



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

ОЛИМПИАДНАЯ РАБОТА

Наименование олимпиады школьников: **«Ломоносов»**

Профиль олимпиады: **ФИЗИКА**

ФИО участника олимпиады: **Грознецкий Арсений Евгеньевич**

Класс: 11

Технический балл: **88**

Дата проведения: 25 февраля 2022 года

ШИФР РАБОТЫ 9919440

	1	2	3	4	Σ
Задача	<i>13</i>	<i>15</i>	<i>15</i>	<i>11</i>	88
Вопрос	<i>10</i>	<i>5</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	

1.3.1. Вопросы "Чистовик" Страница 1

Импульс материальной точки \vec{p} определяется как произведение массы m на \vec{v} скорость точки

$$\vec{p} = m \vec{v}$$

Для системы точек верно:

$$\vec{p}_{\text{сист}} = \sum_{i=1}^N \vec{p}_i = \sum_{i=1}^N m_i \vec{v}_i.$$

Также импульс силы равен: $d\vec{p} = \vec{F} dt$

Для системы:

$$\vec{p}_{\text{сист}} = \sum_{i=1}^N d\vec{p}_i = \sum_{i=1}^N (\vec{F}_{1i} + \vec{F}_{2i} + \vec{F}_{3i} + \dots + \vec{F}_i + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \dots) dt = \sum_{i=1}^N (\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots) dt$$

где $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_3 \dots$ - внутренние силы системы действующие на материальную точку;

$\vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_3 \dots$ - внешние силы.

По 3 з.Н. для двух точек системы $\vec{F}_{ii} = -\vec{F}_{i1}$
и при суммировании $\vec{F}_{ii} + \vec{F}_{i1} = \vec{0}$

То есть

$$\vec{p}_{\text{сист}} = \sum_{i=1}^N (\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots) \Delta t = \vec{F}_{\text{внешн}} \cdot \Delta t$$

Тогда сформулируем з.с. и.

Импульс системы остается неизменным если:

- 1) $\vec{F}_{\text{внешн}} = \vec{0}$ - сумма внешних сил равна нулю.
- 2) $\Delta t \rightarrow 0$ - время взаимодействия стремится к нулю.

2.2.1. Вопросы. "Чистовик" Страница 2

Относительной влажностью (φ) называют отношение давления пара (p_0) при данной температуре к давлению насыщенного пара ($p_{\text{нп}}$) при данной температуре.

$$\varphi_{\text{отн}} = \frac{p_0}{p_{\text{нп}}} \cdot 100\%$$

Абсолютной влажностью ($\varphi_{\text{абс}}$) называют отношение плотности водяного пара (ρ_0) при данной температуре к плотности насыщенного пара ($\rho_{\text{нп}}$) при данной температуре.

$$\varphi_{\text{абс}} = \frac{\rho_0}{\rho_{\text{нп}}} \cdot 100\%$$

3.5.1. Вопросы

Емкость C определяется как заряд (q) к разности потенциалов ($\Delta\varphi$)

$$C = \frac{q}{\Delta\varphi}$$

Емкость плоского конденсатора $C_{\text{пл}}$ вычисляется:

$$C_{\text{пл}} = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{d}$$

где $\epsilon_0 \approx 9 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$ — электрическая постоянная
 ϵ — постоянная характеризующая электрические свойства диэлектрика между пластинами конденсатора, так называемая диэлектрическая проницаемость.

S — площадь пластины;

d — расстояние между пластинами.

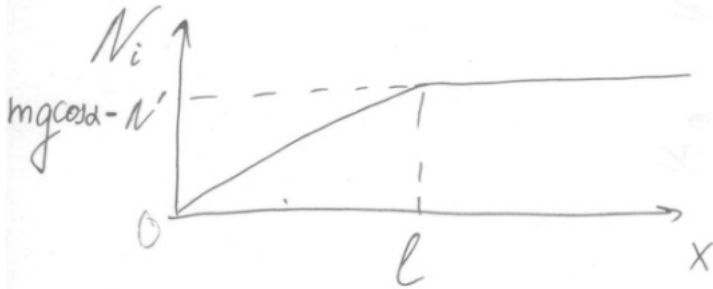
Задача 3.5.1. (Продолжение) "Чистовик" Страница 11

Рассмотрим случай с заряженным плоскостным телом.

Плоскость создает напряженность $E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$

Тогда на заряд будет действовать $N' = Eq = \frac{\sigma q}{2\epsilon_0}$

В этом случае можно рассмотреть систему как ту же самое тело только с ~~эффективной~~ другой силой реакции опоры.



$$N_{i \max} = N - N' =$$

$$= mg \cos \alpha - \frac{\sigma q}{2\epsilon_0}$$



$$A_{F_{тр}} = -\frac{1}{2} l \cdot \mu \left(mg \cos \alpha - \frac{\sigma q}{2\epsilon_0} \right)$$

Закон сохранения механической энергии:

$$A_{F_{тр}} = - \left(mg \Delta h + \frac{mv^2}{2} \right)$$

$$+ \frac{1}{2} l \mu \left(\frac{mg \cos \alpha \cdot 2\epsilon_0 - \sigma q}{2\epsilon_0} \right) = + \left(-mg l \sin \alpha + \frac{mv^2}{2} \right)$$

$$\frac{l \mu (2mg \cos \alpha \epsilon_0 - \sigma q)}{2\epsilon_0 m} = -2lg \sin \alpha + v^2$$

Задача 3.5.1. Прогрессиве "Чистовик" страница 12

$$v_2^2 = l \cdot \left(2g \sin \alpha + \frac{2mg \epsilon_0 \sin \alpha - 6q \tan \alpha}{2 \epsilon_0 m} \right) =$$

$$= l \cdot \left(2g \sin \alpha + g \sin \alpha - \frac{6q \tan \alpha}{2 \epsilon_0 m} \right) = l \cdot \left(3g \sin \alpha - \frac{6q \tan \alpha}{2 \epsilon_0 m} \right)$$

$$\frac{v_2^2}{v_1^2} = \frac{l \cdot \left(3g \sin \alpha - \frac{6q \tan \alpha}{2 \epsilon_0 m} \right)}{3lg \sin \alpha} = 1 - \frac{6q \tan \alpha}{2 \epsilon_0 m \cdot 3g \sin \alpha}$$

$$\left(\frac{v_2}{v_1} \right)^2 = 1 - \frac{6q}{6 \epsilon_0 m g \cos \alpha}$$

$$\boxed{\frac{v_2}{v_1} = \sqrt{1 - \frac{6q}{6 \epsilon_0 m g \cos \alpha}}}$$

$$\frac{v_2}{v_1} = \sqrt{1 - \frac{3 \cdot 3 \cdot 10^{-6} \cdot 10^6}{6 \cdot 9 \cdot 10^{-12} \cdot 0,1 \cdot 10 \cdot \cos 30^\circ}} = \sqrt{1 - \frac{1}{6 \frac{\sqrt{3}}{2}}} = \sqrt{1 - \frac{1}{3\sqrt{3}}} =$$

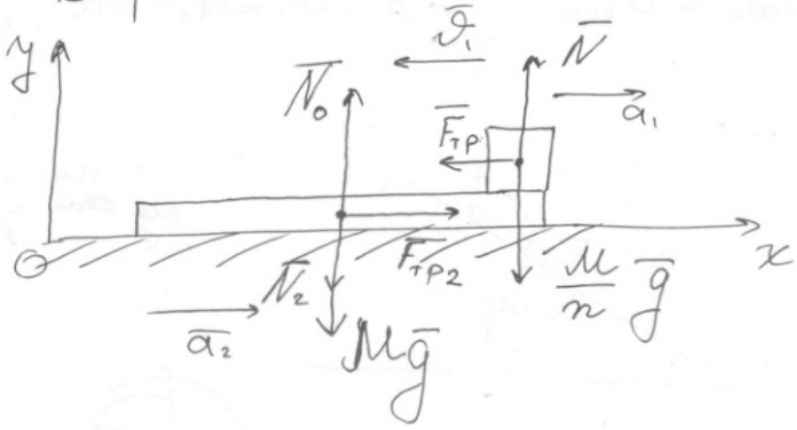
$$= \sqrt{1 - \frac{\sqrt{3}}{9}} = \frac{\sqrt{9 - \sqrt{3}}}{3}$$

"Чистовик"

Вариант №2

Страница 15

1.3.1. Задача
 $M = 1 \text{ кг}; N = 2 \text{ Вт};$
 $n = 3; \mu = 0,3; g = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$
 $x = ?$



На доску действуют силы: $\bar{N}_0, \bar{N}_2, Mg, \bar{F}_{TP2}$
 На автомобиль: $\bar{N}, \bar{F}_{TP}, \frac{\mu}{n} \bar{g}$

По 3 з.к.: $N_2 = N, F_{TP} = F_{TP2}$

2 з.к. для доски в проекции на Ox :

$$F_{TP} = Ma_2 \Rightarrow a_2 = \frac{F_{TP}}{\mu} \quad (1)$$

для автомобиля: $\bar{N} + \bar{F}_{TP} + \frac{\mu}{n} \bar{g} = \frac{\mu}{n} \bar{g}_1$

$$Oy: N = \frac{\mu}{n} g$$

$$Ox: -F_{TP} = \frac{\mu}{n} a_1$$

$$N = \frac{dA}{dt} = \frac{\bar{F} \cdot d\bar{S}}{dt} = \bar{F} \cdot \bar{v} = Fv \cos \alpha = Fv, \quad N = \text{const}, \quad F = \mu N = \text{const} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow v_{отн} = \text{const} = \frac{N}{F}$$

Этот столетие скорости: для автомобиля в со доски:

$$\bar{v}_{\text{абс}} = v_{\text{пер}} + v_{\text{отн}}$$

$$\frac{d\bar{v}_{\text{абс}}}{dt} = \frac{dv_{\text{пер}}}{dt} + \frac{dv_{\text{отн}}}{dt}, \quad \text{где } v_{\text{отн}} = \text{const}$$

1.3.1. Задача (Программа) "Мисробан" Справочная 14

$$\overline{a_{\text{доп}}} = \overline{a_{\text{нор}}}$$

$$F_{\text{тр}} = \mu N, \quad N = \frac{\mu}{n} g \Rightarrow F_{\text{тр}} = \mu \frac{\mu}{n} g$$

$$a_z = \frac{F_{\text{тр}}}{M} = \frac{\mu g}{n} \quad - \text{из (1)}$$

за Δt - время го вращения просянцываема,
госна придобреет скорость $v_z = a_z \Delta t = \frac{\mu}{n} g \Delta t$
и пройдег $S_z = \frac{a_z \Delta t^2}{2} = \frac{\mu g \Delta t^2}{2n}$

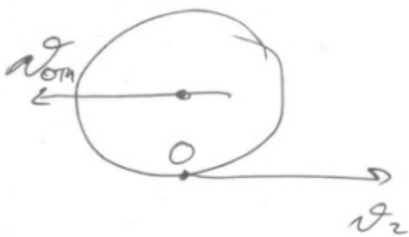
При этом автомобиль пройдег $x = l_1 = v_1 \Delta t = \frac{N}{F_{\text{тр}}} \Delta t$

$$x = l_1 = \frac{Nn}{\mu mg} \cdot \Delta t$$

Птак как просянцываема прекрощает, то

$$v_{\text{отн.0}} = 0$$

$$v_z = v_{\text{отн.0}} = \frac{Nn}{\mu mg} = \frac{mg}{n} \Delta t$$



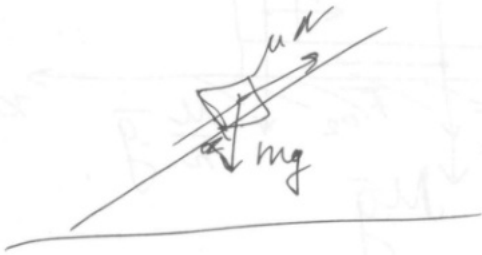
$$S_z =$$

$$x = \frac{N^2 n^2}{\mu^2 m^2 g^2}$$

$$\Delta t = \frac{Nn^2}{\mu m^2 g^2}$$

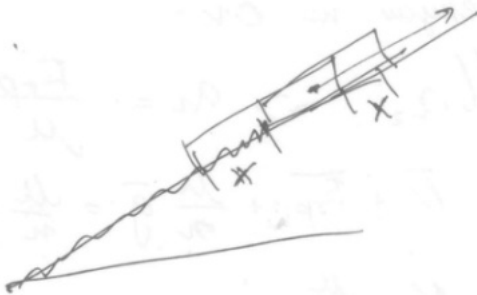
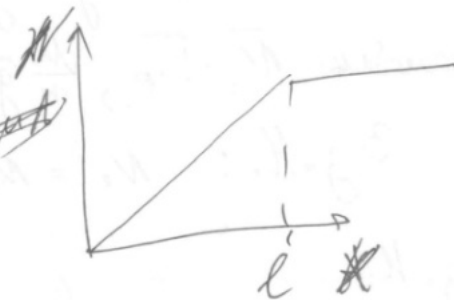
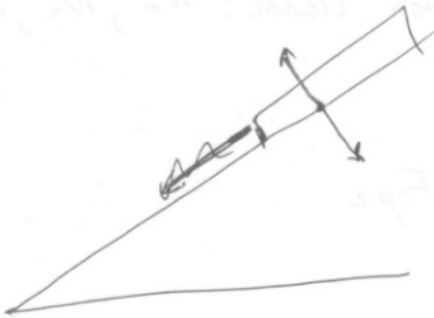
*/E

$\overline{a_{обс}} = \overline{a_{кер}} \Rightarrow \overline{a_1} = \overline{a_2} = \overline{a}$ "Черновик" страница 15

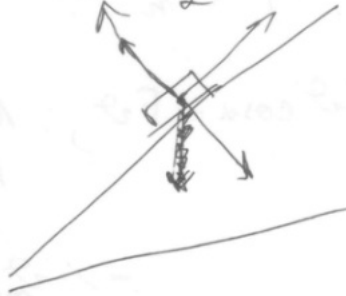


$mg \sin \alpha = \mu N = \mu mg \cos \alpha$

$\tan \alpha = \frac{1}{\mu}$



$\frac{1}{2} M g =$



$N =$

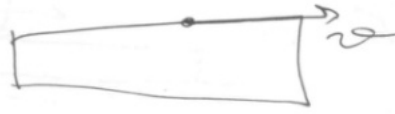
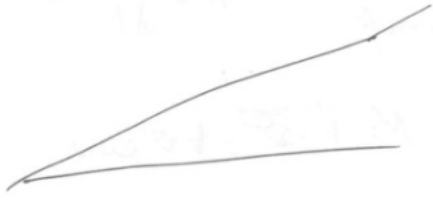


$N + N' = mg \cos \alpha$

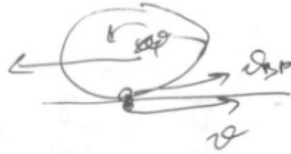
$N = \mu mg - N'$

"Черновик"

Границя 16



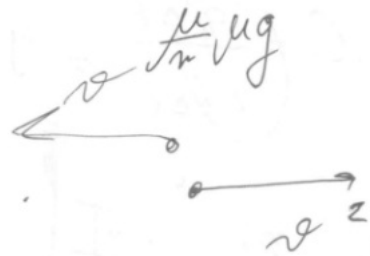
ϑ



$v_{BP} = 2v$

14, 12

$$l = \vartheta \cdot \Delta t = \frac{N_m}{\mu M_g} \Delta t = \frac{N_m n}{\mu M_g} \Delta t$$

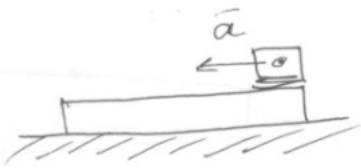


$v_2 =$

"Черновик" Страница 17
 Figure 11

$$N = \frac{dA}{dt} = \frac{F dS}{dt} = F \cdot \bar{v}$$

$$\frac{F}{g} = E$$



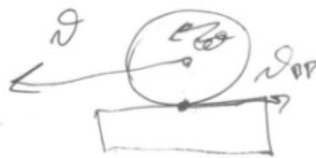
$$N = F \cdot \bar{v} = F \cdot v \cos \alpha$$

N =

then

$$C = \frac{g}{m} = \frac{g}{\Delta \varphi} = \frac{g}{k g \left(\frac{1-\gamma}{2} \right)} = \frac{1}{k \left(\frac{1-\gamma}{2} \right)} = \frac{2}{k(1-\gamma)}$$

$$\Delta \varphi = E \Delta d$$

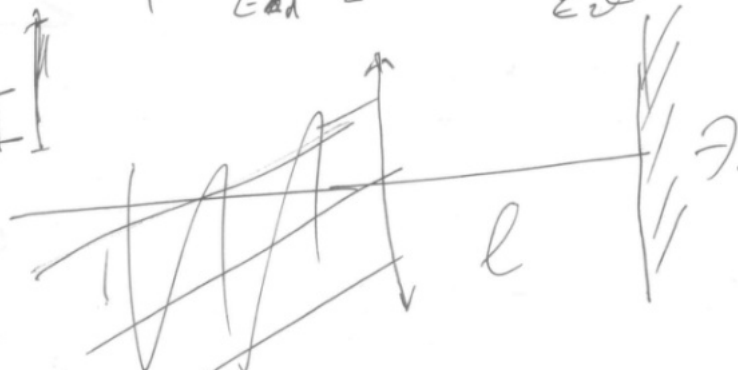


$$21/3 = 7$$

$$C = \frac{g \Delta t}{\Delta \varphi} = \gamma \frac{\Delta t}{\Delta \varphi} = \frac{\Delta t}{E \Delta d} = \gamma = \frac{k g}{2} \frac{1}{E v}$$

$$\frac{20}{16} \frac{13}{16} = \frac{2}{2}$$

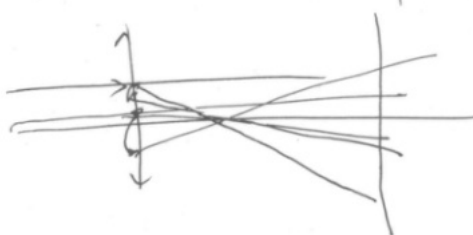
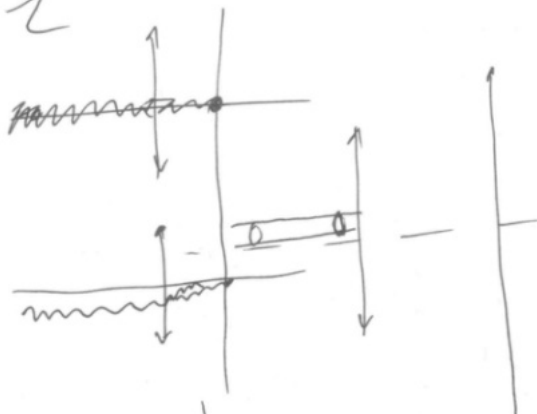
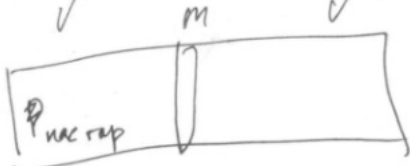
B



$$6.950 =$$

$$= 5200$$

$$E \cdot 2 \Delta S = \frac{\sigma d S}{\epsilon_0} = E = \frac{\sigma}{2 \epsilon_0}$$



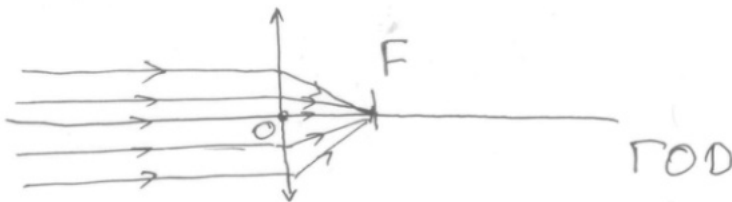
4.3.1. Вопросы "Чистовик" Страница 3

Фокусное расстояние линзы - это расстояние от линзы до её фокуса.

Фокус ^(собирающей) линзы - это точка, в которой собирается пучок параллельных лучей, параллельных главной оптической оси.

Если же параллельный пучок лучей не параллелен главной оптической оси, то лучи соберутся на том же расстоянии от линзы, но не в фокусе, а в плоскости параллельной линзе и находящейся от нее на ^{фокусной} расстоянии - фокальной плоскости.

Оптической силой линзы называют величину, обратную фокусному расстоянию.



$F = |OF|$ - фокусное расстояние. $[F] = \text{м}$

$\Phi = \frac{1}{F}$ - оптическая сила линзы

$[\Phi] = \frac{1}{\text{м}} = \text{дптр}$.

Для рассеивающих линз фокус определяется как точка пересечения продолжений лучей параллельного пучка после преломления в линзе.

2.2.1. Задача

$$m = 5 \text{ кг}; p_0 = 10^5 \text{ Па};$$

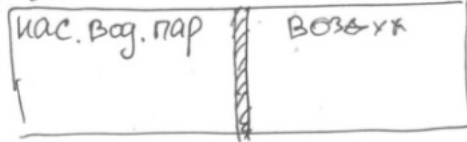
$$V = 1 \text{ м}^3; t = 100^\circ \text{C};$$

$$S = 0,01 \text{ м}^2; g = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2};$$

§ x - ?

"Чистовик"

Грашина 4



Птак как пар насыщен, то

$$p_{\text{отн}} = 100\% \Rightarrow p_{\text{п}} = p_{\text{нтп}}$$

При $t = 100^\circ \text{C}$ известно $p_{\text{нтп}} = p_0 \Rightarrow$

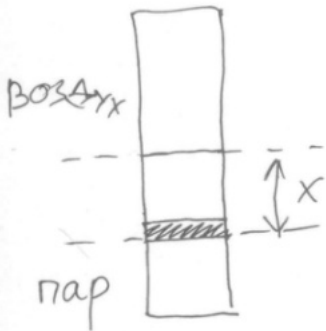
$$\Rightarrow p_{\text{п}} = p_0.$$

$$p_{\text{п}} V = \nu_{\text{п}} R T \text{ — для пара}$$

$$p_{\text{в}} V = \nu_{\text{в}} R T \text{ — для воздуха}$$

Птак как поршень подвижен, то $p_{\text{в}} = p_{\text{п}} = p_0$

$$\nu_{\text{п}} = \frac{p_0 V}{R T}; \quad \nu_{\text{в}} = \frac{p_0 V}{R T} \Rightarrow \nu_{\text{п}} = \nu_{\text{в}}.$$



Из равновесия поршня подз.п.:

$$p_{\text{п}2} S = p_{\text{в}2} S + mg$$

$$p_{\text{в}2} (V + xS) = \nu_{\text{в}} R T \text{ — для воздуха}$$

$$p_{\text{п}2} (V - xS) = \nu_{\text{п}2} R T \text{ — для пара}$$

Птак как пар насыщен и поршень создает дополнительное давление, то пар начнет конденсировать. При этом $\nu_{\text{п}} \downarrow$, а $p_{\text{п}} = \text{const}$, так как $p_{\text{п}} = p_{\text{нтп}}$, а $t = \text{const}$.

$$\text{Поэтому } p_{\text{п}2} = p_0$$

2.2.1. Задача (Продолжение) "Чистовик" Саранья 5

Ищем:

$$p_{B2} S = p_{B2} S + mg, \text{ где } p_{B2} = p_0$$

$$p_{B2} = p_0 - \frac{mg}{S}$$

А также:

$$p_{B2} (V + xS) = \nu_B RT, \text{ где } p_{B2} = p_0 - \frac{mg}{S}$$

↓

$$\nu_B = \frac{p_0 V}{RT}$$

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

~~$$p_0 V + p_0 xS - \frac{mgV}{S} - \frac{mgxS}{S} = p_0 V$$~~

$$xS \left(p_0 - \frac{mg}{S}\right) = \frac{mgV}{S}$$

$$x = \frac{mgV}{S(p_0 S - mg)}$$

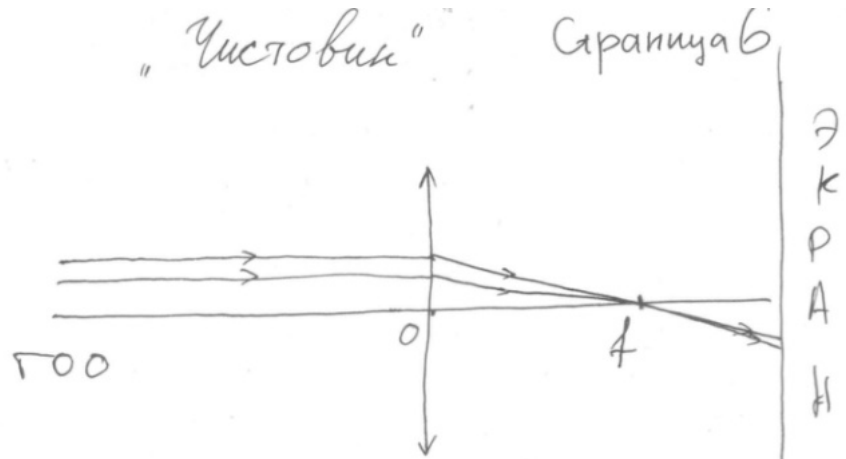
$$x = \frac{5 \text{ м} \cdot 10^{-4} \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 10^{-3} \text{ м}^3}{10^{-2} \text{ м}^2 (10^5 \cdot 10^{-2} - 5 \cdot 10) \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}} = \frac{5}{10^3 - 50} \cdot \frac{10^{-2}}{10^{-2}} \cdot \text{м} = \frac{5}{950} \text{ м}$$

$$x \approx 0,00526... \text{ м} \approx 0,005 \text{ м} = 5 \text{ мм}$$

$$\begin{array}{r} 5,00 \quad 950 \\ - 4750 \quad 0,00526... \\ \hline 2500 \\ - 1900 \\ \hline 6000 \\ - 5700 \\ \hline 3000 \end{array}$$

Ответ: 5 мм.

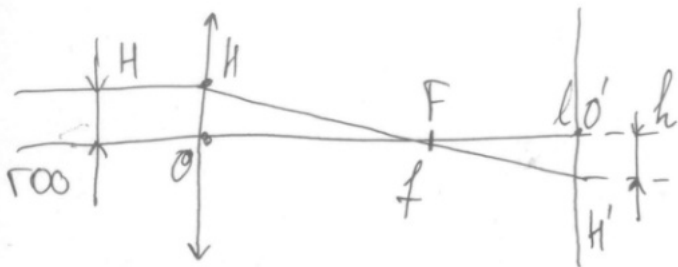
4.3.1. Задача
 $l = 20 \text{ см}; \delta = 0,5 \text{ см}$
 $\Delta = 1 \text{ см};$
 $f = ?$



Заметим, что так как экран не ограничен в размерах, то сдвиг лучей $\pm \infty$ равносильен сдвигу луча.

Рассмотрим 2 предельных случая

1) $f < l$ (рис. выше)



из подобия треугольников $\Delta FOH \sim \Delta FO'H'$:

$$\frac{H}{h} = \frac{f}{l-f} \Rightarrow H = h \cdot \frac{f}{l-f}$$

После сдвига:

$$\frac{H \pm \delta}{h \pm \Delta} = \frac{f}{l-f}$$

, Подставим $H = h \frac{f}{l-f} = h \cdot t$

Обозначим $\frac{f}{l-f} = t$.

$$\frac{h t \pm \delta}{h \pm \Delta} = t \quad | \times (h \pm \Delta)$$

4.3.1. Задача (Прогноз)

"Мистовик" Грамша 7

$$ht \pm \delta = ht \pm \Delta \cdot t$$

$$\pm \delta = \pm \Delta t \rightarrow t = \frac{\pm \delta}{\pm \Delta} = \frac{\delta}{\Delta}, \text{ обратная замена}$$

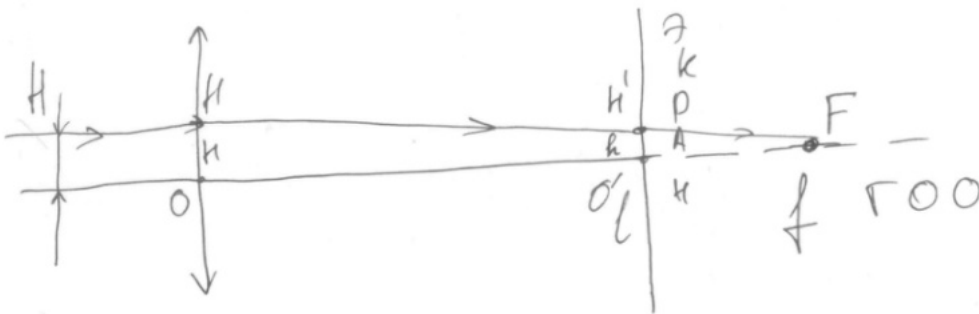
$$\frac{f}{l-f} = \frac{\delta}{\Delta}$$

$$f\Delta = \delta l - f\delta$$

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

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

$$f = 20 \text{ см} \cdot \frac{0,5 \text{ см}}{0,5 \text{ см} + 1 \text{ см}} = 20 \text{ см} \cdot \frac{5}{15} = 20 \cdot \frac{1}{3} \text{ см} \approx 6,66 \text{ см}$$

2) Рассмотрим случай 2: если $f \geq l$ 

$$\triangle OHF \sim \triangle O'H'F$$

Заметим, что обозначив соответствующие величины так же, как и в случае 1, то есть $|OH|=h$, $|O'H'|=h$, мы получим то же выражение $f = l \cdot \frac{\delta}{\delta + \Delta}$, однако этот случай противоречит $f \geq l \Rightarrow$ это невозможно.

4.3.1. Задача (Продолжение) «Чистовик» Страница 8

Так же стоит обратить внимание на то, что как в 1-ом, так и во 2-ом случае не имеет значения: $H \vee \delta$, — так как если

$H = \delta$ и получается, что $H - \delta < 0$, то это значит, что мур перейдет по другой стороне от ГОО, что никак не влияет на рассуждение, так как подобная мур-ов сохранится.

Таким образом, образом $f = 6,66$ см — единственный ответ.

Ответ: 6,66 см.

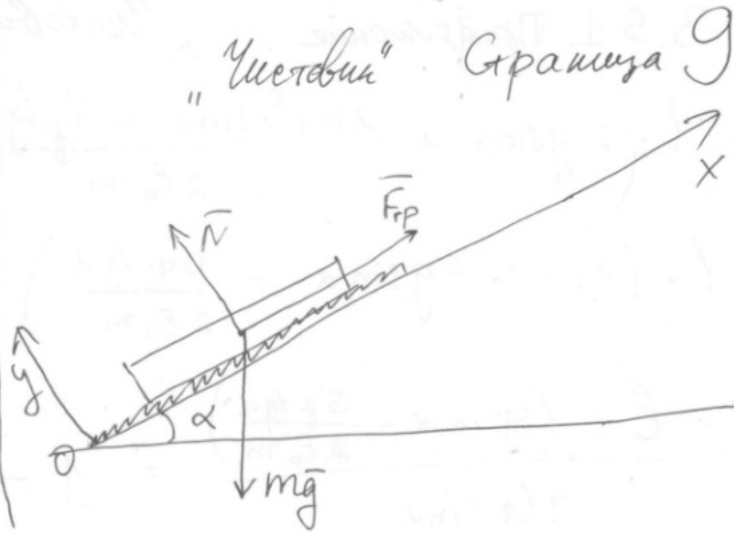
3.5.1. Задача

$$m = 100 \text{ г}; \alpha_{\text{пр}} = 30^\circ$$

$$\sigma = +3 \text{ мк Кн/м}^2;$$

$$q = +3 \text{ мк Кн}$$

$$\frac{\partial \sigma}{\partial x} = ?$$



Не трудно заметить, что $\tan \alpha_{\text{пр}} = \mu$

Действительно:

$$2 \text{ з.п. } m\vec{g} + \vec{N} + \vec{F}_{\text{тр}} = \vec{0} \quad (\text{тело покоится до } \alpha_{\text{пр}})$$

$$\text{Oy: } mg \cos \alpha = N$$

$$\text{Ox: } F_{\text{тр}} = mg \sin \alpha$$

3-й закон Ньютона-Кулона: если тело касается двояко, то есть $\alpha = \alpha_{\text{пр}}$

$$F_{\text{тр}} = \mu N$$

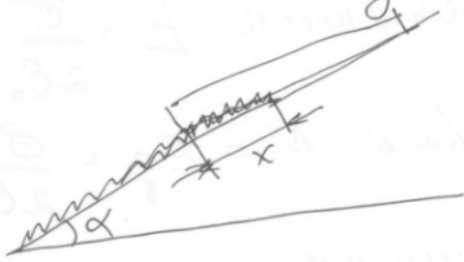
$$\mu mg \cos \alpha = mg \sin \alpha$$

$$\boxed{\tan \alpha_{\text{пр}} = \mu}$$

Рассмотрим процесс соскальзывания.

Так как пластинка наклонная на шероховатую часть, начинает взаимодействовать только некоторой частью, то считая, что она однородная, заметим, что масса, взаимодействующая с шероховатой поверхностью

Задача 3.5.1. (продолжение) "Чистовик" Страница 10
 части, увеличивается линейно от начала, значит сила mg линейна $\Rightarrow N_i \sim x$

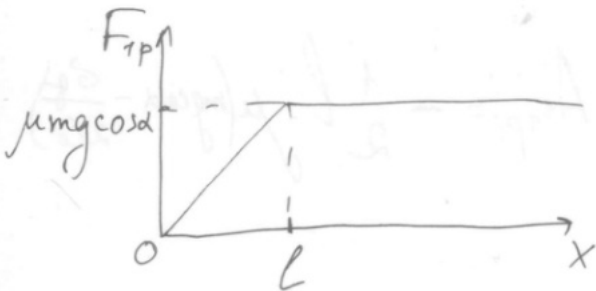


под N_i подразумевается часть силы реакции опоры, которая действует на шероховатую поверхность.

где l - длина пластинки



$$F_{тр} = \mu N \Rightarrow F_{тр} \sim x$$



$$A_{F_{тр}} = \left(\frac{1}{2} l \cdot \mu mg \cos \alpha \right) \cdot (-1)$$

так как $A_{F_{тр}} < 0$

Тогда закон сохранения механической энергии:

$$A_{F_{тр}} = - \left(mg \Delta h + \frac{m \Delta v^2}{2} \right), \quad \Delta h = l \cdot \sin \alpha$$

$$- \frac{1}{2} l \mu mg \cos \alpha = - mgl \sin \alpha - \frac{m v_1^2}{2}$$

$$lg \mu \cos \alpha = -2 lg \sin \alpha + v_1^2 \Rightarrow v_1^2 = lg (2 \sin \alpha + \mu \cos \alpha)$$

$$v_1^2 = lg (2 \sin \alpha + \mu \cos \alpha) = lg (2 \sin \alpha + \sin \alpha) = 3 lg \sin \alpha$$