0 814352 470004

81-43-52-47
(48.1)

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени М.В.ЛОМОНОСОВА

Вариант 1

Место проведения ОЦ „Команда"
город

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Олимпиада школьников Ломоносов
наменование олимпиады

по физике
профиль олимпиады

Ломакина Максима Андреевича
фамилия, имя, отчество участника (в родительном падеже)

вышел 13^{21}, вернулся 13^{22}

Дата

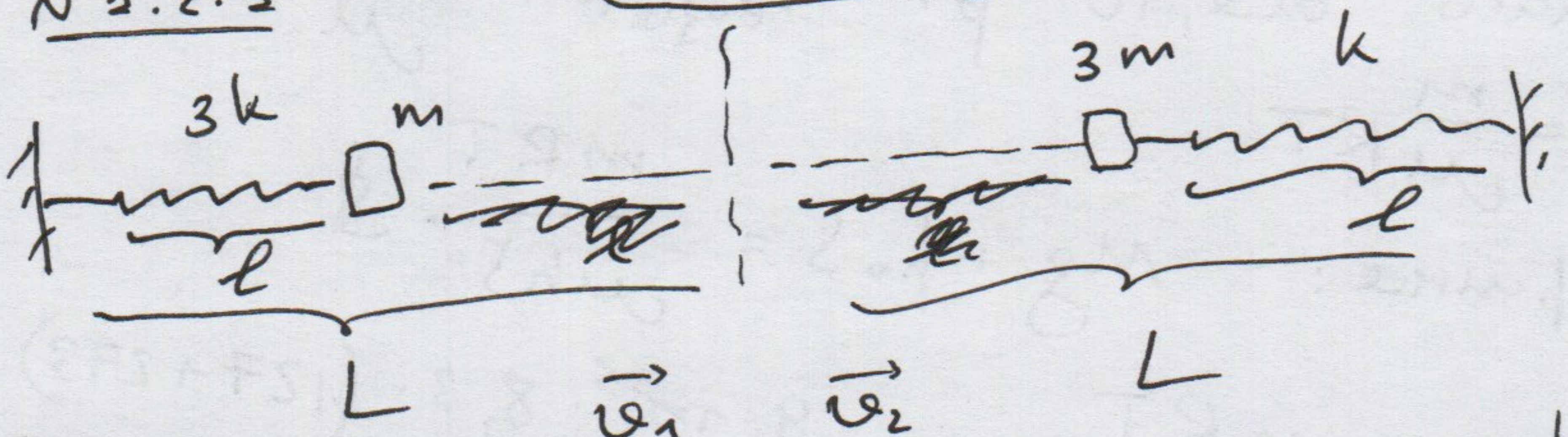
«5» марта 2023 года

Подпись участника

81-43-52-47 (48.1)

Чистовик

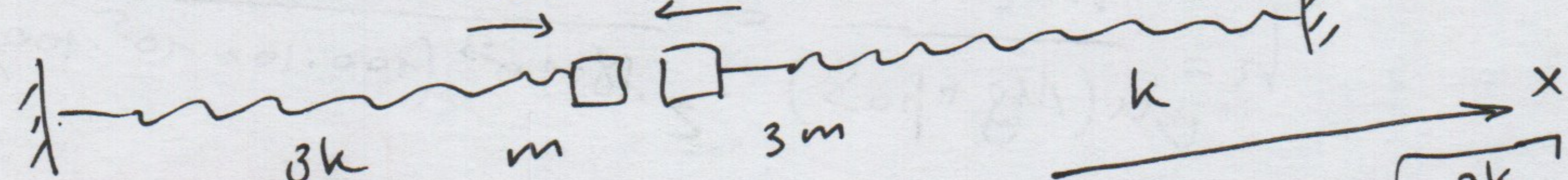
№ 1.2.1



$L = 20$ см

$l = 10$ см

$A - ?$



ЗСЭ: $\frac{3k(L-l)^2}{2} = \frac{m v_1^2}{2}$; $v_1 = (L-l)\sqrt{\frac{3k}{m}}$

ЗСЭ: $\frac{k(L-l)^2}{2} = \frac{3m v_2^2}{2}$; $v_2 = (L-l)\sqrt{\frac{k}{3m}}$

Найдём скорость слипшихся грузов

ЗСИ: ox: $m v_1 - 3m v_2 = (m+3m)v$

$v_1 - 3v_2 = 4v$; $(L-l)\sqrt{\frac{3k}{m}} - 3\cdot(L-l)\sqrt{\frac{k}{3m}} = 4v$

$(L-l)\sqrt{\frac{3k}{m}} - (L-l)\sqrt{\frac{3k}{m}} = 0 = 4v$

$v = 0$, т.е., слипшись, грузы остановятся, т.е. $A = 0$

$\boxed{\text{Ответ: } A = 0}$

№ 2.9.1

$M = 100$ кг

$m = 9$ г

$t_0 = 0$ °C

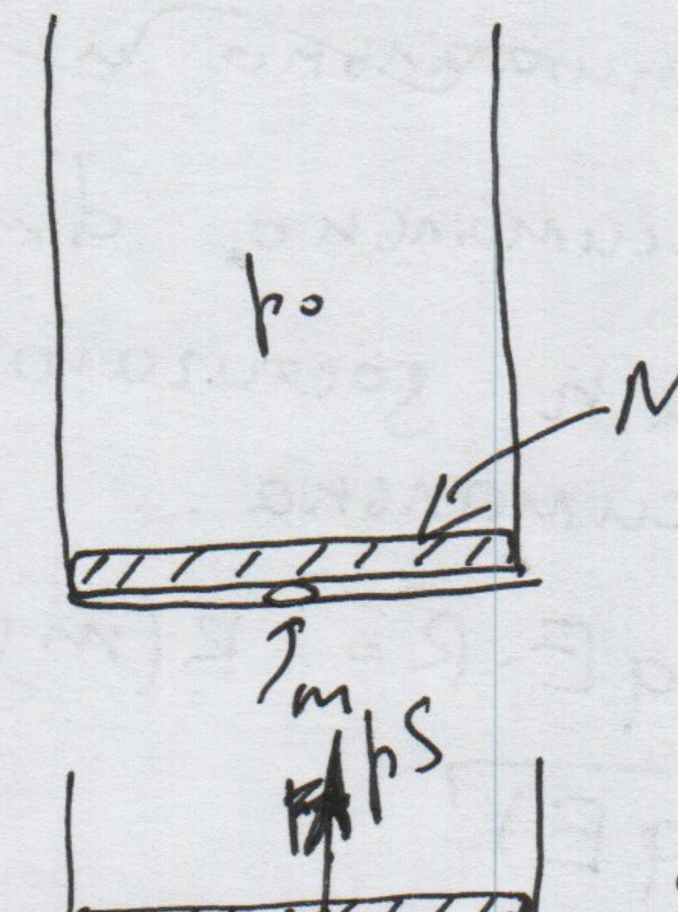
$t = 127$ °C

$p_н = 2{,}5 \cdot 10^5$ Па

$p_0 = 10^5$ Па

$\mu = 18 \cdot 10^{-3}$ кг/моль

$h - ?$



при $t_0 = 0$ °C давление насыщенных паров воды очень мало, поэтому поршень ~~практически лежит~~ практически лежит на дне трубы.

если вода испарилась не вся, то $p = p_н$ тогда, т.к. поршень в равновесии: $p_н S = p_0 S + Mg$

$2{,}5 \cdot 10^5 \cdot 100 \cdot 10^{-4} > 10^5 \cdot 100 \cdot 10^{-4} + 100 \cdot 10$

т.е. вода испарилась все ~~и дальнейш...~~

1	2	3	4	5	
2	20	20	13	20	75

чистовик

т.к. вода испарилась вся, то $pV = \nu_{воды} RT = \frac{m}{\mu} RT$

$$p \cdot hS = \frac{m}{\mu} RT$$

из равновесия поршня: $Mg + p_0 S = \frac{mRT}{\mu h \cancel{S}} \cdot \cancel{S}$

$$h = \frac{mRT}{\mu(Mg + p_0 S)} = \frac{9 \cdot 10^{-3} \cdot 8,3 \cdot (127 + 273)}{\cancel{18 \cdot 10^{-3}}_{2} (100 \cdot 10 + 10^5 \cdot 100 \cdot 10^{-4})} =$$

$$= \frac{8,3 \cdot 400}{2 \cdot 2000} = 0,83 \, (м) = 83 \, (см)$$

$\boxed{Ответ: h = 83 см}$

Решение и ответ верны

20 Котин

№3.9.1

$R = 1 м$

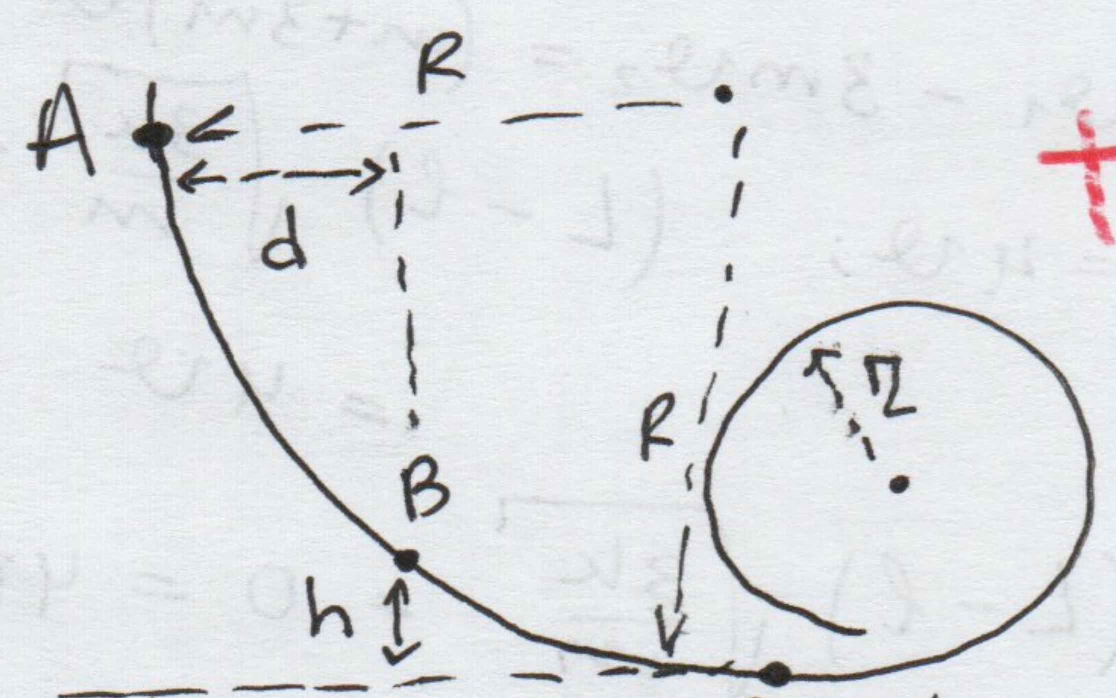
$r = 0,25 м$

$m = 1 г$

$q = 10^{-6} Кл$

$E = 10^3 \frac{В}{м}$

$\vartheta_{max} - ?$



+

Рассмотрим скорость бусинки на дуге окр-сти радиуса R:

$$ЗСЭ: \; mgR + \varphi_A q = \frac{m\vartheta_1^2}{2} + \varphi_B q + mgh$$

+

(движение из т. A в т. B)

$$mgR + qEd = \frac{m\vartheta_1^2}{2} + mgh \qquad \frac{m\vartheta_1^2}{2} = mg(R - h) + qEd$$

+

т.е. чтобы ϑ_1 была максимальна нам нужно ~~чтобы mgh было минимально и qEd максимально~~

$qEd - mgh$ было максимально. $d_{max} = R \quad h_{min} = 0$

эти значения для d и h достигаются в т. C,

т.е. там скорость максимальна.

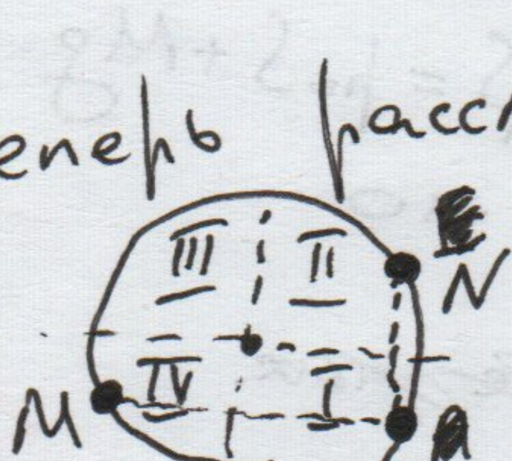
$$\frac{m\vartheta_1^2}{2} = mgR + qE \cdot R = R(mg + qE)$$

±

$$\vartheta_1 = \sqrt{\frac{2R(mg + qE)}{m}}$$

−

теперь рассмотрим кольцо радиуса r:



возьмём произвольную точку D в I, тогда рассмотрим точки

81-43-52-47
(48.1)

Чистовик

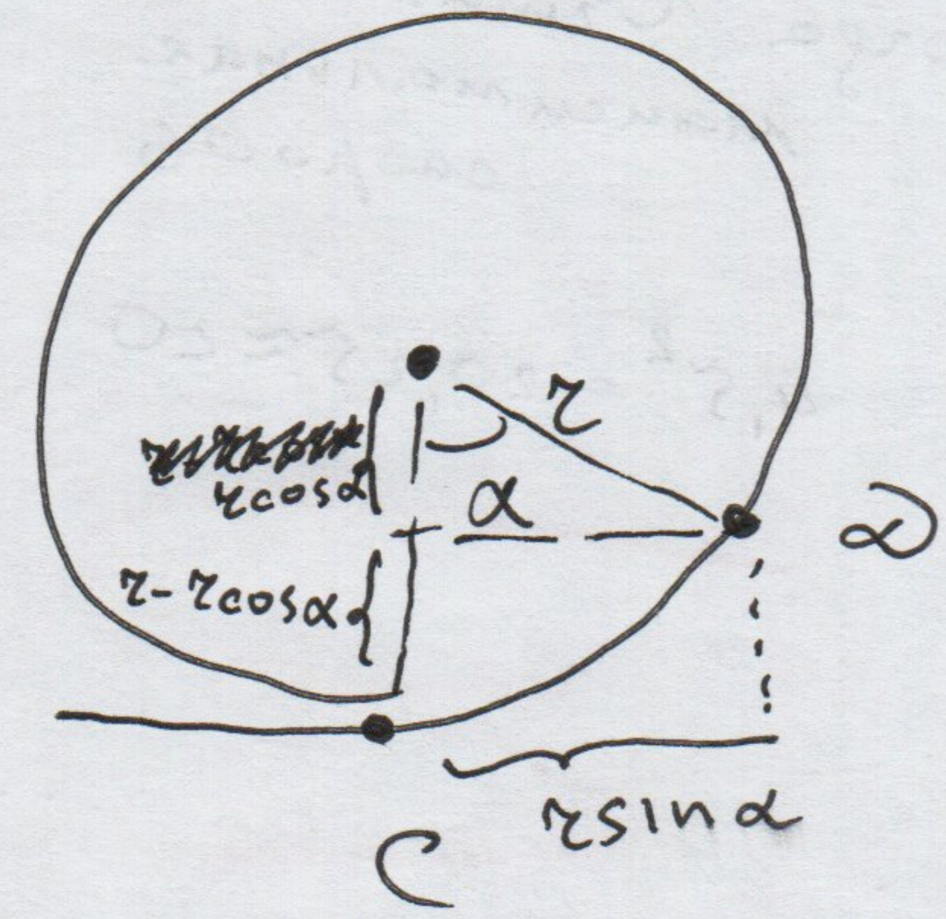
N и M в II и IV. (M лежит на одной высоте с D, а N лежит на одной вертикали с D), тогда

ЗСЭ: из т. C: $\frac{mv_1^2}{2}+0+\varphi_C q = \frac{mv_2^2}{2}+mgH+\varphi_D q$

тогда для точки N $v_2 < v_2$ для т. D, потому что $H_D < H_N$. Для точки M $v_2 < v_2$ для т. D, т.к. ~~при~~ при перемещении горизонтально влево ~~уходя~~ увеличивается потенциал.

Значит для любой точки из II и IV (а тогда и из III) есть точка в I, где скорость больше, т.е. максимум скорости в кольце находится в I., тогда ($\alpha < \frac{\pi}{2}$)

ЗСЭ: $\frac{mv_1^2}{2}+qEr\sin\alpha = \frac{mv_2^2}{2} + mg(r-r\cos\alpha)$



$(v_2)_{max}$, когда $\left(\frac{mv_2^2}{2}\right)_{max}$, т.е. $\left(\frac{mv_2^2}{2}\right)'=0$

$\left(\frac{mv_2^2}{2}\right)' = 0 = 0 + qEr\cos\alpha - 0 - mgr\sin\alpha$

$mg\sin\alpha = qE\cos\alpha$

$\sin\alpha$ $\quad \tg\alpha = \frac{qE}{mg}$

$$\frac{mv_1^2}{2}+qEr\cdot\frac{qE}{\sqrt{(qE)^2+(mg)^2}} = \frac{mv_{2max}^2}{2} + mgr\left(1-\underbrace{\frac{mg}{\sqrt{(qE)^2+(mg)^2}}}_{=\cos\alpha}\right)$$

отсюда выражается v_{2max}, но для более аккуратного подсчёта посчитаем $\tg\alpha = \frac{qE}{mg} = \frac{10^{-6}\cdot 10^3}{1\cdot 10^{-3}\cdot 10} = \frac{1}{10}$ тогда $\sin\alpha = \frac{1}{\sqrt{101}}$ $\cos\alpha = \frac{10}{\sqrt{101}}$

$$\frac{mv_1^2}{2}+qEr\cdot\frac{1}{\sqrt{101}} = \frac{mv_{2max}^2}{2}+mgr\left(1-\frac{10}{\sqrt{101}}\right)$$

Чистовик

$$R(mg+qE)+r\left(qE\cdot\frac{1}{\sqrt{101}}-mg\left(1-\frac{10}{\sqrt{101}}\right)\right)=\frac{m\vartheta_{2max}^2}{2}$$

$$\vartheta_{2max}=\sqrt{\frac{2}{m}\left(R(mg+qE)+r\left(qE\cdot\frac{1}{\sqrt{101}}-mg\left(1-\frac{10}{\sqrt{101}}\right)\right)\right)}$$

$\frac{1}{\sqrt{101}} = \sin\alpha \approx tg\alpha = \frac{1}{10}$ (т.к. α мал)

$\frac{10}{\sqrt{101}} = \cos\alpha \approx 1-\frac{\alpha^2}{2} = 1-\frac{1}{200} \approx 1$

$$\vartheta_{2max}=\sqrt{\frac{2}{10^{-3}}\cdot\left(1\cdot\left(10^{-3}\cdot10+10^{-6}\cdot10^{3}\right)+\frac{1}{4}\left(10^{-6}\cdot10^{3}\cdot\frac{1}{10}-0\right)\right)}=$$

$$=\sqrt{2000\left(10^{-2}+10^{-3}+\underbrace{\frac{10^{-3}}{40}}_{>0}\right)}=$$

>0, т.е. $\vartheta_{2max}>\vartheta_1$

$$=\sqrt{2\left(10+1+\frac{1}{40}\right)}=$$

тогда ϑ_{2max} максимальнае скорость

$$=\sqrt{22+\frac{1}{20}}=$$

$4{,}5^2=20{,}25\approx20$

$$=\sqrt{\frac{441}{20}}=\frac{21}{\sqrt{20}}\approx\frac{21}{4{,}5}=$$

$$=4{,}67\ \left(\frac{м}{с}\right)$$

Ответ: $\vartheta_{max}=4{,}67\ \frac{м}{с}$

+

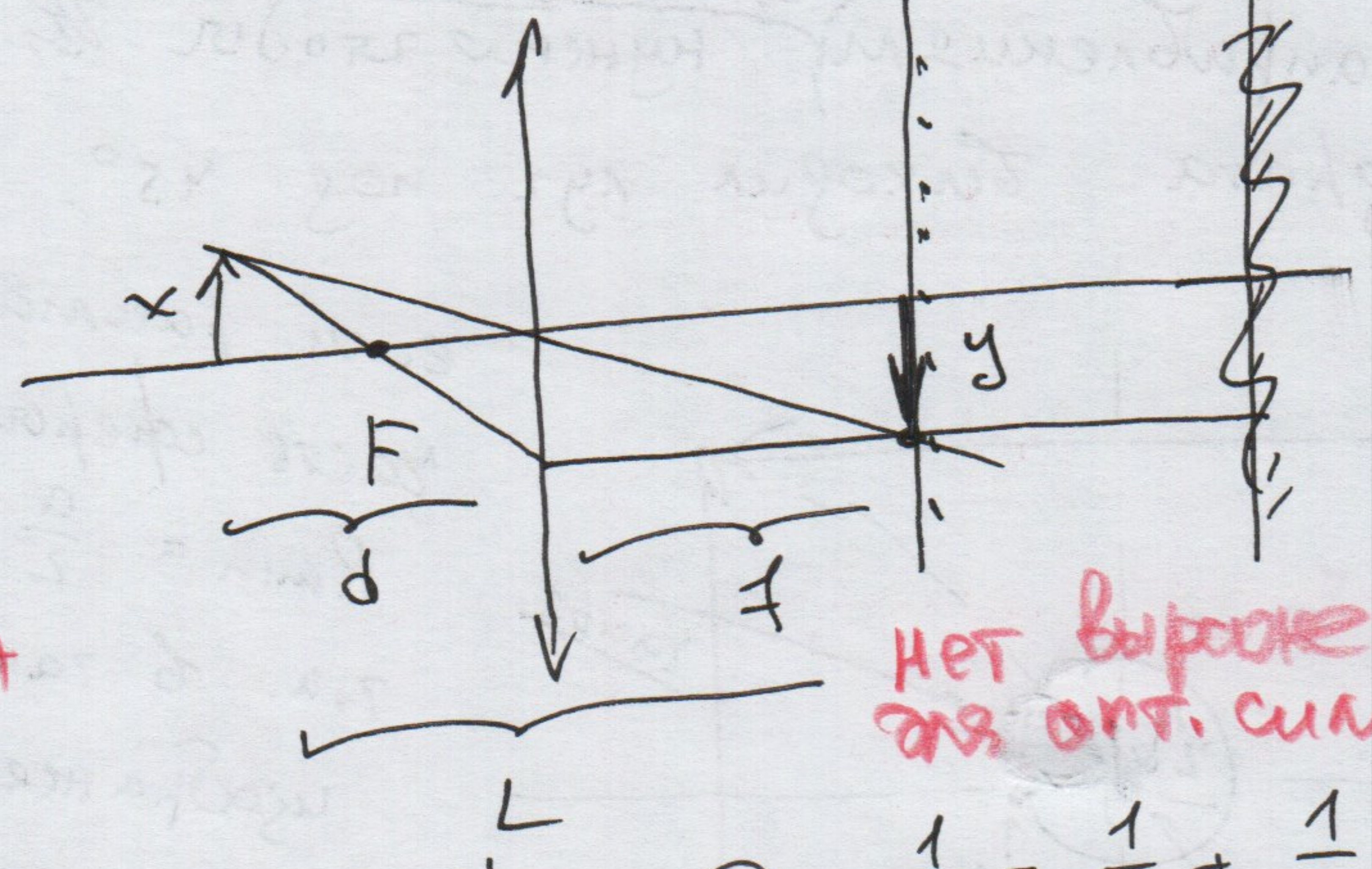
81-43-52-47 (48.1)

№ 4.5.1 | Чистовик

$\Gamma = 3$
$L = 80\text{см}$

$D - ?$

1 вар $\quad d > F$



здесь $d + f = L$

$\Gamma = \frac{y}{x} = \frac{f}{d} = 3$ +

$f = 3d$

$L = 4d; \quad d = \frac{L}{4}; \quad f = \frac{3L}{4};$

$D = \frac{1}{F} = \frac{1}{f} + \frac{1}{d} =$ +

$= \frac{f+d}{fd} = \frac{L}{\frac{3L}{4} \cdot \frac{L}{4}} =$

$= \frac{16}{3L} = \frac{16}{3 \cdot 0{,}8} =$

$= \frac{20}{3} = 6{,}67\ (м^{-1})$

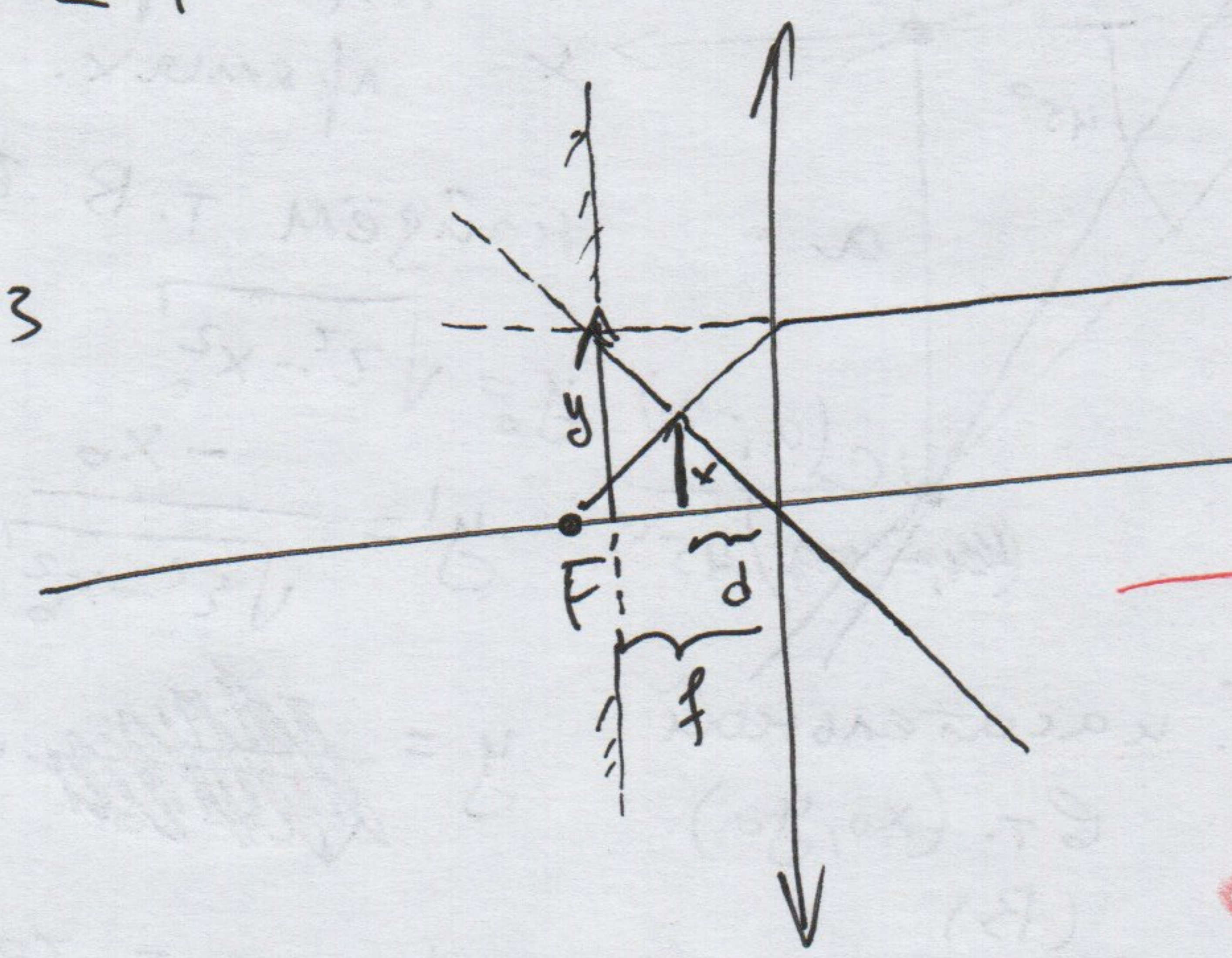
нет выражения для опт. силы (−б)

размерность опт. силы − диоптр (−1б)

2 вар $\quad d < F$

здесь $L = f - d$

$\Gamma = \frac{y}{x} = \frac{f}{d} = 3$



$f = 3d$

$L = 2d;$

$d = \frac{L}{2};$

$f = \frac{3L}{2};$

$D = \frac{1}{F} = -\frac{1}{f} + \frac{1}{d} = -\frac{2}{3L} + \frac{2}{L} =$

$= \frac{4}{3L} = \frac{4}{3 \cdot 0{,}80} = \frac{5}{3} =$

$= 1{,}67\ (м^{-1})$

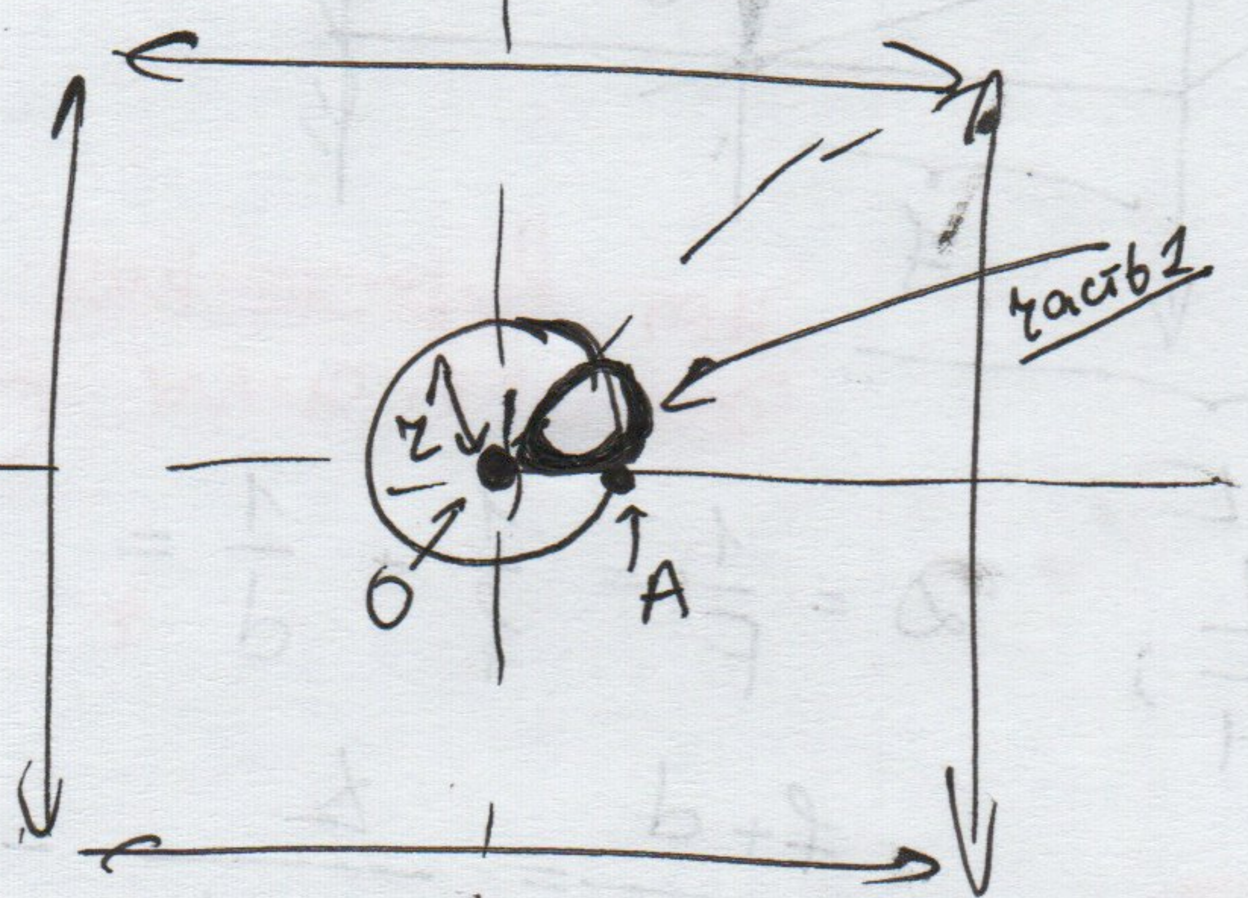
Ответ: $D = 6{,}67\ м^{-1}$ или $D = 1{,}67\ м^{-1}$

Чистовик

№5.3.1

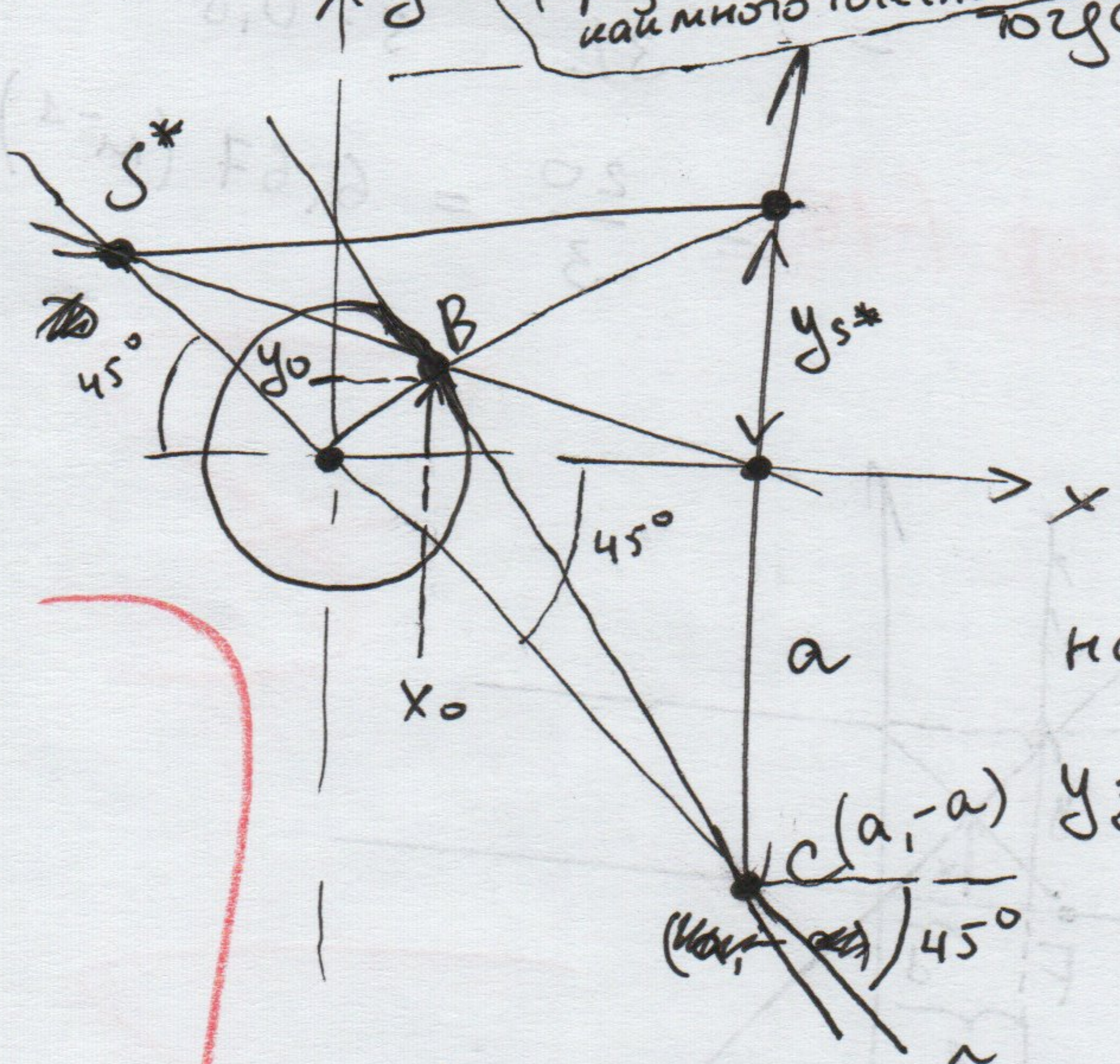
$2a = 4{,}5$ см

Чтобы линза излучала свет по всем направлениям, и чтобы был минимальным, нужно чтобы ~~из~~ из угла квадрата выходил луч под $45°$.



если рассматривать только часть сферы 1, то $R_{min} = \frac{a}{2} = 1{,}25$ см, т.к. в таком случае изображение т. A должно находится в т. O, и тогда $R_{min} = r = \frac{a}{2} = 1{,}25$ см

если рассмотреть самый дальний от угла точечный источник, то это будет: т. B (представляем сферу как много точечных источников)



тогда для этого источника, чтобы луч, проходящий через т. C выходил под $45°$ изображение S^* (предмета B) должно лежать на пересечении трёх прямых.

найдём т. B в координатах xy (BC – касательная к окр-сти)

$$y_0 = \sqrt{r^2 - x_0^2}$$

$$y' = \frac{-x_0}{\sqrt{r^2 - x_0^2}}$$

ур. касательной в т. (x_0, y_0) (B)

$$y = \sqrt{r^2 - x_0^2} - \frac{x_0}{\sqrt{r^2 - x_0^2}}(x - x_0)$$

эта касательная проходит через т. C $(a, -a)$

$$-a = \sqrt{r^2 - x_0^2} - \frac{x_0}{\sqrt{r^2 - x_0^2}}(a - x_0)$$

решая уравнение, получим

$$x_0 = r\,\frac{r + \sqrt{2a^2 - r^2}}{2a}$$

теперь найдём x_0 другим способом: определим координаты S^*

для прямой BS^*: $\frac{x-x_0}{a-x_0} = \frac{y-y_0}{0-y_0}$ $\boxed{\text{Чистовик}}$

$$y(a-x_0) = -y_0 x + y_0 a$$

$$y_{S^*}(a-x_0) = -y_0 x_{S^*} + y_0 a$$

$\Downarrow$

$\frac{y_{S^*}}{a} = \frac{y_0}{x_0}$ $\Rightarrow$ $a - y_0 = 2x_0$

(из подобия)

$\Downarrow$

$y_{S^*} = -x_{S^*}$

(т.к. S^*, O, C лежат на одной прямой)

мы знаем, что, т.к. сфера:

$y_0^2 = r^2 - x_0^2$

$\Downarrow$

$$(a-2x_0)^2 = r^2 - x_0^2$$

решая квадратное ур-ние, получим

$$\underbrace{x_0 = \frac{2a + \sqrt{5r^2 - a^2}}{5}}$$

приравняем x_0: $\frac{r^2 + r\sqrt{2a^2 - r^2}}{2a} = \frac{2a + \sqrt{5r^2 - a^2}}{5}$

$5r^2 + 5r\sqrt{2a^2 - r^2} = 4a^2 + 2a\sqrt{5r^2 - a^2}$ (меньше не подходит, т.к. тогда $\sqrt{5r^2-a^2}$ не существует)

при $a = \frac{2a}{2} = \frac{9}{4}$ см подходит $r = 1$ см:

$$5\cdot 1^2 + 5\cdot 1 \cdot \sqrt{\underbrace{2\cdot\frac{81}{16}}_{8} - 1} = 4\cdot\frac{81}{16} + 2\cdot 1\sqrt{5\cdot 1^2 - \frac{81}{16}}$$

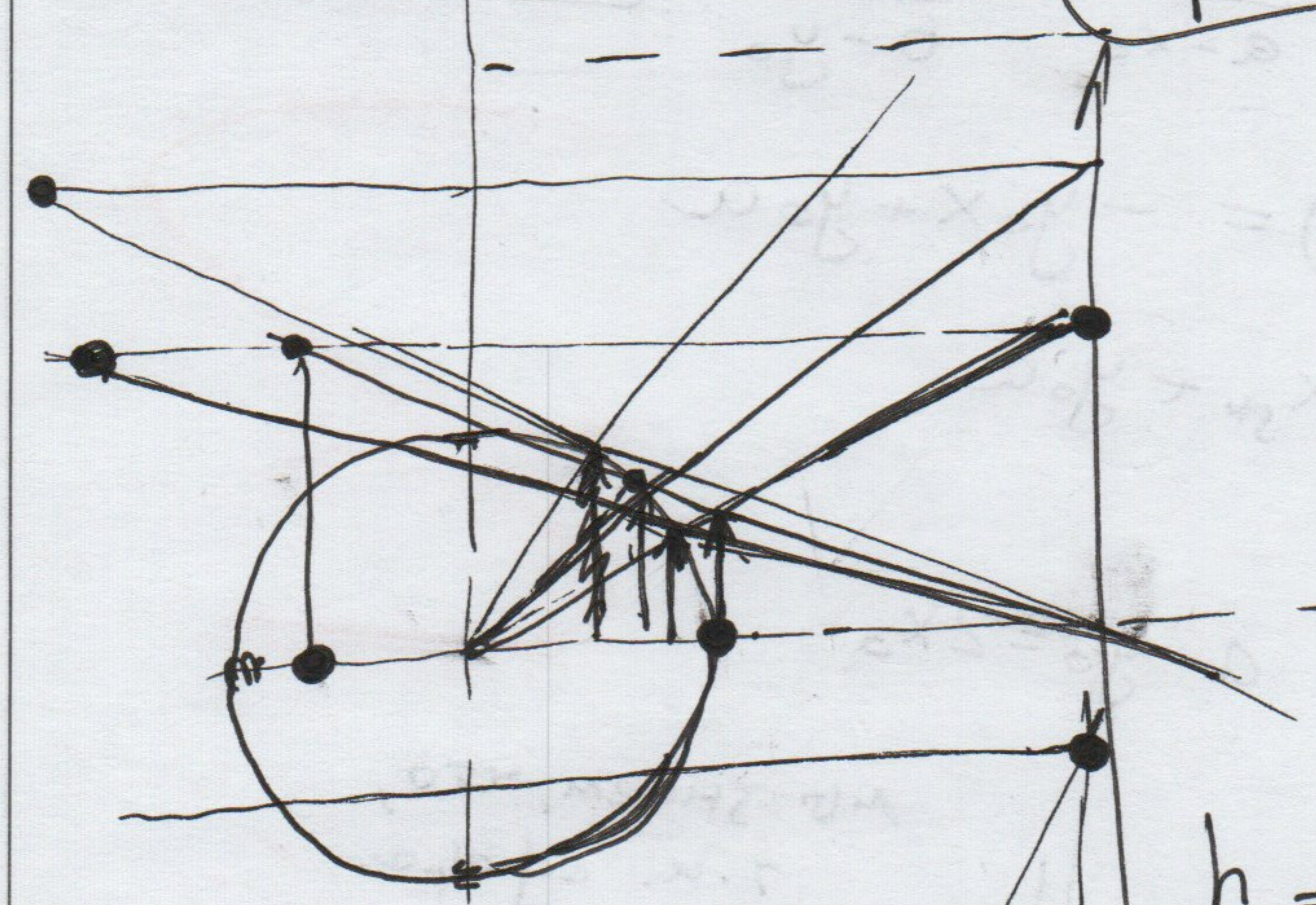
$\sqrt{\ldots} = 9$, $4\cdot\frac{81}{16} = 20$, $\sqrt{\ldots} = 0$

$5 + 5\sqrt{9} = 20 \Leftrightarrow 5 + 15 = 20$ — что верно

значит $R_{min} = \underline{1\text{ см}}$

$\boxed{\text{Ответ: } R_{min} = 1\text{ см}}$

$\boxed{\text{Черновик}}$



$$\frac{h}{a} = \frac{y}{x}; \quad h = \frac{ay}{x}$$

$$\frac{h}{f} = \frac{y}{a-x} \qquad y = \frac{xh}{a} = \sqrt{r^2 - x^2}$$

$$x^2\left(\frac{h}{a}\right)^2 = r^2 - x^2$$

$$x^2\left(1 + \left(\frac{h}{a}\right)^2\right) = r^2$$

$$x\sqrt{\frac{h^2+a^2}{a^2}} = r$$

$$x = \frac{ar}{\sqrt{h^2+a^2}}$$

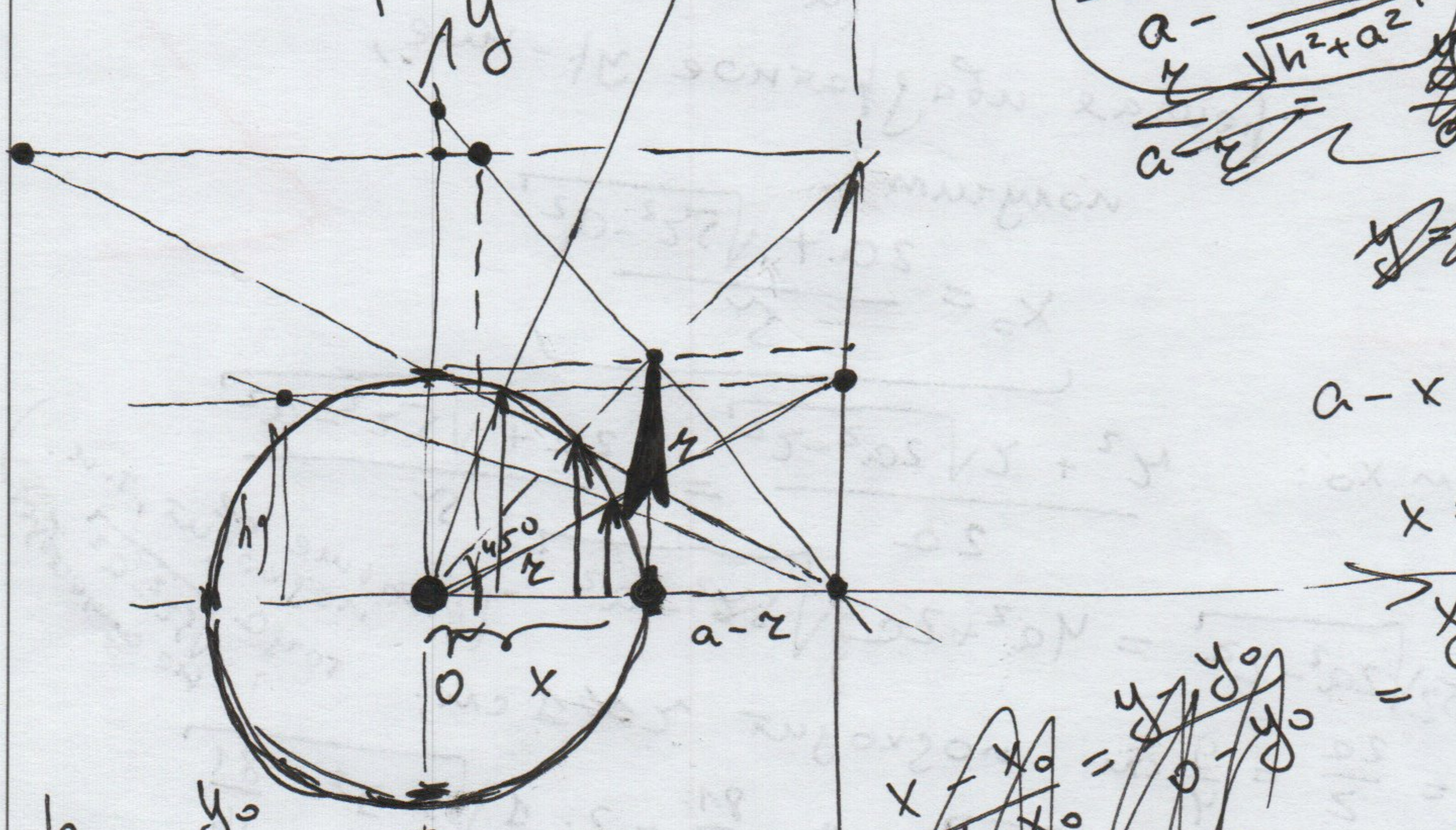
$$\frac{h}{f} = \frac{\frac{xh}{a}}{a-x} = \frac{\frac{ar}{\sqrt{h^2+a^2}}h}{a - \frac{ar}{\sqrt{h^2+a^2}}}$$

$$\cancel{\frac{r}{a-r}} = \frac{a}{a-x}$$

$$\cancel{y = \frac{2a}{a-r}}$$

$$a - x = \frac{a(a-r)}{r}$$

$$x = a - \frac{a(a-r)}{r} = \frac{ar - a^2 + ar}{r} = \frac{2ar - a^2}{r}$$



$$\frac{h}{a} = \frac{y_0}{x_0}$$

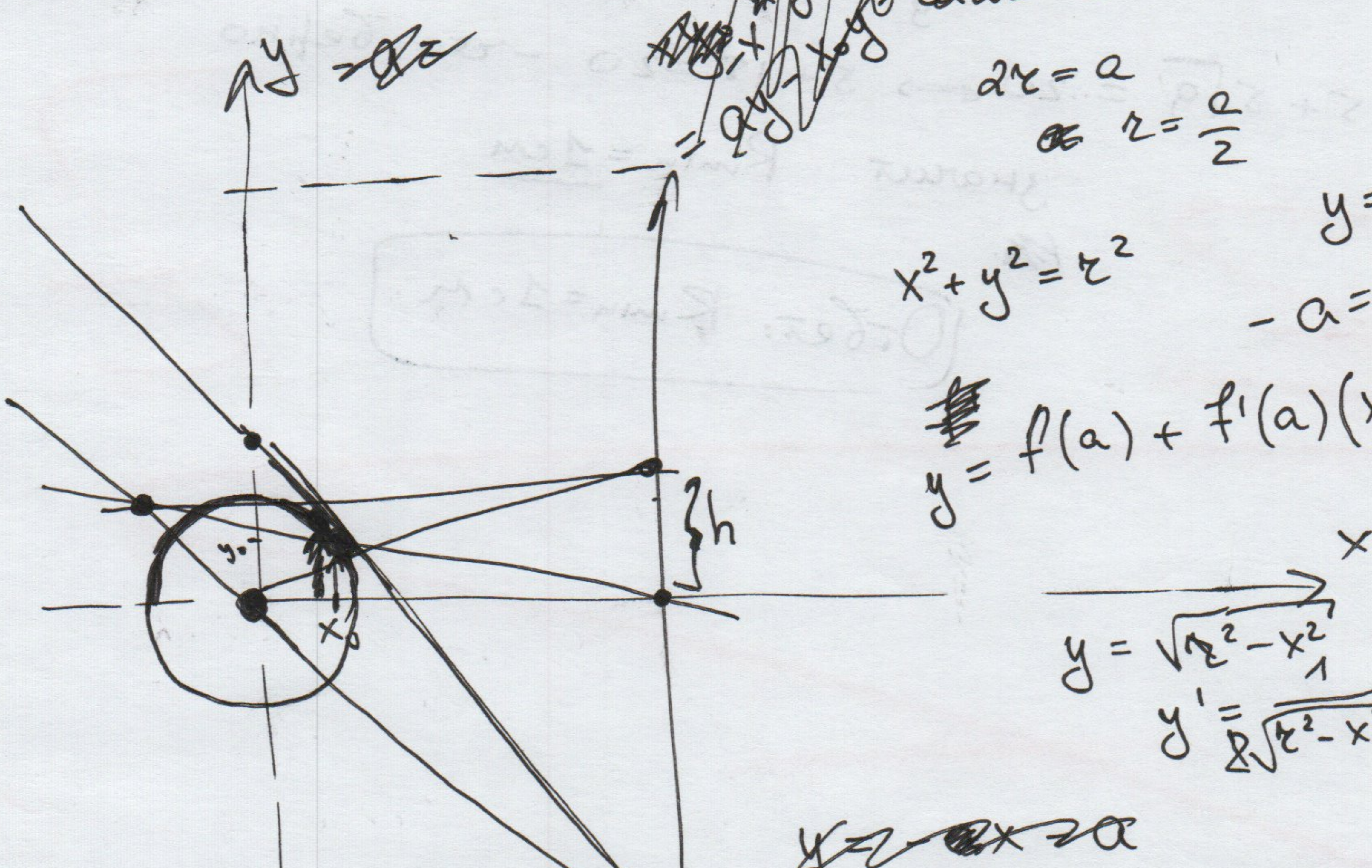
$$\cancel{\frac{x - x_0}{a - x_0} = \frac{y - y_0}{0 - y_0}}$$

$$2ar - a^2 = 0$$

$$2r = a$$

$$r = \frac{a}{2}$$

2



$$y = kx + b$$

$$-a = ka + b$$

$$x^2 + y^2 = r^2$$

$$y = f(a) + f'(a)(x-a)$$

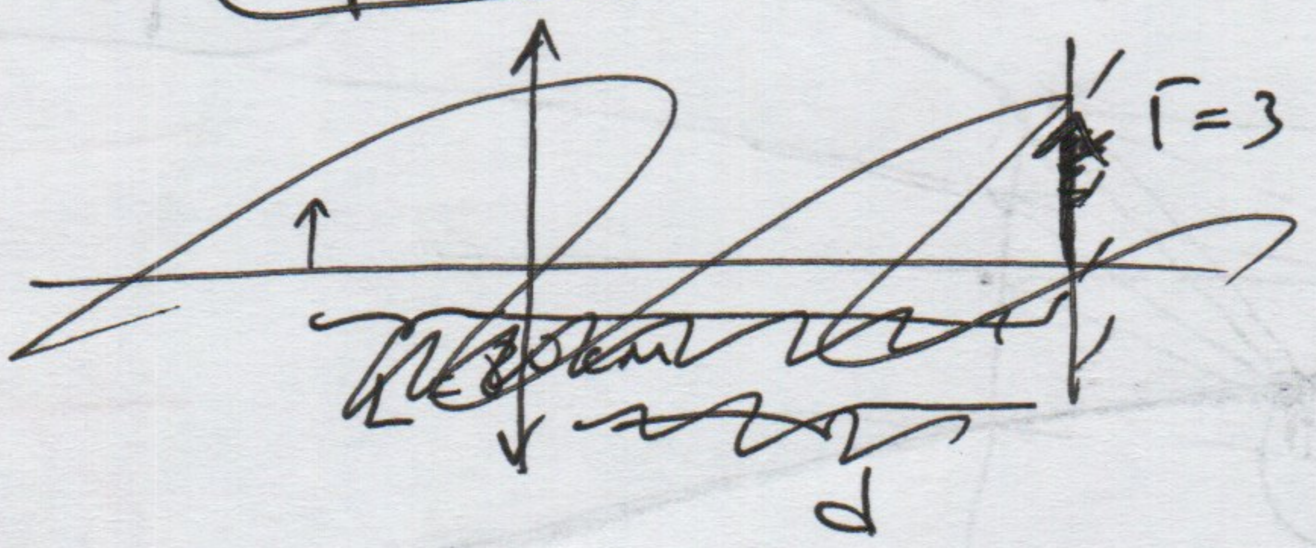
$$y = \sqrt{r^2 - x^2}$$

$$y' = \frac{1}{2\sqrt{r^2-x^2}} \cdot (-2x) = \frac{-x}{\sqrt{r^2-x^2}}$$

$$\cancel{y = r \ldots x \ldots a}$$

$$y = -x$$

Черновик

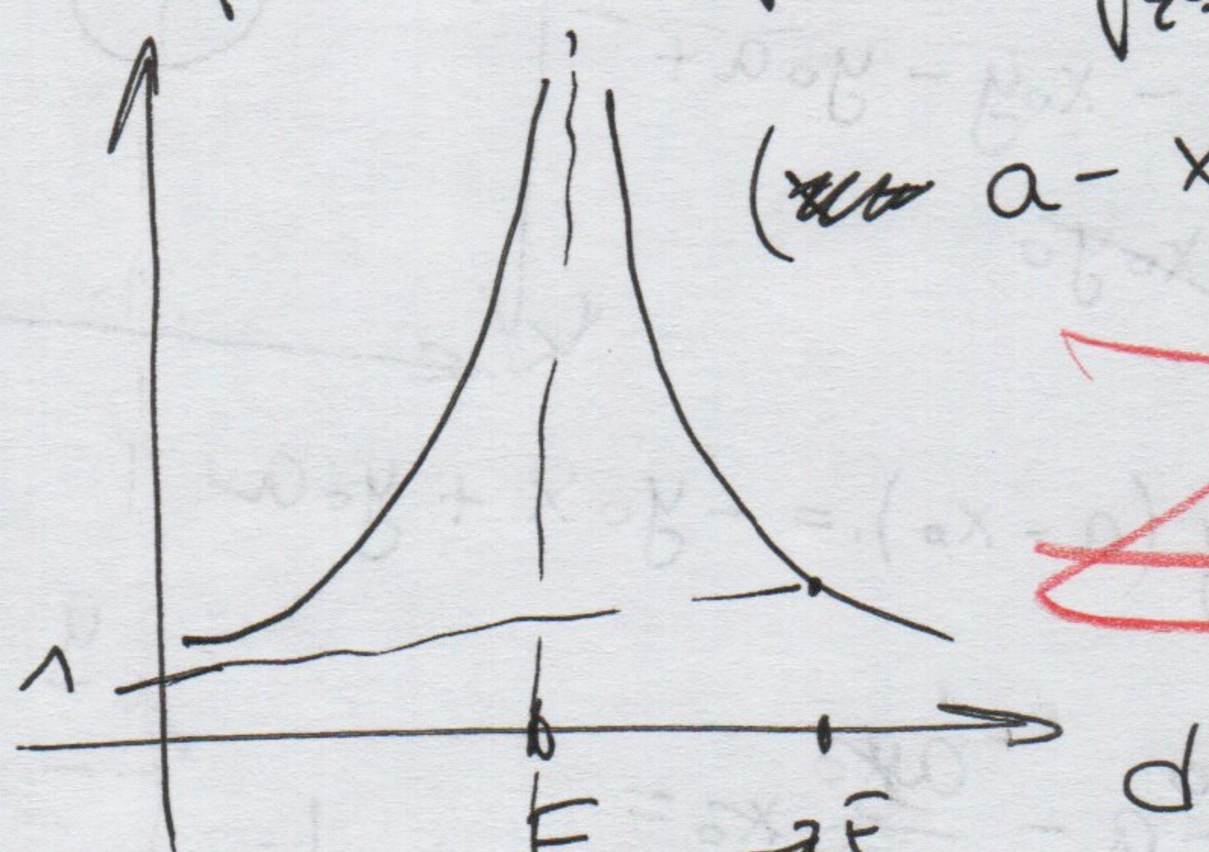


$D = \frac{1}{F}$

$-a = \cancel{\ldots}$

$= \sqrt{r^2-x^2} - \frac{x}{\sqrt{r^2-x^2}}($

$(\cancel{\ldots}\ a - x)$



$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$ $d + f = L$

$\cancel{y(a-x_0) = x y_0 + (y_0 - 2x_0 y_0)}$

$\frac{d}{f} = 3$

$4f = L$

$f = 20$ см

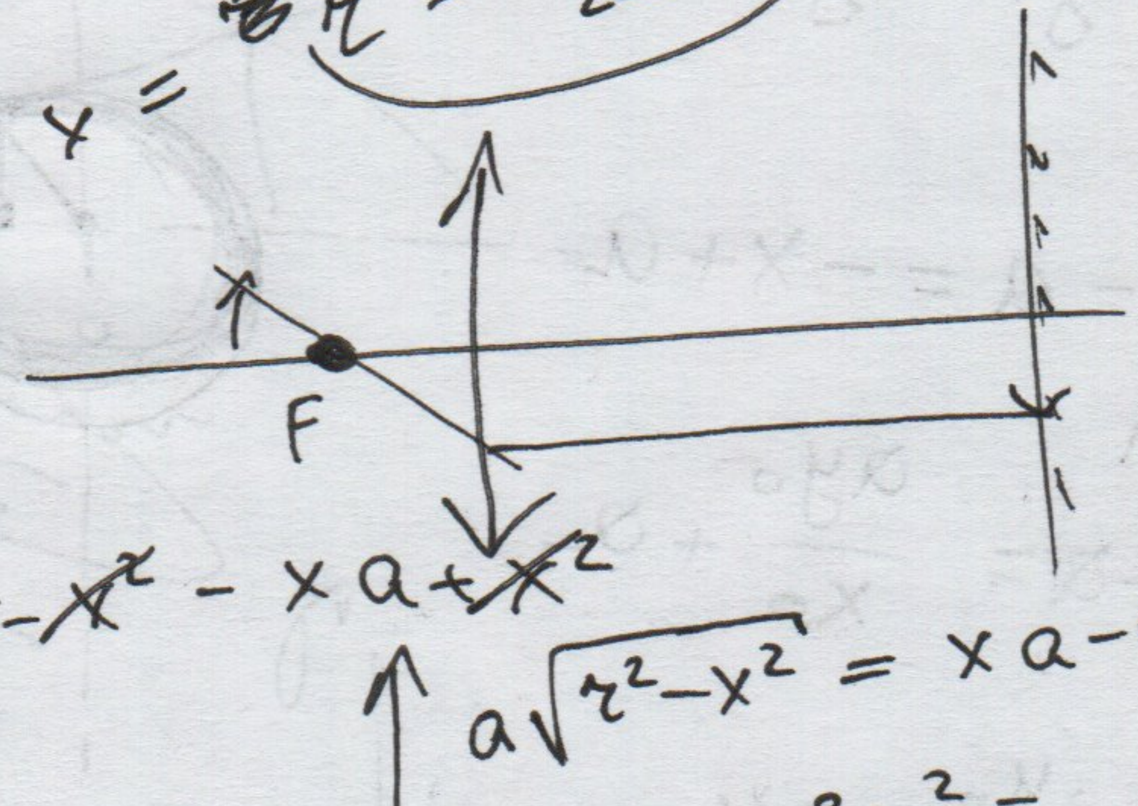
$d + f = L$

$\frac{d}{f} = 3$

$d = 60$ см

$D = \frac{d+f}{df} = \frac{L}{}$

$x = \frac{r + \sqrt{2a^2 - r^2}}{2a} r$

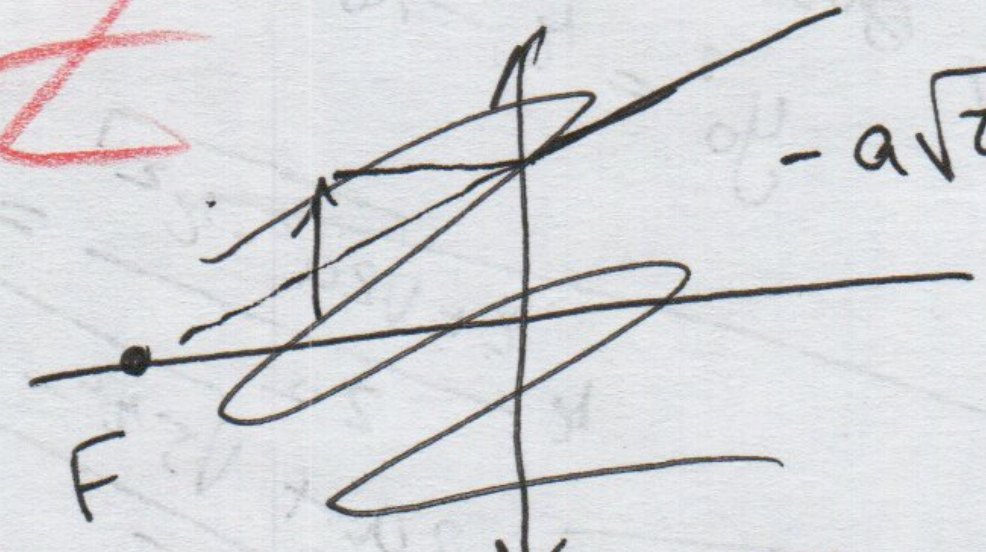


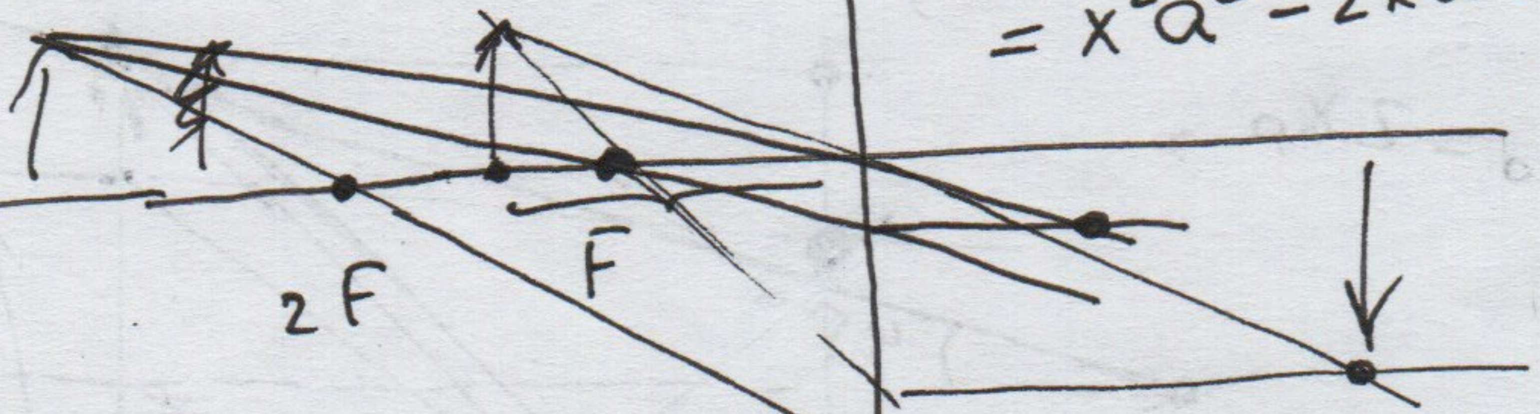
$\cancel{-a = r^2 - x}$

$-a\sqrt{r^2-x^2} = r^2 - \cancel{x^2} - xa + \cancel{x^2}$

$a\sqrt{r^2-x^2} = xa - r^2$

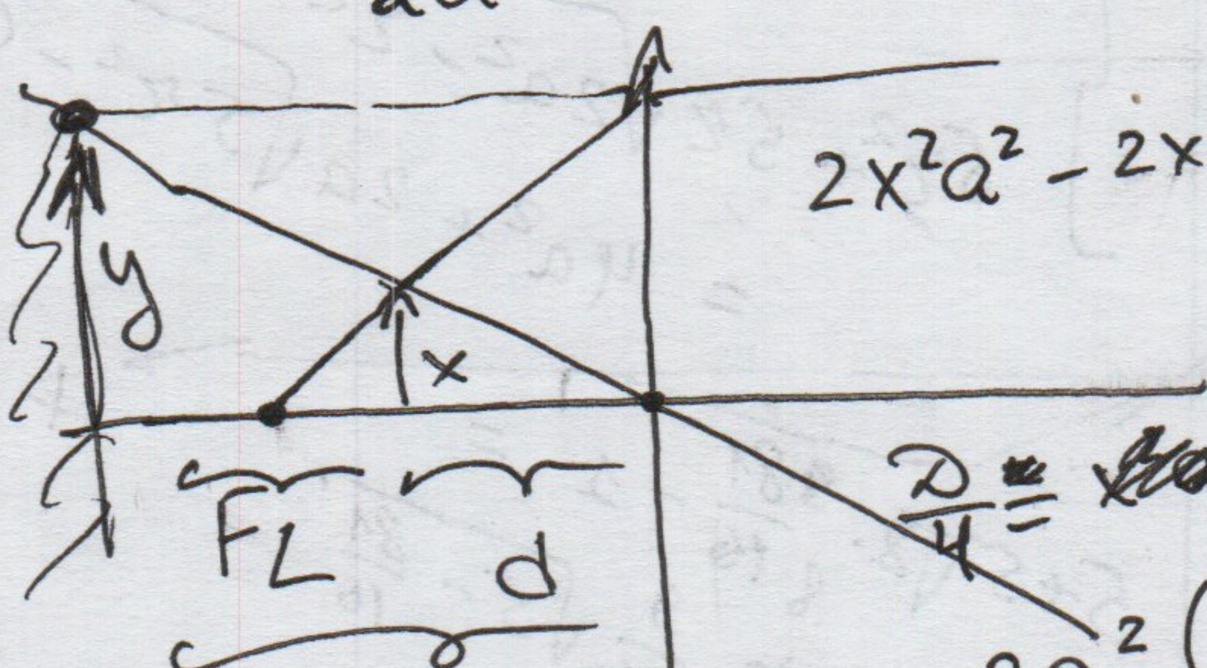
$a^2r^2 - a^2x^2 =$
$= x^2a^2 - 2xar^2 + r^4$





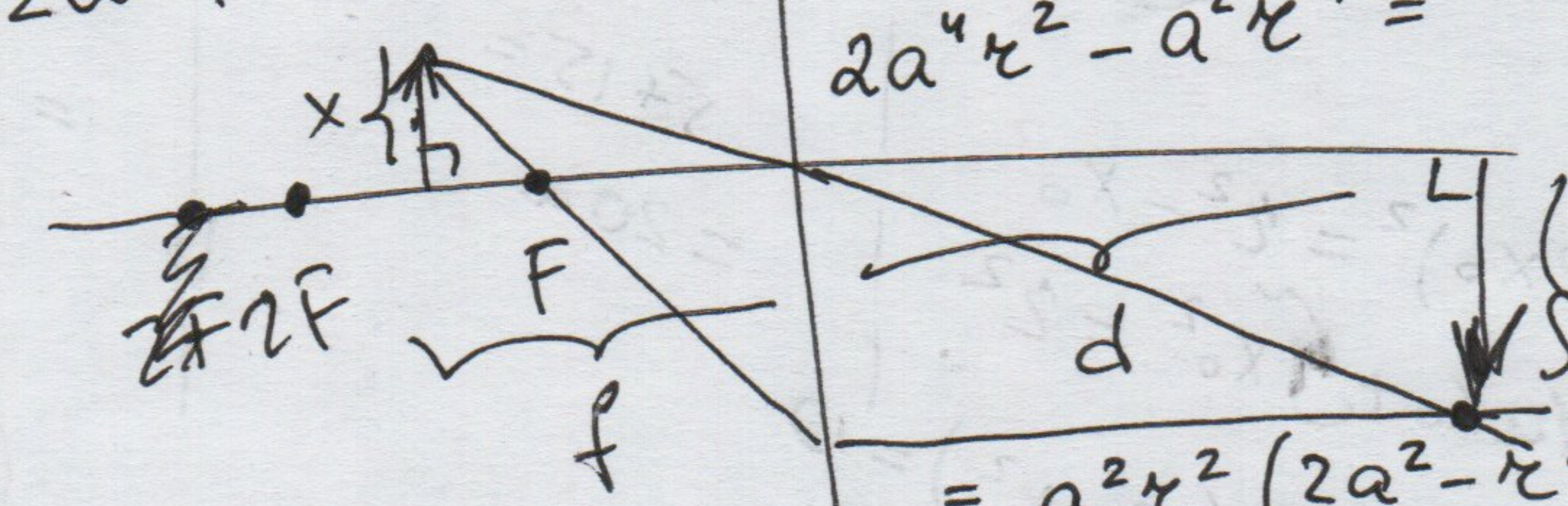
$x = \frac{ar^2 + ar\sqrt{2a^2 - r^2}}{2a^2}$

$2x^2a^2 - 2xar^2 + (r^4 - a^2r^2) = 0$



$20 \mid 3$
$-18 \quad 6,6$
20

$\frac{D}{4} = a^2r^4 -$
$-2a^2(r^4 - a^2r^2) = \quad = a^2r^4 - 2a^2r^4 + 2a^4r^2$
$2a^4r^2 - a^2r^4 =$
$= a^2r^2(2a^2 - r^2)$



$\frac{h}{f} = \frac{rh}{a\sqrt{h^2+a^2} - ar}$

$f = \frac{a}{r}\sqrt{h^2+a^2} - a$

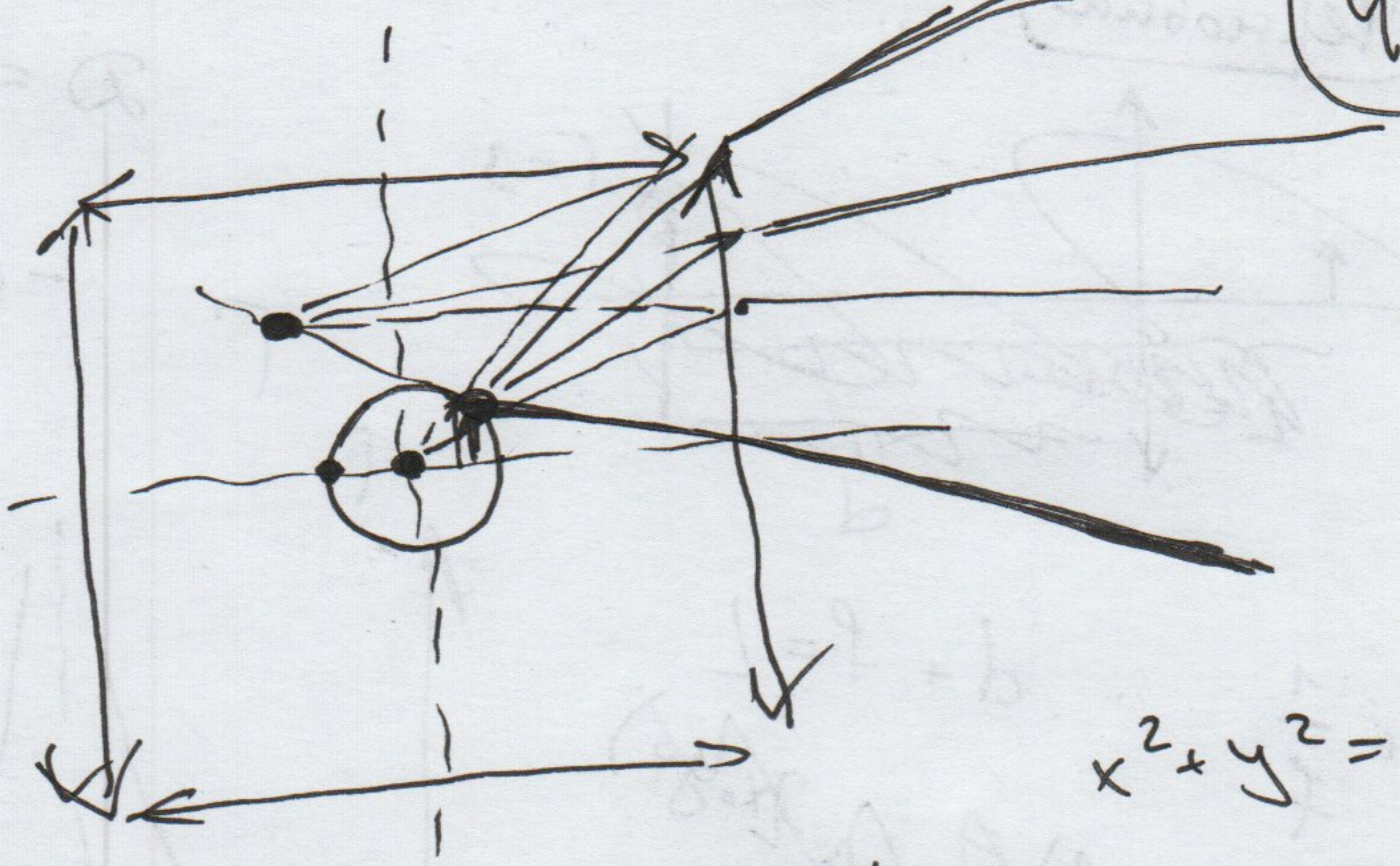
$\frac{(f+a)^2}{a^2} = \frac{(h^2+a^2)}{r^2}$ $\frac{(f+a)^2}{a^2} - \frac{h^2}{r^2} = \frac{a^2}{r^2}$ $\frac{(f+a)^2}{\frac{a^2}{r^2}} - h^2 = a^2$

Черновик

$$\frac{x-x_0}{a-x_0}=\frac{y-y_0}{0-y_0}$$

$$-xy_0+\cancel{x_0y_0}=$$

$$=ay-x_0y-y_0a+\cancel{x_0y_0}$$

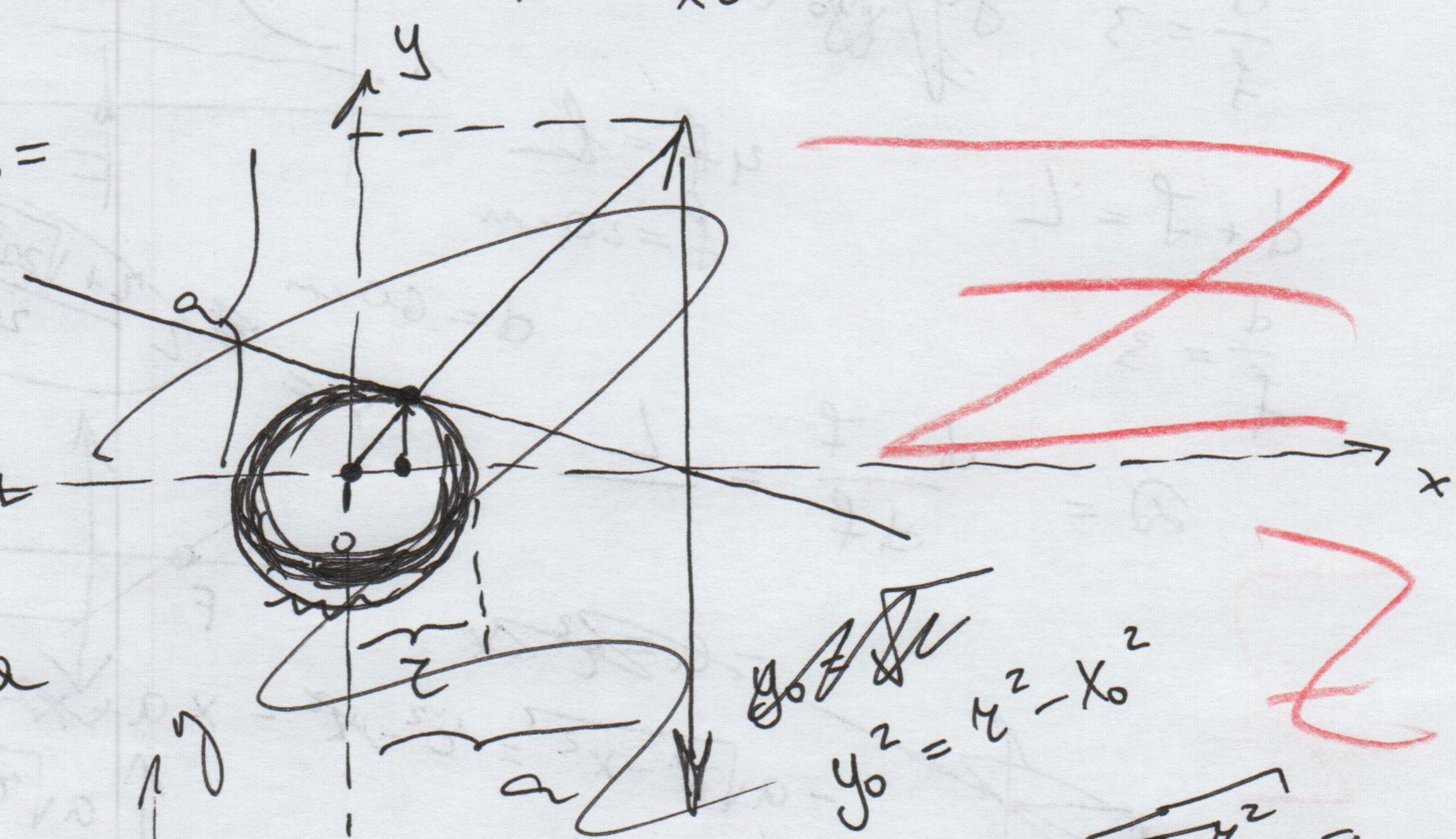


$$y(a-x_0)=-y_0x+y_0a$$

$$h=\frac{ay_0}{x_0}=y \qquad x^2+y^2=r^2 \qquad y=\sqrt{r^2-x^2}$$

$$\frac{ay_0}{x_0}a-\frac{ay_0}{x_0}x_0=$$

$$=-y_0x+y_0a$$



$$\frac{a^2}{x_0}-a=-x+a$$

$$\frac{a}{x_0}-a=\frac{ay_0}{x_0}+a$$

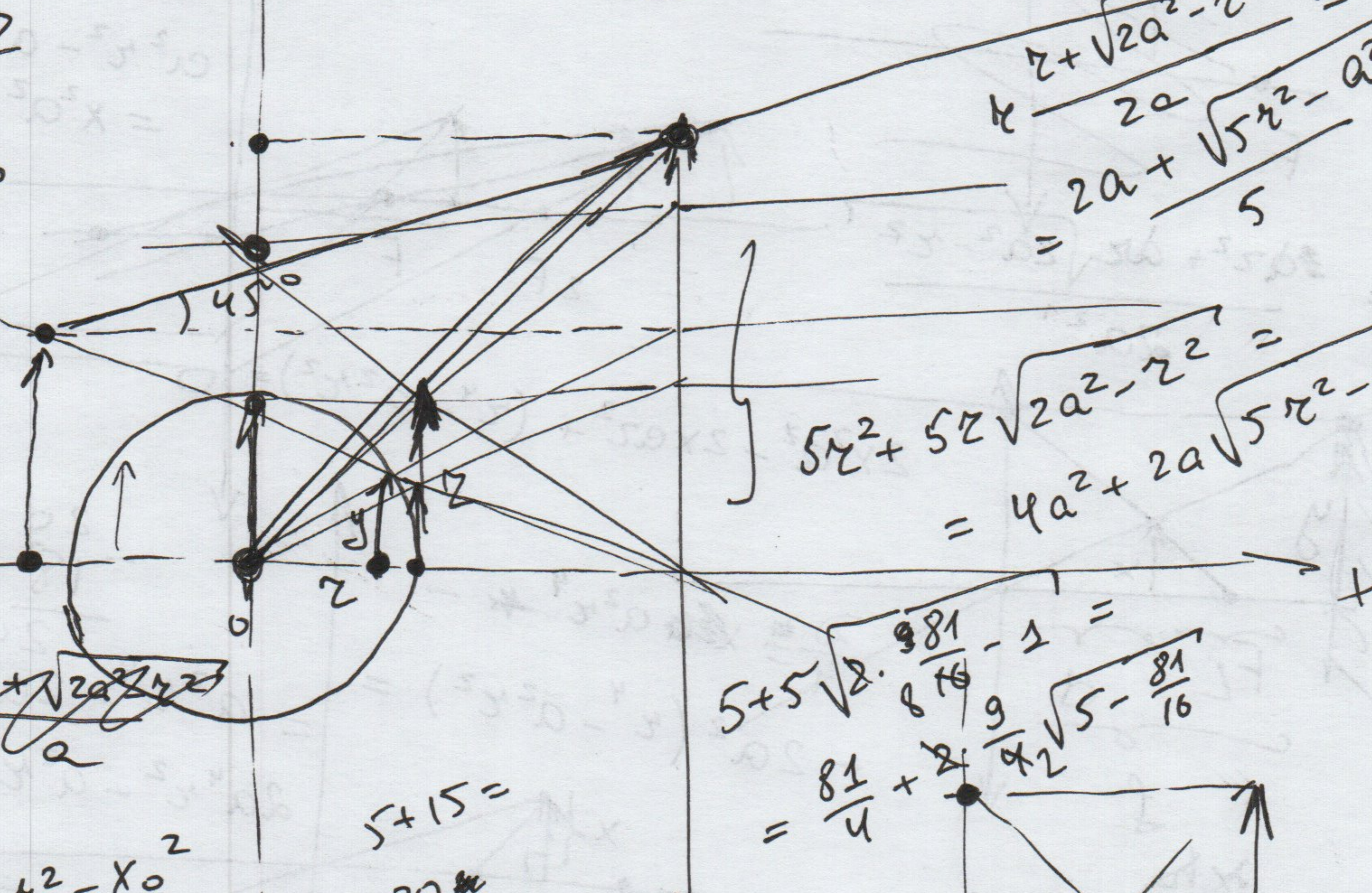
$$y_0^2=r^2-x_0^2$$

$$\frac{a}{x_0}-\frac{y_0}{x_0}=2$$

$$a-y_0=2x_0$$

$$r\,\frac{r+\sqrt{2a^2-r^2}}{2a}=$$

$$=\frac{2a+\sqrt{5r^2-a^2}}{5}$$



$$5r^2+5r\sqrt{2a^2-r^2}=$$

$$=4a^2+2a\sqrt{5r^2-a^2}$$

$$a-y_0=r\,\frac{r+\sqrt{2a^2-r^2}}{a}$$

$$5+5\sqrt{2\cdot\frac{81}{16}-1}=$$

$$=\frac{81}{4}+\frac{9}{2}\sqrt{5-\frac{81}{16}}$$

$$5+15=$$

$$=20$$

$$(a-2x_0)^2=r^2-x_0^2$$

$$a^2-4ax_0+5x_0^2=r^2$$

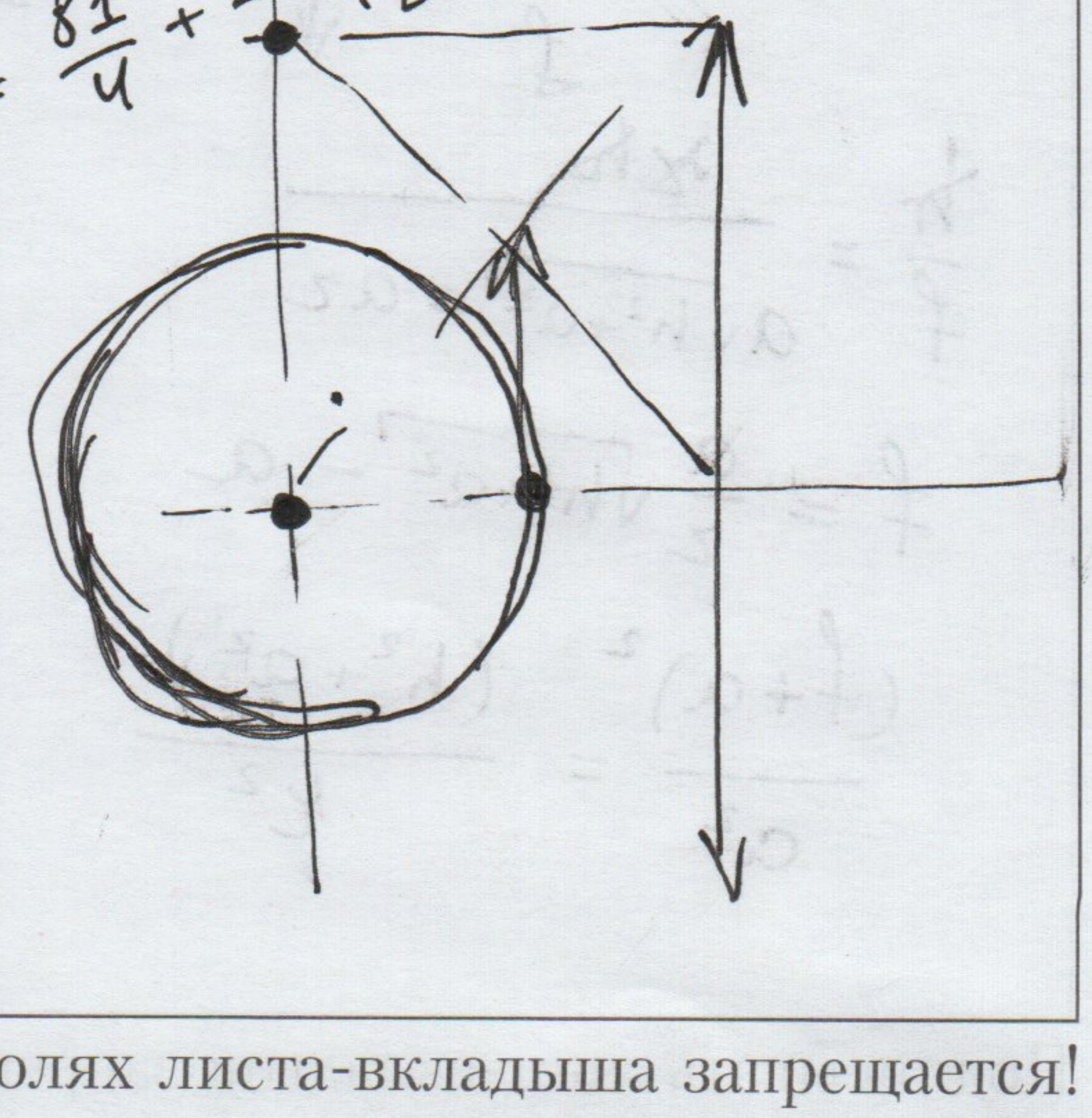
$$5x_0^2-4ax_0+(a^2-r^2)=0$$

$$D=16a^2-4\cdot5(a^2-r^2)=$$

$$=20r^2-4a^2=$$

$$=4(5r^2-a^2)$$

$$x_0=\frac{4a+2\sqrt{5r^2-a^2}}{10}$$

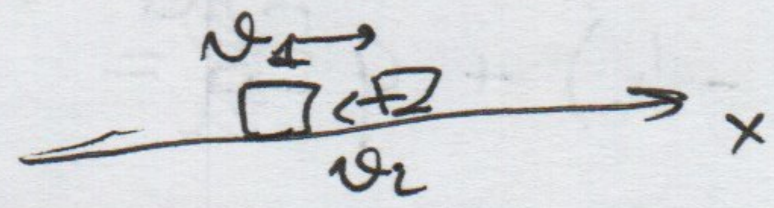


(Черновик)

$$\frac{3k(L-l)^2}{2} = \frac{mv_1^2}{2} \qquad \frac{k(L-l)^2}{8} = \frac{3mv_2^2}{8}$$

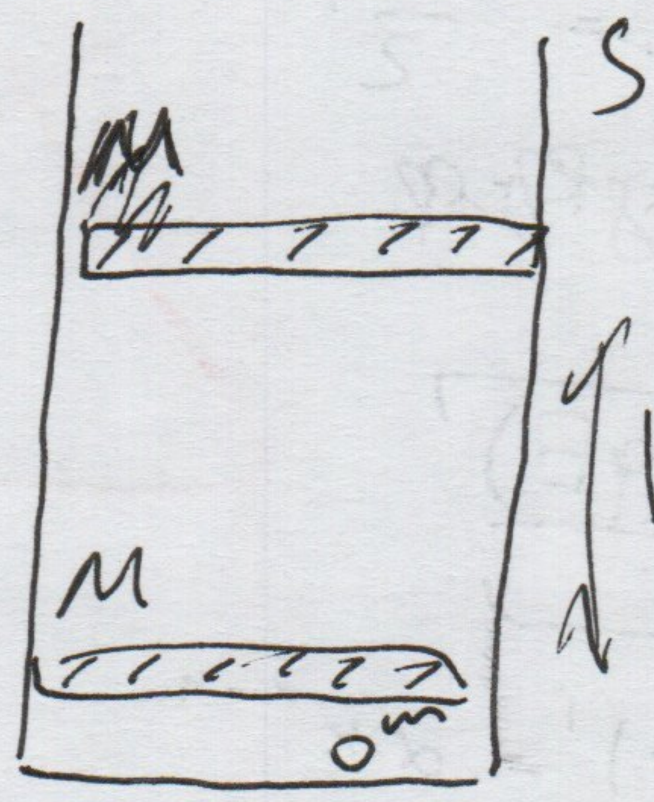
$$v_1 = \sqrt{\frac{3k(L-l)^2}{m}} \qquad v_2 = (L-l)\sqrt{\frac{k}{3m}}$$

$$v_1 = (L-l)\sqrt{\frac{3k}{m}}$$



ox: $mv_1 - 3mv_2 = 4mv$

$v_1 -$



$$Mg = (p_н - p_0)S$$

$$1000 = 2{,}5 \cdot 10^5 \cdot \frac{100}{10^4} 10^{-2} = 2{,}5 \cdot 10^3$$

$$pV = \nu RT$$

$$Mg = \left(\frac{\nu RT}{V} - p_0\right)S$$

$$Mg = \left(\frac{m}{\mu}\frac{RT}{S \cdot h} - p_0\right)S$$

$$Mg = \frac{mRT}{\mu h} - p_0 S$$

$$h = \frac{mRT}{\mu(Mg + p_0 S)} = \frac{10^{-3} \cdot 8{,}3 \cdot 200}{18 \cdot 10^{-3} \cdot (1000+1000)} = \frac{8{,}3 \cdot 200}{2000} = 0{,}83\,(м)$$

$$Mg = \left(\frac{\nu RT_0}{h_1 S} - p_0\right)S$$

$$Mg = \left(\frac{\nu_г RT}{h_2 S} + \frac{\nu RT}{h_2 S} - p_0\right)S$$

$$Mg = \frac{\nu_г RT_0}{h_1} - p_0 S$$

$$Mg = \frac{\nu_г RT}{h_2} + \frac{\nu RT}{h_2} - p_0 S$$

$$h_2 = \frac{RT(\nu_г + \nu)}{Mg + p_0 S} \qquad h_1 = \frac{\nu_г RT_0}{p_0 S + Mg}$$

$$h_2 - h_1 = h =$$

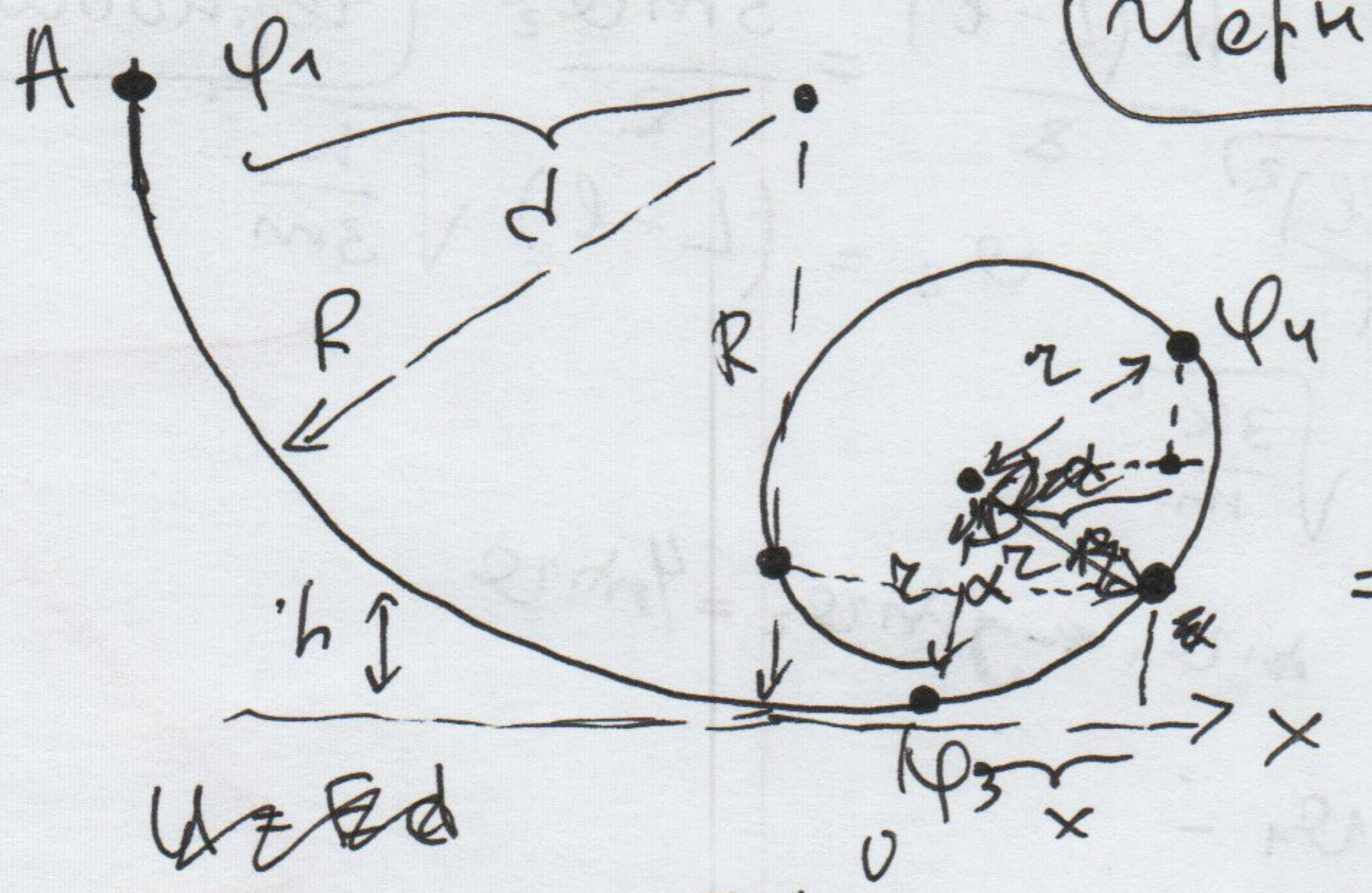
4,67
×4,67
3269
+2802
1868
21,0089

$$\begin{array}{r|l} 210 & 45 \\ -180 & 4{,}6(6) \\ 300 & \\ -270 & \\ 300 & \end{array}$$

$$\sqrt{\frac{2 \cdot 1\,(10^{-3} \cdot 10 + 10^{-6} \cdot 10^3)}{10^{-3}}} =$$

$$= \sqrt{\frac{2 \cdot (10^{-2} + 10^{-3})}{10^{-3}}} = \sqrt{20 + 2} = \sqrt{22}$$

(Черновик)



на дуге R

$mgR + q\varphi_1 =$

$= \frac{mv^2}{2} + q\varphi_2 + mgh$

$mg(R-h) + qE\cancel{d} =$

$= \frac{mv_1^2}{2}$

$mgR + qER = \frac{mv_1^2}{2}$

$\varphi_1 - \varphi_2 = Ed$

$\Pi_1 - \Pi_2 = qEd$

$$v_1 = \sqrt{\frac{2R(mg+qE)}{m}}$$

$(x^\alpha)' = \alpha x^{\alpha-1}$

на окр. r.

$\frac{mv_1^2}{2}$

$0 + q\varphi_3 = \frac{mv^2}{2} + q\varphi_4 + mgh$

$\frac{mv_1^2}{2} + qEx = \frac{mv^2}{2} + mg(r - \sqrt{r^2 - x^2})$

$0 = \left(\frac{mv^2}{2}\right)' = 0 + qE - mg(r - \sqrt{r^2-x^2})' =$

$= qE + mg \cdot \frac{1}{2\sqrt{r^2-x^2}} \cdot (r^2 - x^2)' =$

$= qE - \frac{mg}{\cancel{2}\sqrt{r^2-x^2}} \cdot \cancel{2}x$

$qE\sqrt{r^2-x^2} = mg \cdot x$

$(qE)^2(r^2 - x^2) = (mg)^2 \cdot x^2$

$(qEr)^2 = x^2((mg)^2 + (qE)^2)$

$x = \frac{qEr}{\sqrt{(mg)^2 + (qE)^2}}$

$(qEr\sin\alpha - mg(r - r\cos\alpha))' = 0$

$qEr\cos\alpha = mgr\sin\alpha \qquad \operatorname{tg}\alpha = \frac{qE}{mg}$

$r^2 = x^2 + x^2 \cdot \left(\frac{mg}{qE}\right)^2 \qquad r = x\sqrt{\frac{qE^2 + (mg)^2}{(qE)^2}}$