



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

**ОЛИМПИАДНАЯ РАБОТА**

Наименование олимпиады школьников: **«Ломоносов»**

Профиль олимпиады: **ФИЗИКА**

ФИО участника олимпиады: **Матюшин Дмитрий Александрович**

Класс: 11

Технический балл: **86**

Дата проведения: 25 февраля 2022 года

ШИФР РАБОТЫ 9378108

	1	2	3	4	$\Sigma$
Задача	5	15	15	15	<b>86</b>
Вопрос	8	10	10	8	

Вопросы:

№ 1.3.1

Чистовик,  
лист 1

1) Импульс системы материальных точек определяется как векторная сумма импульсов всех материальных точек, т.е.  $\vec{p}_{\text{сист}} = \sum_{i=1}^n \vec{p}_i$ .

2) Закон сохранения импульса:

При отсутствии внешних сил, действующих на систему физ. тел (материальных точек), суммарный импульс системы остаётся неизменным.

Дано:

$$M = 1 \text{ кг}$$

$$N = 2 \text{ Вт}$$

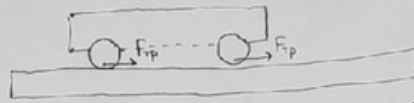
$$\mu = 0,3$$

$$n = 3$$

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

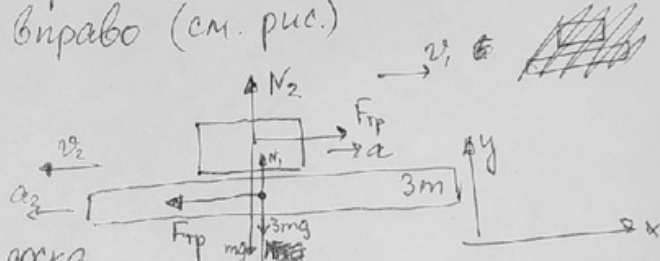
Найти  $x$ 

Решение:



Т.к. колёса в нижней точке проскальз. влево,  $F_{\text{тр}}$  направлена против проск., т.е. вправо (см. рис.)

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



На систему машина + доска нет внешних сил, имеющих проекцию на гориз. ось  $x$ , поэтому по ЗСМ в проекции на эту ось:

$$mv_1 - 3mv_2 = 0 \quad v_1 = 3v_2, \text{ где } v_1 - \text{скорость машины}$$

$v_2$  - скор. доски (см. рис.)

Пусть шла тяга  $F$ . Когда нет проскальз.,  $A_{\text{тр}} = 0$ , значит по ЗСЭ  $Fdx = Ndt$ ,  $N = F \frac{dx}{dt} = Fv$ . Значит, когда проскальз. закончилось,  $v_1 = \frac{N}{F}$ . В этом

случае  $F = F_{\text{тр}}$  (потому что внеш. горизонт. сила на машину является  $F_{\text{тр}}$ ). Отсюда  $v_1 = \frac{N}{F_{\text{тр}}}$

Когда есть проскальзывание,  $F_{\text{тр}}$  достигает максимума,  $F_{\text{тр}} = \mu N_2$  ( $F_{\text{тр}}$  скольжения). Это верно и для предельного случая (когда проск. только что кончилось).

II зак. Ньют. для машины на ось y:

$$N_2 - mg = 0 \quad (a_y = 0)$$

$$N_2 = mg = \text{const}$$

Значит,  $v_1 = \frac{N}{F_{\text{тр}}} = \frac{N}{\mu N_2} = \frac{N}{\mu mg}$  в предельном случае (только это закон проск.)

$N$  - мощность

$N_2, N_2$  - силы реакции опоры

Заметим, что пока есть проскальзывание,  $F_{\text{тр}} = \mu N_2 = \mu mg = \text{const}$  - единств. внеш. horiz. сила на машину. Ускор. машины по II з. Н. на ось x для машины:

$$F_{\text{тр}} = ma$$

$$a = \frac{\mu mg}{m} = \mu g = \text{const} \quad (\text{пока есть проскальз.})$$

По кинемат. формуле без времени:

$$S_1 = \frac{v_1^2 - 0^2}{2a} = \frac{N^2}{2\mu g} = \frac{N^2}{2\mu g m^2} \quad \text{пути машины}$$

в земной СО вправо

Доска по II з. Н. на ось x при  $F_{\text{тр}} = \text{const}$  имела уск.  $a_2$ :

$$a_2 = \frac{F_{\text{тр}}}{3m} = \frac{a}{3} = \frac{\mu g}{3}, \quad a_2 \text{ влево, } a \text{ вправо}$$

$$v_2 = \frac{v_1}{3} = \frac{N}{3\mu mg} \quad (\text{по з.н. см. выше})$$

$$S_2 = \frac{v_2^2 - 0^2}{2a_2} = \frac{\frac{1}{9} \left(\frac{N}{\mu mg}\right)^2}{2 \cdot \frac{\mu g}{3}} = \frac{1}{3} \cdot \frac{\left(\frac{N}{\mu mg}\right)^2}{2\mu g} = \frac{S_1}{3} \quad \text{влево - уменьшение}$$

доски в земной СО.

При переходе из земной СО в СО доски:

$$x = S_2 + S_1 = \frac{4}{3} S_1 = \frac{4N^2}{6\mu^3 g^3 m^2} = \frac{2 \cdot 2^2 \cdot 9}{3 \cdot 0.3^3 \cdot 10^3 \cdot 1} = \frac{8 \cdot 9}{3^4} = \frac{8}{9} \text{ м}$$

Ответ:  $\frac{8}{9} \text{ м} \approx 0,89 \text{ м}$

80	9
72	0,88
80	
72	
80	

№ 2.2.1

Дано:

$$m = 5 \text{ кг}$$

$$V = 1 \text{ л} = 0,001 \text{ м}^3$$

$$t = 100^\circ\text{C} = 373 \text{ К}$$

$$S = 0,01 \text{ м}^2$$

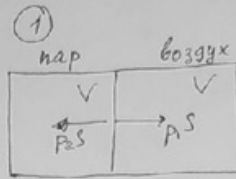
$$g = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

$$p_0 = 10^5 \text{ Па}$$

Найти  $x$ 

Решение:

При  $t = 100^\circ\text{C}$  давление насыщенного пара  $p_{\text{нп}} = 10^5 \text{ Па}$ , поэтому по условию т.к. вначале пар насыщен слева давление



пар насыщен слева давление  $p_1 = p_{\text{нп}}$ . Из условия равновесия поршня в гориз. плоск. (II з-н на ось  $z$  для поршня при  $a=0$ )  $p_1 = p_2 = p_{\text{нп}}$ .

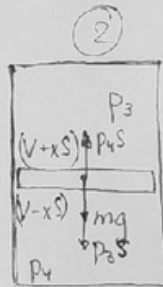
1) Ур-ние Менд.-Клапей. для пара (1):  
 $p_1 V = \nu_1 R t$ ,  $\nu_1$  - количество пара (общее)

2) Ур-ние Менд.-Клапей. для воздуха (2):  
 $p_2 V = \nu_2 R t$ ,  $\nu_2$  - количество воздуха (справа от поршня)

т.к.  $p_1 = p_2 = p_{\text{нп}}$ , из (1) и (2):

$$p_{\text{нп}} V = \nu_1 R t = \nu_2 R t, \quad \nu_1 = \nu_2$$

2) После переворота сосуда при неизменных  $V, \nu_1$  и  $t$  давление на пар со стороны поршня увеличится (будет действовать дополнительно масса поршня), а т.к. при фиксированных  $V, \nu_1$  и  $t$   $p$  пара не может превышать  $p_{\text{нп}}$ , будет конденсация.

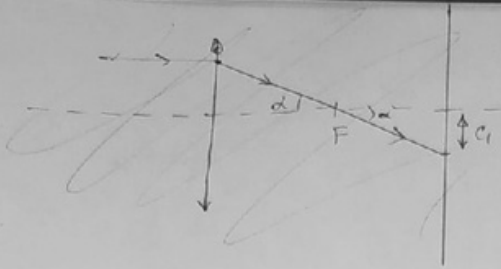


Пусть  $\nu_3$  - оставшееся количество пара, тогда  $(\nu_1 - \nu_3)$  - кол-во сконденсировавшейся воды

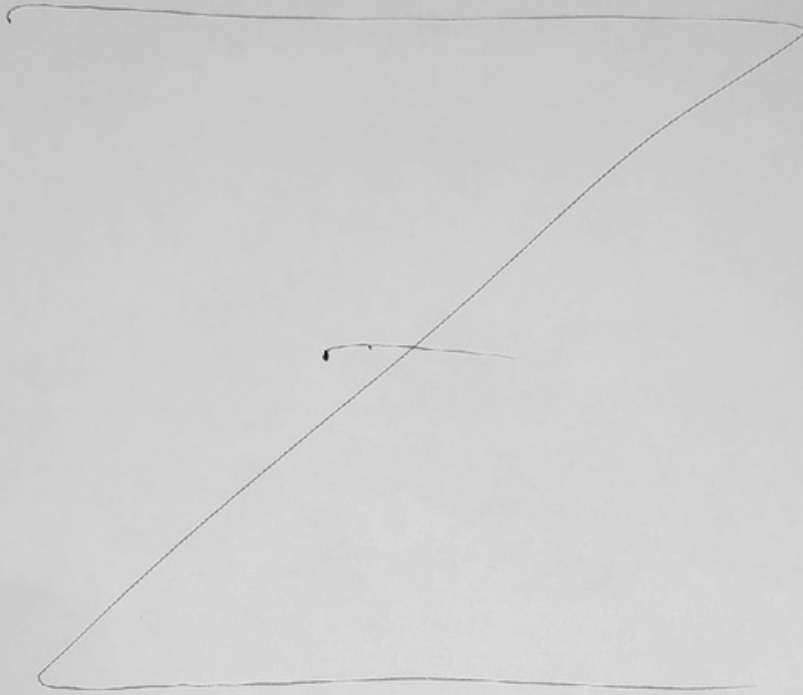
При  $t = \text{const}$  давление пара останется неизменным, т.е.  $p_{\text{нп}}$  поэтому  $p_1 = p_{\text{нп}}$  для поршня:

$$3) p_2 S + mg = p_4 S$$

$$p_3 + \frac{mg}{S} = p_{\text{нп}} \quad (\text{т.к. } p_4 = p_{\text{нп}})$$



Чистовик  
лист 10

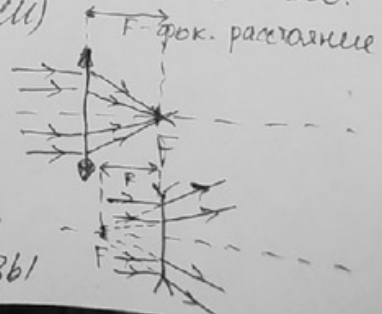


Вопросы:

Фокусное расстояние линзы — расстояние от центра линзы ~~на~~ до точки на её <sup>главной</sup> оптич. осн., в которой сходятся лучи (или их продолжения в случае рассеив. линзы), выходящие из линзы после попадания на неё лучей, параллельных её глав. оптич. осн. (см. рис.)  $[F] = [D]$  (в см)

~~Другому можно сказать, что~~  
~~фокус. расстояние — физ.~~

Оптич. сила линзы — физ. величина,  
характеризующая способность линзы



изменять траекторию <sup>(направление)</sup> проходящих через неё  
 лучей.  $D = \frac{1}{f}$  - собир. (положит.) линза  $D > 0$   
 $D = -\frac{1}{f}$  - рассеивающая (отриц.) линза  $D < 0$   
 $[D] = [Дптр]$  - в диоптриях измеряется

Чистовик  
 мск Н

- 4) Ур-ние менг.-клайп. для пара <sup>Учитывая мет-ч</sup> (2):  
 $p_{H_2O}(V-xS) = \rho_2 RT$ , объём воды пренебрежимо мал по сравнению с объёмом пара
- 5) Ур-ние менг.-клайп. для воздуха (2):  
 $p_2(V+xS) = \rho_2 RT$

Решим систему ур-ний:

$$\frac{\rho_2 RT}{V+xS} + \frac{mg}{S} = p_{H_2O}$$

$$\frac{p_{H_2O} V}{V+xS} + \frac{mg}{S} = p_{H_2O}$$

$$p_{H_2O} VS + mg(V+xS) = p_{H_2O} S(V+xS)$$

$$mg(V+xS) = p_{H_2O} x S^2$$

$$mgV + mgxS = p_{H_2O} x S^2$$

$$Sx(p_{H_2O} S - mg) = mgV$$

$$x = \frac{mgV}{S(p_{H_2O} S - mg)} = \frac{5 \cdot 10 \cdot 0,001}{0,01 \cdot (10^3 \cdot 0,01 - 5 \cdot 10)} = \frac{50 \cdot 10^{-3}}{10^2 \cdot (10^3 - 50)} = \frac{5}{1000 - 50}$$

$$= \frac{5}{950} \text{ м} \approx \frac{1}{19} \text{ м}$$

$$\text{Ответ: } \frac{5}{950} \text{ м} \approx \frac{1}{19} \text{ м}$$

Вопросы: Абсолютная влажность воздуха - плотность водяного пара, содержащегося в воздухе. Из ур-ния м.-к. для пара следует, что  $\rho_2 = \frac{p_2 M}{RT}$ , где  $p_2$  - парциальное давление пара в воздухе,  $M = 18 \frac{\text{г}}{\text{моль}}$ ;  $R$  - ун. газовая пост.,  $T$  - тем-ра воздуха. ( $pV = \rho RT$ ;  $pV = \frac{\rho V}{M} RT$ ,  $\rho M = \rho RT$ ,  $\rho = \frac{pM}{RT}$ ).  $[\rho_2] = [\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}]$  в СИ

Относительная влажность воздуха - отношение абсолютной влажности воздуха  $\rho_2$  (плотности вод. пара) к плотности насыщенного водяного пара  $\rho_{2n}$  при данной температуре, умноженное на 100%.  $\varphi = \frac{\rho_2}{\rho_{2n}} \cdot 100\%$   $[\varphi]$  - в процентах



Дано:

$$m = 100 \text{ г}$$

$$\alpha_{\text{нр}} = 30^\circ$$

$$q = 3 \text{ мкКл} = 3 \cdot 10^{-6} \text{ Кл}$$

$$\sigma = 3 \frac{\text{мкКл}}{\text{м}^2} = 3 \cdot 10^{-6} \frac{\text{Кл}}{\text{м}^2}$$

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

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

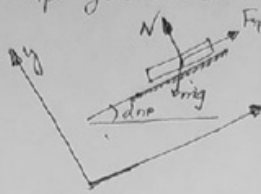
Найти  $\frac{v_2}{v_1}$ 

№ 3.5.1

Имя: Вик  
Лист 5

Решение:

- ① т.к. при  $\alpha_{\text{нр}}$  начнется соскальзывание,  $F_{\text{тр}}$  достигнет максимума  $F_{\text{тр}} = \mu N$  (сила Ф. скольжения)



- 1) II закон Ньют. на ось x:  
 $F_{\text{тр}} - mg \sin \alpha_{\text{нр}} = 0$   
 $mg \sin \alpha_{\text{нр}} = F_{\text{тр}} = \mu N$   
( $a = 0$  в предельном случае)

- 2) II закон Ньют. на ось y:  
 $a = 0$  в пред. случае  
 $N - mg \cos \alpha_{\text{нр}} = 0$

$$\begin{cases} \mu N = mg \sin \alpha_{\text{нр}} & (1) \\ N = mg \cos \alpha_{\text{нр}} & (2) \end{cases} \text{ Разделим (1) на (2):}$$

$$\mu = \tan \alpha_{\text{нр}} = \tan 30^\circ = \frac{1}{\sqrt{3}} = \frac{1}{\sqrt{3}}$$

②

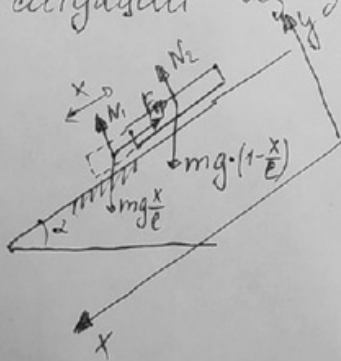


Пол. беск. пластины с зарядом  $\sigma$  равно:  $E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$  (выводится через теорему Гаусса).

Сила, с которой плита действует на пластинку, равна  $F = Eq$  (т.к. во всех точках пластинки поле одинаково и равно  $E$ )

$$F = Eq = \frac{\sigma q}{2\epsilon_0}$$

③ В ситуации без заряда:

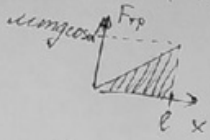


Когда пластинка въехала на  $x$  на шероховатость:

мысленно разделим пласт. на 2 части (см. рис.)

II зак. Ньют. на ось y ( $a_y = 0$ ):  
для нижней части

Сила трения скольз равна  $F_{тр} = \mu N_1 = \mu mg \frac{x}{l} \cos \alpha =$   
 $= \frac{\mu mg \cos \alpha}{l} x$ . По определению  $A_{тр} = \int_{x_1}^{x_2} F_{тр}(x) dx$   
 $x_1 = 0; x_2 = l$ ,  $l$  — длина пластины.



$$A_{тр} \sim S_{под зр.}$$

$$A_{тр} = \frac{\mu mg \cos \alpha \cdot l}{2}$$

Числовик  
Лист 6

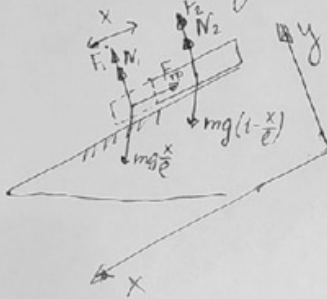
При смещении на  $l$  <sup>вниз по плите</sup> пластины высота её центра масс меняется на  $l \cos \alpha \cdot \sin \alpha$ .

ЗСЭ:

$$\frac{mv^2}{2} = mg \Delta h - A_{тр} = mg l \sin \alpha - \frac{1}{2} \mu mg l \cos \alpha$$

$$v^2 = lg(2 \sin \alpha - \mu \cos \alpha) = gl \cos \alpha (2 \tan \alpha - \mu)$$

4) Аналогично для заряженной системы:



Мысленно делим пластину:

II зак. Ньют. для нижней части на ось  $y$  ( $a_y = 0$ ):

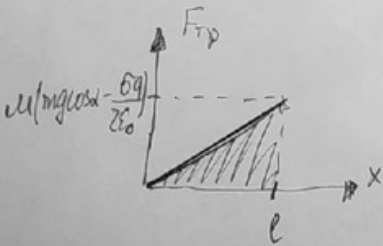
$$mg \frac{x}{l} \cos \alpha = N_1 + F_1$$

$$N_1 = mg \frac{x}{l} \cos \alpha - F_1$$

Заряд нижней части  $q_1$  в силу его равном. распред:

$$q_1 = \frac{x}{l} q, \text{ отсюда } F_1 = Eq_1 = \frac{\sigma q}{2\epsilon_0} \cdot \frac{x}{l}$$

$$F_{тр} = \mu N_1 = \mu mg \frac{x}{l} \cos \alpha - \mu \frac{\sigma q}{2\epsilon_0} \frac{x}{l} = \frac{\mu}{l} (mg \cos \alpha - \frac{\sigma q}{2\epsilon_0}) x - \text{сила тр. скольз.}$$



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

ЗСЭ:

$$\frac{mv^2}{2} = mg \Delta h - A_{тр}$$

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

$$v_2^2 = 2gl \sin \alpha - \mu l (g \cos \alpha - \frac{bq}{2m\epsilon_0})$$

Числовик  
лист 7

$$\frac{v_1}{v_2} = \sqrt{\frac{g l (2 \sin \alpha - \mu \cos \alpha)}{2gl \sin \alpha - \mu l (g \cos \alpha - \frac{bq}{2m\epsilon_0})}} = \sqrt{\frac{2 \sin \alpha - \mu \cos \alpha}{2 \sin \alpha - \mu \cos \alpha + \frac{\mu bq}{2mg\epsilon_0}}} =$$

$$= \sqrt{1 - \frac{\mu bq}{2mg\epsilon_0} \frac{1}{2 \sin \alpha - \mu \cos \alpha + \frac{\mu bq}{2mg\epsilon_0}}} = \sqrt{1 - \frac{\frac{\sqrt{3} bq}{4mg\epsilon_0}}{2 \sin \alpha - \mu \cos \alpha + \frac{\sqrt{3} bq}{4mg\epsilon_0}}}$$

где  $\alpha = \alpha_{\text{нр}} = 30^\circ$ :


~~$$\frac{v_1}{v_2} = \dots$$~~

~~$$\frac{v_2}{v_1} = \sqrt{1 + \frac{\mu bq}{2mg\epsilon_0} \frac{1}{2 \sin \alpha - \mu \cos \alpha}} = \sqrt{1 + \frac{\frac{\sqrt{3} bq}{4mg\epsilon_0}}{2 \cdot \frac{1}{2} - \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}}} =$$~~
~~$$= \sqrt{1 + \frac{\frac{\sqrt{3} \cdot 3 \cdot 10^{12}}{4 \cdot 2 \cdot 10^{-10} \cdot 9 \cdot 10^2}}{1 - \frac{1}{2}}} = \sqrt{1 + \frac{\frac{1}{4}}{\frac{1}{2}}} = \sqrt{1 + \frac{1}{2}} = \sqrt{\frac{3}{2}} = \sqrt{1 + \frac{\sqrt{3}}{3}}$$~~

Ответ:  $\sqrt{1 + \frac{\sqrt{3}}{3}}$  раза  $v$ , меньше  $v_2$

Вопрос: Электроёмкость — характеристика некоторой системы проводников (конденсатора), являющаяся коэффициентом пропорциональности между зарядом положительной обкладки конденсатора и разностью потенциалов между обкладками конденсатора при условии, что суммарный заряд обкладок 0.  $Q = C \Delta \varphi$

В общем случае — это физическая величина, характеризующая способность системы проводников накапливать электр. заряд.  $C$  измеряется в  $\frac{\text{Кл}}{\text{В}}$ , или в Фарадах. (в СИ)

  $C = \frac{\epsilon_0 \epsilon E S}{d}$  для плоского конд., где  $\epsilon_0$  — электрическая постоянная,  $\epsilon$  — диэлектрическая проницаемость среды внутри конденсатора,  $S$  — площадь пластин,  $d$  — расстояние между ними

Дано:

$$l = 20 \text{ см} = 0,2 \text{ м}$$

$$\delta = 0,5 \text{ см} = 0,005 \text{ м}$$

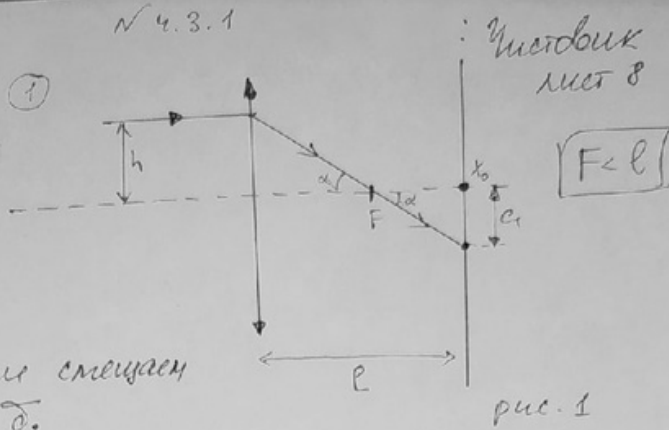
$$\Delta = 1 \text{ см}$$

Найти  $f$

Решение:

В со ~~плоскости~~ Земли смещаем линзу <sup>вверх</sup> ~~вниз~~ на  $\delta$ .

Тогда в со линзы луч сместился на  $\delta$  вниз и экран сместился на  $\delta$  вниз. Глав. опт. ось в со линзы осталась на месте.



(2)

Отметим на экране

точку  $x_0$  (см. рис. 1). После

передвижения

точка  $x_0$  окажется

ниже глав. опт. осц

(см. рис. 2)

Расстояние от  $x_0$  до пятна

сначала было  $c_1$ , а потом

стало  $c_2 - \delta$ .  $\Delta$  определяется

разницей этих расстояний, т.е.:

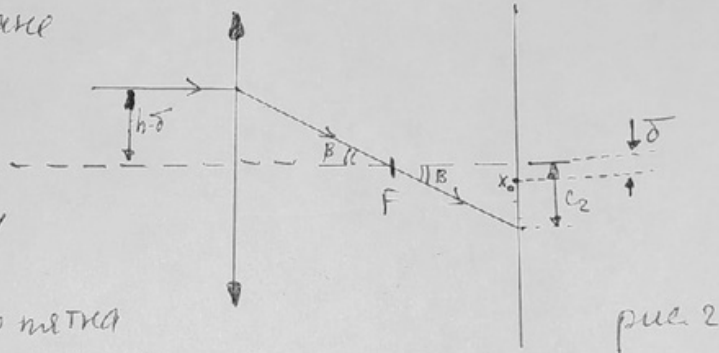
$$\Delta = c_1 - (c_2 - \delta)$$

$$\textcircled{1}: \quad \text{tg } \alpha = \frac{h}{F} = \frac{c_1}{l - F}$$

$$c_1 = \frac{(l - F)h}{F} = \left(\frac{l}{F} - 1\right)h$$

$$\textcircled{2} \quad \text{tg } \beta = \frac{h - \delta}{F} = \frac{c_2}{l - F}$$

$$c_2 = \frac{(h - \delta)(l - F)}{F} = \left(\frac{l}{F} - 1\right)(h - \delta)$$



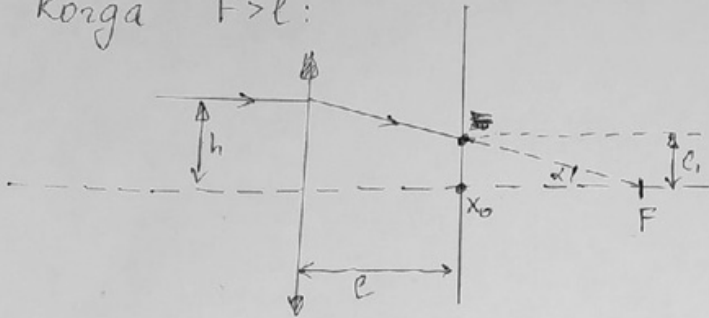
Чистовик  
лист 9

$$\Delta = c_1 - c_2 + \bar{\delta} = \left(\frac{l}{F} - 1\right)h - \left(\frac{l}{F} - 1\right)(h - \bar{\delta}) + \bar{\delta} =$$

$$= \left(\frac{l}{F} - 1\right)\bar{\delta} + \bar{\delta} = \frac{l}{F} \cdot \bar{\delta}$$

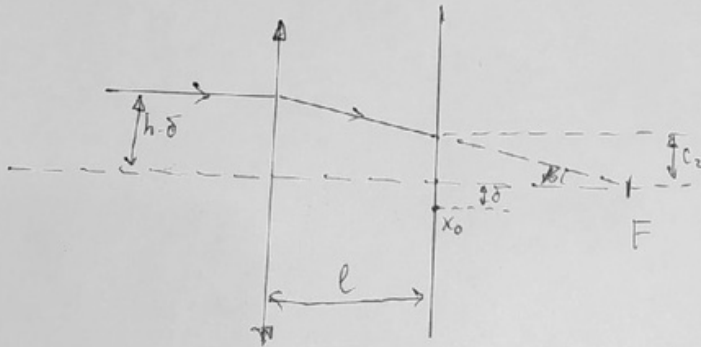
$$F = \frac{l\bar{\delta}}{\Delta} = \frac{20 \cdot 0,5}{1} = \boxed{10 \text{ см}}$$

Когда  $F > l$ :



$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{h}{F} = \frac{c_1}{F - l}$$

$$c_1 = \left(1 - \frac{l}{F}\right)h$$



Аналогично:

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{c_2}{F - l} = \frac{h - \bar{\delta}}{F} ; \quad c_2 = \left(1 - \frac{l}{F}\right)(h - \bar{\delta})$$

$$\Delta = |c_2 + \bar{\delta} - c_1|$$

$$c_2 + \bar{\delta} - c_1 = \left(1 - \frac{l}{F}\right)(h - \bar{\delta} - h) + \bar{\delta} = \bar{\delta} \left(\frac{l}{F} - 1\right) + \bar{\delta} = \bar{\delta} \frac{l}{F} ; \quad \Delta = \bar{\delta} \frac{l}{F}$$

$$F = \frac{l\bar{\delta}}{\Delta} = \frac{1}{2} l = \boxed{10 \text{ см}}, \quad \text{значит } \boxed{F < l}$$

Значит, далее нет смысла рассм. 2 случая  $F > l$  и  $F < l$ , всё одинаково

Ответ: 10 см