МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В. ЛОМОНОСОВА

ОЛИМПИАДНАЯ РАБОТА

Наименование олимпиады школьников: **«Ломоносов»**

Профиль олимпиады: **ФИЗИКА**

ФИО участника олимпиады: **Денисенко Георгий Владимирович**

Класс: 11

Технический балл: **79**

Дата проведения: 25 февраля 2022 года

ШИФР РАБОТЫ 9111732

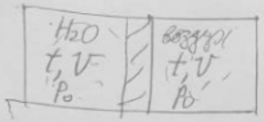
<table>
<tr><th></th><th>1</th><th>2</th><th>3</th><th>4</th><th>∑</th></tr>
<tr><td>Задача</td><td>5</td><td>15</td><td>14</td><td>15</td><td rowspan="2">79</td></tr>
<tr><td>Вопрос</td><td>8</td><td>4</td><td>9</td><td>9</td></tr>
</table>

Чистовик (1)

1.3.1.

~~Вопросы: Импульс системы материальных точек — векторная сумма импульсов всех точек системы. Закон сохранения импульса — импульс системы материальных точек сохраняется в том случае, если равнодействующая всех сил, действующих на систему, равна нулю.~~

2.2.1. Рассмотрим цилиндр до переворачивания:

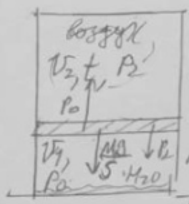


1) По условию пар в этом состоянии насыщен, → его давление $P_{нп}(t)$. Как известно, $P_{нп}(100°) = P_0$, где P_0 — атмосферное давление.

2) Т.к. поршень находится в равновесии, то давления слева и справа от него равны, → давление воздуха тоже P_0.

3) Ур-е Менделеева-Клапейрона для воздуха: $P_0V = \nu_в Rt$; $\nu_в = \frac{P_0V}{Rt}$ (1)

Рассмотрим цилиндр после переворачивания:



4) Т.к. t = const, то давление пара будет также P_0, т.к. пар остаётся насыщенным, потому что его объём уменьшили, а при уменьшении объёма пара при той же температуре влажность повышается, однако она и так максимальна, → пар остаётся насыщенным.

5) Условие равновесия для поршня: $\frac{Mg}{S} + P_2 = P_0$, где P_2 — давление воздуха в этом состоянии. $P_2 = P_0 - \frac{Mg}{S}$ (3)

6) Ур-е Менделеева-Клапейрона для воздуха в этом состоянии: $P_2V_2 = \nu_в Rt$ (2). Из $\left.\begin{matrix}(1)\\(2)\\(3)\end{matrix}\right\} \rightarrow \left(P_0 - \frac{Mg}{S}\right)V_2 = P_0V$

Чистовик

2

$V_2 = V_0 \cdot \frac{P_0}{P_0 - \frac{mg}{S}}$.

Тогда поршень сместился на $x = \frac{V_2 - V_0}{S}$.

$x = \frac{V_0}{S}\left(\frac{P_0}{P_0 - \frac{mg}{S}} - 1\right) = \frac{V_0}{S} \cdot \frac{mg}{S(P_0 - \frac{mg}{S})}$

$\cancel{x = \frac{Mg V_0}{S(P_0 S - Mg)}}$. $\cancel{x =}$ $\boxed{x = \frac{mg V_0}{S(P_0 S - mg)}}$, $V_0 = V$

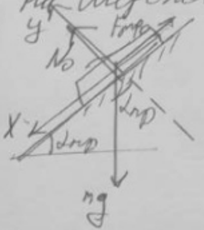
$x = \frac{5 \cdot 10 \cdot 10^{-3}}{10^{-2}(10^5 \cdot 10^{-2} - 5 \cdot 10)} = \frac{5 \cdot 10^{-2}}{10^{-2}(10^3 - 50)} = \frac{5}{950} = \frac{1}{190} \approx 0{,}054(м) = 5{,}4(см)$

Вопросы: Относительная влажность воздуха – отношение давления воздуха в данном состоянии к его давлению, когда он насыщен. (Либо отношение его плотностей в этих состояниях)

Влажность воздуха – его плотность в данном состоянии.

Ответ: $x \approx 5{,}4$ см.

35.1 Рассмотрим пластинку, когда она целиком находится на шероховатой пов-ности:



1) Введём оси координат Ox и Oy как на рисунке

2) 2 ЗН для пластинки на Ox: $mg \cdot \sin\alpha_{тр} = F_{тр_0}$ (1) т.к $a_x = 0$ по условию

3) 2 ЗН для пластинки на Oy: $mg \cdot \cos\alpha_{тр} = N_0$ (2)

4) Т.к. пластинка покоится, то $F_{тр_0} \le \mu N_0$ (3)

$\left.\begin{matrix}(1)\\(2)\\(3)\end{matrix}\right\} \rightarrow mg \cdot \sin\alpha_{тр} \le \mu mg \cdot \cos\alpha_{тр}$; $\mu \ge tg\alpha_{тр}$. При увеличении угла растёт $mg \sin\alpha$, $\rightarrow$ при $\alpha > \alpha_{тр}$ пластинка начнёт скатываться, $\rightarrow \mu = tg\alpha_{тр}$,

Черновик

(11)

Машинка: $N + \frac{\mu M g}{n} \cdot \upsilon_x(t) = \frac{M}{n} \cdot \frac{d\upsilon_x \cdot \mu g \cdot \upsilon(t)}{n \cdot du_x}$

$N + \frac{\mu M g}{n} \cdot \upsilon_x(t) = \frac{\mu M g \cdot d\upsilon_x \cdot \upsilon(t)}{n^2 \cdot du_x}$;

$\frac{nN}{\mu M g} + \upsilon_x(t) = \frac{d\upsilon_x}{du_x n^2} \cdot \upsilon(t)$ $\cancel{M \cdot du} =$ $du_x A = -d\upsilon_x$

$\cancel{M \cdot d}$ $\frac{M \cdot d\upsilon_x}{n} = M \cdot du$; $\frac{d\upsilon_x}{du_x} = n$ $\cancel{S_{отн x}} = S_{m x} + S_{g x}$

$\rightarrow \frac{nN}{\mu M g} + \upsilon_x(t) = \frac{\upsilon(t)}{n}$; $S_{m x} = S_{g x} + S_{отн x}$;

$dS_{m x} = -n \cdot dS_{g x}$

$d\upsilon_x = -n\, du_x$

$a_{m x} = -n \cdot a_{g x}$

$S_{отн x} = S_{m x} - S_{g x}$

$\cancel{dS_{m x}}$ $du_x A = -d\upsilon_x / dt$

$n \cdot dS_{g x} = -dS_{m x}$; $\rightarrow S_{отн x} = S_{m x}(1+n)$

$S_{g x} = \frac{-S_{m x}}{n}$; $\rightarrow S_{отн x} = S_{m x}\left(1 + \frac{1}{n}\right)$

$\cancel{S_{m x} = -n \cdot S_{g x}}$ $N = F_{тр} \cdot \upsilon_x$; $\frac{N}{\upsilon} = F_{тр}$ $N = F_{тяги} \cdot \upsilon$

$F_{тяги} + F_{тр} = \frac{M a_{m x}}{n} = \frac{N}{\upsilon} + \frac{\mu M g}{n}$

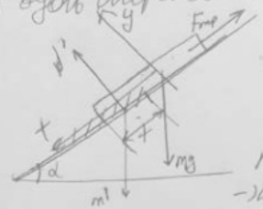
$-\frac{\mu M g}{n} = M a_{g x}$; $-\frac{\mu M g}{n} = \frac{-M a_{m x}}{n}$; $a_{m x} = \mu g$

$\cancel{\rightarrow \frac{N}{\upsilon_x} + \frac{\mu M g}{n} = \frac{\mu M g}{n}}$

1

Чистовик (3)

Рассмотрим пластинку при её скатывании по шероховатой пов-ности в момент, когда она прошла расстояние x вдоль шероховатой пов-ности:



1) Т.к пластинка движется, то $F_{тр} = \mu N'$, где N' - сила реакции опоры, действующая на ту область пластинки, которая находится на шероховатой пов-ности.

2) 2 ЗН для пластинки на Ox: $mg \cdot \sin\alpha - F_{тр} = ma$ (4)

2 ЗН для части пластинки на шероховатой пов-ности на Oy: $m'g \cdot \cos\alpha = N'$, где m' - масса этой части.

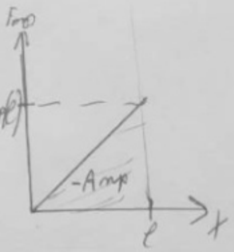
$m' = m\frac{x}{\ell}$, где ℓ - длина всей пластинки.

$\rightarrow N' = mg \cos\alpha \cdot \frac{x}{\ell}$ (5). Тогда $\boxed{F_{тр} = \mu mg \cos\alpha \cdot \frac{x}{\ell}}$

~~(4), (5) $\rightarrow mg \cdot \sin\alpha - mg\cos\alpha \cdot \frac{x}{\ell} = ma$;~~

~~$g \cdot \sin\alpha - \cos\alpha \cdot \frac{x}{\ell} = a$.~~

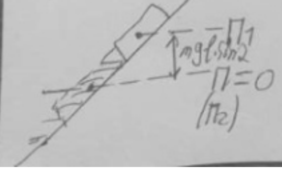
3) Нарисуем график зависимости $F_{тр}(x)$.



~~Как известно~~ 4) Используем З-н об изм-нении энергии от $x=0$ до $x=\ell$:

$A_{тр_0} = П_2 + K_2 - (П_1 + K_1)$. $K_2 = \frac{mV_2^2}{2}$ по условию

$K_1 = 0$ по условию. Пусть $П_2 = 0$. Тогда $П_1 = mg\ell \cdot \sin\alpha$, где $П_1$ и $П_2$ - потенциальные энергии в начальных и конечных положениях соответственно.



$A_{тр_0} = -S_{гр_0}$, где $S_{гр_0}$ - площадь под графиком $F(x)$

Чистовик

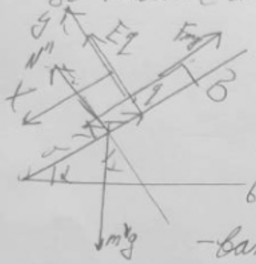
(7)

$S_{тр} = \frac{1}{2} \cdot F_{тр}(l) \cdot l = \frac{1}{2} \cdot \mu m g \cdot \cos\alpha \cdot l$

$\left.\begin{array}{l} \rightarrow A_{тр} = \frac{-\mu m g \cos\alpha\, l}{2} \\ A_{тр} = \frac{m v_1^2}{2} - m g l \sin\alpha \end{array}\right\} \rightarrow m\left(g l \sin\alpha - \frac{v_1^2}{2}\right) = \frac{\mu m g \cos\alpha \cdot l}{2}$

$$\boxed{v_1^2 = 2 g l \sin\alpha - \mu g \cos\alpha \cdot l \ (6)}$$

Рассмотрим движение пластинки, когда ее заряд q, а пов-ная плотность заряда плиты σ (пусть пластинка ~~еще~~ также сместилась на x по шероховатой пов-ности):



4) теперь на пластинку вдоль Oy также действует сила Eq со стороны плиты

5) Для большой пластины $E = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}$

6) тогда для части пластинки на шероховатой пов-ности, $m'' g \cdot \cos\alpha - N'' - E\Delta q = 0$

$N'' = m g \cdot \cos\alpha \cdot \frac{x}{l} - \frac{\sigma q}{2\varepsilon_0}$; $F_{тр} = \mu N'' = \mu\left(m g \cdot \cos\alpha \frac{x}{l} - \frac{\sigma q}{2\varepsilon_0}\right)$,

~~но при x=0, $F_{тр}=0$.~~ где Δq – заряд этой части, $\Delta q = q\frac{x}{l}$, т.к заряд распределен равномерно, $\rightarrow F_{тр}(x) = \frac{\mu x}{l}\left(m g \cdot \cos\alpha - \frac{\sigma q}{2\varepsilon_0}\right)$

7) З-н об изменении энергии в этом случае от $x=0$ до $x=l$:

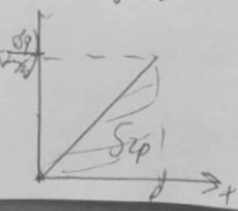
$A_{тр} = \frac{m v_2^2}{2} - m g l \cdot \sin\alpha$

$A_{тр} = -S_{тр}$. Нарисуем зависимость $F_{тр}(x)$ в этом случае.

$A_{тр} = \cancel{\frac{\mu m g\, l}{2}} \frac{\mu l}{2}\left(m g \cdot \cos\alpha - \frac{\sigma q}{2\varepsilon_0}\right) = -\frac{\mu l}{2}\left(m g \cdot \cos\alpha - \frac{\sigma q}{2\varepsilon_0}\right)$

$\rightarrow \frac{\mu l}{2}\left(m g \cdot \cos\alpha - \frac{\sigma q}{2\varepsilon_0}\right) = m g l \cdot \sin\alpha - \frac{m v_2^2}{2}$

$\mu m g l \cdot \cos\alpha - \frac{\mu \sigma q l}{2\varepsilon_0} = 2 m g l \cdot \sin\alpha - m v_2^2$



Чистовик (5)

$\cancel{v_2^2 = 2gl\sin\alpha - gl\cos\alpha + \frac{3ql}{2\varepsilon_0}}$ (7). $v_2^2 = 2gl\cdot\sin\alpha - \mu g\cos\alpha\cdot l + \frac{\mu 6 q l}{2\varepsilon_0 m}$

$$\frac{(7)}{(6)}:\left(\frac{v_2}{v_1}\right)^2 = \frac{l\left(2g\cdot\sin\alpha - g\mu\cos\alpha + \frac{\mu 6 q}{2\varepsilon_0 m}\right)}{l(2g\cdot\sin\alpha - \mu g\cdot\cos\alpha)} = \frac{2g\sin\alpha - \cos\alpha\cdot\mu g + \frac{6q\cdot\mu}{2\varepsilon_0 m}}{2g\cdot\sin\alpha - \mu g\cdot\cos\alpha}$$

$$\frac{v_1}{v_2} = \sqrt{\frac{2g\cdot\sin\alpha - \mu g\cdot\cos\alpha}{2g\cdot\sin\alpha - \mu g\cdot\cos\alpha + \frac{6q\mu}{2\varepsilon_0 m}}},\ \mu = tg\alpha = \frac{\sin\alpha}{\cos\alpha},$$

$$\rightarrow \boxed{\frac{v_1}{v_2}} = \sqrt{\frac{2g\cdot\sin\alpha - \cancel{\mu g}\,g\cdot\sin\alpha}{2g\cdot\sin\alpha - g\cdot\sin\alpha + \frac{6q}{2\varepsilon_0 m}tg\alpha}} = \sqrt{\frac{g\cdot\sin\alpha}{g\cdot\sin\alpha + \frac{3q}{2\varepsilon_0 m}tg\alpha}}$$

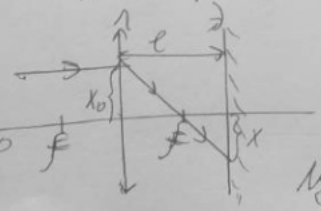
$$\frac{v_1}{v_2} = \sqrt{\frac{10}{2\left(\frac{10}{2} + \frac{3\cdot10^{-6}\cdot3\cdot10^{-6}}{2\cdot9\cdot10^{-11}\cdot10^{-7}}\cdot\sqrt{3}\right)}} = \sqrt{\frac{5}{5+5\sqrt{3}}} = \sqrt{\frac{1}{1+\sqrt{3}}}$$

Вопросы: Электроёмкость – величина, равная отношению заряда конденсатора к напряжению на нём и показывающая, какой заряд может вместить конденсатор при данном напряжении на нём.

$C = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{d}$, где ε-диэлектрическая проницаемость, d-расстояние между обкладками, а S-их площадь.

Ответ: $\frac{v_1}{v_2} = \sqrt{\frac{1}{1+\sqrt{3}}}$.

4.31 Рассмотрим линзу до перемещения.



1) Параллельный пучок света после преломления пройдёт через её фокус.
2) Пусть x-смещение пятна от ГОО, а x_0-смещение параллельного пучка лучей от ГОО до перемещения.

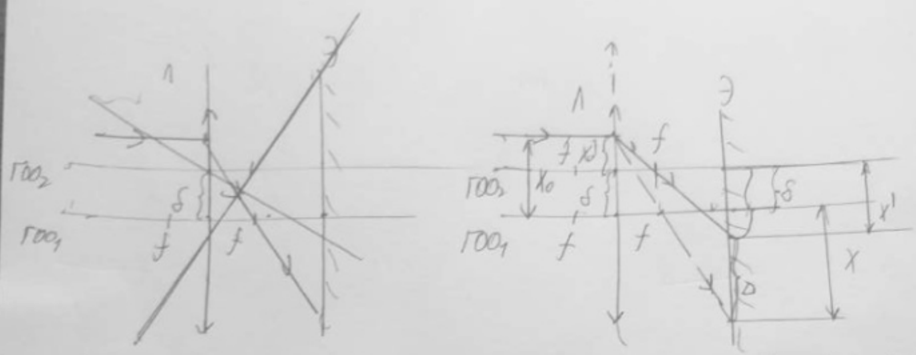
9111732

Чистовик

6

Тогда, из подобия треугольников, $\frac{X}{X_0}=\frac{\ell-f}{f}$ (1)

Рассмотрим ход лучей после смещения линзы (штриховкой показан ход лучей после смещения):



3) После смещения линзы изменится положение её главного оптической ~~центра~~ оси. Теперь она приподнимется относительно первоначального положения на δ. Тогда и лучи будут преломляться таким образом, что они пройдут через фокус, лежащий на новой ГОО₂.

Из рисунка $x_0{}^1=x_0-\delta$ и $X^1=\delta+X-\Delta$, где X^1 и $x_0{}^1$ — ~~рас~~ новые расстояния пятна и параллельного пучка лучей до ~~новой~~ ГОО₂

4) Из подобия треугольников: $\frac{X^1}{x_0{}^1}=\frac{\ell-f}{f}=\frac{X+\delta-\Delta}{x_0-\delta}$ (2)

(1)=(2): $\frac{X+\delta-\Delta}{x_0-\delta}=\frac{X}{x_0}$; $\cancel{Xx_0}+x_0\cdot\delta-x_0\cdot\Delta=\cancel{Xx_0}-X\delta$

$X=x_0\cdot\frac{\Delta-\delta}{\delta}$ (3)

(1), (3) $\Rightarrow \frac{\ell-f}{f}=\frac{\Delta-\delta}{\delta}$; $\frac{\ell}{f}-1=\frac{\Delta}{\delta}-1$; $f=\frac{\ell\delta}{\Delta}$.

Чистовик

(7)

$F = \frac{20 \cdot 0{,}5}{1} = 10 \text{(см)}.$

Вопросы: Фокусное расстояние линзы — расстояние от главного оптического центра линзы до точки, в которой сходится параллельный пучок лучей после попадания на линзу.
Оптическая сила тонкой линзы — величина, обратная её фокусному расстоянию.

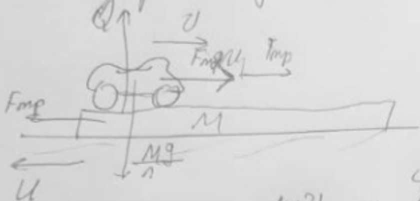
Ответ: 10 см.

$\boxed{1.3.1}$ Вопросы: Импульс системы материальных точек — векторная сумма импульсов всех точек системы.
Закон сохранения импульса: импульс системы материальных точек сохраняется, если равнодействующая всех сил, действующих на систему, равна нулю.

Черновик. (8)

$\boxed{1.31}$

~~Вотр~~ векторная сумма импульсов каждой точки



$N = F_{тяг} \cdot v$

$F_{тяги} = F_{тр} = \frac{\mu Mg}{n}$ ← т.к. колёса проскальзывают!

$N = \mu Q v$

$Q = \frac{Mg}{n}; \to N = \frac{\mu M g v}{n}; \; v = \frac{Nn}{\mu M g}$

Импульс системы в каждый момент равен 0:

$Mu \quad \vec{M}u = \frac{Mv}{n}; \; v = un, \; \Delta v = n \cdot \Delta u \,|: \Delta t$

$1 \; \Delta S_{авт} = \Delta S_{доски} \cdot n$

Колёса перестанут проскальзывать, когда в СО доски машина будет двигаться с такой же скоростью, как и доска

$F_{тяги} + F_{тр} = \frac{Ma_1}{n}$

$F_{тяги} = \frac{N}{v}$

$\Rightarrow \frac{N}{v} + F_{тр} = \frac{Ma_1}{n}; \; \frac{N}{v} + \frac{\mu M g}{n} = \frac{Ma_1}{n}$

$F_{тр} = \frac{Mg}{Ma_2}; \quad \frac{a_1}{a_2} = n; \; a_1 = a_2 n$

$F_{тр} = \mu \frac{Mg}{n}; \; \frac{\mu g}{n} = a_2!$

$\frac{N}{v} + \frac{\mu M g}{n} = Ma_2 = \frac{\mu M g}{n}$

$\frac{N}{v(t)} + F_{тр} = \frac{M}{n} \cdot \frac{dv}{dt}$

$F_{тр} = \frac{\mu M g}{n}$

$\Rightarrow N + \frac{\mu M g}{n} \cdot v(t) = \frac{M}{n} \cdot \frac{dv \cdot v(t)}{dt}$ — автомобиль

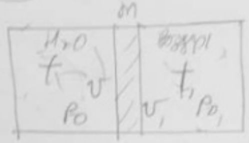
$\frac{\mu M g}{n} = Ma_2; \; \frac{\mu g}{n} = \frac{du}{dt}; \; dt = \frac{n \cdot du}{\mu g}$

Черновик

(9)

(2.2.1)

~~$P_{нп}(t) = P_0!$ ⟶ у воздуха такое~~

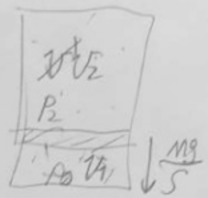


Как известно, $P_{нп}(t) = P_0$, где P_0 - атмосфер-
-ное давление. т.к поршень находится в
равновесии, то давления слева и справо
от него равны, ⟶ у воздуха в этом состоянии такое же давле-
-ние P_0.

Ур-е Мен-Клапейрона для пара: $P_0V = \nu RT$

Ур-е для во

$P_2 + \frac{mg}{S} = P_0$; $P_2 V_2$ ·



$$\begin{array}{r} 190 \\ \times\ 3 \\ \hline 570 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 0{,}00542 \\ \times\ 1190 \\ \hline 1000000 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 190 \\ \times\ 4 \\ \hline 760 \end{array}$$

$5 | 950$

$\frac{1}{190}$ ... $1 | 190$ ... $0{,}00542$

$$\begin{array}{r} -1000 \\ 950 \\ \hline -500 \\ 380 \\ \hline 120 \end{array}$$

(3.5.1)

Когда пластинка целиком на шероховатой пов-ности:

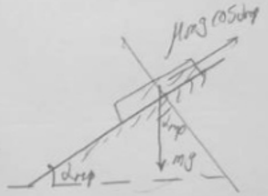
Если пластины не заряжены (произв

момент скольжен

~~$l\ mgl\sin\alpha$~~ ~~$mgl\sin\alpha = \frac{mV_4^2}{2}$~~

$A_{тр} = \frac{mV_4^2}{2} - mgl\sin\alpha.$

$\frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{d}$



$mg\sin\alpha_{пр} = \mu mg\cos\alpha_{пр}$

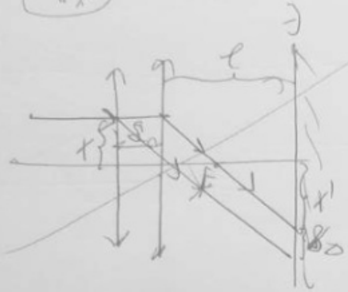
$\mu = tg\,\alpha_{пр} = \frac{1}{\sqrt{3}}$

~~Мб~~

Черновик

10

1.31

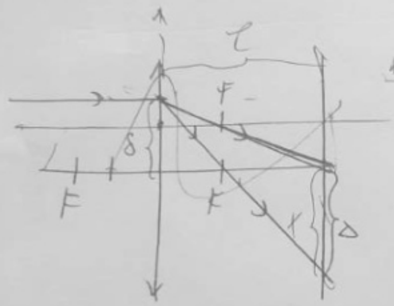


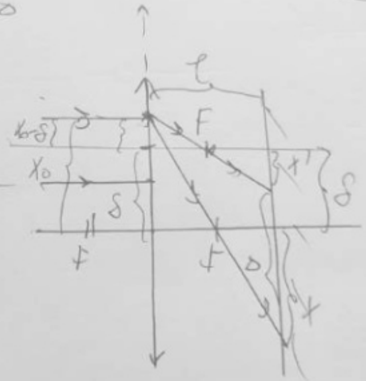
До: $\frac{\cancel{x}\,x'}{x} = \frac{l-f}{f}$ (2)

После: $\frac{x'+D}{x} = \frac{l+\delta-f}{f}$ (1)

$\left.\begin{matrix}(1)\\(2)\end{matrix}\right\} \to 1+\frac{D}{x'} = \frac{l+\delta-f}{l-f}$

$x+\delta = x'+D$; $\boxed{x' = x+\delta-D}$





До: $\frac{x}{x_0} = \cancel{\frac{l-f}{f}}\ \frac{l-F}{F}$ (1)

После: $\frac{l-F}{F} = \frac{x'}{x_0-\delta} = \frac{x+\delta-D}{x_0-\delta}$ (2)

$(1)=(2)$: $\frac{x}{x_0} = \frac{x+\delta-D}{x_0-\delta}$; $\cancel{x x_0} - x\cdot\delta = \cancel{x x_0} + x_0\delta - x_0\cdot D$

$x\cdot\delta = x_0(D-\delta)$; $x = x_0\cdot\frac{D-\delta}{\delta}$