

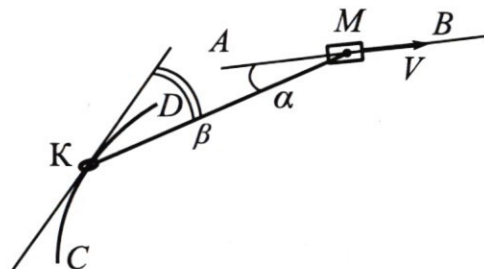
Олимпиада «Физтех» по физике,

Класс 11

Вариант 11-02

Бланк задания обязательно должен быть вложен в работу. Работы без

1. Муфту M двигают со скоростью $V = 40$ см/с по горизонтальной направляющей AB (см. рис.). Кольцо K массой $m = 1$ кг может двигаться без трения по проволоке CD в виде дуги окружности радиусом $R = 1,7$ м. Кольцо и муфта связаны легким тросом длиной $l = 17R/15$. Система находится в одной горизонтальной плоскости. В некоторый момент трос составляет угол α ($\cos \alpha = 3/5$) с направлением движения муфты и угол β ($\cos \beta = 8/17$) с направлением движения кольца.



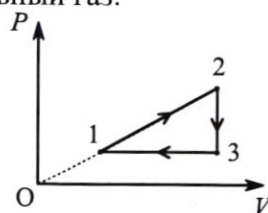
- 1) Найти скорость кольца в этот момент.
- 2) Найти скорость кольца относительно муфты в этот момент.
- 3) Найти силу натяжения троса в этот момент.

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 количества теплоты, полученной газом, 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. Положительно заряженная частица движется на большом расстоянии к конденсатору по оси симметрии, перпендикулярно обкладкам, влетает в него со скоростью V_1 и останавливается между обкладками на расстоянии $0,2d$ от положительно заряженной обкладки. Удельный заряд частицы $\frac{q}{m} = \gamma$.

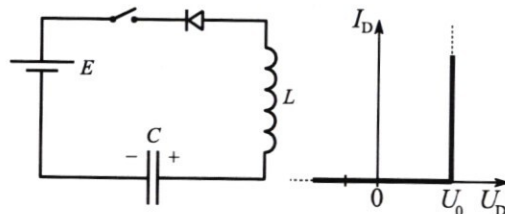
1) Найдите продолжительность T движения частицы в конденсаторе до остановки.

2) Найдите напряжение U на конденсаторе.

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 $E = 3$ В, конденсатор емкостью $C = 20$ мкФ заряжен до напряжения $U_1 = 6$ В, индуктивность идеальной катушки $L = 0,2$ 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.

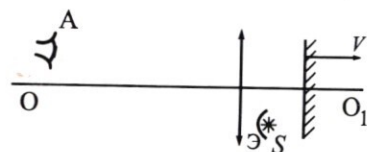
3) Найти установившееся напряжение U_2 на конденсаторе после замыкания ключа.

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 плоскости $(F/3)$ от 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.

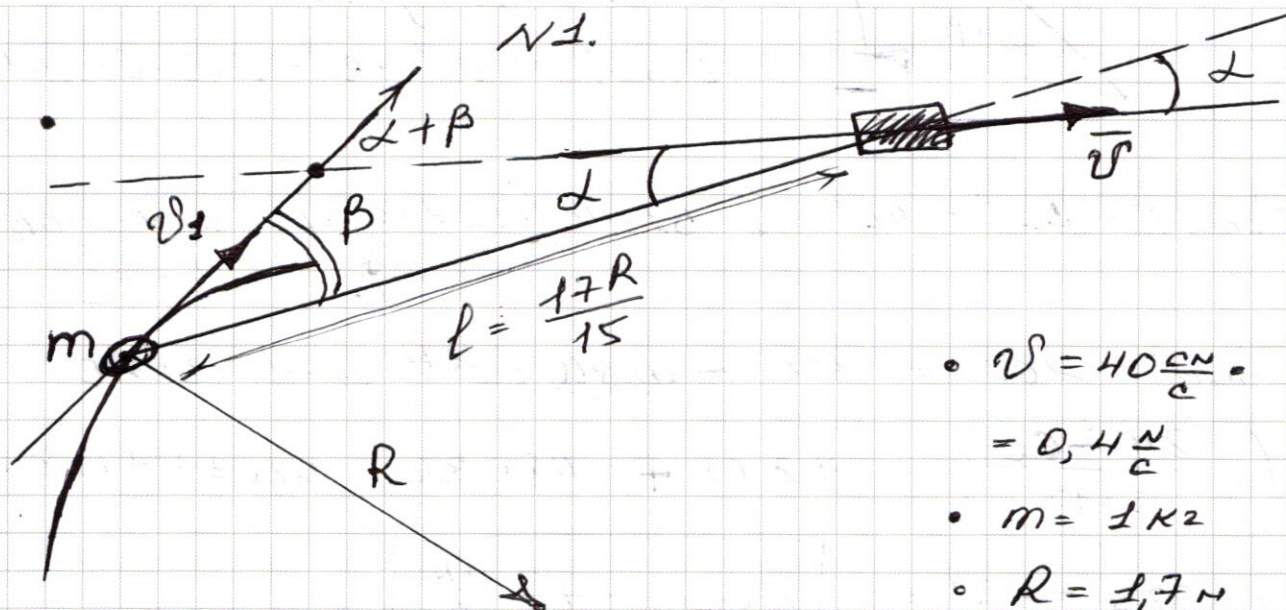
1) На каком расстоянии от плоскости линзы наблюдатель A сможет увидеть в этот момент изображение источника в системе?

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



Решение:

- $v = 40 \frac{\text{см}}{\text{с}}$
• $= 0,4 \frac{\text{м}}{\text{с}}$
- $m = 1 \text{ кг}$
- $R = 1,7 \text{ м}$
- $\cos \alpha = \frac{3}{5}$
- $\cos \beta = \frac{8}{17}$

1) В силу нерастяжимости троса:
проекция скорости кольца и муфты на
направление — «трос» равна: $\Rightarrow$

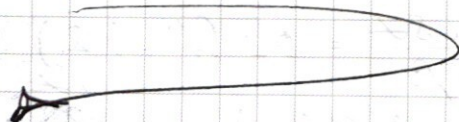
$$\Rightarrow v_1 \cdot \cos \beta = v \cdot \cos \alpha \Rightarrow v_1 = \frac{v \cdot \cos \alpha}{\cos \beta};$$

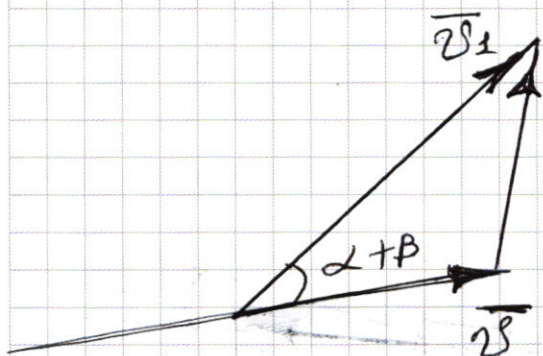
$$v_1 = \frac{0,4 \frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot \frac{3}{5}}{\frac{8}{17}} = \frac{36 \cdot 17}{25 \cdot 8} = \frac{51}{100} = 0,51 \frac{\text{м}}{\text{с}} = 51 \frac{\text{см}}{\text{с}}$$

2) Проекция скорости кольца на направление
движения муфты: $v_1 \cdot \cos(\alpha + \beta) \Rightarrow$

$$\Rightarrow v_{\text{отн.}} = v_1 \cdot \cos(\alpha + \beta) - v \quad (\vec{v}_{\text{отн.}} = \vec{v}_{\text{отн.}} + \vec{v}_{\text{пер.}})$$

или через треугольник скоростей:





$$\vec{v}_1 = \vec{v} + \vec{v}_{omn1};$$

$$v_{omn1} = ?$$

по т. косинусов:

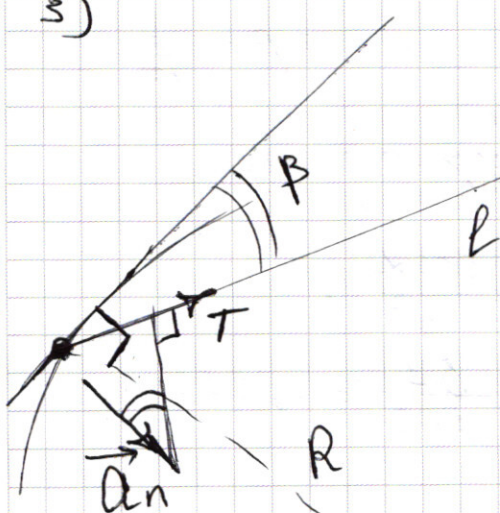
$$v_{omn1}^2 = v_1^2 + v^2 - 2v_1 \cdot v \cos(\alpha + \beta)$$

$$v_{omn1}^2 = 51^2 + 40^2 - 2 \cdot 51 \cdot 40 \left(\underbrace{\cos \alpha \cdot \cos \beta}_{\frac{3}{5} \cdot \frac{8}{17}} - \underbrace{\sin \alpha \cdot \sin \beta}_{\frac{4}{5} \cdot \frac{15}{17}} \right)$$

$$v_{omn1}^2 = 2601 + 1600 - 4080 \left(\frac{24}{85} - \frac{60}{85} \right) = 4201 + 48 \cdot 36 = 4201 + 1728 =$$

$$5929 = 77^2 \Rightarrow v_{omn1} = 77 \frac{\text{см}}{\text{с}}$$

3)



Аналогично по второму закону Ньютона

$$T = m a_n \cdot \sin \beta$$

$$T = m \cdot \frac{v_1^2}{R} \cdot \sin \beta$$

$$T = 1_{\text{кг}} \cdot \frac{(0,51 \frac{\text{м}}{\text{с}})^2}{1,7 \text{ м}} \cdot \frac{15}{17}$$

$$T = \frac{1 \cdot 9 \cdot 17^2 \cdot 15 \cdot 10}{10000 \cdot 17^2} = \frac{135}{1000} = 0,135 \text{ Н}$$

$$3) T = m \left(\frac{v \cdot \cos \alpha}{\cos \beta} \right)^2 \cdot \sin \beta / R = 0,135 \text{ Н}$$

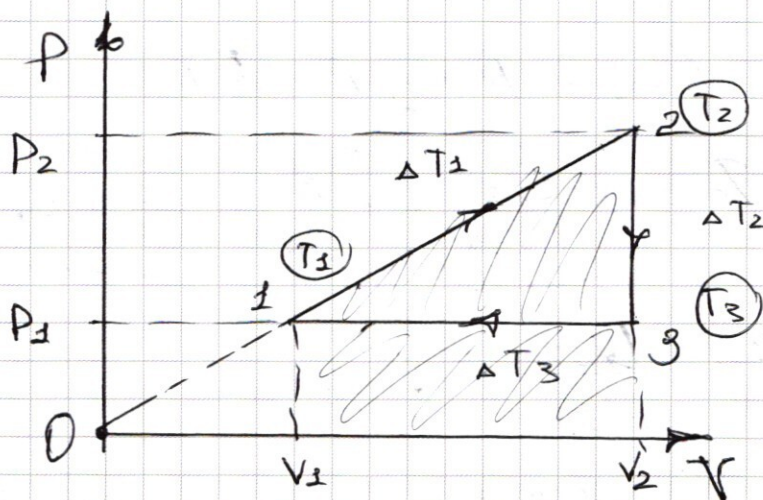
Ответ: 1) $v_1 = \frac{v \cdot \cos \alpha}{\cos \beta} = 51 \frac{\text{см}}{\text{с}}$; 2)

$$v_{omn} = \left(\frac{v \cdot \cos \alpha}{\cos \beta} \right)^2 + v^2 - 2 \left(\frac{v \cdot \cos \alpha}{\cos \beta} \right) v \cdot \cos(\alpha + \beta) = 77 \frac{\text{см}}{\text{с}}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

N2.

- $l=3$
- 1) $\frac{Q_{23}}{Q_{31}} - ?$
 - 2) $\frac{Q_{12}}{A_{12}} - ?$
 - 3) $\eta_{(max)} - ?$



Решение:

- ① $p_1 V_1 = \nu R T_1$
 - ② $p_2 V_2 = \nu R T_2$
- ↑ увеличение температуры

участок 1-2: $p = \alpha V \rightarrow p_1 = \alpha V_1$
 $\rightarrow p_2 = \alpha V_2 \Rightarrow \frac{p_1}{p_2} = \frac{V_1}{V_2}$ тогда $\frac{p_1}{p_2} \cdot \frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}$;

$\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^2 = \frac{T_1}{T_2} \rightarrow (p_1 V_2 = p_2 V_1) \rightarrow \left(\frac{p_1 V_2}{p_2 V_1} = 1\right)$

- ③ Процесс 2-3: $p_2 V_2 = \nu R T_2$
 (изохора) $p_1 V_1 = \nu R T_3 \rightarrow \frac{p_1}{p_2} = \frac{T_3}{T_2}$ понижение темп.

- ④ Процесс 3-1: $p_1 V_2 = \nu R T_3$
 $p_1 (V_1 - V_2) = \nu R \Delta T_3 \rightarrow \frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_3}$ понижение темп.

$\Rightarrow$ 1) $\frac{Q_{123}}{Q_{31}} - ?$ 1. По законам термодинамики для участка 2-3:

$Q_{23} = A_{2-3} + \Delta U_{23}$
 $Q_{123} \nu \Delta T_2 = \frac{3}{2} \nu R \Delta T_2 \Rightarrow Q_{23} = \frac{3}{2} R$

1) Найти термодинамический коэффициент β 3-1:

$$Q_{31} = A_{31} + \Delta U_{31}$$

$$C_{31} \cancel{V} \cancel{R} \Delta T_3 = \underbrace{p_1 (V_1 - V_2)}_{\cancel{V} R \Delta T_3} + \frac{3}{2} \cancel{V} R \Delta T_3$$

$$C_{31} \cancel{V} R \Delta T_3 = \cancel{V} R \Delta T_3 + \frac{3}{2} \cancel{V} R \Delta T_3$$

$$C_{31} = R + \frac{3}{2} R = \frac{5}{2} R$$

$$\text{Тогда } \left(\frac{C_{23}}{C_{31}} = \frac{\frac{3}{2} R}{\frac{5}{2} R} = \frac{3}{5} = 0,6 \right)$$

2) $\frac{Q_{12}}{A_{12}} = ?$

Т.к. 1-2-3-1 — цикл, то (из 1 н.т.):

$$Q_{12} + Q_{23} + Q_{31} = A_{12} + A_{23} + A_{31}$$

(полное изменение внутренней энергии за цикл равно 0)

$$Q_{12} + \Delta U_{23} + A_{31} + \Delta U_{31} = A_{12} + A_{31}$$

$$Q_{12} = A_{12} - \Delta U_{23} - \Delta U_{31}$$

$$(A_{12} = \cancel{p_2 (V_2 - V_1)} \cancel{p_1 (V_2 - V_1)} + (p_2 - p_1) \frac{(V_2 - V_1)}{2} =$$

($A_{12} > 0 \rightarrow$)

$$= (V_2 - V_1) (p_1 + \frac{p_2 - p_1}{2}) = (V_2 - V_1) (\frac{p_1 + p_2}{2})$$

$$\Delta U_{23} = \frac{3}{2} \cancel{V_2 (p_1 - p_2)} \cancel{V_1 (p_1 - p_2)} R (T_3 - T_2); \quad \Delta U_{31} = \frac{3}{2} \cancel{V_2 (p_1 - p_2)} \cancel{V_1 (p_1 - p_2)} R (T_3 - T_1)$$

$$\frac{Q_{12}}{A_{12}} = \frac{(V_2 - V_1) (\frac{p_1 + p_2}{2}) - \frac{3}{2} V_2 (p_1 - p_2) - \frac{3}{2} p_1 (V_1 - V_2)}{(V_2 - V_1) (\frac{p_1 + p_2}{2})}$$

$$= \frac{V_2 p_1 - V_1 p_1 + V_2 p_2 - V_1 p_2 - 3 V_2 p_1 + 3 V_2 p_2 - 3 p_1 V_1 + 3 p_1 V_2}{V_2 p_1 - V_1 p_1 + V_2 p_2 - V_1 p_2}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$\frac{Q_{12}}{A_{12}} = \frac{\cancel{p_1 V_2} + 4 p_2 V_2 - 4 p_1 V_1 + \cancel{p_1 V_2}}{(V_2 - V_1)(p_1 + p_2)} =$$

Из соотнош, введенного в ① и ② пункте:

$$p_1 V_2 = p_2 V_1 \Rightarrow$$

$$\begin{aligned} \frac{Q_{12}}{A_{12}} &= \frac{\cancel{p_1 V_2} + 4 p_2 V_2 - 4 p_1 V_1 - \cancel{p_1 V_2}}{\cancel{V_2 p_1} - \cancel{V_1 p_1} + V_2 p_2 - \cancel{p_1 V_2}} = \\ &= \frac{4(p_2 V_2 - p_1 V_1)}{(p_2 V_2 - p_1 V_1)} = 4. \Rightarrow \left(\frac{Q_{12}}{A_{12}} = 4 \right) ! \end{aligned}$$

$$3) \text{ КПД: } \eta = \frac{A}{Q_{\text{поз}}};$$

$$A = A_{12} + A_{23} + A_{31} = Q_{12} + Q_{23} + Q_{31}$$

$$Q_{\text{поз}} = Q_{12} !, \text{ т.к. } Q_{23} < 0 \text{ и } Q_{31} < 0.$$

$$\eta = \frac{A_{12} + A_{31}}{A_{12} + \Delta V_{12}} = \frac{(\frac{V_2 - V_1}{2})(p_1 + p_2) + p_1(V_1 - V_2)}{(\frac{V_2 - V_1}{2})(p_1 + p_2) + \frac{3}{2}(p_2 V_2 - p_1 V_1)} =$$

$$= \frac{(V_2 - V_1) \left(\frac{p_1}{2} + \frac{p_2}{2} - p_1 \right) \cdot 2}{\dots}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{(p_1 V_2 - p_1 V_1 + p_2 V_2 - p_2 V_1) + 3 p_2 V_2 - 3 p_1 V_1}{p_1 V_2 - p_2 V_1 + 4 p_2 V_2 - 4 p_1 V_1} = \frac{p_2 V_2 + p_1 V_1 - 2 p_1 V_2}{4(p_2 V_2 - p_1 V_1)} \\ &= \frac{T_2 + T_1 - 2 T_3}{4(T_2 - T_1)} ; \quad \frac{T_3^2}{T_1 T_2} = 1 \Rightarrow T_3^2 = T_1 T_2 \Rightarrow \end{aligned}$$

$$\text{из пунктов в ① - ④}$$

$$2) \eta = \frac{T_2 + T_1 - 2\sqrt{T_1 T_2}}{4(T_2 - T_1)} = \frac{(\sqrt{T_2} - \sqrt{T_1})^2}{4(T_2 - T_1)} =$$

$$= \frac{\sqrt{T_2} - \sqrt{T_1}}{4(\sqrt{T_2} + \sqrt{T_1})}$$

Пример: 1) $\frac{Q_{23}}{Q_{31}} = 0,6$; 2) $\frac{Q_{12}}{A_{12}} = 4$;

3) $\eta = 25\%$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

CON 1.

N 3.

(U)

+

-

$\frac{q}{m} = 8$

$U_1 = q+$

1) T-?

2) U-?

3) U_0 -?

$q_K = C U \Rightarrow U = \frac{q_K}{C}$ где q_K - заряд

на обкладках конденсатора

$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{d}$

$F = q \cdot E = q \cdot \frac{k q_K}{r^2}$

3) Для решения пункта 3) Запишем

закон сохранения энергии:

$$\frac{mv_0^2}{2} = \frac{mv_1^2}{2} + \frac{q_k}{2\epsilon_0 S}$$

(Частица летит вдоль направленного поля конденсатора)

Для начального этапа ЗСЭ:

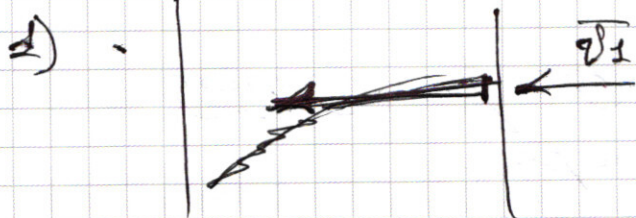
$$\frac{mv_1^2}{2} = \frac{K q_k \cdot q}{0,2d} - \frac{K \cdot q_k \cdot q}{0,8d} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow q_k = \frac{mv_1^2/2}{Kq \left(\frac{1}{0,2d} - \frac{1}{0,8d} \right)}$$

$$q_k = \frac{mv_1^2/2}{Kq \left(\frac{4}{0,8d} - \frac{1}{0,8d} \right)} = \frac{mv_1^2/2 \cdot 0,8d}{Kq (3)}$$

$$= \frac{mv_1^2 \cdot 0,8d}{2Kq \cdot 3} = \frac{0,4mv_1^2 d}{3Kq} ! \Rightarrow$$

$$\Rightarrow U = \frac{q_k}{C} = \frac{0,4mv_1^2 d^2}{3Kq \cdot \epsilon_0 S} \text{ (пункт 2)}$$



Т.к. частица движется
вдоль линий
электрического
поля в конденсаторе,
то по 234:

$$E \cdot q = ma \Rightarrow E = \frac{a}{\gamma} = \frac{q_k}{\epsilon_0 S}$$

$$\Rightarrow \frac{K q_k \cdot q}{d^2} = ma$$

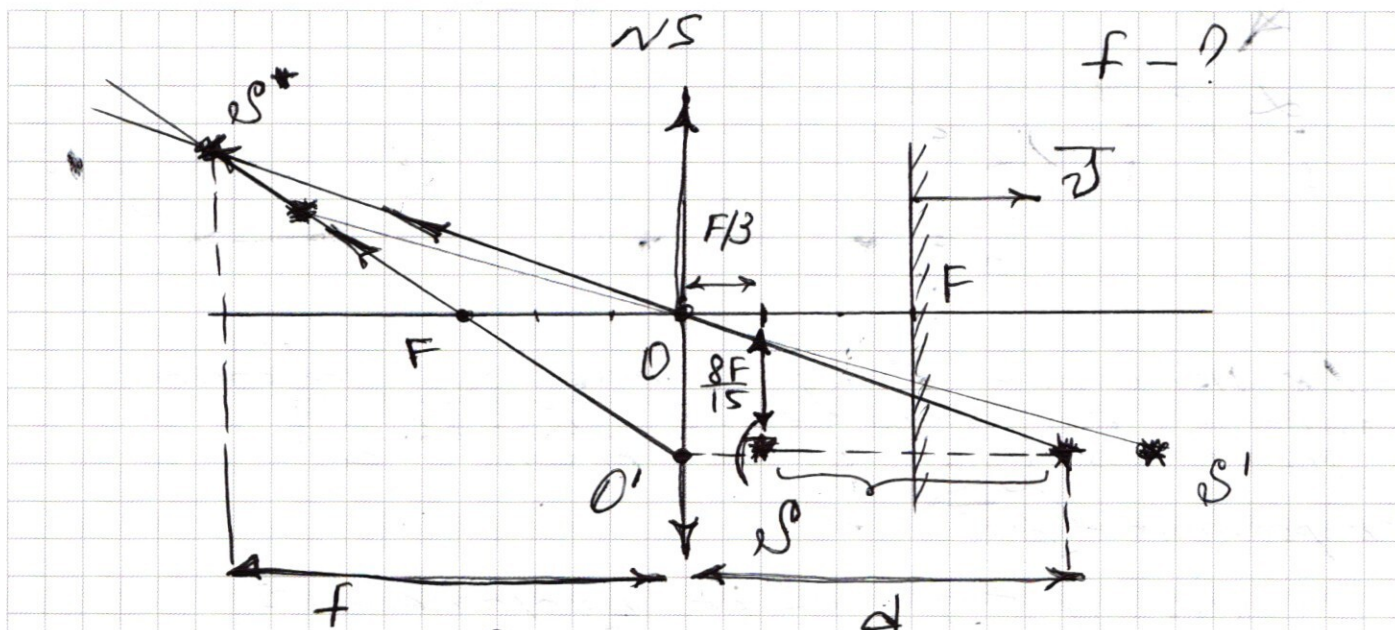
$$v_1 = v_1 + a \cdot T \Rightarrow$$

$$T = \frac{v_1}{E \cdot \gamma}$$

$$T = \frac{v_1}{a} \Rightarrow T = \frac{v_1 m}{E q}$$

$$\text{Ответ: 1) } T = \frac{v_1}{E \cdot \gamma}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



Решение:

- ① Т.к. в системе присутствует зеркало, то изображение источника в зеркале будет находиться на расстоянии

$$d = F/3 + (F - F/3) \cdot 2 = F/3 + 4F/3 = \frac{5}{3}F$$

Тогда по формуле тонкой линзы:

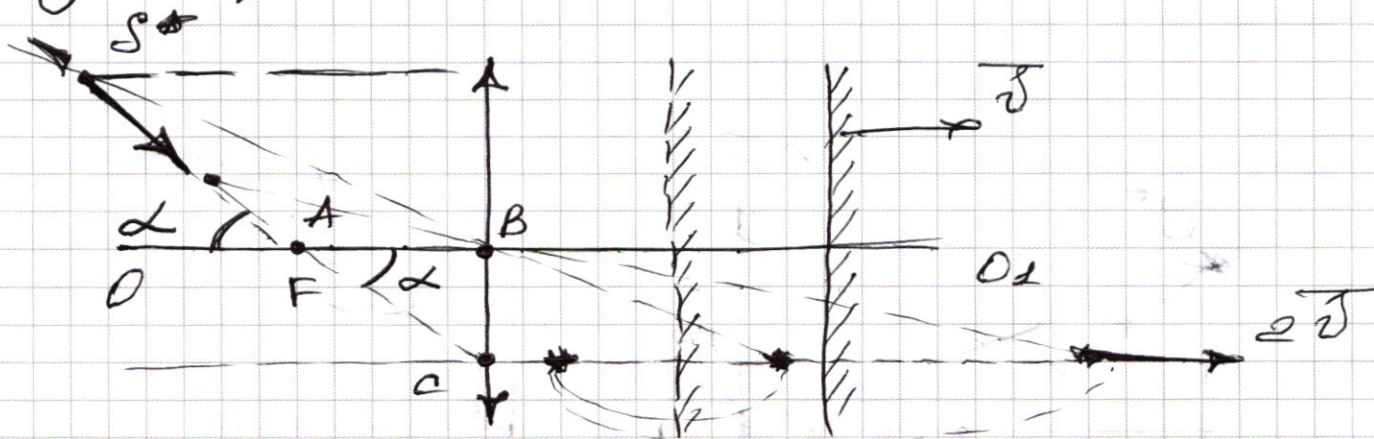
$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F}, \text{ где } f - \text{расстояние от}$$

изображения источника в линзе до плоскости линзы $\Rightarrow f$ - расстояние от наблюдателя до плоскости линзы (исковое)

$$\frac{1}{\frac{5}{3}F} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F}; \quad \frac{1}{f} = \frac{1}{F} - \frac{3}{5F} = \frac{2}{5F} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow f = 2,5F$$

② Изображение источника S^* движется
вдоль прямой S^*O' !



Р.к. источник всегда остается на одном месте, его изображение в зеркале движется вдоль одной прямой со скоростью $2v$. $\Rightarrow$

$\Rightarrow$ прл, проведенная от изображения источника в зеркале параллельно OO_1 и перпендикулярная линзе и проходящая через действительный фокус, не изменяется (его направление и угол с прямой OO_1 остаются постоянными) $\Rightarrow$

$\Rightarrow$ изображение источника движется вдоль этой прл к прямой OO_1 в силу

уменьшения источника (его изображения в зеркале от линзы) $\Rightarrow$

$\Rightarrow \alpha$ - угол между этой прл и OO_1 .

Найдём α из $\triangle ABC$ (на рис): $\text{tg} \alpha = \frac{BC}{AB}$;

$$BC = 8F/15; AB = F \Rightarrow \text{tg} \alpha = \frac{8}{15} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \boxed{\alpha = \arctg \frac{8}{15}}$$

③ Скорость источника $2v$. Пусть скорость изображения S^* — $\vec{v}$: $\rightarrow$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Тогда $2v \cdot \Delta t = \Delta d$; $\odot \frac{H \cdot \cos \alpha}{2v} = \frac{\Delta f}{\Delta d}$
 $H \cdot \cos \alpha \cdot \Delta t = \Delta f$

$\frac{H \cdot \cos \alpha}{2v} = \Gamma^2$, где Γ — увеличение:

$\Gamma = \frac{f}{d} = \frac{2,5 F}{5/3 F} = \frac{5 \cdot 3}{2 \cdot 5} = 1,5$

$H = \frac{(1,5)^2 \cdot 2v}{\cos \alpha} = \frac{9 \cdot 2v}{4 \cdot \cos \alpha}$

$1 + \tan^2 \alpha = \frac{1}{\cos^2 \alpha} \Rightarrow 1 + \frac{64}{225} = \frac{1}{\cos^2 \alpha} \Rightarrow$

$\Rightarrow \frac{289}{225} = \frac{1}{\cos^2 \alpha} \Rightarrow \cos \alpha = \frac{15}{17}$

$H = \frac{3 \cdot 9 \cdot 2 \cdot 17}{4 \cdot 15} v = \frac{51}{10} v = 5,1 \cdot v$

Объяснение формулы: Пусть v_1 — скорость предмета, v_2 — скорость изображения.

$\Gamma = \frac{f_1}{d_1} = \frac{f_1 + \Delta f}{d_1 + \Delta d}$; $d_1 \Delta f = f_1 \Delta d \Rightarrow \frac{f_1}{d_1} = \frac{\Delta f}{\Delta d}$

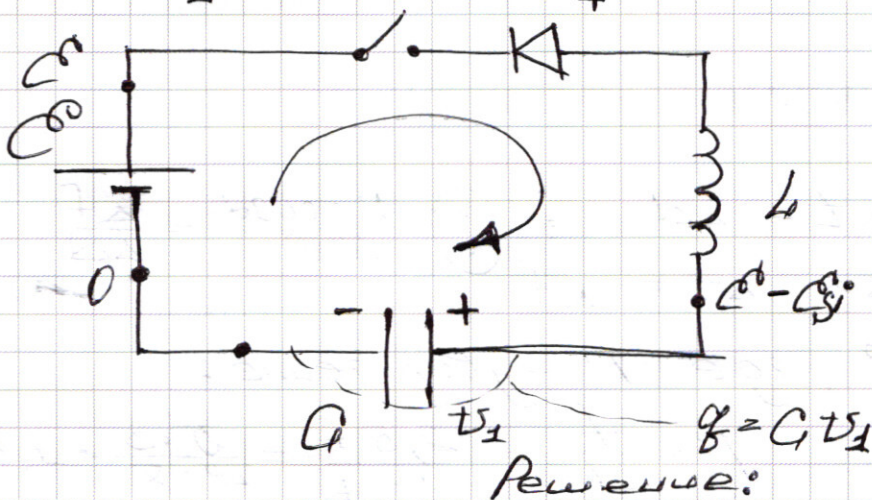
Ответ: 1) $f = 2,5 F$

2) $\alpha = \arctg \frac{8}{15}$

3) $H = \frac{2v \cdot \left(\frac{2,5 F}{5/3 F}\right)^2}{\cos \alpha}$; $\boxed{H = 5,1 v}$

Ответ:

$$1) I' = \frac{C - U_1}{L} = 15 \frac{A}{с}$$



$$C = 3 \text{ В}$$

$$C = 20 \text{ нФ}$$

$$U_1 = 6 \text{ В}$$

$$L = 0,2 \text{ Гн}$$

$$U_0 = 1 \text{ В}$$

$$1) I' = ?$$

① Ток скачком не меняется $\Rightarrow I(0) = 0$, тогда (после замыкания ключа)

$\Rightarrow$ напряжение на диоде $= 0$, тогда расставим потенциалы $\Rightarrow C - C_{si} = U_1 \Rightarrow$

$$\Rightarrow C_{si} = C - U_1; C_{si} = L \cdot I' \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \boxed{I' = \frac{C - U_1}{L}} = \frac{3 \text{ В}}{0,2 \text{ Гн}} = \boxed{15 \frac{A}{с}}$$

② Ток не будет, пока диод закрыт, диод откроется, когда напряжение на нем станет равно U_0

$$C + U_1 = C_{si} + U_0 \quad (\text{в момент открытия диода})$$

$$\text{При max токе } C_{si} = L \cdot I' = 0 \Rightarrow$$

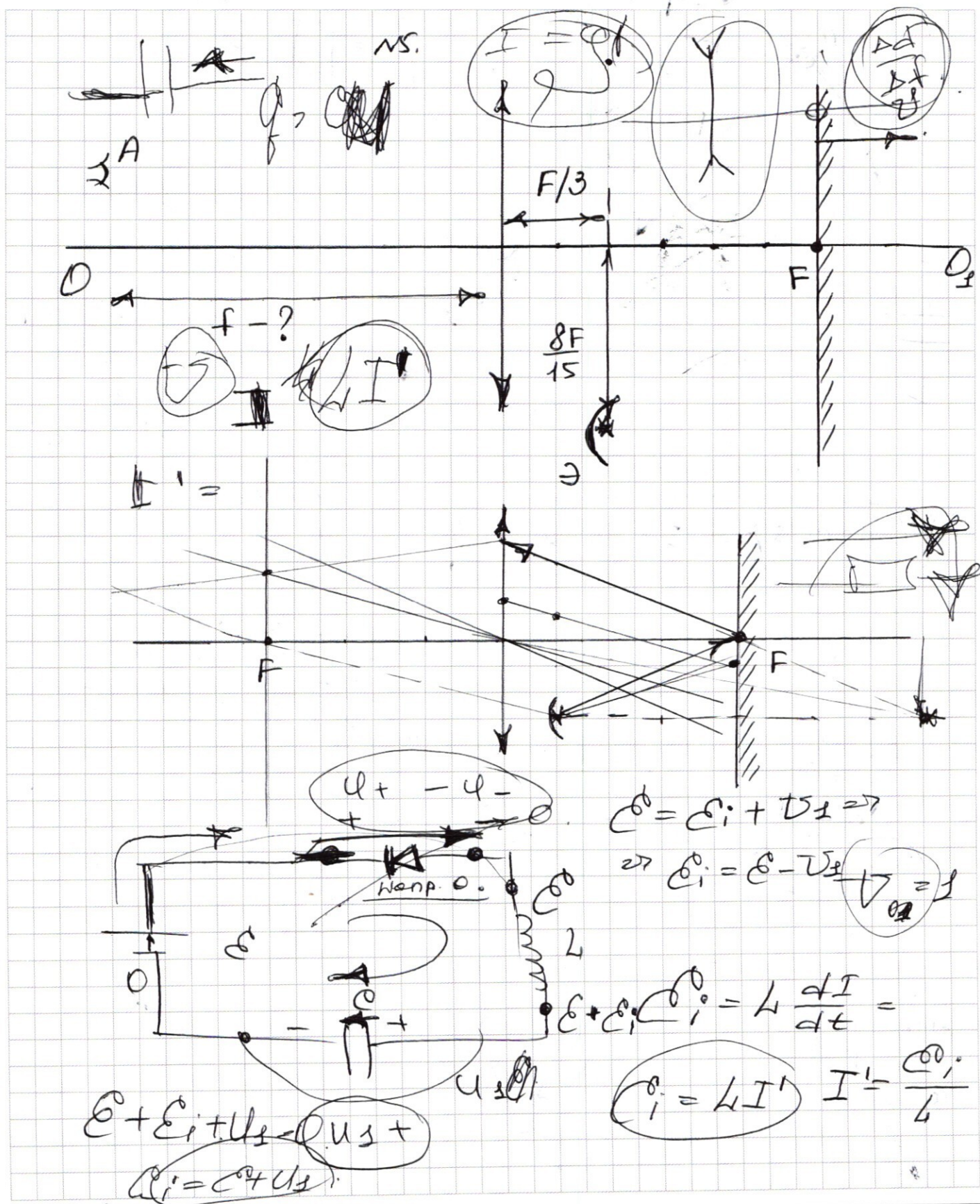
$$\Rightarrow C + \frac{Q_m}{C} = U_0 \Rightarrow Q_m = (U_0 - C) C -$$

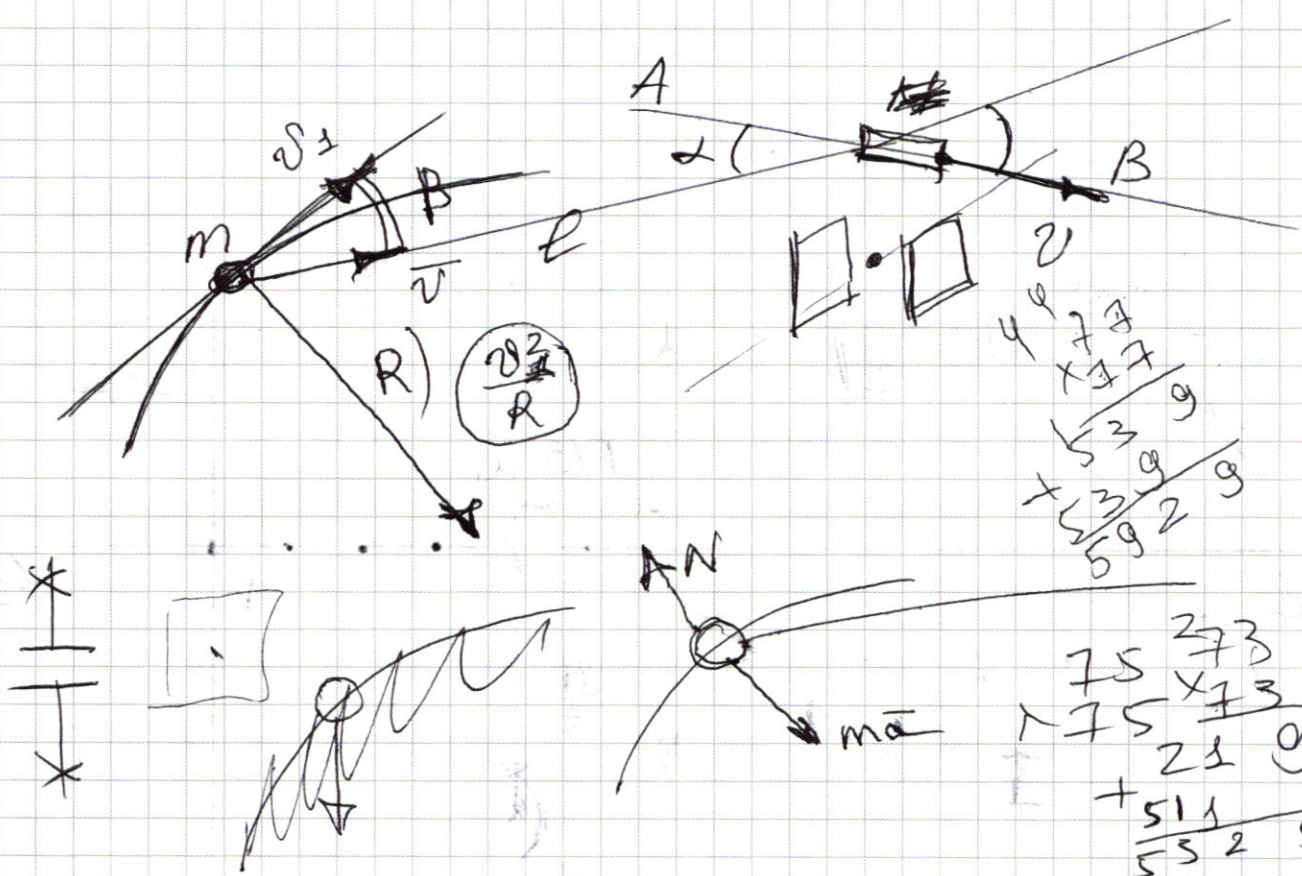
— заряд конденсатора при максимальном токе
Напряжение на конд $(U_0 - C)$

③ В установившемся состоянии ток не течет $\Rightarrow$

$$\boxed{U_2 = C + U_0}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА





$$\boxed{v_{\perp} \cdot \cos \beta = v \cdot \cos \alpha}$$

$$\begin{array}{r} 517 \\ \times 3 \\ \hline 1551 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 551 \\ \times 51 \\ \hline 2555 \\ + 5510 \\ \hline 2601 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 60 \\ - 24 \\ \hline 36 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 4201 \\ + 1728 \\ \hline 5929 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 17^2 = \\ 17 \\ \times 17 \\ \hline 119 \\ + 170 \\ \hline 289 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 288 \\ 64 \\ \hline 225 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 102 \\ \times 2 \\ \hline 204 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 102 \\ \times 4 \\ \hline 408 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 6 \\ \times 6 \\ \hline 36 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 135 \\ \times 9 \\ \hline 1215 \end{array}$$

