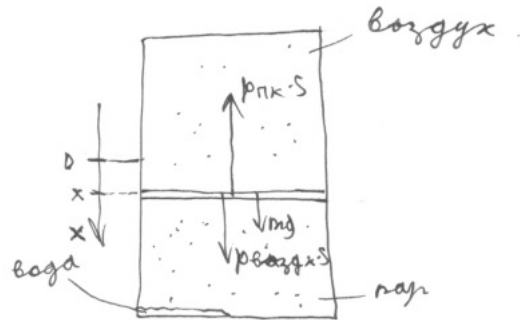
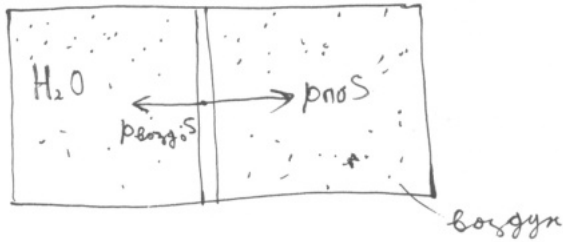
$$X = \frac{1 \text{ кН} \cdot 4}{5} \cdot \frac{8 \text{ км}^2}{4 \cdot 0,3^3 \cdot \frac{1}{9} \text{ км}^3 \cdot 1000 \frac{\text{км}^3 \cdot \text{м}^3}{\text{с}^6}} = \frac{8 \cdot 9 \cdot 1000}{5 \cdot 27 \cdot 1000 \cdot 1000} = \frac{8 \cdot 9}{5 \cdot 27} = \frac{8}{15}$$

$$= \frac{72}{135} \mu$$

$$\text{Ответ: } X = \frac{72}{135} \mu$$

(Метр 2)

Чистовик  
Задача 2.2.1



~~$T = t + 273 = 373$~~   $T = t + 273 = 373 \text{ K}$

1) П.к. пар насыщенный, но  ~~$p_{по} = p_0$~~  при температуре  $t = 100^\circ \text{C}$ , но  $p_{по} = p_0$

По 2 з.д. для ~~горизонтальной~~ поршня в горизонтальном цилиндре:  $p_{возд0} \cdot S = p_{по} \cdot S$ ;

$$p_{возд0} = p_{по} \Rightarrow \boxed{p_{возд0} = p_0}$$

2) При перевероте цилиндра, поршень смещается вниз и т.к. температура ~~не~~  $t = \text{const}$ , то пар конденсируется и давление пара постоянно и равно  $p_0$   
 $\Rightarrow p_{пк} = p_0$

по 2 з.д. для поршня в верт. цилиндре:  $p_{пк} \cdot S - mg - p_{воздк} \cdot S =$

$$p_0 \cdot S - mg - p_{воздк} \cdot S = 0; \quad \boxed{p_{воздк} = p_0 - \frac{mg}{S}}$$

3) П.к. количество воздуха и температура постоянны то по уравнению Менделеева - Клапейрона:

$$\begin{cases} p_{возд0} \cdot V = \nu \cdot R \cdot T \\ p_{воздк} \cdot V_k = \nu \cdot R \cdot T \end{cases} \Rightarrow p_{возд0} \cdot V = p_{воздк} \cdot V_k; \quad V_k = \frac{p_{возд0}}{p_{воздк}} \cdot V$$

$V_k$  - объём, занимаемый воздухом в конце.

$$V_k = V + x \cdot S \Rightarrow V + x \cdot S = \frac{p_{возд0}}{p_{воздк}} \cdot V; \quad x \cdot S = V \left( \frac{p_{возд0}}{p_{воздк}} - 1 \right)$$

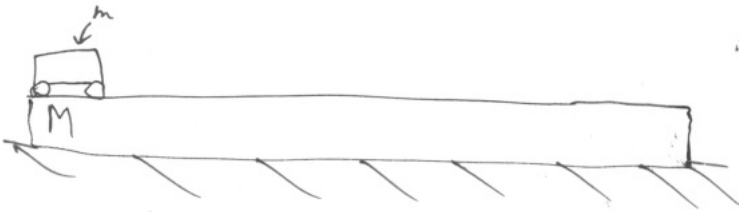
$$x = \frac{V}{S} \cdot \left( \frac{p_0}{p_0 - \frac{mg}{S}} - 1 \right) = \frac{V}{S} \left( \frac{p_0 - p_0 + \frac{mg}{S}}{p_0 - \frac{mg}{S}} \right) = \frac{V}{S} \left( \frac{mg}{p_0 S - mg} \right)$$

$$x = \frac{10^{-3} \text{ м}^3}{0,01 \text{ м}^2} \left( \frac{5 \text{ кг} \cdot 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}}{10^5 \text{ Па} \cdot 10^{-2} \text{ м}^2 - 50 \text{ Н}} \right) = \frac{1}{190} \text{ м}$$

Мин 3

Ответ: поршень опустится на  $x = \frac{1}{190} \text{ м}$ ;  $x = \frac{V}{S} \left( \frac{mg}{p_0 S - mg} \right)$

Задача, Черновик



$$m = \frac{M}{3}$$

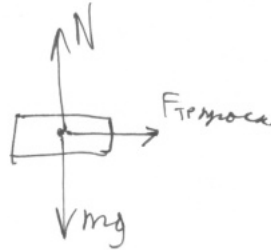
$$N = 2 \cdot R_m$$

$$N = F \cdot \delta$$

$$N = \frac{A}{t} = \frac{F \cdot S}{t}$$



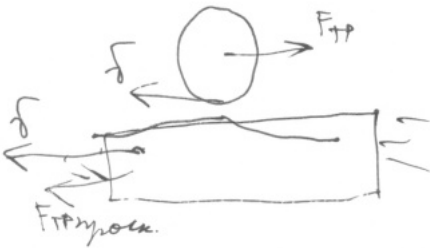
$$F_{ТР} = F$$



$$F_{ТР} = N = \mu N = \mu mg$$



Когда перед переключением блока:



$$N = F_{ТР} \cdot \delta_{соедин}$$



Мех 4

Угловых зарядов

$N = \frac{F_{TP}}{r}$  Так как сист. "шарик + доска" не действов. в. сист. по зор., но в зор. на зор. ось  $x$  ипользуе сист. сопр.

$\Rightarrow 0 = m \dot{v}_{отн, x} + M \cdot v_{отн, x}$

когда шарик нач. перестанет проскальзывать, ...



~~$m \dot{v}_{отн, x} = -M v_{отн, x}$~~

но ЗИМЖ:  $N \cdot t + A_{TP} \cdot x = \frac{m \dot{v}_{отн, x}^2}{2} + \frac{M v_{отн, x}^2}{2}$



$A_{TP} = -F_{TP} \cdot x$

$F_{TP} = \mu mg \Rightarrow A_{TP} = -\mu mg x$

Так как  $N = const$



$F_N = F_{TP}$  в любой мом. вр.

$\Rightarrow F_N = const = \mu mg$

$N = F \cdot \mu$

$N = \mu mg$

$\mu = \frac{N}{mg}$

$u_x = v_{отн, x} - \dot{v}_{отн, x}$

$N \cdot t = \int dx$

$2 \cdot 2 \mu mg x = m \dot{v}^2 + M v^2$

$4 \mu mg x = \frac{M}{3} v^2$

$v = 3V$

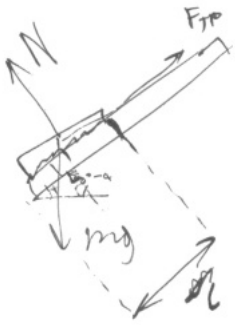
$N = F_{TP} \cdot \left( \frac{v-v}{r} \right) = 2V \cdot F_{TP}$



Мем 5

Черновик

Задача 3:



$$N = mg \cdot \cos \alpha$$

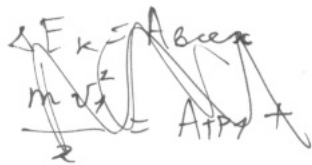
$$\mu mg \cdot \cos \alpha = mg \cdot \sin \alpha$$

$$\mu = \tan \alpha;$$

$$\mu = \frac{\sin 30^\circ}{\cos 30^\circ} = \frac{1/2}{\frac{\sqrt{3}}{2}} = \frac{1}{\sqrt{3}}$$

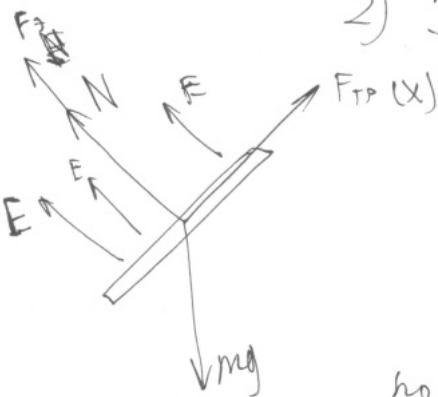
2) (from the same motion equations <sup>with respect to</sup> cube <sub>mass</sub>):

То 3ИМ:



$$1) \frac{m v_1^2}{2} - 0 + 0 - mgh_0 = A_{TP1}$$

$$2) \frac{m v_2^2}{2} - 0 + 0 - mgh_0 = A_{TP2}$$



~~Aтр~~

$$F = \frac{\sigma}{2 \epsilon_0} \Rightarrow F_3 = \frac{q \cdot \sigma}{2 \epsilon_0}$$

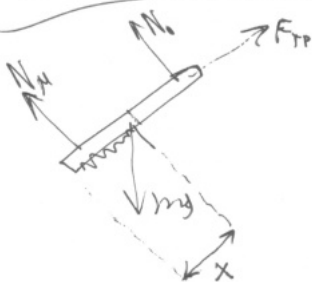
$$N + F_3 - mg \cdot \cos \alpha = 0$$

$$\Rightarrow N = mg \cdot \cos \alpha - F_3$$

$$F_{TP2} = \mu N = \mu (mg \cdot \cos \alpha - F_3)$$

$$\left( \frac{A_{TP2}}{A_{TP1}} = \frac{F_{TP2} \cdot x}{F_{TP1} \cdot x} = \frac{\mu (mg \cdot \cos \alpha - F_3)}{\mu mg \cdot \cos \alpha} \right)$$

В любой момент времени:



$$F_{TP} = \mu \cdot N_{\mu}$$

$$F_{TP}(x) = \mu mg \cdot \frac{x}{L} \cdot \cos \alpha$$

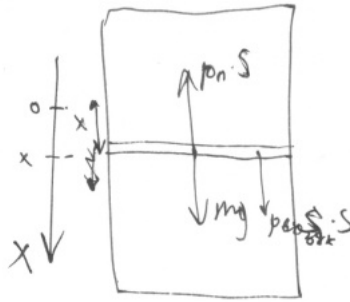
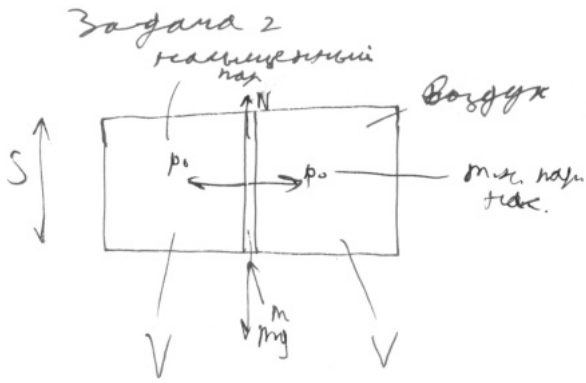
$$F_{TP2}(x) = \mu \left( mg \cdot \frac{x}{L} \cdot \cos \alpha - F_3 \right)$$

$$\delta A_{TP1} = \mu mg \frac{x}{L} \cdot \cos \alpha \cdot \Delta x$$

$$\Rightarrow A_{TP1} = \sum \delta A_{TP1} = \mu mg \cdot \cos \alpha \cdot \frac{1}{L} \cdot \sum x \Delta x = \mu mg \cdot \cos \alpha \cdot \frac{1}{L} \cdot \left( \frac{L^2}{2} - 0 \right) = \frac{\mu mg L \cdot \cos \alpha}{2}$$

Метод 6

Уровни



$$p_{\text{н}} = \text{const} = p_0$$

2 з.т. для воздуха в колонке высотой:

$$p_0 \cdot S - mg - p_{\text{воздух}} \cdot S = 0 \quad \rightarrow \quad p_{\text{воздух}} \cdot S = p_0 \cdot S - mg$$

$$p_{\text{воздух}} = p_0 - \frac{mg}{S}$$

по ур-в Менг. Кван. для воздуха:  $p_0 V = \nu RT = p_{\text{воздух}} \cdot V_k$

$$V_k \cdot \left( p_0 - \frac{mg}{S} \right) = p_0 V$$

$$V_k = V + x \cdot S \quad \Rightarrow \quad (V + x \cdot S) \left( p_0 - \frac{mg}{S} \right) = p_0 V$$

$$p_0 V - \frac{mg}{S} \cdot V + x \cdot S \cdot p_0 - \frac{mg}{S} \cdot x \cdot S = p_0 V$$

$$-\frac{mg}{S} \cdot V + x \cdot S \cdot p_0 - mgx = 0; \quad x \cdot S \cdot p_0 - mgx = \frac{mg}{S} \cdot V$$

$$x (p_0 S - mg) = \frac{mg}{S} \cdot V; \quad x = \frac{mgV}{S(p_0 S - mg)}$$

$$X = \frac{5 \text{ кПа} \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3}{0,01 \text{ м}^2 (10^5 \text{ Па} \cdot 0,01 - 5 \text{ кПа} \cdot 10^{-4})} = \frac{5 \cdot 10^{-2}}{10^{-2} (10^3 - 50)} = \frac{5}{10^3 - 50} = \frac{5}{1000 - 50}$$

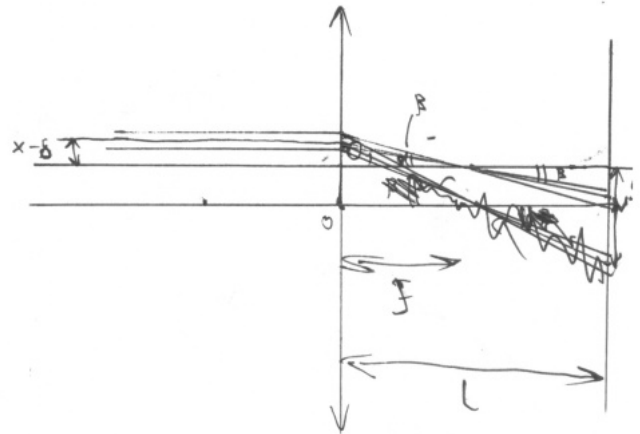
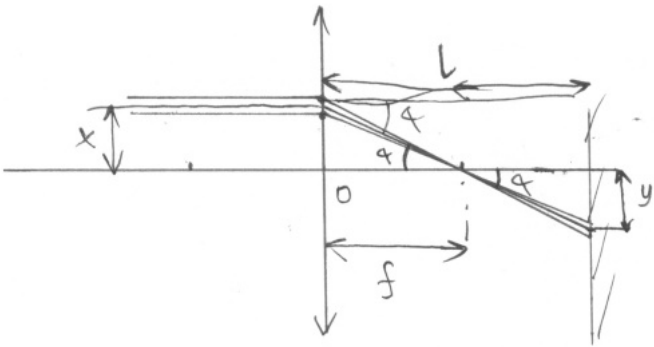
$$= \frac{5}{950} = \frac{1}{190} \text{ м}$$

$$\begin{array}{r} 950 \overline{) 5} \\ \underline{-5} \\ 0 \end{array}$$

Менг

Черновики

Задача 4

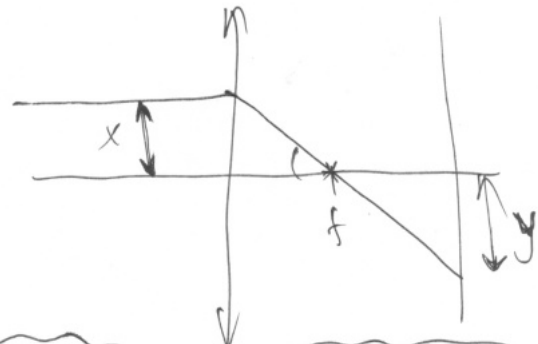
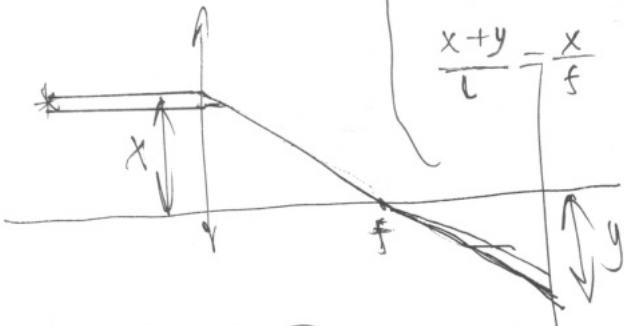


где  $\alpha$  - угол между  $SOO$  и касательной к окружности.  
(УЛБ)

из подобия:

$$\begin{cases} \frac{x}{f} = \frac{y}{l-f} \\ \frac{x-d}{f} = \frac{y-d}{l-f} \\ \frac{x+y}{l} = \frac{x}{f} \end{cases}$$

$$\frac{\sqrt{x^2+f^2}}{x} = \frac{\sqrt{y^2+(l-f)^2}}{y}$$



$$\frac{1}{f} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$$

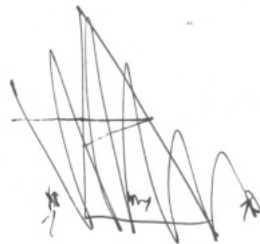
$$d \geq 2f \Rightarrow \frac{1}{f} \leq \frac{1}{f} - \frac{1}{d}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{d-f}{fd}$$

$$f = \frac{fd}{d-f}$$

$$\Rightarrow \Gamma = \frac{y}{x} = \frac{f}{d-f}$$

$$\Gamma = \frac{f}{l-f}$$



$$\frac{x^2+f^2}{x^2} = \frac{y^2+(l-f)^2}{y^2}$$

$$1 + \frac{f^2}{x^2} = 1 + \frac{(l-f)^2}{y^2}; \quad \frac{f^2}{x^2} = \frac{(l-f)^2}{y^2}; \quad \frac{f}{x} = \frac{l-f}{y}$$

УЛБ



Чертовина

$$\left\{ \frac{x}{f} = \frac{y}{l-f} \right.$$

$$\frac{x-\delta}{f} = \frac{y-\Delta}{l-f}$$

~~$$\frac{x+y}{f} = \frac{x}{f} + \frac{y}{f} = \frac{lx}{f} - x = \frac{x(l-f)}{f}$$~~

$$x+y = \frac{lx}{f}; \quad y = \frac{lx}{f} - x = \frac{x(l-f)}{f}$$

$$\Gamma = \frac{y}{x} = \frac{y-\Delta}{x-\delta}$$

~~$$y(x-\delta) = x(y-\Delta)$$~~

~~$$yx - y\delta = xy - x\Delta$$~~

$$x\Delta = y\delta \Rightarrow$$

$$y = \frac{x\Delta}{\delta}$$

$$\frac{x}{f} = \frac{\frac{x\Delta}{\delta}}{l-f} \quad | :x; \quad \frac{1}{f} = \frac{\Delta}{\delta(l-f)}; \quad \frac{1}{f} = \frac{\Delta}{\delta(l-f)};$$

~~$$\Rightarrow f\Delta = \delta(l-f); \quad f\Delta = \delta l - \delta f; \quad f(\delta + \Delta) = \delta l$$~~

$$f = \frac{\delta l}{\delta + \Delta}$$

Мем 9