



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

**ОЛИМПИАДНАЯ РАБОТА**

Наименование олимпиады школьников: **«Ломоносов»**

Профиль олимпиады: **ФИЗИКА**

ФИО участника олимпиады: **Толочко Константин Витальевич**

Класс: 11

Технический балл: **83**

Дата проведения: 25 февраля 2022 года

ШИФР РАБОТЫ 9782655

	1	2	3	4	$\Sigma$
Задача	9	15	15	10	<b>83</b>
Вопрос	10	9	7	8	

Черновик.

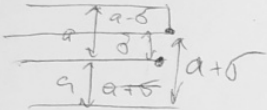
Фокусное расст. - расст. от центра до линзы до её  
 Оу. ф. оу. линзы. Обозначим  $f$  или  $F$  и изм. в м.  
 Сила линзы - обратная величина фокуса линзы  $D = \frac{1}{F}$   
 и изм. в диоптриях.  $E = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$

$C = \frac{q}{u} = \frac{q}{\frac{\sigma}{\epsilon_0} d} =$

$= \frac{q \cdot \epsilon_0}{\sigma d}$   
 2.1, 1,74 2  $\sigma =$

$$\begin{array}{r} 21 \\ (1,74) \\ \underline{1,74} \\ 6896 \\ 1218 \quad q \cdot \epsilon_0 \cdot S \\ \underline{174} \quad q \cdot d \\ 3,0276 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 3,48 \quad 1,6 \\ - 30 \quad 1,58 \\ \hline 48 \\ - 48 \\ \hline 0,581 \\ \underline{6} \\ 3,48 \end{array}$$



$1 + 0,58 = 1,6$

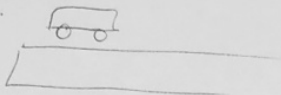
$\sqrt{1,58}$   
 $(1,4)^2 \approx \sqrt{2}$   
 $\begin{array}{r} 1,26 \quad 1,27 \\ \underline{1,26} \quad \underline{1,27} \\ 889 \\ 254 \\ 127 \\ \hline 1,6129 \end{array}$

$$\begin{array}{r} 1,2 \\ 1,2 \\ \hline 1,44 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 1,3 \\ 1,26 \quad 1,3 \\ \underline{1,26} \quad \underline{1,3} \\ 56 \quad 39 \\ 13 \\ \hline 1,69 \end{array}$$

Перевик

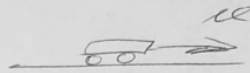
$N = 2 \text{ Вт}$   
 $m = \frac{\mu}{3}$   
 $\mu = 0,3$



$\mu mg \cdot \alpha = P$

$\frac{1}{3} \cdot 10 \cdot 0,3 = \frac{2}{3} \cdot 1 \cdot 10 = 2 \text{ Вт}$

$mg \mu = P_1$



$U_m = a_0 t$   
 $t = \frac{U_m}{a_0}$

$x = \frac{a_0 t^2}{2}$   
 $x = \frac{a_0 \frac{U_m^2}{a_0^2}}{2}$

$x = \frac{U_m^2}{2 a_0}$

$1 \mu = 1 \text{ гм}^3 = 1 \cdot 10^{-3} \mu$

$10 \text{ гм} = 1 \mu$

$\text{гм} = 10^{-1} \mu$

$$\begin{array}{r|l} 950 & 5 \\ - 5 & \\ \hline 450 & 190 \\ - 45 & \\ \hline 0 & \end{array}$$

$-273 \text{ К}$

$-273^\circ = 0 \text{ К}$

$+273 = 0 \text{ К}$

$$\begin{array}{r|l} 100\phi & \\ \hline 19\phi & \\ \hline 100 & 12 \\ - 95 & \\ \hline 50 & 5,26 \\ - 38 & \\ \hline 120 & \\ - 114 & \end{array}$$

$$\begin{array}{r|l} 100\phi & \\ \hline 19\phi & \\ \hline 100 & 12 \\ - 95 & \\ \hline 50 & 0,526 \\ - 38 & \\ \hline 120 & \end{array}$$



$\cos 30 = \sqrt{1 - \left(\frac{1}{2}\right)^2} = \frac{\sqrt{3}}{2}$

Электрическая скалярная величина, характеризующая способность тела притягивать или отталкивать электрические заряды.

Средняя абсолютная влажность воздуха - плотность водяных паров в данном объеме воздуха при заданных условиях.

Относительная влажность воздуха - отношение парциального давления паров водяного пара в воздухе к давлению насыщенного пара при данных условиях (температуре).

Плоская ЗСЭ: выводит следующие соотношения:

$$2mgh + A_{тр} = \frac{m v_1^2}{2}$$

Чистовик

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

$$mgL \sin \alpha - \frac{1}{2} mgL \mu \cos \alpha = \frac{m v_1^2}{2} \quad | : m$$

$$gL \sin \alpha - \frac{1}{2} gL \mu \cos \alpha = \frac{v_1^2}{2} \quad | \cdot 2$$

$$\Rightarrow v_1^2 = 2gL \sin \alpha - gL \mu \cos \alpha \Rightarrow v_1 = \sqrt{gL(2 \sin \alpha - \mu \cos \alpha)}$$

$$v_1 = \sqrt{gL(2 \sin \alpha - \mu \cos \alpha)}$$

Тогда гравит. плоскости гл. заряженной пластинки и нити. В таком случае от нити будет возникать колл. э.п.  $E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$  (как для бесконеч. плоскости) т.к. пластина расположена

и т.к. по пластине

равномерно распредел. заряд  $(\sigma)$ , то на нити  $D$  и заряды пластины будет действов. электростатическое поле  $E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$  нити.

Возникает сила со стороны э.п. нити, равная  $F_k = E \cdot q = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \cdot q$

И она вносит поправку в расчёт  $N'$  - силы реакции опоры на нить, т.к. ~~возв~~ действов.  $\perp$ -плоскости пластины, и направлена по  $oy$ , т.к.  $q$  и пластина и нить заряжены одноименно.

II-з.к. Ньютона для пластины по  $oy$ :  $ma_y = 0 = N' + F_k - mg \cos \alpha = 0$

$$N' = mg \cos \alpha - F_k = \left[ mg \cos \alpha - \frac{\sigma q}{2\epsilon_0} = N' \right]$$

Все остальные переменные и расчёты остаются прежними, воспользуемся этими данными:

$$ЗСЭ: mgh + A_{тр} = -mgh + \frac{m v_2^2}{2}$$

$$2mgh - \frac{1}{2} \mu \cdot N' \cdot L = \frac{m v_2^2}{2}, \text{ где } h = \frac{L}{2} \cdot \sin \alpha, N' = mg \cos \alpha - \frac{\sigma q}{2\epsilon_0}$$

Подставим:

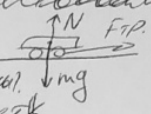
Чистовик

5

Числовик  
Задача 1.3.4.

Дано:  
 $M = 1 \text{ кг}$   
 $N = 2 \text{ Вт}$   
 $m = \frac{M}{n} = \frac{M}{3} = \frac{1}{3} \text{ кг}$   
 $\mu = 0,3$   
 $g = 10 \text{ м/с}^2$

Покажем, когда колёса трюкальзуют  
 на машину действовала (на колёса) действовала  
 сила трения скольжения  $F_{тр} = \mu mg$ .  
 усл. равновесия по вёрт.  $N = mg$ . (для машины)



Только когда машина достигнет  
 скорости  $v_1$ , тогда мощности двигателя  
 не будет хватать для преодоления

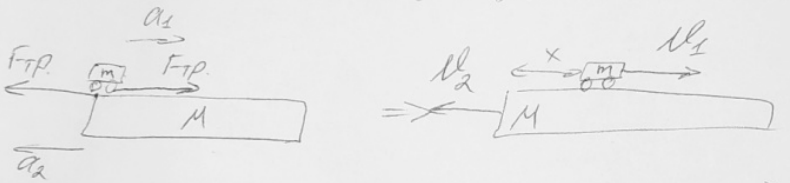
$x - ?$  ещё большей скорости:  $P = \frac{A_{тр}}{dt} = \frac{\mu mg \cdot dx}{dt} = \mu mg v_1$   
 $\mu mg v_1 = P = N \Rightarrow v_1 = \frac{N}{\mu mg} = \frac{2 \text{ Вт}}{0,3 \cdot \frac{1}{3} \text{ кг} \cdot 10 \text{ м/с}^2} = 2 \text{ м/с} = v_1$

где  $v_1$  - скорость

движения машины в ИСО (земля):

По III з-к. Ньютона на доску действ. та же сила  $F_{тр}$ .

по II з-к. Ньютона:  
 пох: для машины:  
 ИСО; земля:



$ma_x = \mu mg$   
 $a_x = \mu g = 0,3 \cdot 10 \text{ м/с}^2 = 3 \text{ м/с}^2$

Для доски:  $Ma_{2x} = -\mu mg \Rightarrow a_{2x} = -\frac{0,3 \cdot \frac{1}{3} \text{ кг} \cdot 10 \text{ м/с}^2}{1 \text{ кг}} = -1 \text{ м/с}^2$

т.к.  $\sum F_{ext, x} = 0$ , то по ЗСИ по х:

$0 = m v_1 - M v_2 \Rightarrow m v_1 = M v_2 \Rightarrow v_2 = \frac{m}{M} v_1 = \frac{1}{3} \cdot 2 \text{ м/с} = \frac{2}{3} \text{ м/с}$

Тогда  $U_m$  - ок. скорость машины в СО: доска равна:

$U_m = v_1 + v_2 = (2 + \frac{2}{3}) \text{ м/с} = \frac{8}{3} \text{ м/с} = U_m$

В СО, доска машина двигалась с  $a_{доск.} = a_1 + a_2 = (3 + 1) \text{ м/с}^2 = 4 \text{ м/с}^2$

Значит:  ~~$U_m = v_0 + a_{доск.} \cdot X$~~   $2 \cdot a_{доск.} \cdot X = U_m^2 - v_0^2, v_0 = 0 \text{ м/с}$

в СО: доска  $\Rightarrow X = \frac{U_m^2}{2 \cdot a_{доск.}} = \frac{8^2}{3^2 \cdot 2 \cdot 4} \text{ м} = \frac{64 \text{ м}}{9 \cdot 8} = \frac{8}{9} \text{ м}$  (Согр. машины в начале)

Ответ:  $X = \frac{8}{9} \text{ м}$ .

Вопросы: импульс системы материальн. точек. Числовик  
 величин. Сумма импульсов каждой точки:  $P_0 = \sum P_i = \sum m_i v_i$   
 ЗСИ: Если  $\sum F_{внешних} = 0$ , то импульс системы сохраняется.

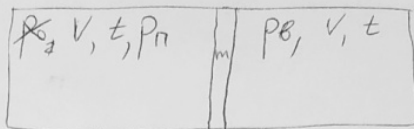
1

# Условик

## Задача 2.2.1.

В горизонт. полож.

$m = 5 \text{ кг}$   
 $V = 1 \text{ л} = 10^{-3} \text{ м}^3$   
 $t = 100^\circ \text{C} = 373 \text{ K}$   
 $S = 0,01 \text{ м}^2 = 10^{-2} \text{ м}^2$   
 $g = 10 \text{ м/с}^2$   
 $P_0 = 10^5 \text{ Па}$



Ур-ие Менделеева-Клапейрона для  
 левой и правой частей цилиндра

$$P_n = \frac{\nu_n R t}{V}$$

$$P_b = \frac{\nu_b R t}{V}$$

x = ?

Т.к. сила на поршень уже рассчитана, то его давление равно давлению внеш. давления при кипении воды при заданной температуре, т.е. т.к. жидкость при  $t = 100^\circ \text{C}$  кипит при внеш. атм. давлении  $P_0 = 10^5 \text{ Па}$ , то и давление ее насыщенных паров равно  $P_0 \Rightarrow P_n = P_0$ .

Т.к. в горизонт. полож. поршень неподвижен, то:

$$P_n = P_b \quad P_n \cdot S = P_b \cdot S \Rightarrow \frac{\nu_n R t}{V} = \frac{\nu_b R t}{V} = P_n = P_0$$

$$\Rightarrow \boxed{\nu_n = \nu_b} \quad \text{В вертикальном положении:}$$

В вертикальном положении на поршень будет действовать сила тяжести, тогда когда система вернется установ. равновесие.

Силы на поршень скаленируются:

II-з-к Ньютона для поршня:

$$m a = m g + P_b' \cdot S - P_n \cdot S = 0, \text{ т.к. } a = 0.$$

$$\Rightarrow m g + P_b' \cdot S = P_n \cdot S, \text{ т.к. } t - \text{температура системы} = \text{const},$$

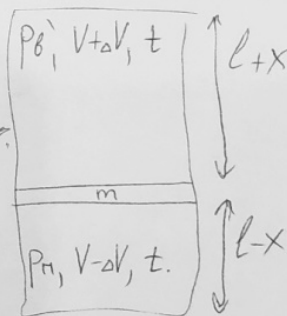
то температура насыщенного пара останется прежней, а значит при добавочном давлении, пары сразу сконденсируются и  $\nu_n = \text{const}$ , при заданной  $t = 100^\circ \text{C}$ .

$$\boxed{P_n = P_0 = 10^5 \text{ Па}}$$

Ур-ие Менделеева-Клапейрона для верхнего газа:

$$P_b' = \frac{\nu_b R t}{V + \Delta V}, \text{ где } V = l \cdot S, \Delta V = x \cdot S$$

Условик 2



Также найдем, что:  $\sqrt{pRt} = p_0 V$  (для изохор. процесса.)

Тогда:  $p_0' = \frac{\sqrt{pRt}}{V+\Delta V} = \frac{p_0 V}{V+x \cdot S}$  Числовик  
 Подставим в уравнение равновесия поршня:

$$mg + p_0' S = p_{\text{ат}} \cdot S \Rightarrow mg + \frac{p_0 V}{V+x \cdot S} \cdot S = p_0 \cdot S \quad | : S$$

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

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

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

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

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

$$x = \frac{mg V}{S (p_0 S - mg)} = \frac{5 \cdot 10 \cdot 10^{-3} \text{ м}}{10^{-2} \cdot (10^5 \cdot 10^{-2} - 5 \cdot 10)} = \frac{5 \cdot 10 \cdot 10^{-1} \text{ м}}{10^3 - 50}$$

$$= \frac{5 \text{ м}}{10^3 - 50} = \frac{5}{950} \text{ м} = \frac{1}{190} \text{ м} = \frac{100}{190} \text{ мм} = \frac{1000}{190} \text{ мкм} \approx$$

$$\approx 5,26 \text{ мкм} \approx 5,3 \text{ мкм.}$$

Ответ:  $x \approx 5,3 \text{ мкм.}$

Вопросы: Абсолютная влажность воздуха - это плотность водяных паров  $\rho$  в воздухе при заданных условиях.

Относительная влажность воздуха - отношение парциальных давлений водяных паров  $p_{\text{в}}$  воздуха к давлению насыщенных паров  $p_{\text{н}}$  при данных условиях (температуре).

$$\varphi = \frac{p_{\text{в}}}{p_{\text{н}}} \cdot 100\% \quad \text{Измеряется в } [\%].$$

Числовик  
3

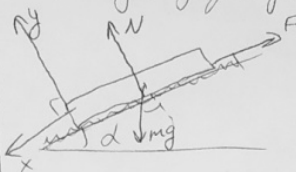


Дано: Чистовик

- $m = 0,1 \text{ кг}$
- $\alpha_{\text{тр}} = 30^\circ$
- $\sigma = 3 \cdot 10^{-6} \text{ Кн}$
- $\rho = 3 \cdot 10^{-6} \frac{\text{м}^2}{\text{Кн}}$
- $\epsilon_0 = 9 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Ф}}{\text{м}}$
- $g = 10 \text{ м/с}^2$

Задача 2 3.5.1

Канга заряды еще не распределены:



В усл. крив. измерения равновесия, при  $\alpha_{\text{тр}}$   $F_{\text{тр}} \rightarrow F_{\text{тр,max}} = \mu \cdot N$

II-з-н. для пластинки в усл. равновесия по ох:  $mg \sin \alpha = F_{\text{тр,max}}$   
 $mg \sin \alpha = \mu \cdot N$

по оу:  $N = mg \cos \alpha$   
 $\Rightarrow mg \sin \alpha = \mu \cdot mg \cos \alpha$

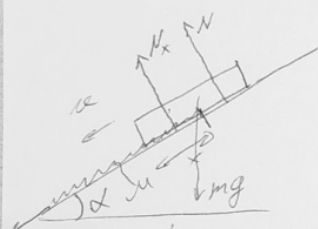
$\text{tg } \alpha = \mu$ , при  $\alpha_{\text{тр}} = 30^\circ$

$\frac{v_2}{v_1} = ? \Rightarrow \mu = \text{tg } 30^\circ = \frac{\sin 30^\circ}{\cos 30^\circ} = \frac{1}{2 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}} = \frac{1}{\sqrt{3}} = \frac{\sqrt{3}}{3}$

$\mu = \frac{\sqrt{3}}{3}$  (поверхности вверх)

Восст. движ. пластинки до скорости  $v_1$ :

$F_{\text{тр}}$  - зависит от части расположенной на шероховатой поверхности, т.к. сила реакции опоры от плиты распределена равномерно всей пластине, тогда при смещении пластинки на  $x$   $F_{\text{тр}} = N_x = N \cdot \frac{x}{L}$ , где  $L$  - длина всей пластинки.  
 Тогда  $F_{\text{тр}} = \mu \cdot N_x = \mu \frac{x}{L} \cdot N$



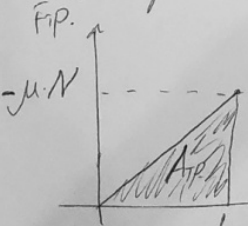
где  $N$  - общая сила реакции опоры (уменьшается). Пусть  $h_{\text{ш}} = 0$  на высоте границы шероховатости поверхностей.

Тогда ЗЭ: для пластинки:  
 $mgh + A_{\text{тр}} = -mgh + \frac{mv_1^2}{2}$   
 $2mgh + A_{\text{тр}} = \frac{mv_1^2}{2}$ ,  $F_{\text{тр,max}} = \mu N$  (по ох.)



К пластине отнесем:

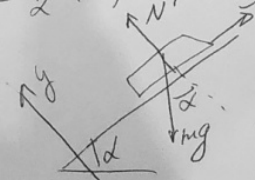
Построим график  $F_{\text{тр}}(x)$



Тогда площадь под графиком работы сил трения: Определим  $N$ : для незаряженных тел.

$A_{\text{тр}} = \frac{1}{2} \cdot (F_{\text{тр,max}}) \cdot L = \frac{1}{2} \mu N L$

по оу: усл. равна  $a_y = 0$   
 по III-з-н. Ньютона для пластинки:  $N - mg \cos \alpha = 0 = ma_y$   
 $\Rightarrow N = mg \cos \alpha$



$h$  - высота от у.и пластинки до границы шероховатости, тогда

$\sin \alpha = \frac{h}{L} \Rightarrow h = \frac{L}{2} \cdot \sin \alpha$

4

Ускорение

$$2mg \cdot \frac{L}{2} \cdot \sin \alpha - \frac{1}{2} \mu L \cdot \left( mg \cos \alpha - \frac{\sigma q}{2 \epsilon_0} \right) = \frac{m v_2^2}{2} \quad | : 2$$

$$2mgL \sin \alpha - \mu L \left( mg \cos \alpha - \frac{\sigma q}{2 \epsilon_0} \right) = m v_2^2 \quad | : m$$

$$\Rightarrow v_2^2 = 2gL \sin \alpha - \mu L \left( g \cos \alpha - \frac{\sigma q}{2m \epsilon_0} \right)$$

$$v_2^2 = 2gL \sin \alpha - gL \mu \cos \alpha + \frac{\mu L \sigma q}{2m \epsilon_0}$$

$$v_2^2 = gL (2 \sin \alpha - \mu \cos \alpha) + \frac{\mu L \sigma q}{2m \epsilon_0}$$

Найти отношение:

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{\sqrt{gL (2 \sin \alpha - \mu \cos \alpha) + \frac{\mu \sigma q}{2m \epsilon_0}}}{\sqrt{gL (2 \sin \alpha - \mu \cos \alpha)}} =$$

$$= \frac{\sqrt{g(2 \sin \alpha - \mu \cos \alpha) + \frac{\mu \sigma q}{2m \epsilon_0}}}{\sqrt{g(2 \sin \alpha - \mu \cos \alpha)}} \quad \text{где } \alpha = \arcsin = 30^\circ$$

$$= \sqrt{\frac{10 \left( 2 \cdot \frac{1}{2} - \frac{\sqrt{3}}{3} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \right) + \frac{\sqrt{3} \cdot 3 \cdot 10^{-6} \cdot 3 \cdot 10^{-6}}{3 \cdot 2 \cdot 10^{-2} \cdot 9 \cdot 10^{12}}}{10 \left( 2 \cdot \frac{1}{2} - \frac{\sqrt{3}}{3} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \right)}} =$$

$$= \sqrt{\frac{10 \cdot \frac{1}{2} + \frac{\sqrt{3}}{3 \cdot 2} \cdot 10}{5}} = \sqrt{\frac{5 + \frac{10\sqrt{3}}{6}}{5}} = \sqrt{1 + \frac{2\sqrt{3}}{6}}$$

и т.к.  $\sqrt{3} \approx 1,74$ , то  $\frac{2\sqrt{3}}{6} \approx \frac{3,48}{6} \approx 0,58$

тогда  $\frac{v_2}{v_1} = \sqrt{1 + 0,58} = \sqrt{1,58} \approx 1,27$ .

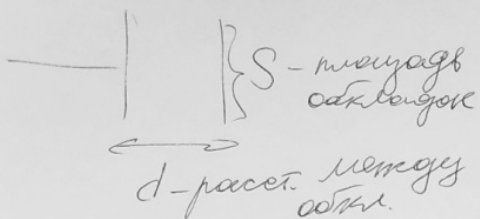
Ответ:  $\frac{v_2}{v_1} \approx 1,3$ .

Вопрос: Электроемкость — скалярная величина, характеризующая способность тела накапливать электрический заряд обозначается  $C [Ф]$  — Фарадах.

Электр. емкость конденсатора:  $C =$

6

Учебник



$$C = \frac{S \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon}{d}$$

( $\epsilon$  диэлектрик)

$$C = \frac{S \cdot \epsilon_0}{d}$$

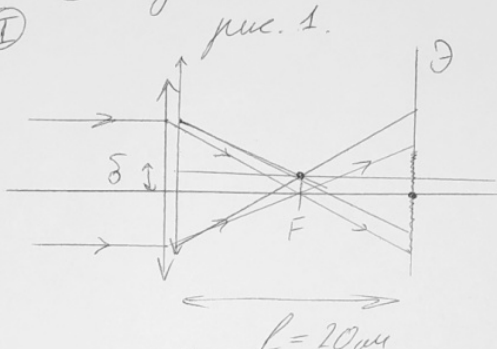
(Если диэлектрик отсутствует)

Задача 4.3.1

Дано:

- $l = 20 \text{ см}$
- $b = 0,5 \text{ см}$
- $\delta = 0,5 \text{ см}$
- $\Delta = 1 \text{ см}$
- $f = ?$

①



11-ый луч света, 11-о ГОО: всегда направляется в направлении т. фокуса (Ф) линзы. Тогда ① лучи могут быть как на рис. 1

из аб-ов.  $y_1 + \delta$  аб-ов.  $x_1$  аб-ов.  $x_2$

$$\frac{y_1 + \delta}{f} = \frac{y_2}{l - f} \implies \frac{x_1}{f} = \frac{x_2}{l - f}$$

$$\frac{y_1}{f} = \frac{b}{l - f} \implies \frac{\delta + x_1}{f} = \frac{a}{l - f}$$

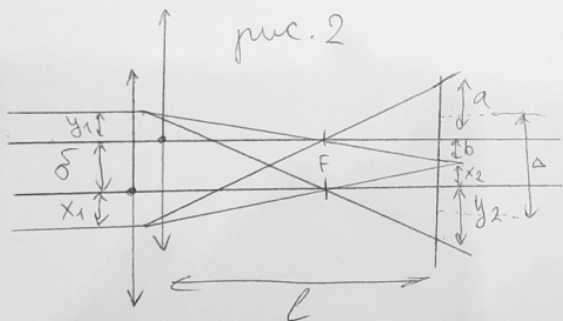
$$\frac{a + b}{2} + \frac{x_2 + y_2}{2} = \Delta$$

$$y_2 = \frac{y_1 + \delta}{f} (l - f)$$

$$x_2 = \frac{x_1}{f} (l - f)$$

$$a = \frac{(\delta + x_1)}{f} (l - f)$$

$$b = \frac{y_1}{f} (l - f)$$



Тогда:

$$\frac{(l - f)}{2f} (\delta + x_1 + y_1) + \frac{(l - f)}{2f} (\delta + y_1 + x_1) = \Delta$$

Но в симметричной линзе: когда:

$$y_1 + \delta = x_1 \text{ (на рис. 2)}$$

(по усл. в задаче)

Вопросы: Фокусное расст. такой линзы - расст. от фокуса до главного оптического центра линзы. Обозначается  $f$  или  $F$  и измеряется в [м]. Силой линзы - абс. обратная величина фокуса линзы  $D = \frac{1}{F}$  [дптр] в диоптриях. Для собирающих линз  $D > 0$ . Для рассеивающих  $D < 0$ .

