

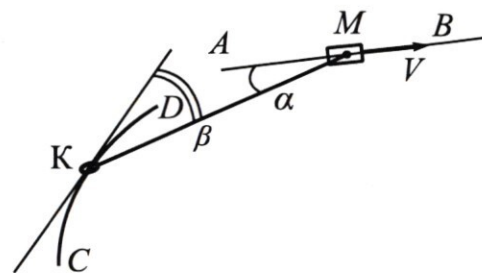
Олимпиада «Физтех» по физике, ф

Класс 11

Вариант 11-02

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

1. Муфту М двигают со скоростью $V = 40$ см/с по горизонтальной направляющей АВ (см. рис.). Кольцо К 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.



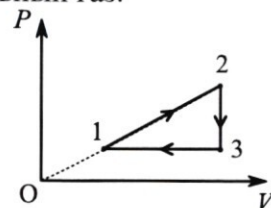
- 1) Найти скорость кольца в этот момент.
- 2) Найти скорость кольца относительно муфты в этот момент.
- 3) Найти силу натяжения троса в этот момент.

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.

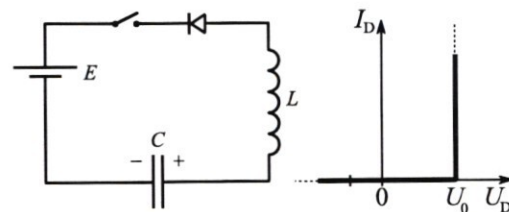


3. Обкладки конденсатора – квадратные металлические сетки, сторона квадрата во много раз больше расстояния d между обкладками. Положительно заряженная частица движется на большом расстоянии к конденсатору по оси симметрии, перпендикулярно обкладкам, влетает в него со скоростью V_1 и останавливается между 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.

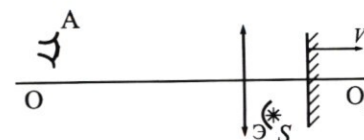
При движении частицы электрическое поле, созданное зарядами конденсатора, считать неизменным, а электрическое поле внутри конденсатора вблизи оси симметрии считать однородным.

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 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 $8F/15$ 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 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.

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

1. Dano:

$$v = 40 \text{ m/s}$$

$$m = 1 \text{ kg}$$

$$R = 1,7 \mu$$

$$L = \frac{17R}{15}$$

$$\cos \alpha = \frac{3}{5}$$

$$\cos \beta = \frac{8}{17}$$

главни:

U_K - короткая каньва

$\tilde{v}_k$ - скорость
кавыза
относительно
матрицы

Т - ^{шина}наметення
труса

$$1) \vec{\tilde{v}}_k + \vec{v} = \vec{v}_k$$

Тогда $\alpha + \beta = \gamma$

$$\tilde{v}_k = v_k - v \cos \delta$$

$$\tilde{v}_{xy} = \cancel{v \sin \gamma} \quad v \sin \gamma$$

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

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

$$\cos \gamma = \cos(\alpha + \beta) =$$

$$= \cos \alpha \cos \beta - \sin \alpha \sin \beta =$$

$$= \frac{24}{5.17} + \frac{-60}{5.17} = -\frac{36}{85}$$

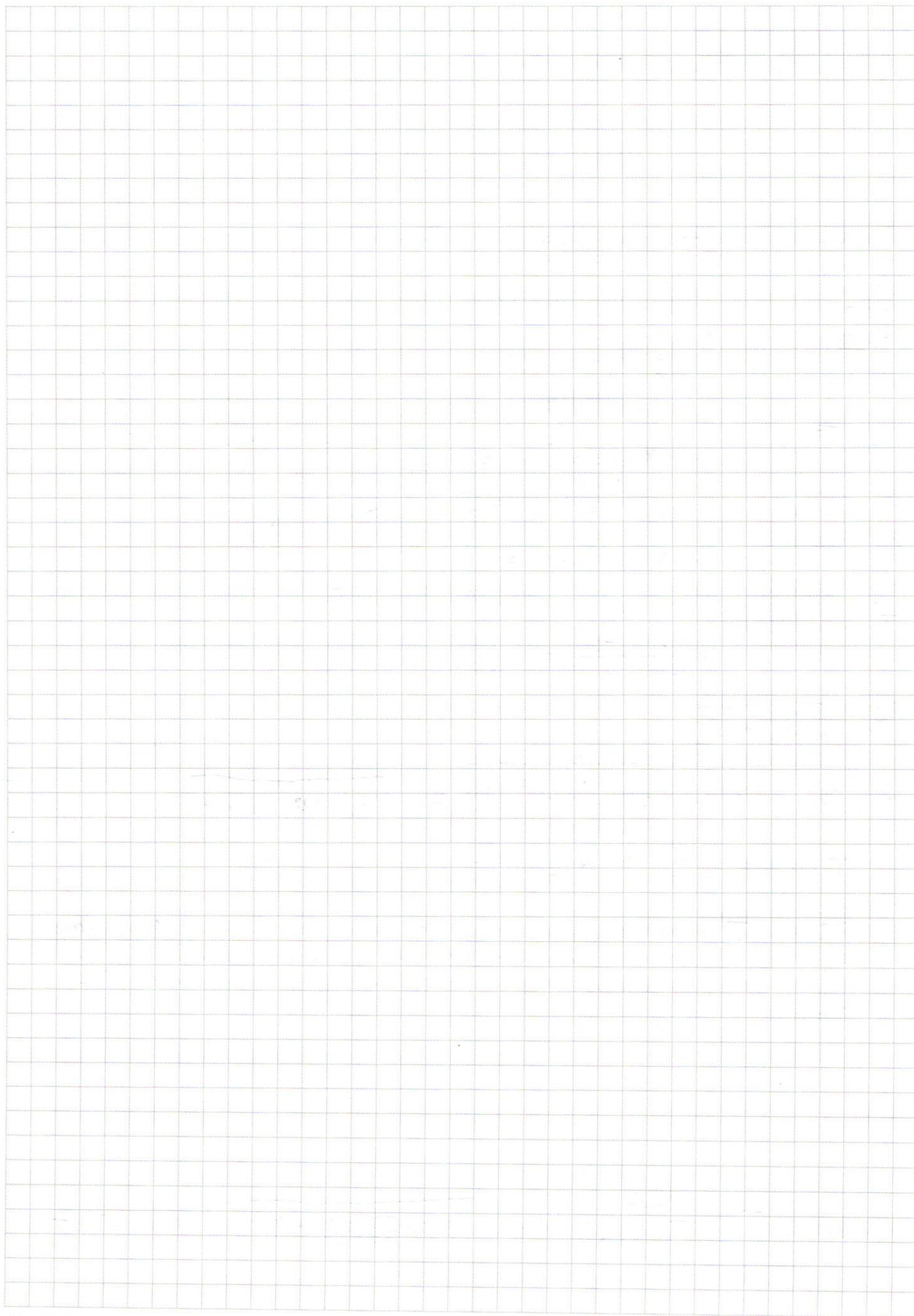
$$\tilde{v}_k = \sqrt{\tilde{v}_{k_x}^2 + \tilde{v}_{k_y}^2} =$$

$$= \sqrt{v_k^2 - 2v_k v \cos \gamma + v^2 \cos^2 \gamma + v^2 \sin^2 \gamma} = \sqrt{v_k^2 - 2v_k v \cos \gamma + v^2} = \sqrt{v_k^2 + \frac{72}{85} v_k v + v^2}$$

$$2) T \sin \beta = m \frac{v_k^2}{R} \Rightarrow T = \frac{m v_k^2}{R \sin \beta}$$

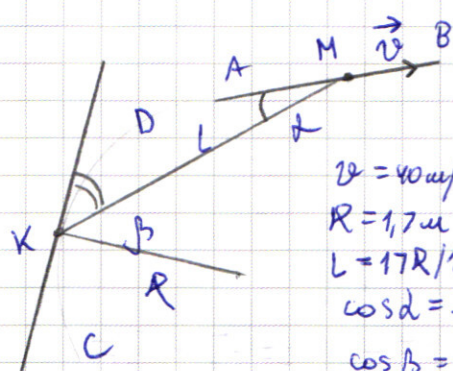
3) Точка I - точка, относительно которой будет вращаться система в данный момент времени, если извлечь из всего движения поступательную составляющую скорости v_H .

Ответ: $T = \frac{m v_K^2}{R \sin \beta}$, $\tilde{v}_K = \sqrt{v_K^2 + \frac{72}{85} v_K v + v^2}$, где v_K — абсолютная скорость шара



☐ черновик ☐ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)



$$L = \frac{17R}{15}$$

$$v = 40 \text{ м/с}$$

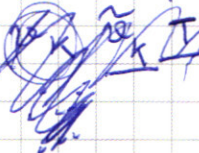
$$R = 1,7 \text{ м}$$

$$L = 17R/15$$

$$\cos \alpha = \frac{3}{5}$$

$$\cos \beta = \frac{8}{17}$$

векторный
момент:



$$\begin{array}{r} 4 \\ \times 17 \\ \hline 119 \\ 170 \\ \hline 289 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 289 \overline{) 15} \\ 15 \\ \hline 139 \\ 135 \\ \hline 40 \\ 40 \\ \hline 00 \\ 00 \\ \hline 00 \\ 00 \\ \hline 00 \end{array}$$

$$L = 1,92(6) \times 23,85(3)$$

$$5 > 17$$

$$\begin{array}{r} 50 \\ 85 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 36 \\ 85 \end{array}$$

$$85$$

$$\frac{72}{8}$$

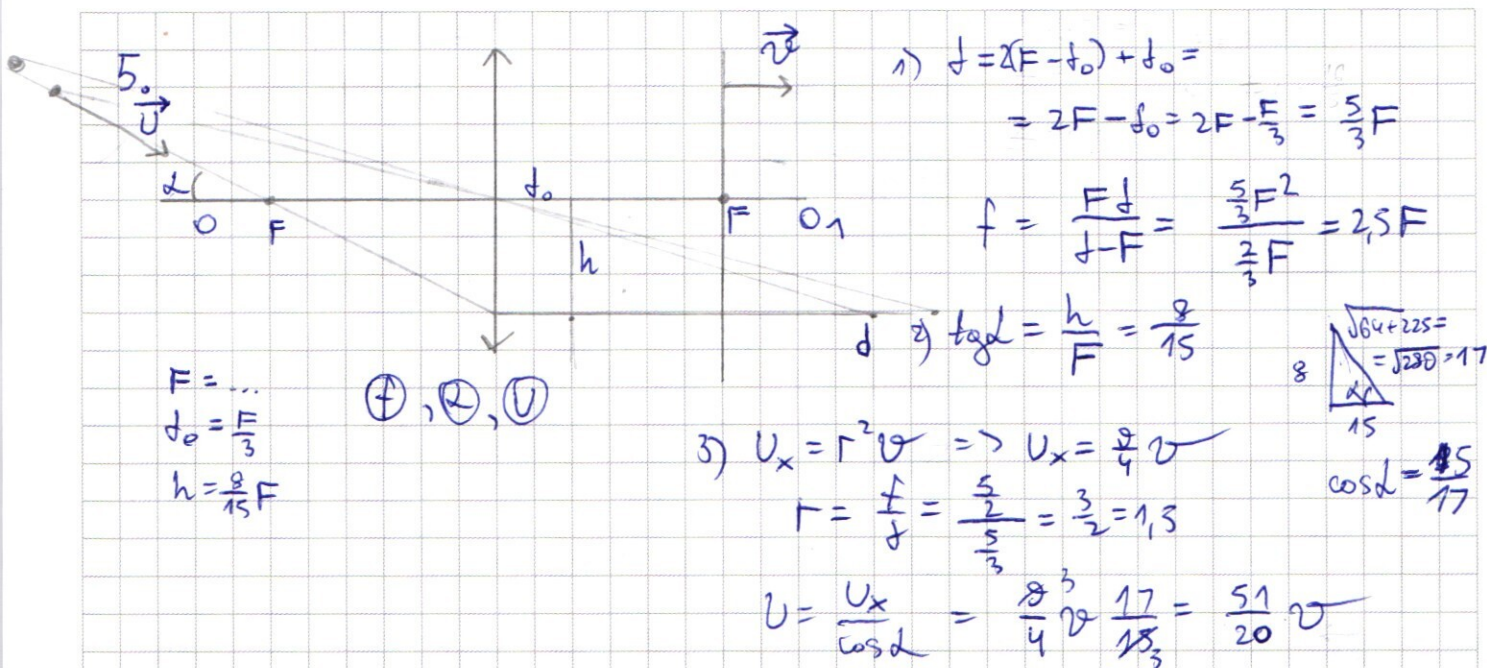
$$v_k - 2$$

$$v_k$$

$$v_k$$

$$\begin{aligned} v \cos \alpha &= v_k \cos \beta \\ v \sin \alpha &= v \sin \beta \end{aligned}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$$U_1^2 - (U_0 + E)^2 - 2E(U_1 - U_0 - E)$$

$$U_1^2 - U_0^2 - \cancel{2U_0E} - E^2 + \cancel{2E^2} + \cancel{2EU_0} + 2EU_1 = U_1^2 - 2EU_1 + E^2 - U_0^2 = (U_1 - E)^2 - U_0^2$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

3. Дано:

d - расстояние

между обкладками

v_1 - скорость влета

$S_+ = 0,2d$ - расстояние
до положительной обкладки
в момент остановки

$\gamma = \frac{q}{m}$ - удельный заряд
частицы

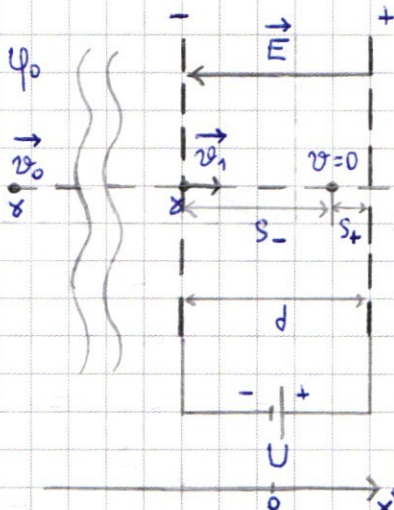
Найти:

T - продолжительность
движения до остановки

U - напряжение

v_0 - скорость на бесконечности

Решение:



Частица останавливается $\Rightarrow$
 $\Rightarrow \vec{E} \uparrow \downarrow \vec{v}_1 \Rightarrow$ отрицательно
положительная частица
влетает в отрицательно
заряженную обкладку

Пусть S_- - путь, который
прошла частица до
остановки в конденсаторе,
тогда, расстояние до
отрицательной обкладки:

$$S_- = d - S_+ = 0,8d$$

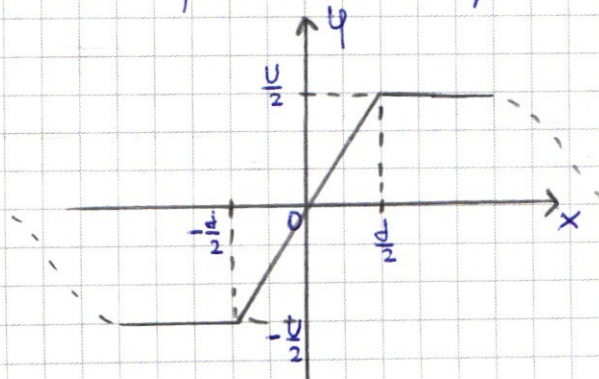
$$a = \frac{F}{m} = \frac{Eq}{m} = \gamma E = \text{const (поле однородно)}, \quad a > 0, \quad E > 0$$

$$\text{Тогда: } S_- = \frac{v_1^2}{2a} T \Rightarrow T = \frac{2S_-}{v_1} = \frac{1,6d}{v_1}$$

$$\text{Также: } 2aS_- = v_1^2$$

$$a = \frac{v_1^2}{2S_-} = \gamma E = \gamma \frac{Ed}{d} = \gamma U \Rightarrow U = \frac{v_1^2 d}{2S_- \gamma} = \frac{v_1^2 d}{1,6d \gamma} = \frac{v_1^2}{1,6\gamma}$$

Положим ось Ox параллельно движению частицы,
с нулём в середине конденсатора. Тогда взвед потенциал на
бесконечности φ_0 равным нулю, $\varphi_0 = 0$, заметим, что там же
будет потенциал в центре конденсатора. Значит,
скорость заряда на бесконечности равна его скорости в
центре конденсатора:



$$2a \cdot 0,5d = v_1^2 - v_0^2$$

$$v_0^2 = v_1^2 - ad$$

$$v_0^2 = v_1^2 - \frac{v_1^2 d}{2S_-}$$

$$v_0^2 = v_1^2 - \frac{v_1^2}{1,6} = \frac{0,6}{1,6} v_1^2 = \frac{6}{16} v_1^2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow v_0 = \frac{\sqrt{6}}{4} v_1$$

Ответ: $T = \frac{1,6d}{v_1}$, $U = \frac{v_1^2}{1,6v}$, $v_0 = \frac{\sqrt{6}}{4} v_1$

5. Дано:

F - фокусное расстояние
 $h = \frac{8F}{15}$ - расстояние от источника S до ГОО

$d_0 = \frac{F}{3}$ - расстояние от источника S до плоскости линзы

v - скорость зеркала

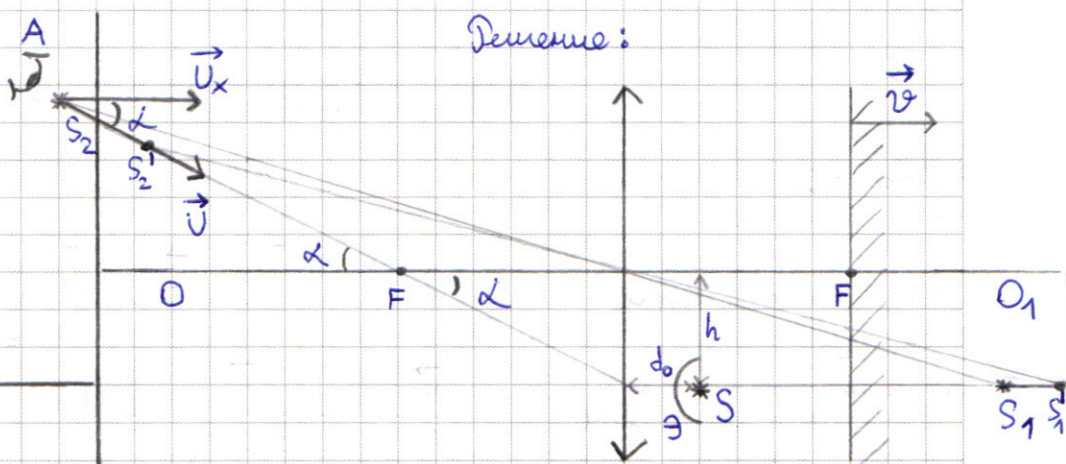
Найти:

f - расстояние от линзы до изображения

α - угол между ГОО и направлением движения изображения

U - скорость изображения

Решение:



Найдём d - расстояние от линзы до изображения S_1 источника S в зеркале:

$$d = d_0 + 2(F - d_0) = 2F - d_0 = 2F - \frac{F}{3} = \frac{5}{3}F$$

Найдём f :

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F} \Rightarrow f = \frac{dF}{d - F} = \frac{\frac{5}{3}F \cdot F}{\frac{5}{3}F - F} = \frac{\frac{5}{3}F^2}{\frac{2}{3}F} = \frac{5}{2}F = 2,5F$$

Поскольку изображение S_1 источника S в зеркале движется вдоль ГОО, можно показать, что изображение S_2 , даваемое линзой будет двигаться по этой прямой, т.к. любое последующее изображение S_2' будет на этой прямой. Тогда:

$$\alpha = \arctg \frac{h}{F} = \arctg \frac{8}{15}$$

Как мы знаем, продольная составляющая скорости изображений U_x в Γ^2 раз больше продольной скорости предмета v_n :

$$U_x = \Gamma^2 v_n, \text{ где } \Gamma - \text{отн. время (поперечное) увеличение}$$

$$v_n = 2v, \quad \Gamma = \frac{f}{d} = \frac{\frac{5}{2}F}{\frac{5}{3}F} = \frac{3}{2} = 1,5 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow U_x = 2 \cdot \frac{9}{4} \cdot v = \frac{9}{2}v$$

$$U = \frac{U_x}{\cos \alpha} = \frac{17}{15} U_x = \frac{17 \cdot 9}{15 \cdot 2} v = \frac{17 \cdot 3}{5 \cdot 2} v = \frac{51}{10} v = 5,1v$$

Ответ: $f = 2,5F$

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

$$U = 5,1v$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \alpha \in (0; \frac{\pi}{2}) \\ \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha = 1 \\ \frac{1}{\cos^2 \alpha} = 1 + \tan^2 \alpha \\ \cos \alpha = \sqrt{\frac{1}{1 + \tan^2 \alpha}} = \\ = \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{64}{225}}} = \sqrt{\frac{225}{289}} = \frac{15}{17} \end{array} \right.$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

2. Дано:

$$i = 3$$

$$1-2: p = \text{const}$$

$$2-3: V = \text{const}$$

$$3-1: p = \text{const}$$

Найти:

$$\beta = \frac{C_{M23}}{C_{M31}}, \text{ где } C_M -$$

молярная
теплоемкость на
соответствующую
уравновешенность

$$\gamma = \frac{Q_{12}}{A_{12}}$$

η_{max}

Решение:

$$1) Q_{23} = c_{23} m \Delta T_{23} = C_{M23} \nu \Delta T_{23} =$$

$$= A_{23} + \Delta U_{23}$$

$$A_{23} = 0$$

$$\Delta U_{23} = \frac{i}{2} \nu R \Delta T_{23} = \frac{3}{2} \nu R \Delta T_{23}$$

$$C_{M23} \nu \Delta T_{23} = \frac{3}{2} \nu R \Delta T_{23}$$

$$C_{M23} = \frac{3}{2} R$$

$$Q_{31} = c_{31} m \Delta T_{31} = C_{M31} \nu \Delta T_{31} = A_{31} + \Delta U_{31}$$

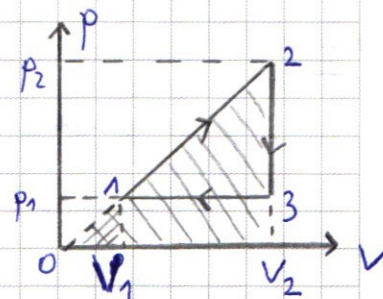
$$A_{31} = p(V_1 - V_3) = \nu R \Delta T_{31} \text{ (из закона Менделеева-Клапейрона)}$$

$$\Delta U_{31} = \frac{3}{2} \nu R \Delta T_{31}$$

$$C_{M31} \nu \Delta T_{31} = \frac{5}{2} \nu R \Delta T_{31}$$

$$C_{M31} = \frac{5}{2} R$$

$$\beta = \frac{C_{M23}}{C_{M31}} = \frac{\frac{3}{2} R}{\frac{5}{2} R} = \frac{3}{5}$$



2) Работа - площадь фигуры
под графиком процесса в
pV-координатах $\Rightarrow$

$$\Rightarrow A_{12} = \frac{1}{2} (p_2 V_2 - p_1 V_1) =$$

$$= \frac{1}{2} \nu R \Delta T_{12}$$

$$\Delta U_{12} = \frac{3}{2} \nu R \Delta T_{12}$$

$$Q_{12} = A_{12} + \Delta U_{12} = 2 \nu R \Delta T_{12}$$

$$\gamma = \frac{Q_{12}}{A_{12}} = 4$$

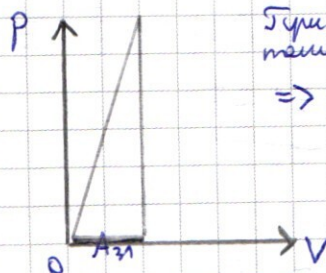
$$3) \eta = \frac{A}{Q_+}, \text{ где } A - \text{ работа за цикл, } Q_+ - \text{ подведенная теплота}$$

очевидно $Q_+ = Q_{12}$, т.к. на остальных участках теплота отдается

$$A = A_{12} + A_{31}, \text{ т.к. } A_{23} = 0 \quad (A_{31} < 0)$$

$$\eta = \frac{A}{Q_+} = \frac{A_{12}}{Q_{12}} + \frac{A_{31}}{Q_{12}} = \frac{1}{4} + \frac{A_{31}}{Q_{12}}$$

При экстремально низких температурах $A_{31} \rightarrow 0 \Rightarrow$
 $\Rightarrow \eta_{\text{max}} = \frac{1}{4} = 25\%$



Ответ: $\beta = \frac{C_{M23}}{C_{M31}} = \frac{3}{5}, \quad \gamma = \frac{Q_{12}}{A_{12}} = 4, \quad \eta_{\text{max}} = 25\%$

4. Дано:

$$E = 3\text{В}$$

$$C = 2 \cdot 10^{-5}\text{Ф}$$

$$U_1 = 6\text{В}$$

$$U_0 = 1\text{В}$$

$$L = 0,2\text{Гн}$$

Найти:

$\dot{I}_0$ - скорость
тока сразу
после замыкания
контракта

I_M - максимальный
ток

U_2 - установившееся
напряжение на
конденсаторе

Решение:

1) Возникнет направление
тока цепи против часо-
вой стрелки - по дейст-
вительному ходу тока,
тогда:

$$U_0 - U_1 = -E - L \dot{I}_0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \dot{I}_0 = \frac{U_1 - U_0 - E}{L} = \frac{2\text{В}}{0,2\text{Гн}} = 10\text{А/с}$$

2) По 3С9:

$W_0 + A_1 = W_1$, где A_1 - работа источника,
 W_0 - начальная энергия
системы,
 W_1 - энергия системы в момент,
когда $I = I_M$

$$W_0 = \frac{CU_1^2}{2}, \quad W = \frac{CU_3^2}{2} + \frac{LI_M^2}{2}, \quad A = EC(U_3 - U_1),$$

где U_3 - напряжение на C в этот же момент

$$I = I_M \Leftrightarrow \dot{I} = 0 \Rightarrow U_0 - U_3 = -E \Rightarrow U_3 = U_0 + E = 4\text{В}$$

$$\frac{CU_1^2}{2} - EC(U_1 - U_3) = \frac{CU_3^2}{2} + \frac{LI_M^2}{2} \quad | \cdot 2$$

$$LI_M^2 = C(U_1^2 - U_3^2 - 2E(U_1 - U_3))$$

$$I_M = \sqrt{\frac{C}{L}(U_1^2 - U_3^2 - 2E(U_1 - U_3))}, \quad \text{где } U_3 = U_0 + E$$

$$I_M = \sqrt{\frac{2 \cdot 10^{-5}}{0,2}(36 - 16 - 12)} \text{ А} = \sqrt{8 \cdot 10^{-4}} \text{ А} = 2\sqrt{2} \cdot 10^{-2} \text{ А} \approx 28 \text{ мА}$$

$$3) \quad I_M = \sqrt{\frac{C}{L}[(U_1 - E)^2 - U_0^2]}$$

в момент установившегося стационарного режима $I = 0 \Rightarrow$

$$\Rightarrow \frac{CU_1^2}{2} - EC(U_1 - U_2) = \frac{CU_2^2}{2}$$

$$U_1^2 - EU_1 + EU_2 = U_2^2$$

$$U_2^2 - EU_2 + EU_1 - U_1^2 = 0$$

$$D = E^2 - 4(E - U_1)U_1 = 4U_1^2 - 4EU_1 + E^2 = (2U_1 - E)^2$$

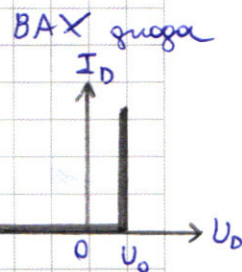
$$U_2 = \frac{\pm(2U_1 - E) + E}{2}$$

~~В процессе разрядки конденсатора~~

$$U_2 = U_1 = 6\text{В}$$

$$U_2 = E - U_1 = -3\text{В}$$

- в процессе разрядки
присоединим перемычку



Ответ:

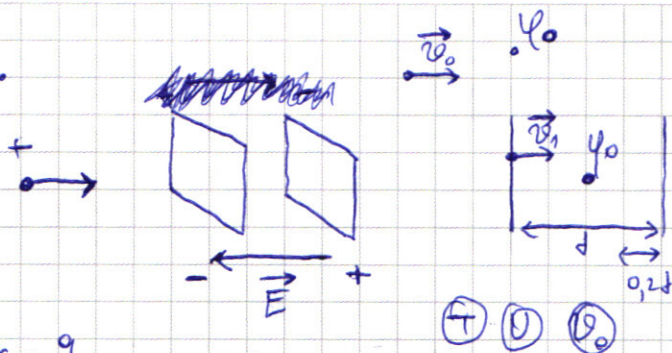
$$\dot{I}_0 = \frac{U_1 - U_0 - E}{L} = 10\text{А/с}$$

$$I_M = \sqrt{\frac{C}{L}[(U_1 - E)^2 - U_0^2]} = 2\sqrt{2} \cdot 10^{-2} \text{ А} \approx 28 \text{ мА}$$

$$U_2 = -3\text{В}$$

$$|U_2| = 3\text{В}$$

3.



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

$$1) \alpha = \frac{F}{m} = \frac{Eq}{m} = E\gamma = \text{const}$$

$$S = T \frac{v_1 + 0}{2} = 0,8 \text{ d}$$

$$T = \frac{1,6 \text{ d}}{v_1}$$

$$2) 2\alpha S = v_1^2 - 0^2$$

$$2\alpha S = v_1^2$$

$$\alpha = \frac{v_1^2}{2S}$$

$$Q = E\gamma = \frac{U}{d}\gamma = \frac{v_1^2}{1,6A} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow U = \frac{v_1^2}{1,6\gamma}$$

$$3) \frac{v_1^2}{v_0^2} = 1,1$$

$$v_1^2 - v_0^2 = 0,5 \text{ d} \frac{v_1^2}{1,6 \text{ d}} = \frac{0,5 v_1^2}{1,6}$$

$$v_0^2 = \frac{11}{16} v_1^2$$

$$v_0 = \frac{\sqrt{11}}{4} v_1$$

$$1,6 -$$

$$0,14$$

$$\frac{1,4}{2,8}$$

$$0,028$$

4.



$$C = 20 \text{ мкФ}$$

$$L = 0,2 \text{ Гн}$$

$$U_1 = 6 \text{ В}$$

$$E = 3 \text{ В}$$

$$U_0 = 1 \text{ В}$$

К замыкают
на C

$(I_0) (I_M) (U_2)$ - упикиваются
на C

$$U_1 + U_0 = E + L \dot{I}$$

~~E~~

$$36 - 28 = 8$$

6

$$E - L \dot{I} = U_1 - U_0$$

$$L \dot{I} = E + U_0 - U_1$$

$$U_0 - U_1 = -E - L \dot{I}$$

$$E + L \dot{I} = U_1 - U_0$$

7)

$$L \dot{I} = U_1 - U_0 - E$$

$$\dot{I} = \frac{U_1 - U_0 - E}{L} = \frac{28}{0,2 \text{ Гн}} = 140 \text{ А}$$

$$36 - 16 - 2 \cdot 3 \cdot 2 = 2) A + \frac{\omega_1^2}{2} = \frac{L I_M^2}{2} + \frac{C U^2}{2}$$

$$I = I_M (=) \dot{I} = 0$$

~~E~~

$$E = U - U_0$$

$$U_1 = 6 \text{ В}$$

$$U = U_0 + E = 4 \text{ В}$$

$$q =$$

....

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

2. $i = 3$

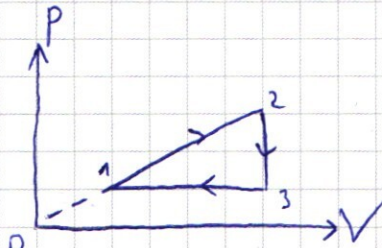
1-2: $p = \text{const}$

2-3: $V = \text{const}$

3-1: $p = \text{const}$

Задачи:

$$\beta = \frac{C_{M23}}{C_{M31}} \quad \gamma = \frac{Q_{12}}{A_{12}}, \quad \eta_{\max}$$



$$\begin{aligned} 1) \quad Q_{23} &= \Delta U_{23} = \frac{3}{2} \nu R \Delta T_{23} \\ Q_{31} &= A_{31} + \Delta U_{31} = \\ &= \nu R \Delta T_{31} + \frac{3}{2} \nu R \Delta T_{31} = \\ &= \frac{5}{2} \nu R \Delta T_{31} \end{aligned}$$

$$Q = c_m \Delta T = c_m \nu \Delta T = C_M \nu \Delta T$$

$$C_{M23} = \frac{3}{2} R$$

$$C_{M31} = \frac{5}{2} R$$

$$\beta = \frac{3}{5}$$

$$2) \quad Q_{12} = A_{12} + \Delta U_{12}$$

$$A_{12} = \frac{1}{2} (p_2 V_2 - p_1 V_1)$$

$$\begin{aligned} \Delta U_{12} &= \frac{3}{2} \nu R \Delta T_{12} = \frac{3}{2} (\nu R) (T_2 - T_1) = \\ &= \frac{3}{2} (\nu R T_2 - \nu R T_1) = \frac{3}{2} (p_2 V_2 - p_1 V_1) \end{aligned}$$

$$Q_{12} = 4 A_{12} \Rightarrow \gamma = 4$$

$$3) \quad \eta = \frac{A}{Q_+}, \quad Q_+ = Q_{12}, \quad A = A_{12} + A_{31}$$

$$\eta = \frac{A_{12} + A_{31}}{Q_+} = \frac{1}{4} + \frac{A_{31}}{Q_+}$$

$$\begin{aligned} Q_+ &= 2 \nu R \Delta T_{12} \\ A_{31} &= \nu R \Delta T_{31} \end{aligned}$$

$$\frac{A_{31}}{Q_+} = \frac{2 \Delta T_{31}}{\Delta T_{12}} = 2 \frac{T_1 - T_3}{T_2 - T_1}, \quad T_3 \rightarrow T_1? \Rightarrow \eta_{\max} = 25\%$$

$$\frac{CU_1^2}{2} + A = \frac{CU_2^2}{2}$$

$$U_C - U_0 = -E - LI$$

$$U_0 = U_C$$