



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

ОЛИМПИАДНАЯ РАБОТА

Наименование олимпиады школьников: **«Ломоносов»**

Профиль олимпиады: **ФИЗИКА**

ФИО участника олимпиады: **Блинов Виктор Алексеевич**

Класс: 11

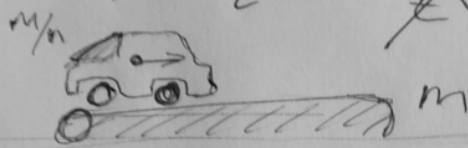
Технический балл: **82**

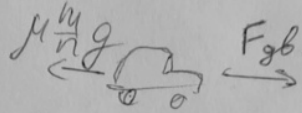
Дата проведения: 25 февраля 2022 года

ШИФР РАБОТЫ 9010565

	1	2	3	4	Σ
Задача	7	15	15	14	82
Вопрос	6	10	9	6	

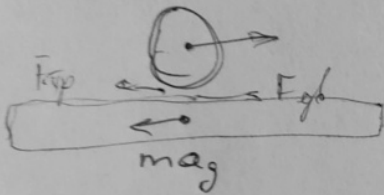
Черновик №1 из 4

$$N = \frac{A}{L} = \frac{F_{TP} \cdot x}{L} = \frac{F_{gb} \cdot x}{L} = F_{gb} \cdot \nu$$


$$F_{mp} = \mu N = \mu \frac{m}{n} g$$


$$F_{gb} - \mu \frac{m}{n} g = \frac{m}{n} a$$

Троскальзывает: $F_{gb} > F_{TP} + F_{mp}$



$$m \vec{v}_g = \frac{m}{n} \vec{v}_n \Rightarrow \forall t: \vec{v}_g = \frac{\vec{v}_n}{n} \rightarrow$$

$$F_{un} = \frac{m}{n} \cdot a_g = \frac{m a}{n^2}$$

$$\Rightarrow \forall t \quad a_g = \frac{a n}{n}$$

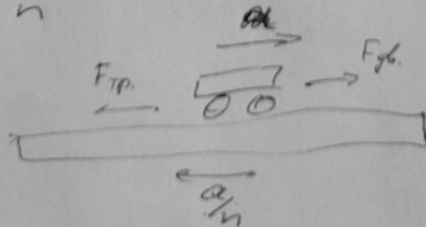
$$\ddot{a} = \frac{(F_{gb} - \mu \frac{m}{n} g) n}{m} = F_{gb} \frac{n}{m} - \mu g = \frac{n F_{gb}}{m} - \mu g$$

$$F_{gb} = \mu \frac{m}{n} g + \frac{F_{gb}}{n} - \frac{m \mu g}{n^2}$$

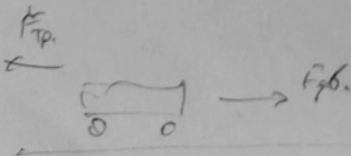
$$F_{gb} = \frac{1}{n} (\mu m g - \mu m g + F_{gb})$$

$$(1 - \frac{1}{n}) F_{gb} = \frac{1}{n} (\mu m g - \mu m g + F_{gb})$$

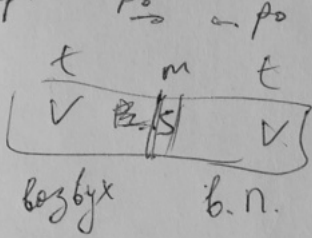
$$F_{gb} = \frac{\mu m g}{n}$$



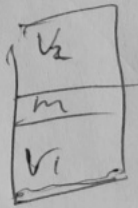
$$0 + A_{gb} = \frac{m v_g^2}{2} = \frac{m v_n^2}{2n^2} = F_{TP} x$$



Упроблнм нo 2 аз 5 4



$T = \text{const}$



кac. нoп. \Rightarrow
 $\Rightarrow p = \text{const} = p_0$

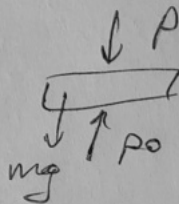
~~$p_0 V = \nu R T$~~
 $\downarrow + A_e = p \Delta V = p(V_2 - V_1)$

~~$p_0 V_2 = \nu R T$~~

$x = \frac{V_2 - V_1}{S}$

~~$Q = \Delta U + A$~~
 ~~$\Delta U = \frac{i}{2} \nu R T = 0$~~

$p = \frac{F}{S}$ $F = pS$



$p_0 S = mg + PS$
 $PS = p_0 S - mg$

$p = p_0 - \frac{mg}{S}$

$p_0 V = \nu R T = p V_2 = (p_0 - \frac{mg}{S}) V_2$

$p_0 V = (p_0 - \frac{mg}{S}) V_2 \quad | \cdot \frac{1}{S}$

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

$L = \frac{V}{S}$

$\frac{950}{5} \cdot \frac{1}{130}$
 $\frac{45}{45}$

~~$p_0 L = p_0 L + p_0 x - \frac{mgL}{S} - \frac{mgx}{S}$~~

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

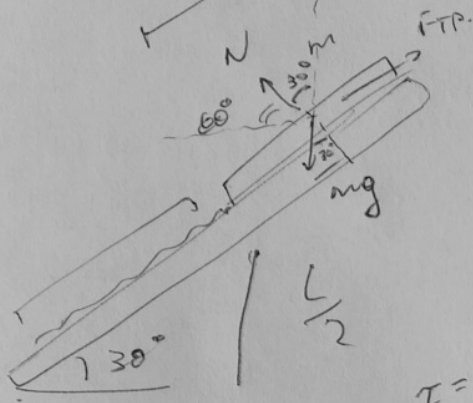
1 л бoгyн = 1 кт бoгyн

$x = \frac{mgL}{Sp_0 - mg} = \frac{mgV}{S(Sp_0 - mg)}$

$1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \Rightarrow$
 $6 \pm \mu^3 \quad 1000 \text{ кг} \Rightarrow$
 $\rightarrow 1 \text{ кт} \rightarrow \frac{1}{1000} \text{ м}^3$
 $1 \text{ л} = 10^{-3} \text{ м}^3$

$\frac{5 \cdot 10^{-3}}{10^{-2} (10^5 \cdot 10^{-2} - 50)} = \frac{5}{950} = \frac{1}{190} \mu$

Чертовик №3 из 4
 выемка гайка
 на расстоянии - L

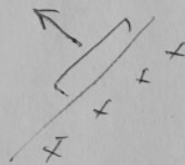


Выемка $\tau = \frac{m}{L} = \frac{dm}{dl}$

$$E = \frac{\sigma}{2\epsilon}$$

$$F_k = Eq = \frac{\sigma q}{2\epsilon}$$

$$N + F_k$$



мел

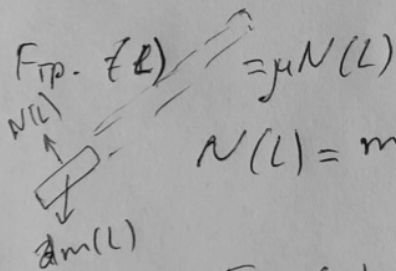
$$mg \frac{L}{2} = \frac{mv^2}{2} + A_{с.тр.}$$

$$A_{с.тр.} = \int_0^L F_{тр.} dl$$

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

13 = 20
 - канцелярия
 3-й этаж

$q = \frac{CUq}{L}$
 $L = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{6} = \frac{1}{12}$
 $\sqrt{\frac{1}{12} + \frac{1}{6}} = \sqrt{\frac{1}{12} + \frac{2}{12}} = \sqrt{\frac{3}{12}} = \sqrt{\frac{1}{4}} = \frac{1}{2}$



$$N(l) = m(l)g \cos \alpha = \tau g \cos \alpha l$$

$$F_{тр.}(l) = \mu \tau g \cos \alpha l$$

$$\int_0^L \mu \tau g \cos \alpha l dl = \mu \tau g \cos \alpha \int_0^L l dl =$$

$\frac{\sqrt{3}}{3} \cdot \frac{3}{2} \cdot \frac{1}{6} = \frac{1}{6}$

$$= \mu \tau g \cos \alpha \frac{L^2}{2}$$

$\sqrt{\frac{1}{2} + \frac{\sqrt{3}}{6}} = \sqrt{\frac{1}{2} + \frac{1}{2\sqrt{3}}}$

$\sqrt{\frac{1}{3} + \frac{1}{3}} = \sqrt{\frac{2}{3}}$

во II выемке

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

$$N = mg \cos \alpha - F_k$$

$$N(l) = (mg \cos \alpha - \frac{\sigma d}{2\epsilon}) l$$

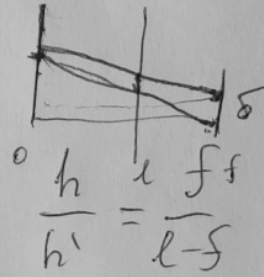
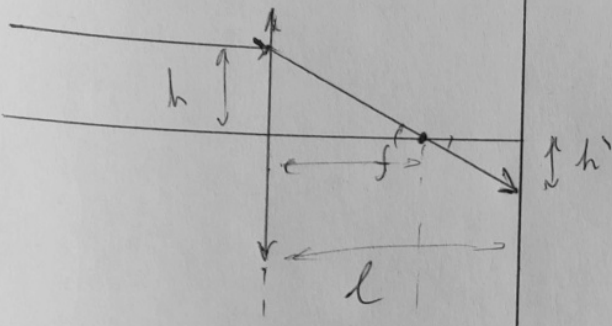
Выемка $\lambda = \frac{q}{L}$

$$q(l) = \lambda l$$

$$F_k(l) = \frac{\sigma q(l)}{2\epsilon} = \frac{\sigma \lambda l}{2\epsilon}$$

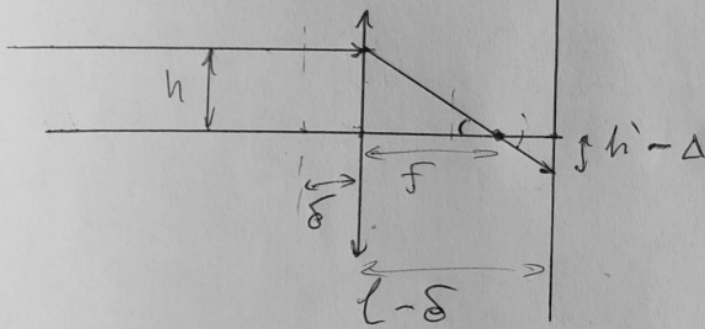
$\mu mg \cos \alpha = mg \sin \alpha$
 $\mu = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = \tan \alpha$

Упроблун №4 уз 4



$$\frac{h}{h'} = \frac{f}{l-f}$$

$$f \cdot h' = h l - h f$$



$$f(h' - \Delta) = h(l - \Delta) - h\delta$$

$$f\Delta = h\delta$$

$$f = \frac{h\delta}{\Delta}$$

$20 \text{ см} \cdot \frac{0,5 \text{ см}}{1 \text{ см}} = 10 \text{ см}$

$\frac{1}{f}$

$$\text{tg} \alpha = \frac{h}{f} = \frac{h'}{l-f}$$

$$\text{tg} \alpha = \frac{h' - \Delta}{l - \delta - f}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{l-f}$$

$\frac{h}{h'}$

$$\frac{h}{h'} = \frac{h\delta}{\Delta(l-f)}$$

$$h' = \Delta \left(\frac{l-f}{\delta} \right)$$

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

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

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

$$f = \frac{h\delta}{\Delta}$$

$$\frac{\Delta}{h} = \frac{\delta}{f}$$

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

Чистовик

стр. 1 из 10

Задача 2.2.1

Дано:

$$m = 5 \text{ кг}$$

$$V = 1 \text{ л} = 10^{-3} \text{ м}^3$$

$$t = 100^\circ \text{C}$$

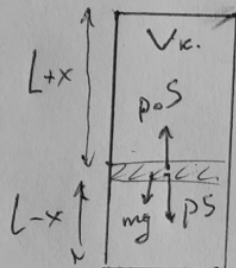
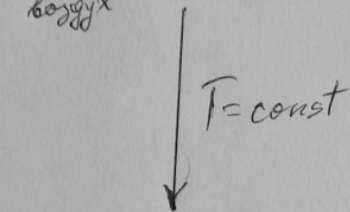
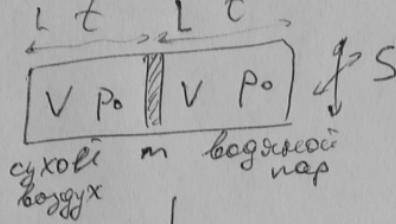
$$S = 10^{-2} \text{ м}^2$$

$$g = 10 \text{ м/с}^2$$

$$p_0 = 10^5 \text{ Па}$$

Найти:

$$x = ?$$



$$L = \frac{V}{S}$$

Т.к. пар уже был насыщенным его давление всегда остается равным p_0 (каким конденсироваться будет)

Запишем равенство сил, действующих на поршень:

$$p_0 S = p S + mg \Rightarrow p = p_0 - \frac{mg}{S}$$

Запишем ур-е Клапейрона-Менделеева для сухого воздуха:

$$p_0 V = \nu R T \leftarrow \text{нач. положение}$$

$$p V_k = \nu R T \leftarrow \text{кон. положение} \quad \} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow p_0 L S = \left(p_0 - \frac{mg}{S}\right) (L+x) S$$

$$p_0 L = p_0 L + p_0 x - \frac{mgL}{S} - \frac{mgx}{S}$$

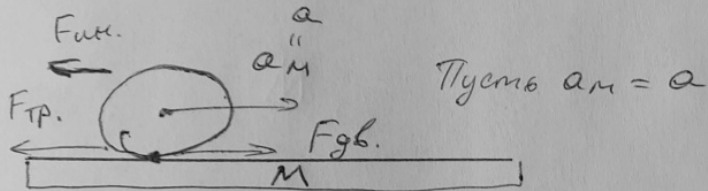
$$\frac{mg}{S} L = \left(p_0 - \frac{mg}{S}\right) x \Rightarrow x = \frac{mgL}{S p_0 - mg} = \frac{mgV}{S(S p_0 - mg)}$$

$$\text{Ответ: } x = \frac{mgV}{S(S p_0 - mg)} = \frac{1}{190} \text{ м.}$$

Пусть L - половина длины цилиндра
в н.м. времени
водяной пар является насыщенным \Rightarrow
 \Rightarrow его давление при 100°C равно $p_0 \Rightarrow$
 \Rightarrow и у сухого воздуха начальное давление $= p_0$

Честовик стр. 10 из 10

$$F_{gb} \cdot x = \frac{mv^2}{2} + \mu mgx$$



По II з. Ньютона
 $F_{н}$, действующая
 со стороны доски
 направлена влево

$$\frac{a_M}{n} = \frac{a}{n}$$

$$F_{gb} = \mu mg + ma$$

$$ma = F_{gb} - \mu mg$$

$$F_{gb} = \mu \frac{M}{n} g + F_{gb} - \mu \frac{M}{n} g$$

$$a = \frac{n F_{gb}}{m} - \mu g$$

$$v = a \cdot t$$

$$F_{gb} \cdot x = \frac{ma^2 t^2}{2} + \mu mgx$$

$$Nt = \frac{ma^2 t^2}{2} + \mu mgx$$

$$\mu mgx = t \left(N - \frac{ma^2 t}{2} \right)$$

Чистовик

стр. 2 из 10

Вопрос к задаче 2.2.1.

Влажный воздух состоит из сухого воздуха и воды в газообразном состоянии (водяного пара)

Влажностью воздуха μ (или абсолютной вл. в.) называют отношение массы воды в выбранном объёме к величине этого объёма. Другими словами, это плотность воды в воздухе.

$$\mu_{абс.} = \frac{m_в}{V} \left[\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right]$$

Для каждой температуры есть давление насыщенного пара $P_{н.п.}$

Насыщенный пар — это пар, находящийся в термодинамическом равновесии со своей жидкостью. $P_{н.п.}$ — максимально возможное значение пара при данной температуре, а при попытке уменьшить объём начнёт уменьшаться масса воды в паре (вода в паре начнёт конденсироваться)

Относительной влажностью воздуха называют отношение текущего давления пара к $P_{н.п.}$ при данной температуре.

$$\mu = \frac{P}{P_{н.п.}} \quad [\text{безразмерная величина}] \quad \text{или} \quad \mu = \frac{P}{P_{н.п.}} \cdot 100\% \quad [\%]$$

Честовик стр. 3 из 10

Задача 3.5.1

Дано:

$$m = 100 \text{ г} = 0,1 \text{ кг}$$

$$\alpha = 30^\circ$$

$$\sigma = +3 \text{ мкКл/м}^2$$

$$\varphi = +3 \text{ мкКл}$$

$$\epsilon_0 = 9 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Ф}}{\text{м}}$$

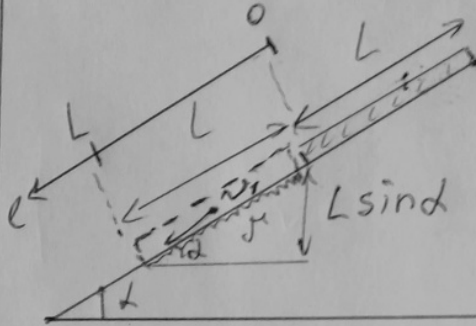
$$g = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

Найти:

$$n = \frac{v_1}{v_2} - ?$$

Рассмотрим I случай:

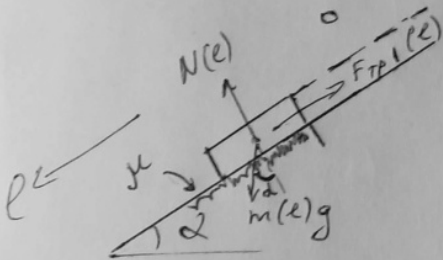
Пусть L - длина пластины



По з.с.о:

$$mgL \sin \alpha = \frac{mv_1^2}{2} + A_{\text{с.тр.1}}$$

$$A_{\text{с.тр.1}} = \int_0^L F_{\text{тр.1}}(l) dl, \text{ где } l \text{ - координата оси } Oe \text{ (см. рис.)}$$



Из равновесия сил на оси l :

$$N(l) = m(l)g \cos \alpha$$

$$F_{\text{тр.1}}(l) = \mu N(l) = \mu m(l)g \cos \alpha$$

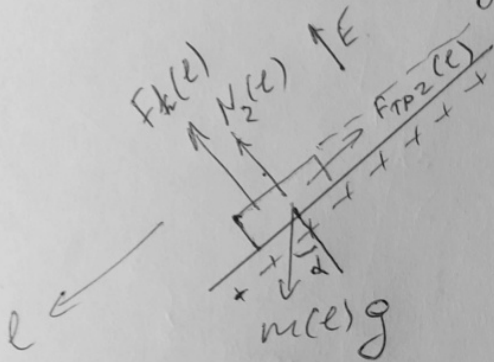
$$\text{Пучина } \tau = \frac{m}{L} = \frac{m(l)}{l} \Rightarrow F_{\text{тр.1}}(l) = \mu \tau g \cos \alpha l$$

$$A_{\text{с.тр.1}} = \int_0^L \mu \tau g \cos \alpha l dl = \frac{\mu \tau g \cos \alpha}{L} \int_0^L l dl =$$

$$= \frac{\mu \tau g \cos \alpha}{L} \frac{L^2}{2} = \frac{\mu \tau g \cos \alpha L}{2}$$

Установив стр. 4 из 10

Рассмотрим II случай:



Плоская создаёт
однородное эл. поле
бесконечной пластины

$$E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$$

Плотность $\lambda = \frac{q}{L} = \frac{q(l)}{l}$, тогда $F_k(l) = E q(l) = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} q(l)$

Из равенства сил на ось Ox :

$$F_k(l) + N_2(l) = m(l)g \cos \alpha$$

В этом случае $F_{тр2}(l) = \mu N_2(l) =$

$$= \mu (m(l)g \cos \alpha - F_k(l)) = \mu \left(\tau g \cos \alpha - \frac{\sigma \lambda}{2\epsilon_0} \right) l$$

ЗСД для II случая:

$$mgh \sin \alpha = \frac{mv_2^2}{2} + A_{с.тр.2}$$

$$A_{с.тр.2} = \int_0^l F_{тр.2} dl = \mu \left(\tau g \cos \alpha - \frac{\sigma \lambda}{2\epsilon_0} \right) \int_0^l l dl =$$

$$= \mu \left(\frac{mg \cos \alpha}{L} - \frac{\sigma q}{2\epsilon_0 L} \right) \frac{L^2}{2} = \frac{\mu \left(mg \cos \alpha - \frac{\sigma q}{2\epsilon_0} \right) L}{2}$$

Чистовик стр. 5 из 10

Имею:

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{mv_1^2}{2} &= mgl \sin \alpha - \frac{\mu mg \cos \alpha L}{2} \\ \frac{mv_2^2}{2} &= mgl \sin \alpha - \frac{\mu (mg \cos \alpha - \frac{\sigma q}{2\epsilon_0}) L}{2} \end{aligned} \right.$$

$$mv_1^2 = 2mgl \sin \alpha - \mu mg \cos \alpha L$$

$$mv_2^2 = 2mgl \sin \alpha - \mu (mg \cos \alpha - \frac{\sigma q}{2\epsilon_0}) L$$

$$\left(\frac{v_1}{v_2} \right)^2 = \frac{mg(2 \sin \alpha - \mu \cos \alpha)}{mg(2 \sin \alpha - \mu \cos \alpha) + \mu \frac{\sigma q}{2\epsilon_0}}$$

Скорость, когда пластинка перпендикулярно выкатилась на шероховатую часть оказалась постоянной $\Rightarrow \mu = \tan \alpha \Rightarrow \mu \cos \alpha = \sin \alpha$

$$\frac{v_1}{v_2} = \sqrt{\frac{mg \sin \alpha}{mg \sin \alpha + \frac{\tan \alpha \sigma q}{2\epsilon_0}}} \quad \begin{aligned} \sin 30^\circ &= \frac{1}{2} \\ \tan 30^\circ &= \frac{\sqrt{3}}{3} \end{aligned}$$

Ответ: $n = \frac{v_1}{v_2} = \sqrt{\frac{mg \sin \alpha}{mg \sin \alpha + \frac{\tan \alpha \sigma q}{2\epsilon_0}}} = \sqrt{\frac{3}{3 + \sqrt{3}}}$

Вопрос к задаче 3.5.1:

Электроёмкость конденсатора суть отношение модуля заряда на обкладках конденсатора к напряжению между ними.

Электроёмкость плоского конденсатора равна $C_{пл} = \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{d}$, где S - площадь обкладок,

d - расстояние между ними, ϵ - диэлектрическая проницаемость диэлектрика между обкладками

$$C = \frac{q}{U} \quad \begin{array}{c} +q \\ | \\ -q \\ \leftarrow U \rightarrow \end{array}$$

$$[C] = \Phi$$

Чистовик

стр. 6 из 10

Задача 4.3.1

Дано:

$f > 0$

$l = 20 \text{ см}$

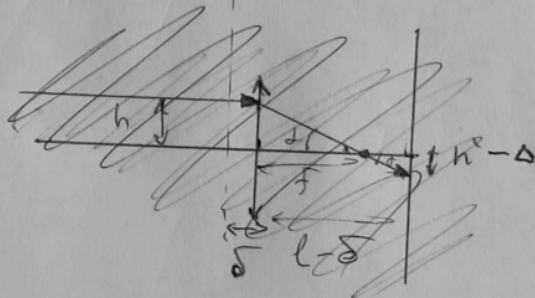
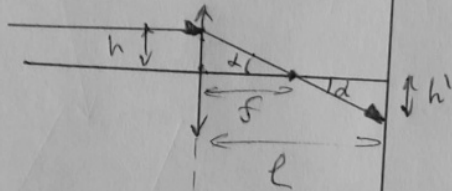
$\delta = 0,5 \text{ см}$

$\Delta = 1 \text{ см}$

Найти:

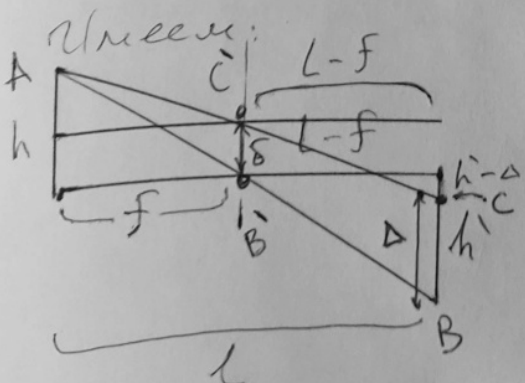
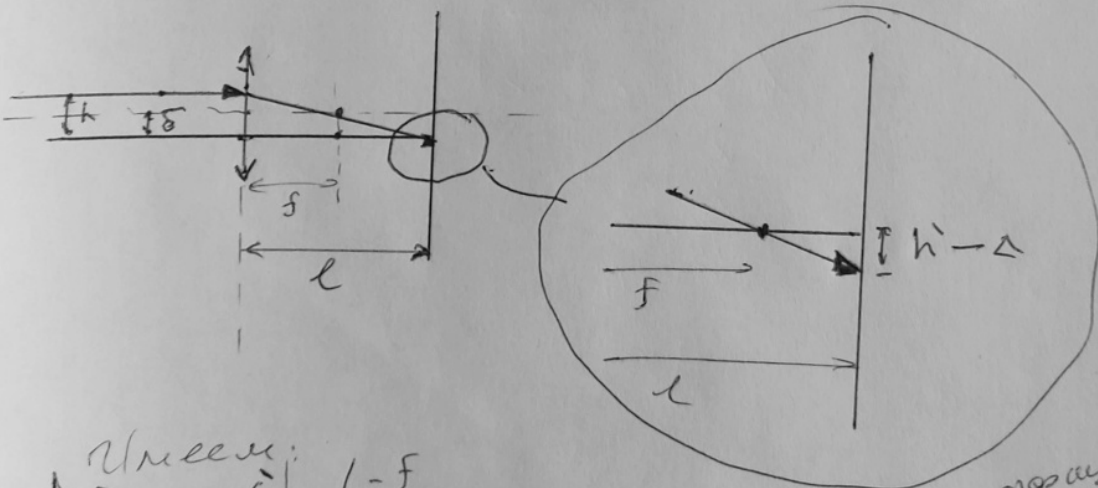
$f - ?$

Пусть $l > f$ тогда:



Случай $l < f$ невозможен, т.к. $\Delta > \delta$

Из рисунка видно, что $\Delta < \delta$, что противоречит условию



У нас: $k \leftarrow$ коэффициент или $\frac{h'}{h}$ пропорция сторон

$AB'C' \sim ABC$

$$k = \frac{\delta}{\Delta} = \frac{f}{l} \Rightarrow f = l \frac{\delta}{\Delta}$$

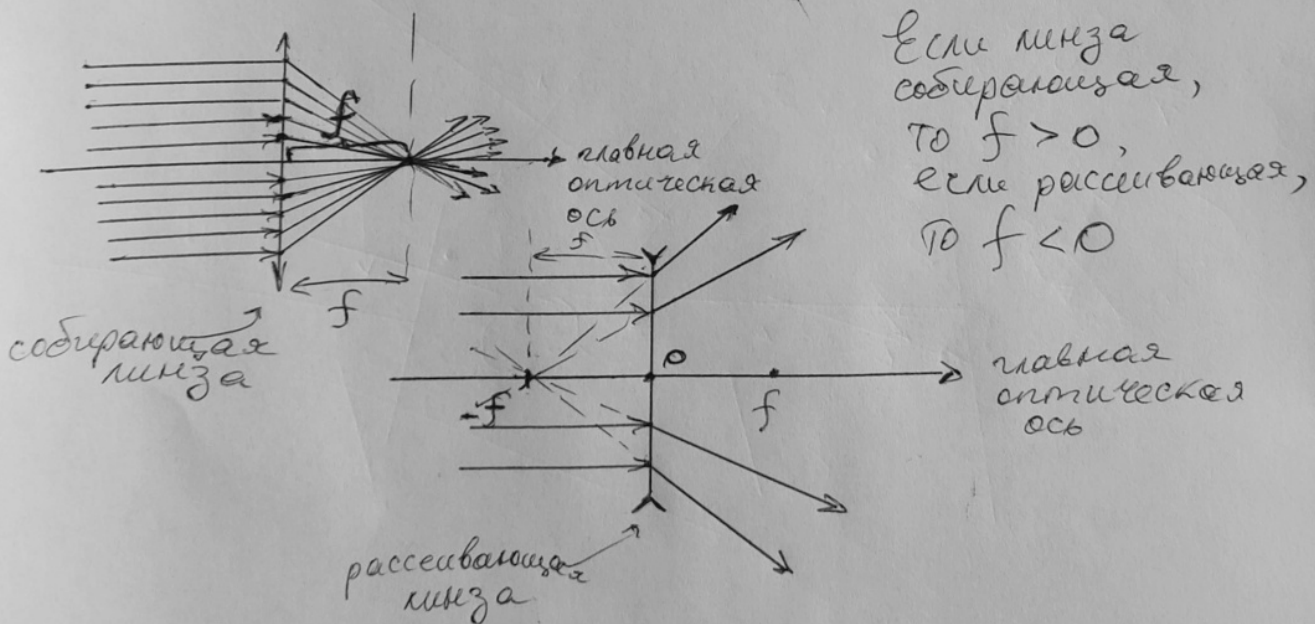
Ответ: $f = l \frac{\delta}{\Delta} = 10 \text{ см}$

Чистовик стр. 7 из 10

Вопрос к задаче 4.3.1.

Фокусным расстоянием линзы — это расстояние от линзы до точки пересечения любых лучей света падающих на линзу перпендикулярно её поверхности.

Если линза рассеивающая, то если направить на преломлённые лучи света прямые, то они пересекутся также на расстоянии фокусного расстояния от линзы, однако уже со стороны падающих лучей. см. рис.:



Оптическая сила тонкой линзы $\Gamma = \frac{1}{f}$

$[\Gamma] = \text{дптр}$ (диоптрии) $= [m^{-1}]$

Чистовик стр. 8 из 10

Вопрос к задаче 1.3.1.

Пусть в системе n точек, масса и вектор скорости которых равны m_i и \vec{v}_i соответственно. Тогда импульсом системы материальных точек называют векторную сумму всех импульсов точек:

$$\vec{P} = \sum_{i=1}^n \vec{p}_i = \sum_{i=1}^n m_i \vec{v}_i$$

Законом сохранения импульса (ЗСИ):
в любой момент времени $\vec{P} = \text{const}$, если на систему не действуют внешние силы, а все внутренние соударения абсолютно упругие.

Задача 1.3.1.

Дано:

$$M = 1 \text{ кг}$$

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

$$n = 3$$

$$\mu = 0,3$$

$$g = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

$$N = 2 \text{ Вт}$$

Найти:

$$x = ?$$

Троскальзывание вызвано тем, что $F_{дв} > F_{тр}$, где $F_{дв}$ - сила двигателя, $F_{тр}$ - сила трения движения

Троскальзывание прекращается, когда $F_{дв} = F_{тр} + F_{ин}$, где $F_{ин}$ - сила инерции, вызванная тем, что сама доска по которой движется машина начинает двигаться с ускорением.

$$N = \frac{A_{дв}}{t} = \frac{F_{дв} x}{t} \quad F_{тр} = \mu N = \mu \frac{M}{n} g \quad F_{ин} = \frac{M}{n} a_{доски}$$

Чистовик

стр. 9 из 10

ЗСЭ:

$$A_{gb} = \frac{m v^2}{2} + A_{\text{силы трения}} = \frac{m v^2}{2} + \mu m g x, \text{ где } m = \frac{M}{n}$$

ЗСИ:

$$\vec{0} = m \vec{v}_m + M \vec{v}_g, \text{ если машина движется вдоль оси } ox,$$

то

ЗСИ для ox :

$$m v_m = \frac{M}{n} v_g \Rightarrow v_g - \text{скорость доски, } v_m - \text{машины}$$

$$0 = \frac{M}{n} v_m - M v_g \Rightarrow \frac{M}{n} v_m = v_g M$$

$$v_g = \frac{v_m}{n} \Rightarrow a_g = \frac{a_m}{n}$$

В момент, когда прекратилось проскальзывание $a_m = \frac{F_{gb} - F_{\text{тр}}}{m}$
 по II з. Ньютона, a_g в этот момент равно:

$$a_g = \frac{a_m}{n} = \frac{F_{gb} - \mu \frac{M}{n} g}{nm} = \frac{F_{gb} - \mu \frac{M}{n} g}{nM}$$

~~$$F_{\text{ум}} = m a_g = \frac{M}{n} \frac{F_{gb} - \mu \frac{M}{n} g}{n}$$~~

Получается:

~~$$F_{gb} - \mu \frac{M}{n} g$$~~

~~$$F_{\text{ум}} = m a_g = \frac{F_{gb} - \mu \frac{M}{n} g}{n}$$~~

Тогда:

~~$$F_{gb} = \mu \frac{M}{n} g + \frac{F_{gb} - \mu \frac{M}{n} g}{n}$$~~

~~$$(1 - \frac{1}{n}) F_{gb} = \mu \frac{M}{n} g (1 - \frac{1}{n})$$~~

Председателю апелляционной комиссии
олимпиады школьников «Ломоносов»

Ректору МГУ имени М.В. Ломоносова

академику В.А. Садовничему

От ученика 11 класса СУНЦ МГУ

г. Москвы, ул. Ломоносовский проспект, д. 31, корп. 5

Блинова Виктора Алексеевича

Оценки
не учитываются
ВАН

Апелляция

Прошу пересмотреть выставленные технические баллы – 82 балла, за мою работу заключительного этапа по физике, поскольку считаю, что сумма баллов, исходя из опубликованных решений и критериев оценки, должна быть не менее 84 баллов: задача № 1 не решена (хотя были указаны некоторые нужные формулы) и в задаче № 3 допущена незначительная техническая ошибка в определении соотношения скоростей (вместо V_2/V_1 посчитал V_1/V_2).

Дата 24 марта 2022 года

Подпись

ВАН