

Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2020

Класс 11

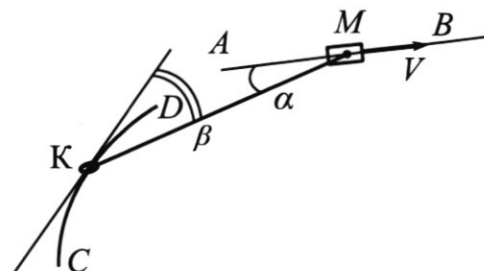
Вариант 11-04

Шифр 5.14

(заполняется секретарём)

Бланк задания обязательно должен быть вложен в работу. Работы без вложенного задания не проверяются.

1. Муфту M двигают со скоростью $V = 2$ м/с по горизонтальной направляющей AB (см. рис.). Кольцо K массой $m = 0,4$ кг может двигаться без трения по проволоке CD в виде дуги окружности радиусом $R = 1,9$ м. Кольцо и муфта связаны легким тросом длиной $l = 17R/15$. Система находится в одной горизонтальной плоскости. В некоторый момент трос составляет угол α ($\cos \alpha = 4/5$) с направлением движения муфты и угол β ($\cos \beta = 8/17$) с направлением движения кольца.



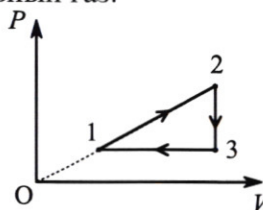
- 1) Найти скорость кольца в этот момент.
- 2) Найти скорость кольца относительно муфты в этот момент.
- 3) Найти силу натяжения троса в этот момент.

2. Тепловая машина работает по циклу, состоящему из изохоры, изобары и участка прямо пропорциональной зависимости давления P от объема V (см. рис.). Рабочее вещество – одноатомный идеальный газ.

1) Найти отношение молярных теплоемкостей на тех участках цикла, где происходило понижение температуры газа.

2) Найти для процесса 1-2 отношение изменения внутренней энергии газа к работе газа.

3) Найти предельно возможное максимальное значение КПД такого цикла.



3. Обкладки конденсатора – квадратные металлические сетки, сторона квадрата во много раз больше расстояния d между обкладками. Напряжение на конденсаторе U . Отрицательно заряженная частица движется на большом расстоянии к конденсатору по оси симметрии, перпендикулярно обкладкам, влетает в него со скоростью V_1 и останавливается на расстоянии $0,2d$ от отрицательно заряженной обкладки.

1) Найдите удельный заряд частицы $\gamma = \frac{|q|}{m}$.

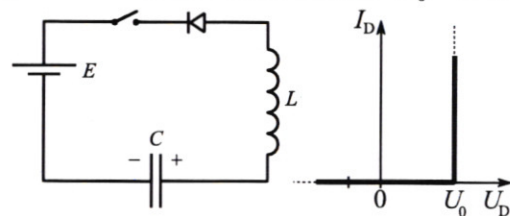
2) Через какое время T после влета в конденсатор частица вылетит из него?

3) Найдите скорость V_0 частицы на бесконечно большом расстоянии от конденсатора.

При движении частицы электрическое поле, созданное зарядами конденсатора, считать неизменным, а электрическое поле внутри конденсатора вблизи оси симметрии считать однородным.

4. В цепи, схема которой показана на рисунке, ключ разомкнут, ЭДС идеального источника $E = 6$ В, конденсатор емкостью $C = 10$ мкФ заряжен до напряжения $U_1 = 9$ В, индуктивность идеальной катушки $L = 0,4$ Гн. Вольтамперная характеристика диода дана на рисунке, пороговое напряжение диода $U_0 = 1$ В. Ключ замыкают.

- 1) Найти скорость возрастания тока сразу после замыкания ключа.
- 2) Найти максимальный ток после замыкания ключа.
- 3) Найти установившееся напряжение U_2 на конденсаторе после замыкания ключа.

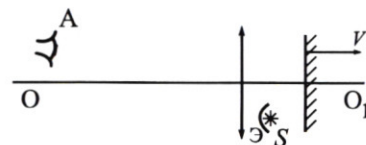


5. Оптическая система состоит из тонкой линзы с фокусным расстоянием F , плоского зеркала и небольшого экрана $\mathcal{E}$, расположенного так, что свет от источника S может попасть на линзу только после отражения от зеркала (см. рис.). Зеркало расположено перпендикулярно главной оптической оси OO_1 линзы. Источник S находится на расстоянии $8F/15$ от оси OO_1 и на расстоянии $3F/5$ от плоскости линзы. Линза и источник неподвижны, а зеркало движется со скоростью V вдоль оси OO_1 . В некоторый момент зеркало оказалось на расстоянии $6F/5$ от линзы.

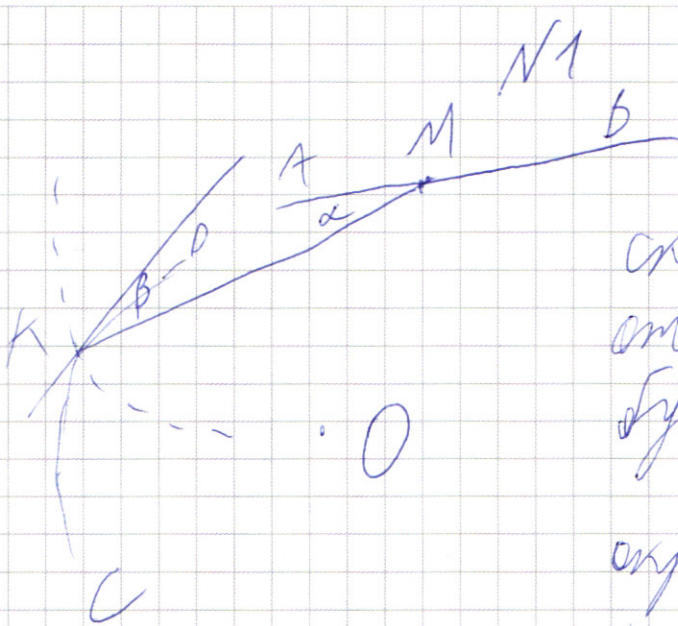
1) На каком расстоянии от плоскости линзы наблюдатель A сможет увидеть в этот момент изображение источника в системе?

2) Под каким углом α к оси OO_1 движется изображение в этот момент? (Найти значение любой тригонометрической функции угла.)

3) Найти скорость изображения в этот момент.



ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

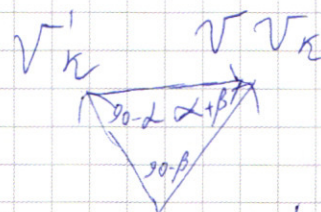
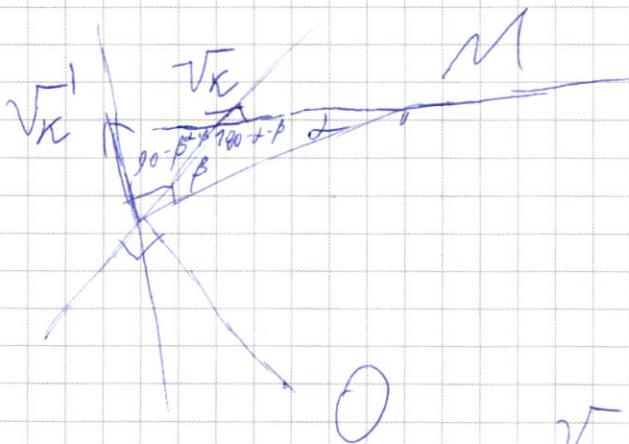


$$\cos 2 = \frac{4}{5} \Rightarrow \sin 2 = \frac{3}{5}$$

$$\cos \beta = \frac{8}{17} \Rightarrow \sin \beta = \frac{15}{17}$$

1) Заметим, что

скорость калемиды
относительно муфты
будет направлена
по касательной к
окруж. с ц. М и рад.
 $l = \frac{17R}{15}$ (т.к. $MK = l$)



$$(т.к. V_k' + V = V_k)$$

$$\frac{V}{\sin(90-\beta)} = \frac{V_k}{\sin(90-\alpha)} = \frac{V_k'}{\sin(\alpha+\beta)}$$

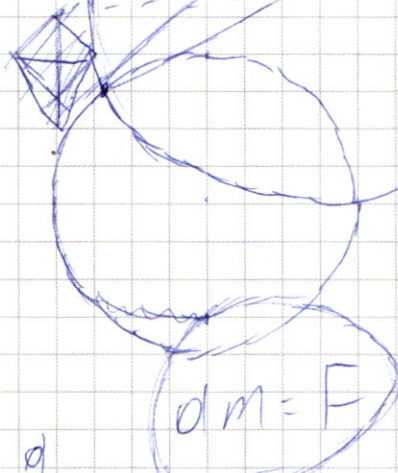
$$V \cdot \frac{17}{8} = V_k \cdot \frac{5}{4} \Rightarrow V_k = 17V = 3,4 \text{ м/с}$$

$$V \cdot \frac{17}{8} = V_k' \left(\frac{\frac{4}{5} \cdot \frac{15}{17} + \frac{8}{17} \cdot \frac{3}{5}}{\frac{4}{5} \cdot \frac{15}{17} + \frac{8}{17} \cdot \frac{3}{5}} \right) =$$

$$= V_k' \left(\frac{17 \cdot 5}{84} \right) \Rightarrow V \cdot \frac{17}{8} = V_k' \cdot \frac{5}{21} \Rightarrow V_k' = 2,1V = 4,2 \text{ м/с}$$

$$28^2 = (\Delta y - 1)^2 + (25 + \Delta x)^2 + \frac{26}{17} (\Delta y - 1)(\Delta x + 25)$$

$$\rho = \text{const } \frac{45}{45}$$



$$Q = \frac{3}{2} \Delta R \Delta T + \Delta R \Delta T$$

$$C \Delta T = \frac{5}{2} \Delta R \Delta T$$

$$C_p = \frac{5}{2} R$$

$$V = \text{const}$$

$$C \Delta T = \frac{3}{2} \Delta R \Delta T$$

$$F_q = F_{15}$$

$$F = U q$$

$$S = \frac{v^2}{2\omega}$$

$$\cos \alpha = \frac{4}{5}, \sin \alpha = \frac{3}{5}$$

$$\cos \beta = \frac{8}{17}, \sin \beta = \frac{15}{17}$$

$$d = \frac{\epsilon \epsilon_0 U}{d}$$

$$F = \frac{\epsilon \epsilon_0 U^2}{2d}$$

$$K \frac{d^2}{r^2}$$

$$K \frac{d^2}{r^2}$$

$$\Delta x R$$

$$A = F \cdot S = F_q \cdot S$$

$$\frac{q}{25} = \frac{\epsilon \epsilon_0 U}{d}$$

$$q = \frac{\epsilon \epsilon_0 U}{d}$$

$$\sin(180 - \alpha - \beta) = \sin(\alpha + \beta) = \frac{60 + 24}{5 \cdot 17} = \frac{84}{85}$$

$$\frac{17R}{15} \cdot \frac{85}{84} = d \cdot \frac{17}{15} \Rightarrow d = \frac{85}{84} R$$

$$K \frac{\epsilon \epsilon_0 U}{2d^3}$$

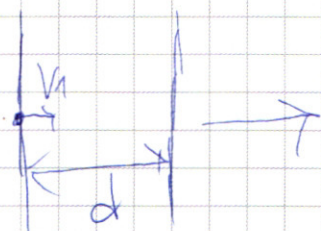
$$\frac{17R}{15} \cdot \frac{85}{84} = b \cdot \frac{5}{3} \Rightarrow b = \frac{17R}{84} \cdot \frac{17^2}{5 \cdot 84} R$$

$$(b - \Delta y)^2 = (\Delta x R - d)^2 + \left(\frac{17R}{15}\right)^2 - 2 \Delta y \frac{13}{5 \cdot 17} \cdot (d + \Delta x R) \cdot \frac{17R}{15}$$

$$\left(\frac{17R}{15}\right)^2 = \left(\Delta x R - \frac{85}{84} R\right)^2 = \left(\frac{17}{5 \cdot 84} \Delta x - \frac{85}{84}\right)^2 - 2 \cdot \frac{13}{5 \cdot 17} \cdot \left(\frac{17}{5 \cdot 84} \Delta y\right) \cdot \left(\frac{85}{84} + \Delta x\right)$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№3



Эnergie внутри конд. = U

$$1) F = U |q| \quad E \cdot |q| = U |q|$$

$$d m = F \Rightarrow d = \frac{U d}{m}$$

от брима (нумеро фо остановки)

$$S = \frac{v_1^2}{2d} \Rightarrow 0,8 d = \frac{v_1^2}{2 U |q|} \Rightarrow \frac{|q|}{m} = \frac{v_1^2}{1,6 U d}$$

2) Частица вылетит из конденсатора со скоростью v_1 (т.к. общая энергия системы не изменилась) $\Rightarrow v_1 - 0 = a t \Rightarrow$

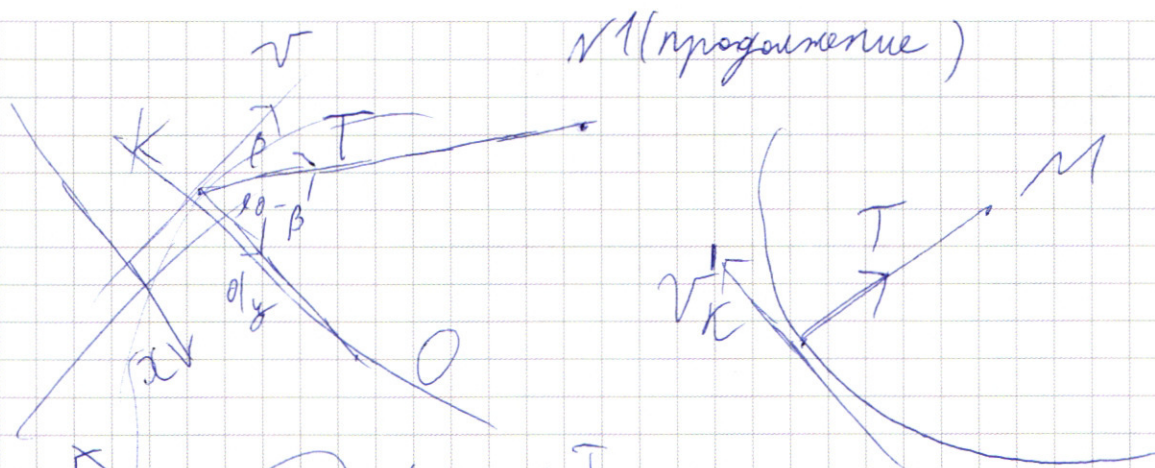
$$\Rightarrow t = \frac{v_1 m}{U |q|} = \frac{v_1}{U} \cdot \frac{1,6 U d}{v_1^2} = \frac{1,6 d}{v_1}$$

$$3) E_{нач.} = \frac{m v_0^2}{2}$$

$$E_{конеч.} = \frac{m v_1^2}{2} + U |q| d$$

$$v_0^2 = v_1^2 + 2 U d \frac{|q|}{m} = v_1^2 + \frac{2 v_1^2}{1,6} = \frac{3,6 v_1^2}{1,6} = \frac{36 v_1^2}{16}$$

$$v_0 = \frac{6 v_1}{4} = 1,5 v_1. \text{ Ответ: } r = \frac{v_1}{1,6 U d}; T = \frac{1,6 d}{v_1}; v_0 = 1,5 v_1.$$



Уравнения:

$$d_y m + T_x = 0$$

$$\frac{v^2 m}{R} + T \cdot \sin \beta = 0$$

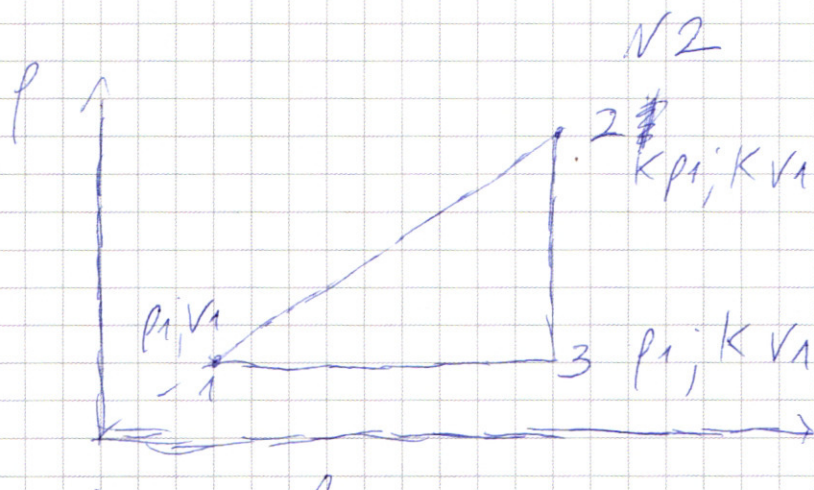
$$T = d_y m \Rightarrow \frac{v_{\kappa'}^2}{R} \cdot m = T$$

$$\frac{(4,2)^2}{1,9} \cdot 0,4 = T$$

$$T \approx 3,7 \text{ Н}$$

Ответ: $v_{\kappa} = 3,4 \text{ м/с}$; $v'_{\kappa} = 4,2 \text{ м/с}$; $T \approx 3,7 \text{ Н}$.

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



- 1) т.к. в процессе 1-2 $p \sim V^\gamma$, то
(оказ в т. 1 p_1, V_1 - давление, объём сжат.)
оказ в т. 2 давление $k p_1$, то объём $k V_1$
- 2) A_{12} - площадь под графиком: $\frac{p_1 + k p_1}{2} \cdot (k V_1 - V_1) =$
 $= \frac{p_1 V_1 (k^2 - 1)}{2}$

$$\Delta U_{12} = \frac{3}{2} (k p_1 \cdot k V_1 - p_1 V_1) = \frac{3}{2} (k^2 - 1) p_1 V_1$$

$$\frac{\Delta U_{12}}{A_{12}} = 3$$

- 3) в т. 3 давление p_1 , объём $k V_1$ $\Rightarrow$
 $\Rightarrow A_{об.} (\text{работы под циклом}) = \frac{(k V_1 - V_1) \cdot k p_1 - p_1 V_1}{2} = p_1 V_1 \frac{(k-1)^2}{2}$

4) $\Delta U = A + Q$; $Q = \Delta U + A' \Rightarrow Q_{12} = \frac{5}{2} (k^2 - 1) p_1 V_1$

в 2-3 $A' = 0$; $\Delta U < 0$ ($p = \text{const}$; $V \downarrow$) $\Rightarrow Q_{23} < 0$

в 3-1 $\Delta U = \frac{3}{2} p_1 V_1 (1 - k)$; $A' = p_1 V_1 (1 - k) \Rightarrow$

$\Rightarrow Q_{31} = \frac{5}{2} p_1 V_1 (1 - k) < 0 \Rightarrow Q_{нагр} = Q_{12} = \frac{5}{2} (k^2 - 1) p_1 V_1$

$$\eta = \frac{A_{\text{ср}}}{Q_{\text{нагр}}}$$

$$\eta = \frac{p_1 V_1 (K-1)^2}{2} = \frac{1}{5} \cdot \frac{(K-1)^2}{K^2-1} = \frac{1}{5} \cdot \frac{K^2-2K+1}{K^2-1}$$

$$= \frac{1}{5} \cdot \left(1 - \frac{2K-2}{K^2-1} \right) - \text{макс. при } \frac{2K-2}{K^2-1} - \text{мин.}$$

$$\left(\frac{2K-2}{K^2-1} \right)' = \frac{2(K^2-1) - 2K(2K-2)}{(K^2-1)^2} = \frac{-2K^2+4K-2}{(K^2-1)^2}$$

$$-2K^2+4K-2=0 \Rightarrow K^2-2K+1=0 - \text{при } K=1 \text{ получ.}$$

отриц. $\Rightarrow \frac{2K-2}{K^2-1} \downarrow \Rightarrow$ предельно возможн макс.

значение КПД $\frac{1}{5} \cdot 1 = 20\%$ (напримир при $K \rightarrow \infty$)

5) 2-3-изохора $\Rightarrow A=0$; $\Delta U = \frac{3}{2} n R \Delta T$; $Q_{23} = \frac{3}{2} n R \Delta T$

$Q_{12} = 0 \Rightarrow Q = \Delta U \Rightarrow C_{2-3} \Delta T = \frac{3}{2} n R \Delta T \Rightarrow C_{2-3} = \frac{3}{2} R$

3-1 (изобара) $Q_{23} = \frac{5}{2} p \Delta V = \frac{5}{2} n R \Delta T \Rightarrow$

$C_{3-1} \Delta T = \frac{5}{2} n R \Delta T \Rightarrow C_{3-1} = \frac{5}{2} R \Rightarrow \frac{C_{2-3}}{C_{3-1}} = \frac{3}{5}$

Омбл | при 1-2 $p \uparrow, V \uparrow \Rightarrow T \uparrow$ ($pV = nRT$);

2-3 $p \uparrow, V = \text{const}$; $p \downarrow \Rightarrow T \downarrow$; 3-1 $V \uparrow, p = \text{const}$; $V \downarrow \Rightarrow T \downarrow$

Ответ: (1) $\frac{C_{2-3}}{C_{3-1}} = \frac{3}{5}$; (2) $\frac{\Delta U_{12}}{A_{12}} = 3$; (3) $\eta_{\text{пред. макс.}} = 20\% = \frac{1}{5}$.

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№5

1 F по горизонтали
 $\frac{16F}{45} - \frac{8F}{9} = \frac{8F}{45}$ по вертикали

2 F по горизонтали
 $\frac{16F}{45}$ по вертикали

1 и 2 комбинация
 $\frac{16F}{45} - \frac{8F}{45} = \frac{8F}{15}$ по верт.

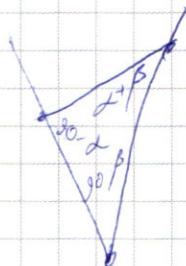
~~получаем $\frac{16F}{15} - \frac{8F}{15} = 2 \Rightarrow$ изображение на
 ракт. $2F$~~

формула тонкой линзы
 Отрезки источников зад зритель и
 рассчитаем штену блз зритель
 и ракт от линзы до источника $\frac{3F}{5} + \frac{3F}{5} + \frac{3F}{5}$
 $= \frac{9F}{5}$ $\frac{1}{F} = \frac{1}{f} + \frac{15}{9F} \Rightarrow \frac{1}{f} = \frac{4}{9F} \Rightarrow f = \frac{9F}{4} = 2,25F$

$$\sqrt{y^2 - 2y + 1 + \frac{26}{17}y(x+5)} - \sqrt{(x+5)^2 - \frac{26}{17}} + (x+25)^2 - 28^2 = 0$$

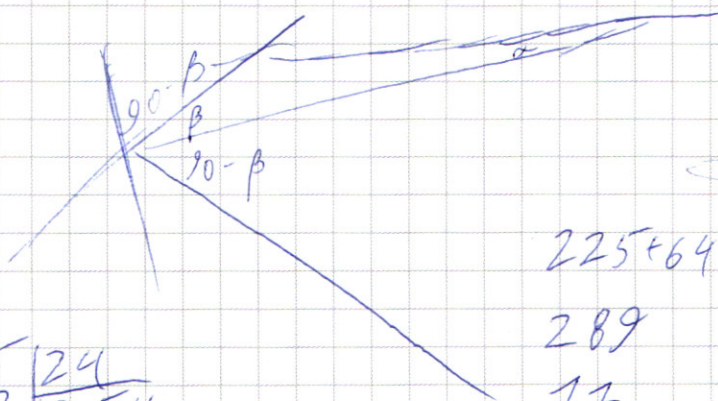
$$-2y \cdot \frac{130}{17} - \frac{26}{17} - \frac{130}{17} + 50x - 28^2 = 0$$

$$\frac{96}{17}y =$$



$$\begin{array}{r} \times 42 \\ 42 \\ \hline 84 \\ + \\ \times 68 \\ \hline 1764 \\ \hline 1764 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 7,056 \quad 19 \\ - 57 \quad 3740,37 \\ \hline 135 \\ - 133 \\ \hline 26 \end{array}$$



$$\begin{array}{r} 85 \overline{)24} \\ 72 \quad 3,54 \\ \hline 130 \\ 120 \\ \hline 100 \end{array}$$

$$225 + 64$$

$$289$$

$$17$$

$$515^2 + 8^2 = 17^2$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№5 (продолжение)

Дан скоростной зеркало V , то скорость
источника звука $2V$
от зеркала x - коэф. отраж. вол.

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{f} + \frac{1}{x} \Rightarrow \frac{1}{f} = \frac{x-F}{Fx} \Rightarrow f = \frac{Fx}{x-F}$$

$$f' = \frac{F(x-F) - Fx}{(x-F)^2} = - \frac{F^2}{(x-F)^2} \quad \text{горизонт. скорость}$$

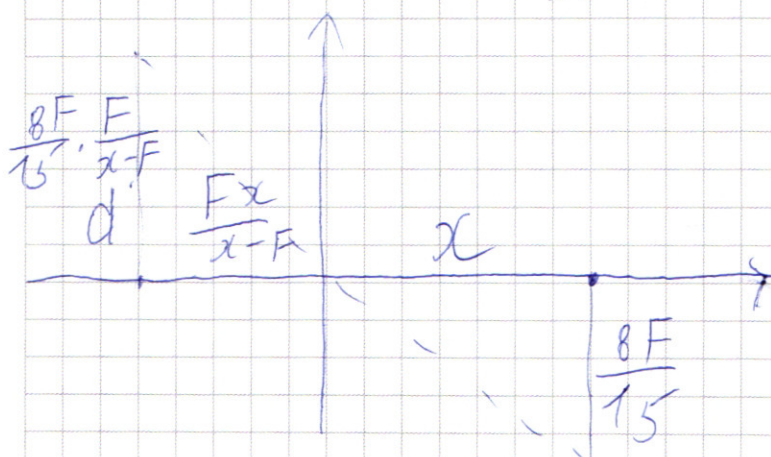
изобразит. $V_2 = - \frac{F^2}{\left(\frac{9F}{5} - F\right)^2} = - \frac{1}{\frac{16}{25}} = - \frac{25}{16}$

$$x' = 2V$$

$$f' = \frac{2V(Fx) - 2V(Fx)}{(x-F)^2} = - \sqrt{4} \cdot \frac{2F^2}{(x-F)^2}$$

- гор. скор. изобразит.

$$|V_{\text{гор}}| = V \cdot \frac{2}{\frac{16}{25}} = V \cdot \frac{25}{8}$$



$$d = \frac{8F^2}{15(x-F)}$$

$$d' = - \frac{8F^2}{15(x-F)^2} \cdot 2V$$

$$|V_{\text{верт}}| = \frac{8}{15} \cdot \frac{25}{5} \cdot \frac{16}{25} = \frac{5}{3} V$$

$$u \sqrt{x - \frac{3}{5}} \sqrt{5x - 3}$$

$$0 \sqrt{x}$$

$$0 \sqrt{x}$$

$$3(5x - 3)$$

$$0 \sqrt{x}$$

$$3(5x - 3)$$

$$5x - 3$$

$$\sqrt{x}$$

$$\frac{0 \sqrt{x}}{15x - 9} (x - 1)$$

$\sqrt{5}$ (предположение)

$$V \sqrt{x} \quad V_{\text{верм.}} = \frac{5}{3} V$$

$$0 \quad V_{\text{гор.}} = \frac{25}{8} V \quad 0 \quad 1$$

$$t_{\text{гор.}} = \frac{\frac{5}{3} V}{\frac{25}{8} V} = \frac{8}{15}$$

$$V^2 = V_{\text{верм.}}^2 + V_{\text{гор.}}^2 = V^2 \left(\frac{25}{9} + \frac{25^2}{64} \right)$$

$$V^2 \cdot 25 \left(\frac{25 \cdot 9}{64 \cdot 9} + \frac{64}{64 \cdot 9} \right) = V^2 \cdot 3^2 \left(\frac{5V}{24} \right)^2 \cdot (17)^2$$

$$V = \frac{5 \cdot V \cdot 17}{24} = \frac{85}{24} V$$

Ответ: $f = 2,25 F$; $t_{\text{гор.}} = \frac{8}{15}$; $V = \frac{85}{24} V \approx 3,54 V$.