

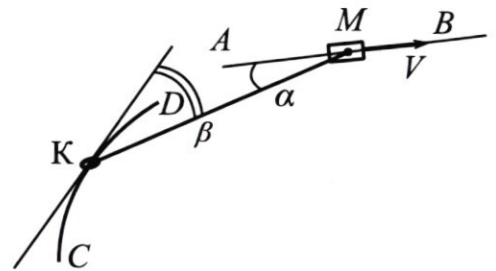
Олимпиада «Физтех» по физике, ф

Класс 11

Вариант 11-01

Бланк задания обязательно должен быть вложен в работу. Работы без вл

1. Муфту М двигают со скоростью $V = 68$ см/с по горизонтальной направляющей АВ (см. рис.). Кольцо К массой $m = 0,1$ кг может двигаться без трения по проволоке CD в виде дуги окружности радиусом $R = 1,9$ м. Кольцо и муфта связаны легкой нитью длиной $l = 5R/3$. Система находится в одной горизонтальной плоскости. В некоторый момент нить составляет угол α ($\cos \alpha = 15/17$) с направлением движения муфты и угол β ($\cos \beta = 4/5$) с направлением движения кольца.



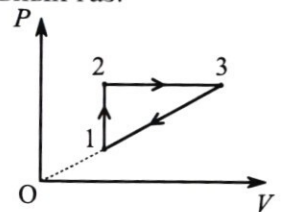
- 1) Найти скорость кольца в этот момент.
- 2) Найти скорость кольца относительно муфты в этот момент.
- 3) Найти силу натяжения нити в этот момент.

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 повышение температуры газа.

2) Найти в изобарном процессе отношение количества теплоты, полученной газом, к работе газа.

3) Найти предельно возможное максимальное значение КПД такого цикла.



3. Обкладки конденсатора – круглые металлические сетки площадью S , расстояние между обкладками d ($d \ll \sqrt{S}$). Из точки, находящейся между обкладками на оси симметрии на расстоянии $0,25d$ от положительно заряженной обкладки, стартует с нулевой начальной скоростью положительно заряженная частица и через время T вылетает из конденсатора перпендикулярно обкладкам. Удельный заряд частицы $\frac{q}{m} = \gamma$.

1) Найдите скорость V_1 частицы при вылете из конденсатора.

2) Найдите величину Q заряда обкладок конденсатора.

3) С какой скоростью V_2 будет двигаться частица 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.

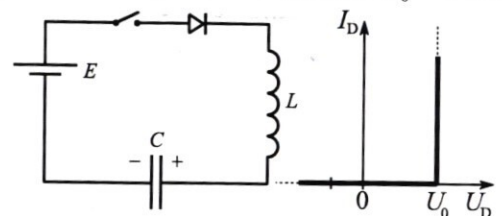
4. В цепи, схема которой показана на рисунке, ключ разомкнут, ЭДС идеального источника $E = 9$ В, конденсатор емкостью $C = 40$ мкФ заряжен до напряжения $U_1 = 5$ В, индуктивность идеальной катушки $L = 0,1$ Гн. Вольтамперная характеристика диода дана на рисунке, пороговое напряжение диода $U_0 = 1$ В. Ключ замыкают.

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.

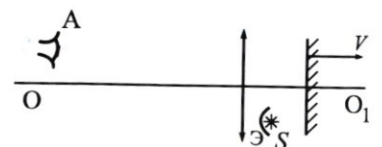


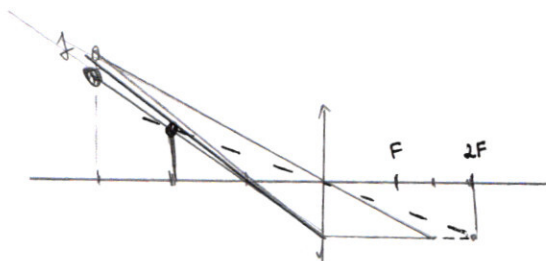
5. Оптическая система состоит из тонкой линзы с фокусным расстоянием F , плоского зеркала и небольшого экрана Э, расположенного так, что свет от источника S может попасть на линзу только после отражения от зеркала (см. рис.). Зеркало расположено перпендикулярно главной оптической оси OO_1 линзы. Источник S находится на расстоянии $3F/4$ от оси OO_1 и на расстоянии $F/2$ от плоскости линзы. Линза и источник неподвижны, а зеркало движется со скоростью V вдоль оси OO_1 . В некоторый момент зеркало оказалось на расстоянии F от линзы.

1) На каком расстоянии от плоскости линзы наблюдатель А 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.





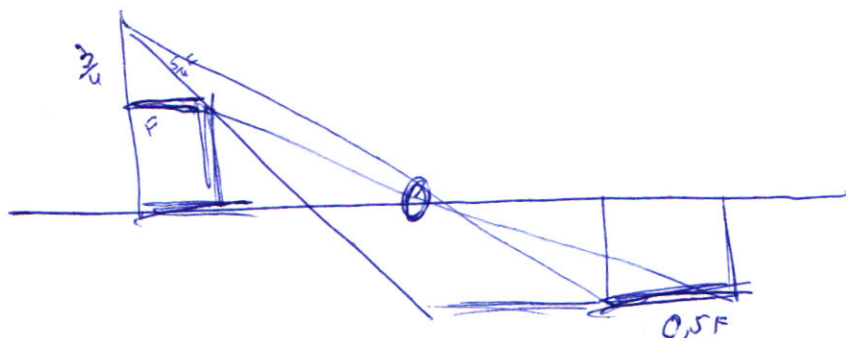
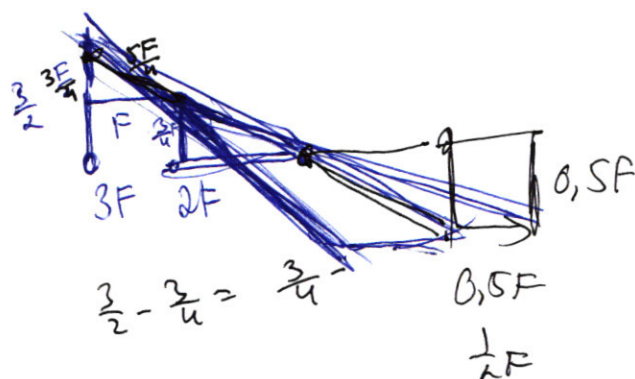
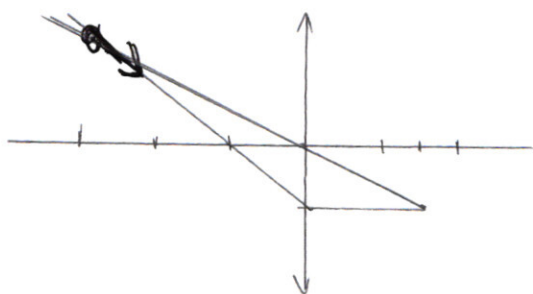
$$\frac{1}{F} = \frac{1}{2F} + \frac{1}{f}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{F} - \frac{1}{2F} =$$

$$= \frac{2-1}{2F} = \frac{1}{2F}$$

$$f = 2F$$

$$r = 1$$



$$= \frac{5F}{2 \cdot \frac{1}{2} F} = \frac{5}{2} = 2.5 \text{ magnification}$$

$$\frac{1}{2} F \quad \frac{5}{4} F$$

$$\frac{\frac{5}{4} F}{\frac{1}{2} F} =$$

$$\frac{9d^2 + 6d^2}{4T^2} =$$

$$= \frac{15d^2}{4T^2} = \frac{15d}{2T}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

②

$\dot{Q} = \frac{Q}{\Delta t}$

$i=3$

Температура повышается в пр-ах 1-2 и 2-3 $\rightarrow$

Как можно найти $\frac{C_{m12}}{C_{m23}} = ?$

$$Q = \Delta U + A$$

I) (1-2) $V_1 = \text{const} \Rightarrow A_{12} = 0 \Rightarrow$

$$Q_{12} = \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_1) = C_{m12} \Delta T \quad (1-2)$$

(2-3) $P_2 = \text{const} \Rightarrow$

$$Q_{23} = P_2 (V_3 - V_1) + \frac{3}{2} \nu R (T_3 - T_2)$$

(3-1) $P = dV \Rightarrow$

$$Q_{13} = -\frac{P_1 + P_2}{2} (V_3 - V_1) + \frac{3}{2} \nu R (T_1 - T_3)$$

$$\text{так } Q = C m \Delta T = C \frac{\nu}{M} \Delta T = C_m \Delta T$$

$$1) \text{ найдем } C_{m12} \Rightarrow \text{ из ур-на (1-2)} \Rightarrow C_{m12} = \frac{\frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_1)}{\Delta T} = \frac{3}{2} R$$

$$2) \text{ выразим } C_{m23} \Rightarrow C_{m23} \Delta T = P_2 (V_3 - V_1) + \frac{3}{2} \nu R (T_3 - T_2) \Rightarrow$$

$$C_{m23} \Delta T = \nu R (T_3 - T_2) + \frac{3}{2} \nu R (T_3 - T_2) \quad \text{пр-т } \nu R \Delta T$$

$$C_{m23} = R + \frac{3}{2} R = \frac{5}{2} R \Rightarrow \text{Отношение } \frac{C_{m12}}{C_{m23}} = \frac{\frac{3}{2} R}{\frac{5}{2} R} = \frac{3}{5}$$

II) Найти кол-во теплоты к работе газа в пр-се 2-3

$$Q_{23} = P_2 (V_3 - V_1) + \frac{3}{2} \nu R (T_3 - T_2) = A_{23} + \Delta U_{23} \Rightarrow$$

$$A_{23} = P_2 (V_3 - V_1) = \nu R (T_3 - T_2) \Rightarrow Q_{23} = \frac{5}{2} \nu R (T_3 - T_2) \Rightarrow \text{Запишем}$$

$$\nu R (T_3 - T_2) \text{ на } A_{23} \Rightarrow Q_{23} = \frac{5}{2} A_{23} \Rightarrow \frac{Q_{23}}{A_{23}} = \frac{5}{2}$$

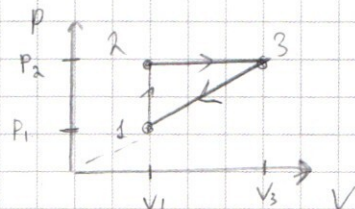
III) Предельное КПД $\Rightarrow \eta = \frac{Q_k - Q_x}{Q_k} = 1 - \frac{Q_x}{Q_k}$

Q_k в нашей задаче это $Q_k = Q_{12} + Q_{23}$ а $Q_x = Q_{31}$

$$Q_k = \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_1) + \frac{5}{2} \nu R (T_3 - T_2)$$

$$Q_x = \left| \frac{P_1 + P_2}{2} (V_1 - V_3) + \frac{3}{2} \nu R (T_1 - T_3) \right|$$

(по модулю)



4) ЗДХ из. и $\mathcal{E} = 9\text{В}$

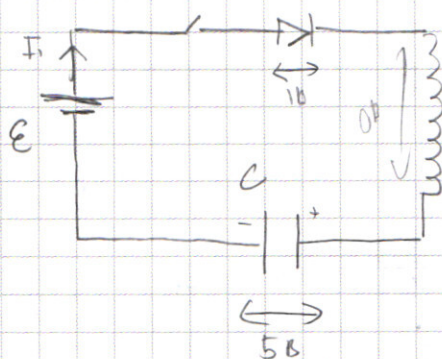
$C = 40\text{ нФ}$

$U_1 = 5\text{В}$

$L = 0,1\text{ Гн}$

$U_0 = 1\text{В}$

1) найти скорость возростания тока сразу после замыкания ключа



$$I = \frac{\mathcal{E}}{R_{\text{вн.}}}$$

$$R_{\text{вн.}} = r_L + r_C$$

$$\mathcal{E} = U_g'' + U_L' + U_C'' \Rightarrow$$

$$U_L = 3\text{В} \Rightarrow$$

2) найти $I_{\text{макс}}$ после замыкания ключа

C

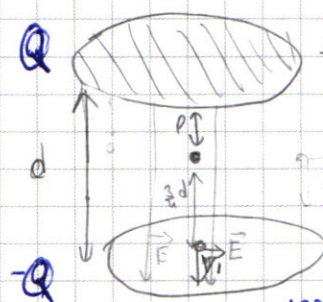
ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$\begin{aligned}
 Q_x &= \frac{P_1 V_1 + P_2 V_2 - P_1 V_3 - P_2 V_3}{2} + \frac{3}{2} \Delta R (T_1 - T_3) \Rightarrow \text{т.к. } P_1 = \alpha V_1, P_2 = \alpha V_3 \\
 \Rightarrow A_x &= \frac{\alpha V_1^2 + \alpha V_1 V_3 - \alpha V_1 V_3 - \alpha V_3^2}{2} = \frac{P_1 V_1 - P_2 V_3}{2} = \Rightarrow \\
 \Rightarrow Q_x &= \frac{P_1 V_1 - P_2 V_3}{2} + \frac{3}{2} \Delta R (T_1 - T_3) = \frac{\Delta R T_1 - \Delta R T_3 + 3 \Delta R T_1 - 3 \Delta R T_3}{2} = \\
 &= \frac{4 \Delta R (T_1 - T_3)}{2} = 2 \Delta R (T_1 - T_3) = Q_x \Rightarrow \text{по условию } Q_x = 2 \Delta R (T_3 - T_1) \\
 Q_n &= \frac{3}{2} \Delta R (T_2 - T_1) + \frac{5}{2} \Delta R (T_3 - T_2) = \frac{3 \Delta R T_2 - 3 \Delta R T_1 + 5 \Delta R T_3 - 5 \Delta R T_2}{2} = \\
 &= \frac{5 \Delta R T_3 - 3 \Delta R T_1 - 2 \Delta R T_2}{2} \Rightarrow \text{т.к. } \frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}, \text{ а } P_1 = \alpha V_1, P_2 = \alpha V_3 \Rightarrow \\
 \frac{\alpha V_1}{T_1} &= \frac{\alpha V_3}{T_2} \Rightarrow \frac{V_1}{V_3} = \frac{T_1}{T_2} \Rightarrow \text{т.к. } \frac{V_3^2}{V_1^2} = \frac{T_3}{T_1} \Rightarrow \frac{T_2^2}{T_1^2} = \frac{T_3}{T_1} \Rightarrow \\
 T_2^2 &= T_3 \cdot T_1 \quad \text{или используем } \eta = 1 - \frac{T_{\min}}{T_{\max}} = 1 - \frac{T_1}{T_3} = 1 - \frac{V_1^2}{V_3^2} = \\
 &= 1 - \frac{\alpha V_1^2}{\alpha V_3^2} = 1 - \frac{P_1 V_1}{P_2 V_3} = \frac{P_2 V_3 - P_1 V_1}{P_2 V_3} = \\
 Q_n &= \frac{5}{2} \Delta R T_3 - \frac{3}{2} \Delta R T_1 - \Delta R T_2 \\
 D &= \frac{Q_n - Q_x}{Q_n} = \frac{\frac{5}{2} \Delta R T_3 - \frac{3}{2} \Delta R T_1 - \Delta R T_2 - 2 \Delta R T_3 + 2 \Delta R T_1}{\frac{5}{2} \Delta R T_3 - \frac{3}{2} \Delta R T_1 - \Delta R T_2} = \\
 &= \frac{\frac{\Delta R T_3}{2} + \frac{\Delta R T_1}{2} - \Delta R T_2}{\frac{5}{2} \Delta R T_3 - \frac{3}{2} \Delta R T_1 - \Delta R T_2} = \frac{\frac{T_3}{2} + \frac{T_1}{2} - T_2}{\frac{5}{2} T_3 - \frac{3}{2} T_1 - T_2} = \frac{T_3 + T_1 - 2 T_2}{5 T_3 - 3 T_1 - 2 T_2} = D
 \end{aligned}$$

Ответ: $\frac{3}{5} = \frac{C_{\min}}{C_{\max}}; \frac{Q_n}{A_{23}} = \frac{5}{2}; \eta = \frac{T_3 + T_1 - 2 T_2}{5 T_3 - 3 T_1 - 2 T_2}$

3) S
 $d (d \ll \sqrt{S})$
 $l = 0,25d, T$
 $\frac{q}{m} = \gamma; q > 0$

- 1) - ?
 2) - ?
 3) - ?



$$E = \frac{q}{\epsilon_0 S}$$

2) На частицу действует сила $\vec{E} = \frac{q}{\epsilon_0 S}$

Заметим что эта сила совершила работу, которая и разогнала нашу частицу

$$W_n = F \cdot d \rightarrow \text{Запишем ЗСН}$$

$$F \cdot (d - l) = \frac{m V_1^2}{2} \Rightarrow V_1^2 = \frac{2 F (\frac{3}{4} d)}{m} =$$

$$= 2 \frac{Eq}{m} \frac{3}{4} d = 2 E \gamma \frac{3}{4} d = \frac{3}{2} E \gamma d = V_1^2$$

Но нам так же известно, что за время T частица пролетела $\frac{3}{4} d \Rightarrow$
 $Eq = F = m a_z$ (a_z - это ускорение по оси x , которое есть у частицы)
 $Eq = m a_z$ $E \gamma = a_z$ $\frac{3}{4} d = \frac{a_z T^2}{2} \Rightarrow$

$$\frac{3}{2} d = E \gamma T^2 \Rightarrow \frac{3 d}{2 \gamma T^2} = E \text{ подставим в уравнение для } V_1$$

$$V_1^2 = \frac{3}{2} \gamma d \cdot \frac{3 d}{2 \gamma T^2} = \frac{9 d^2}{4 T^2} \Rightarrow V_1 = \frac{3 d}{2 T}$$

2) Какое значение Q . Так известно в конденсаторе

$$E = \frac{Q}{\epsilon_0 S} \Rightarrow Q = E \epsilon_0 S = \frac{3 d}{2 \gamma T^2} \cdot \epsilon_0 S \Rightarrow$$

$$Q = \frac{3 d \epsilon_0 S}{2 \gamma T^2}$$

$$E = \frac{U}{d}$$

3) с какой скоростью V_2 частица будет двигаться на бесконечно большом расстоянии? Когда частица выйдет из конденсатора обкладки с зарядом $-Q$ будет притягивать, а вот обкладка с зарядом $+Q$ наоборот отталкивать нашу частицу с положительным зарядом.
 Запишем ЕСН

$$\frac{m V_1^2}{2} + q E d = \frac{m V_2^2}{2}$$

$$m V_1^2 + q E d = m V_2^2 \Rightarrow$$

(я не использовал формулу обкладки с $-Q$, т.к. пока что у меня тело еще не отлетело от нее => расстояние 0

$$\text{Ответ: } \frac{3d}{2T}; \frac{3d\epsilon_0 S}{2\gamma T^2}; \frac{\sqrt{5}d}{2T}$$

$$V_2 = \sqrt{V_1^2 + \frac{q E d}{m}} = \sqrt{\frac{9 d^2}{4 T^2} + \frac{E d}{\gamma}} = \sqrt{\frac{9 d^2}{4 T^2} + \frac{3 d}{2 \gamma T^2} \cdot d} = \sqrt{\frac{9 d^2}{4 T^2} + \frac{3 d^2}{2 T^2}} = \frac{\sqrt{5} d}{2 T}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

①

$$V = 68 \text{ м/с} \quad \text{AB}$$

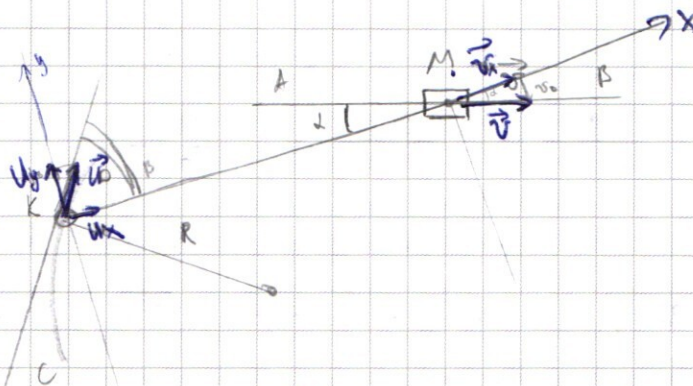
$$m = 0,1 \text{ кг}$$

$$R = 1,9 \text{ м}$$

$$l = 5R/3$$

$$\cos \alpha = 15/17$$

$$\cos \beta = 4/5$$



1) Найти u - скорость кольца в этот момент. Рассмотрим кинь.

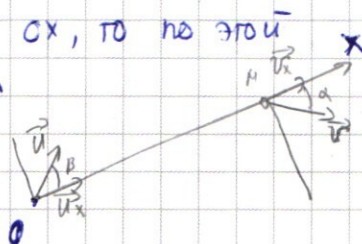
Благодаря кинь, если мы построим правильную ось, то на этой прямой проекции скоростей должны быть одинаковы

$$u_x = v_x \Rightarrow u \cdot \cos \beta = v \cdot \cos \alpha \Rightarrow$$

$$u = \frac{v \cdot \cos \alpha}{\cos \beta} = \frac{0,68 \text{ м/с} \cdot \frac{15}{17}}{\frac{4}{5}} =$$

$$= \frac{0,68 \text{ м/с} \cdot 15 \cdot 5}{4 \cdot 17} = 0,01 \cdot (50 + 25) = 0,75 \text{ м/с} = \frac{3}{4} \text{ м/с}$$

это $\frac{3}{4} \text{ м/с} = u$



2) Найти скорость кольца относительно муфты $\Rightarrow$

$$\vec{u}_{\text{отн.м}} = \vec{u} - \vec{v}$$

$u_{\text{отн.м}}$ - это скорость кольца относительно муфты

$$u_{\text{отн.м}} = v \cdot \sin \alpha + u \cdot \sin \beta$$

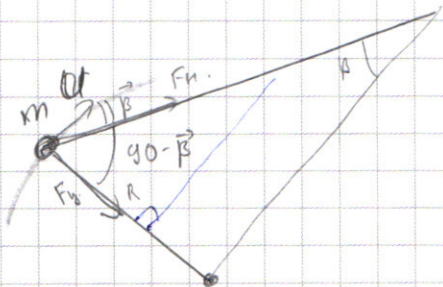
$$= \frac{8}{17} = \sin \alpha \Rightarrow \sin \beta = \sqrt{1 - \frac{16}{25}} = \sqrt{\frac{9}{25}} = \frac{3}{5}$$

$$u_{\text{отн.м}} = 0,68 \cdot \frac{8}{17} + \frac{3}{4} \cdot \frac{3}{5} = 0,32 \text{ м/с} + \frac{9}{20} = 0,32 \text{ м/с} + 0,45 \text{ м/с} =$$

$$= 0,77 \text{ м/с} = u_{\text{отн.м}}$$

3) Найти силу натяжения нити $F_{\text{нат}}$.

Рассмотрим силы действующие на кольцо - это сила $F_{\text{ц}}$ центрострем.



$$F_y = m a_y = m \frac{v^2}{R} \Rightarrow \text{найдем } F_y$$

$$F_y = 0,1 \cdot \left(\frac{3}{4}\right)^2 \cdot \frac{1}{1,9 \text{ м}} = 0,1 \cdot \frac{9}{16} \cdot \frac{1}{1,9} =$$

$$= \frac{9}{16 \cdot 10 \cdot 1,9} = \frac{9}{16 \cdot 19} = \frac{9}{304} \approx 0,03 \text{ Н}$$

$$\times \frac{16 \cdot 19}{4}$$

$$16 \cdot 19 = 160 + 16 \cdot 9 = 160 + 80 + 54 = 250 + 54 = 304$$

$$\frac{9}{304} \approx \frac{9}{300} \approx \frac{3}{100} \approx 0,03 \text{ Н}$$

Помогите построить

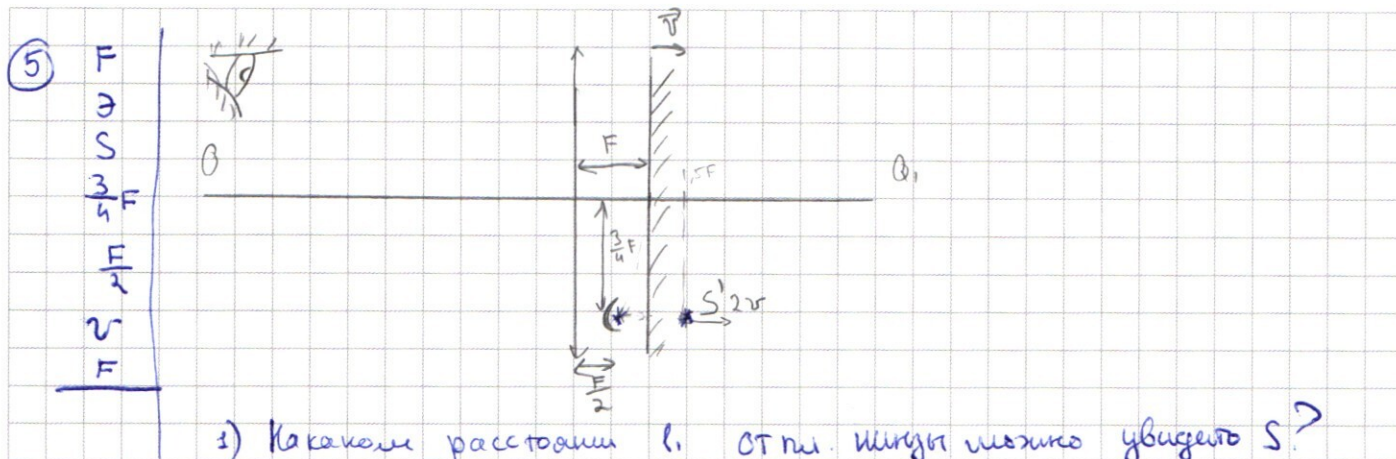
треугольник с катетами $\frac{5R}{3}$ и одним из катетов R (Египетский $\Delta: 5; 3; 4$) $\Rightarrow$

$$\cos(90 - \beta) = \sin \beta = \frac{3}{5} \Rightarrow \frac{F_y}{F_n} = \sin \beta \Rightarrow F_n = \frac{F_y}{\sin \beta} =$$

$$= \frac{0,03 \text{ Н}}{\frac{3}{5}} \cdot 5 = 0,05 \text{ Н}$$

Ответ: 1) $v = \frac{3}{4} \text{ м/с}$ 2) $\text{Котм} = 0,77 \text{ м/с}$ 3) $0,05 \text{ Н}$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



1) Каким расстоянием l_1 от пл. линзы можно увидеть S ?

В данной системе можно перенести S вот так (S')

S' находится на расстоянии $f_1 = 1.5F$ от линзы $\Rightarrow$
найдем d_1 или l_1 по формуле тонкой линзы

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{l_1} + \frac{1}{f_1} \Rightarrow \frac{1}{l_1} = \frac{1}{F} - \frac{1}{f_1} = \frac{f_1 - F}{F f_1} \Rightarrow l_1 = \frac{F f_1}{f_1 - F} \Rightarrow$$

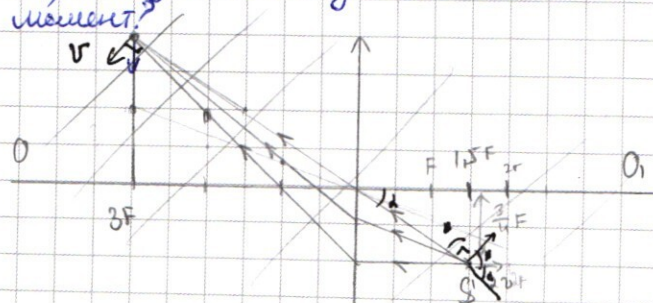
$$l_1 = \frac{1.5F \cdot F}{0.5F} = 3F \Rightarrow \boxed{l_1 = 3F}$$

2) Под каким углом α к оси OO_1 движется изображение в этот момент?

скорость S' относительно
линзы $= 2v$

$$\Gamma = \frac{f}{d} = \frac{3F}{1.5F} = 2 \Rightarrow$$

$$h_1 = \frac{3}{4}F \Rightarrow H = \frac{3}{2}F$$

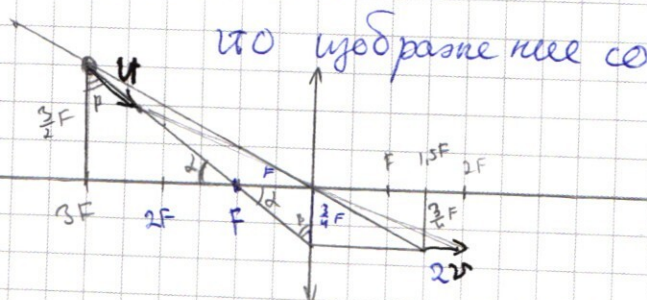


Ответ: можно заметить

скоростью u движется к
 OO_1 под углом α

$$\tan \alpha = \frac{\frac{3}{4}F}{F} = \frac{3}{4} \Rightarrow$$

$$\alpha = \arctan \frac{3}{4}$$



3) Найти скорость изображения и ?

Скорость изображения относится к скорости v как

$$\Gamma^2 \Rightarrow u = 42v = 82v$$

Ответ $3F$; $\tan \alpha = \frac{5}{4}$; $82v$;

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$D = \frac{A_{\text{в}}}{Q_{\text{н}}} = \frac{\frac{1}{2}(P_2 - P_1)(V_3 - V_1)}{Q_{\text{н}}}$$

$$\frac{3}{2} DR(T_2 - T_1) + P_2(V_3 - V_1) + \frac{3}{2} DR(T_3 - T_2) =$$

$$= \frac{3}{2} DR T_2 + \frac{3}{2} DR T_1 + \frac{3}{2} DR T_3 - \frac{3}{2} DR T_2 + P_2(V_3 - V_1) =$$

$$= P_2(V_3 - V_1) + \frac{3}{2} DR(T_3 - T_1)$$

$$T_2 = \frac{P_2}{P_1} T_1 \quad \frac{3}{2} DR(T_3 - T_1) + \frac{1}{2} DR(T_3 - T_1) \quad Q_{\text{н}} = 2 DR(T_3 - T_1)$$

$\frac{A_{\text{пол}}}{Q_{\text{об.}}}$

$$\frac{3}{2} DR(T_2 - T_1) + \frac{5}{2} DR(T_3 - T_2) =$$

$$\frac{3}{2} DR \left(\frac{P_2}{P_1} T_1 - T_1 \right) = \frac{3}{2} DR T_1 \frac{(P_2 - P_1)}{P_1} =$$

$$= \frac{3}{2} P_1 V_1 \frac{(P_2 - P_1)}{P_1} = \frac{3}{2} V_1 (P_2 - P_1)$$

$$\frac{5}{2} P_2 (V_3 - V_2)$$

$$\frac{1,5R}{\frac{3}{2}R}$$

$$\frac{2,5R}{\frac{5R}{2}}$$

$$\frac{2R}{2R}$$

$$C_{\text{пол}} = 2R$$

$$C = 2R$$

$$\frac{P_1 + P_2}{2} (V_3 - V_1) =$$

$$= \frac{P_1 V_3 + P_2 V_3 - P_1 V_1 - P_2 V_1}{2}$$

$$\Delta V_1 = P_1, \quad \Delta V_3 = P_2$$

$$\Delta V_1 V_3 + \Delta V_3^2 - \Delta V_1^2 - \Delta V_3 V_1 =$$

$$= \frac{\Delta V_3^2 - \Delta V_1^2}{2}, \quad \frac{3}{2} R (T_3 - T_1)$$

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_3}{T_3} \quad \frac{\Delta V_1^2}{T_1} = \frac{\Delta V_3^2}{T_3}$$

$$\frac{T_1}{T_3} = \frac{V_1^2}{V_3^2} =$$

$$V_1^2 = \frac{T_1}{T_3} V_3^2$$

$$= \frac{\Delta (V_3^2 - V_1^2)}{2} =$$

$$= \frac{\Delta \left(V_3^2 - \frac{T_1}{T_3} V_3^2 \right)}{2} = \frac{\Delta \left(V_3^2 \left(\frac{T_3 - T_1}{T_3} \right) \right)}{2} =$$

$$= \frac{P_2 V_3 (T_3 - T_1)}{2 T_3} =$$

$$P_2 V_3 = R T_3$$

$$= \frac{R (T_3 - T_1)}{2} \Rightarrow 2 R (T_3 - T_1)$$