

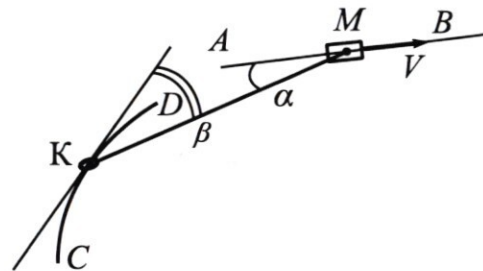
Олимпиада «Физтех» по физике, фс

Класс 11

Вариант 11-02

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

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.



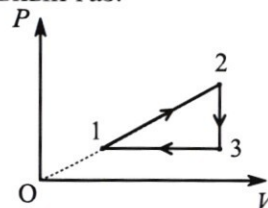
- 1) Найти скорость кольца в этот момент.
- 2) Найти скорость кольца относительно муфты в этот момент.
- 3) Найти силу натяжения троса в этот момент.

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

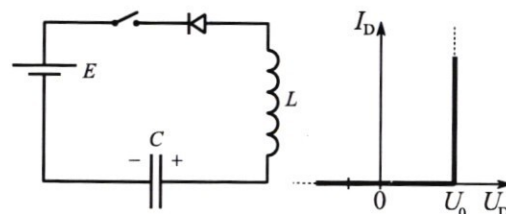
обкладки. Удельный заряд частицы $\frac{q}{m} = \gamma$. Система в вакууме

- 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.

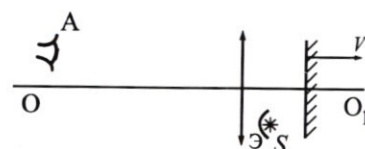


5. Оптическая система состоит из тонкой линзы с фокусным расстоянием F , плоского зеркала и небольшого экрана Э, расположенного так, что свет от источника S может попасть на линзу только после отражения от зеркала (см. рис.). Зеркало расположено перпендикулярно главной оптической оси OO_1 линзы. Источник 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

$$V = 40 \text{ см/с}$$

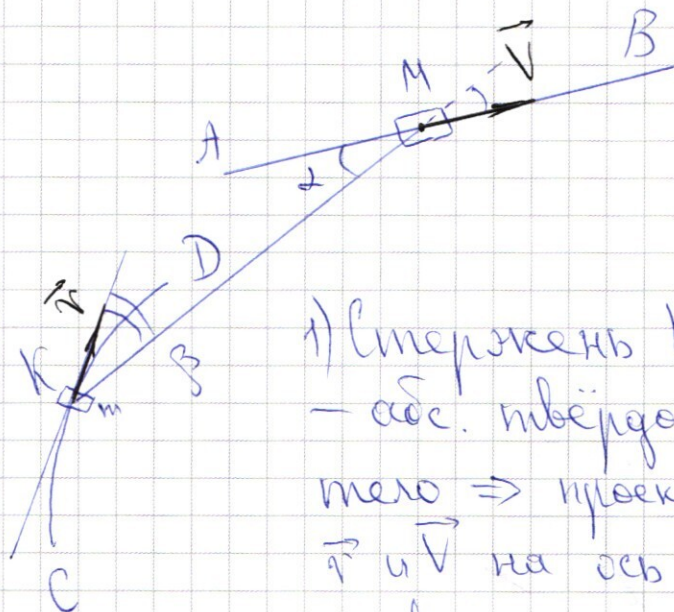
$$m = 1 \text{ кг}$$

$$R = 17 \text{ м}$$

$$l = 17R/15$$

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

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



1) Стержень KM —
— абс. твердое
тело $\Rightarrow$ проекции
 $\vec{r}$ и $\vec{V}$ на ось KM

равны

$$r \cos \beta = V \cos \alpha$$

$$r = \frac{V \cos \alpha}{\cos \beta}$$

$$r = \frac{40 \text{ см} \cdot 3 \cdot 17}{5 \cdot 8}$$

$$r = 51 \frac{\text{см}}{\text{с}}$$

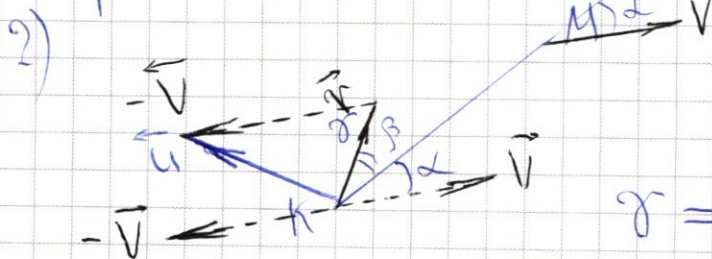
1) $\vec{r}$ — скорость кольца

2) $\vec{u} = \vec{r} - \vec{V}$ — скорость кольца

относ. муфта

3) T — сила натяжения

троса



$$\gamma = \alpha + \beta$$

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

$$\sin \alpha = \sqrt{1 - \cos^2 \alpha} = \sqrt{\frac{25}{25} - \frac{9}{25}} = \sqrt{\frac{16}{25}} = \frac{4}{5}$$

$$\sin \beta = \sqrt{1 - \cos^2 \beta} = \sqrt{\frac{17^2 - 8^2}{17^2}} = \frac{\sqrt{9 \cdot 25}}{17} = \frac{3 \cdot 5}{17} = \frac{15}{17}$$

$$\cos \gamma = \frac{3}{5} \cdot \frac{8}{17} - \frac{4}{5} \cdot \frac{15}{17} = \frac{24 - 60}{85} = -\frac{36}{85} = \frac{3^2 \cdot 2^2}{5 \cdot 17}$$

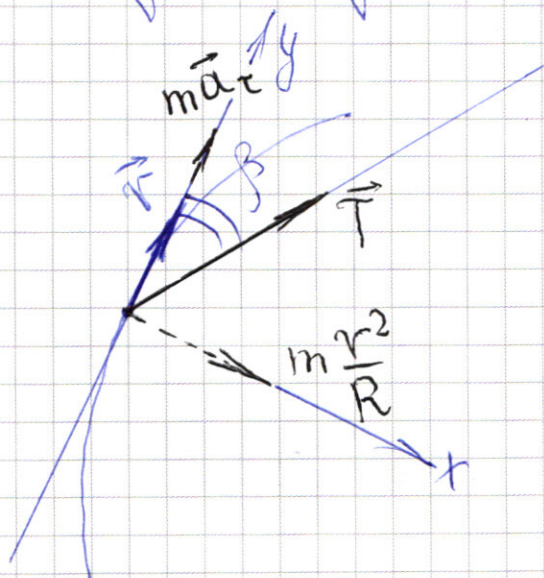
III-ма cos: $u^2 = v^2 + V^2 - 2vV \cos \gamma$

$$u^2 = \left(51 \frac{\text{cm}}{\text{c}}\right)^2 + \left(40 \frac{\text{cm}}{\text{c}}\right)^2 + 2 \cdot 51 \cdot 40 \left(\frac{\text{cm}}{\text{c}}\right)^2 \cdot \frac{3^2 \cdot 2^2}{5 \cdot 17} =$$

$$= 2601 \left(\frac{\text{cm}}{\text{c}}\right)^2 + 1600 \left(\frac{\text{cm}}{\text{c}}\right)^2 + 3^3 \cdot 2^6 \left(\frac{\text{cm}}{\text{c}}\right)^2 = 4201 \left(\frac{\text{cm}}{\text{c}}\right)^2 +$$

$$+ 9 \cdot 64 \left(\frac{\text{cm}}{\text{c}}\right)^2 = (576 + 4201) \left(\frac{\text{cm}}{\text{c}}\right)^2 = 4777 \left(\frac{\text{cm}}{\text{c}}\right)^2$$

$$u = \sqrt{u^2} = \sqrt{v^2 + V^2 - 2vV \cos(\alpha + \beta)} = \sqrt{4777} \frac{\text{cm}}{\text{c}}$$



3) II з-н Ньютона

по ox: $m \frac{v^2}{R} = T \sin \beta$

$$T = \frac{m v^2}{R \sin \beta} = \frac{1 \text{ кг} \cdot \left(0,51 \frac{\text{м}}{\text{с}}\right)^2}{1,7 \text{ м} \cdot \left(\frac{15}{17}\right)}$$

$$T = \frac{1 \text{ кг} \cdot 0,2601 \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}}{1,7 \cdot 0,1 \cdot 15} = \frac{2,601 \text{ Н}}{15} \approx 0,17 \text{ Н}$$

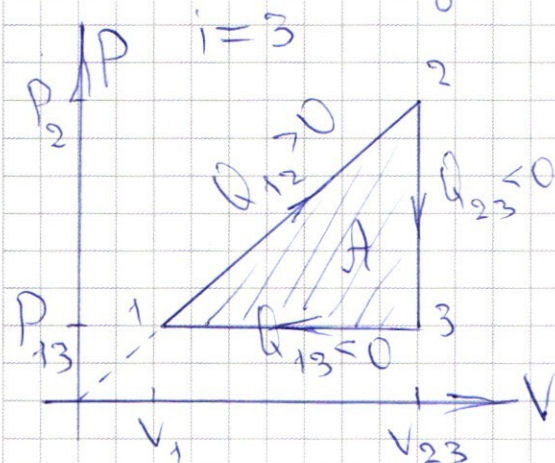
~~$$\begin{array}{r} 2601 \overline{) 15} \\ - 15 \\ \hline 110 \\ - 110 \\ \hline 105 \\ - 105 \\ \hline 51 \\ - 45 \\ \hline 60 \\ - 60 \\ \hline 0 \end{array}$$~~

Ответ: 1) $\frac{51 \text{ см}}{\text{с}}$; 2) $\sqrt{4777} \frac{\text{см}}{\text{с}}$; 3) $\approx 0,17 \text{ Н}$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№2

идеальный
1-атомный газ



$$1) Q_{23} = A_{23} + \Delta \bar{U}_{23} = \Delta \bar{U}_{23} = \frac{1}{2} \nu R (T_3 - T_2) = \frac{1}{2} \nu R \Delta T_{23} = c_{23} \nu \Delta T_{23}$$

$$\Rightarrow c_{23} = \frac{1}{2} R$$

$$T_2 > T_3 > T_1$$

$$Q_{31} = A_{31} + \Delta \bar{U}_{31} = P_{13} (V_1 - V_{23}) + \frac{1}{2} \nu R (T_1 - T_3)$$

1) $\frac{c_{23}}{c_{31}}$

$$Q_{31} = P_{13} V_1 - P_{13} V_{23} + \frac{1}{2} \nu R \Delta T_{31} =$$

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

$$= \nu R T_1 - \nu R T_3 + \frac{1}{2} \nu R \Delta T_{31} =$$

$$= \nu R (T_1 - T_3) + \frac{1}{2} \nu R (T_1 - T_3) =$$

3) $\eta_{\max}$

$$= \left(\frac{i+2}{2} \right) \nu R \Delta T_{31} = c_{31} \nu \Delta T_{31} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow c_{31} = \frac{i+2}{2} R$$

$$\frac{c_{23}}{c_{31}} = \frac{\frac{1}{2} R}{\frac{i+2}{2} R} = \frac{1}{i+2} = \frac{3}{5}$$

$$2) Q_{12} = A_{12} + \Delta \bar{U}_{12} \Rightarrow \frac{Q_{12}}{A_{12}} = 1 + \frac{\Delta \bar{U}_{12}}{A_{12}} =$$

$$= 1 + \frac{\frac{1}{2} \gamma R (T_2 - T_1)}{\frac{1}{2} (P_{13} + P_2) (V_{23} - V_1)} = 1 + \frac{i (P_2 V_{23} - P_{13} V_1)}{(P_{13} + P_2) (V_{23} - V_1)}$$

$$\frac{Q_{12}}{A_{12}} = 1 + \frac{i (P_2 V_{23} - P_{13} V_1)}{P_{13} V_{23} - P_{13} V_1 + P_2 V_{23} - P_2 V_1}$$

$$\alpha = \text{const} - \text{tg} \alpha$$

$$P_{13} = \alpha V_1 \Rightarrow P_{13} V_1 = \alpha V_1^2$$

$$P_2 = \alpha V_{23} \Rightarrow P_2 V_{23} = \alpha V_{23}^2$$

α — коэффициент в уравнении прямой $P_{12}(V_{12})$

$$\alpha = \frac{P_{13}}{V_1} = \frac{P_2}{V_{23}} \Rightarrow P_2 V_1 = P_{13} V_{23} \Rightarrow P_{13} V_{23} -$$

$$- P_2 V_1 = 0$$

$$\frac{Q_{12}}{A_{12}} = 1 + \frac{i (P_2 V_{23} - P_{13} V_1)}{P_2 V_{23} - P_{13} V_1} = 1 + i = 4$$

$$3) \eta_0 = \frac{A}{Q_{12}} = \frac{A_{12} - |A_{31}|}{4 A_{12}} = \frac{1}{4} - \frac{|A_{31}|}{4 A_{12}} < \frac{1}{4}$$

A — работа, совершённая за 1 цикл

$$Q_{12} = 4 A_{12}; A = A_{12} - |A_{31}|$$

$$\text{Ответ: } 1) \frac{3}{5}; 2) 4; 3) \frac{1}{4}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

N3

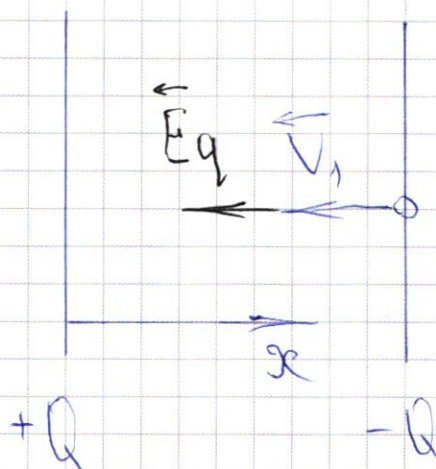
a — сторона
квадрата конденсатора

$$a \gg d; V_1$$

$$q > 0$$

$$V(0,2d) = 0$$

$$T; \bar{U}; \gamma_0$$



III — на об изменении кинетической энергии

$$-Eq \cdot \Delta r = 0 - \frac{mV_1^2}{2} \Rightarrow \frac{mV_1^2}{2} = \bar{U} q \cdot 0,8d = 0,8\bar{U}q$$

Δr — перемещение частицы в конденсаторе

$$\Delta r = d - 0,2d = 0,8d$$

$$\bar{U} = Ed \Rightarrow E = \frac{\bar{U}}{d} = \frac{V_1^2}{1,6\gamma d}$$

$$V_1^2 = \frac{1,6\bar{U}q}{m} = 1,6\bar{U}\gamma \Rightarrow \bar{U} = \frac{V_1^2}{1,6\gamma}$$

II 3-й закон Ньютона $Eq = ma \Rightarrow a = \frac{Eq}{m} = E\gamma$

$$a = \frac{V_1^2}{1,6d} \quad \text{— ускорение частицы}$$

$$T = \frac{V_1}{a} = \frac{1,6d}{V_1} = \frac{1,6d}{V_1}$$

$$E = \frac{Q}{S \cdot \epsilon_0} \Rightarrow Q = E \epsilon_0 a^2 = \frac{V_1^2 \epsilon_0 a^2}{1,6 \gamma d}$$

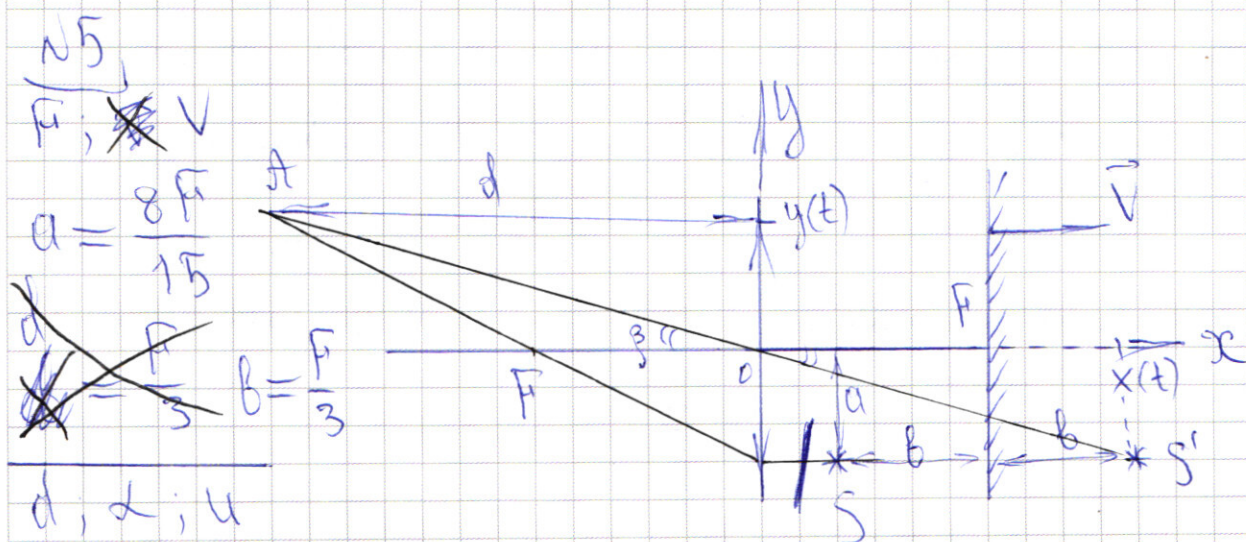
$S = a^2$ — площадь обкладки

$$309: \frac{mv_0^2}{2} = \cancel{\frac{2kQq}{R}} \cancel{\bar{U}d} \bar{U}q + \frac{mv_1^2}{2}$$

$$v_0^2 = v_1^2 + \frac{2\bar{U}q}{m} = v_1^2 + 2\bar{U}\gamma = v_1^2 + \frac{v_1^2}{0,8}$$

$$v_0 = \sqrt{v_1^2 + 2\bar{U}\gamma} = \sqrt{v_1^2 + \frac{v_1^2}{0,8}}$$

Ответ: 1) $\frac{1,6d}{V_1}$; 2) $\frac{v_1^2}{1,6\gamma d}$; 3) $\sqrt{v_1^2 + \frac{v_1^2}{0,8}} = \frac{3}{2}v_1$



Формула тонкой линзы

$$1) \frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{F+b} \Rightarrow \frac{1}{d} = \frac{1}{F} - \frac{1}{F+b} \Rightarrow d = \frac{F(F+b)}{b} =$$

$$= 3\left(F + \frac{F}{3}\right) = 3F + F = 4F$$

$$2) \frac{1}{F} = \cancel{\frac{1}{d(t)}} \frac{1}{x(t)} + \frac{1}{d(t)}; y(t) = d(t) \cancel{\sin \beta} \tan \beta$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

~~$\sin \beta = \frac{a}{x(t)}$~~ $\operatorname{tg} \beta = \frac{a}{x(t)}$

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{x(t)} + \frac{1}{d(t)}; \quad y(t) = \frac{a \cdot d(t)}{x(t)} \Rightarrow d(t) = \frac{x(t)y(t)}{a}$$

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{x(t)} + \frac{a}{y(t)} \cdot \frac{1}{x(t)} = \frac{1}{x(t)} \left(1 + \frac{a}{y(t)} \right) =$$

$$= \frac{1}{x(t)} \cdot \frac{(y(t) + a)}{y(t)} \Rightarrow \cancel{y(t) = \frac{x(t)}{F}}$$

~~$\frac{x(t)}{F} =$~~ $\frac{x(t)}{F} = 1 + \frac{a}{y(t)}$

Продифференцируем $y(t) = a \frac{d(t)}{x(t)}$ по времени

$$v_y = a \left(\frac{x(t) \cdot v_x - V \cdot d(t)}{x^2(t)} \right) = a \left(\frac{v_x}{x(t)} - \frac{V d(t)}{x^2(t)} \right)$$

v_x и v_y — проекции скорости изображения на оси x и y ; V — скорость изображения
В рассматриваемый момент

$$v_y = a \left(\frac{v_x}{F+b} - \frac{V \cdot 4F}{(F+b)^2} \right) \Rightarrow \cancel{\operatorname{tg} \alpha = \frac{a}{F+b} =}$$

~~$$= \frac{8F}{15 \cdot \left(\frac{3F}{3} + \frac{F}{3}\right)} = \frac{8}{5 \cdot 4} = \frac{2}{5} \Rightarrow \alpha = \arctg\left(\frac{2}{5}\right)$$~~

Продифференцируем $\frac{1}{F} = \frac{1}{x(t)} + \frac{1}{d(t)}$ по времени

$$0 = -\frac{V}{x^2(t)} - \frac{v_x}{d^2(t)} \Rightarrow \frac{v_x}{d^2(t)} = -\frac{V}{x^2(t)}$$

$$v_x = -V \frac{x^2(t)}{d^2(t)} = -4V \left(\frac{F + \frac{F}{3}}{4F}\right)^2 = -V \times \frac{1}{9} = -\frac{V}{9}$$

$$v_y = \frac{8F}{15} \left(\frac{v_x}{F + \frac{F}{3}} - \frac{V \cdot 4F}{\left(\frac{F}{3} + F\right)^2} \right) = \frac{8F}{15} \left(-\frac{V}{3F + 9F} \right.$$

$$\left. - \frac{V \cdot 4F \cdot 9}{4F^2} \right) = \frac{8F}{15} \left(-\frac{V}{12F} - \frac{9V \cdot 3}{4F \cdot 3} \right) =$$

$$= -\frac{82}{15} \cdot \frac{10V}{12} = -\frac{20}{45} V; \quad \operatorname{tg} \alpha = \frac{v_y}{v_x} = -4$$

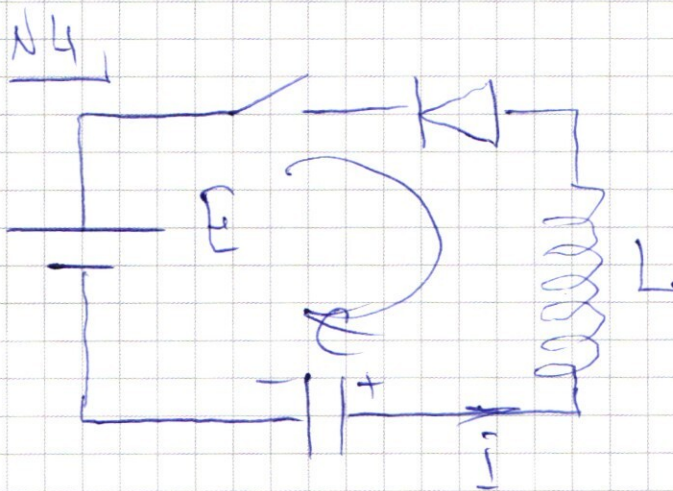
~~$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{v_y}{v_x} = -\frac{20 \cdot 9}{45 \cdot 5} = -4 \Rightarrow \alpha = -\arctg 4$$~~

$$|u| = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{\frac{20^2}{45^2} + \frac{25^2}{45^2}} V = \sqrt{\frac{425}{45^2}} V =$$

$$= \frac{\sqrt{425}}{45} V = \frac{\sqrt{25 \cdot 9}}{45} V = \frac{5 \cdot 3V}{45} = \frac{1}{3} V$$

Ответ: 1) $4F$; 2) $\operatorname{tg} \alpha = -4$; 3) $\frac{1}{3} V$.

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



В установившемся состоянии ток "хочет" поменять направление, но ему препятствует диод

$\vec{I}$ правило Кирхгофа

$$\dot{I}_0 \quad I_{\max} \quad U_2$$

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

U_c — напряжение на конденсаторе

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

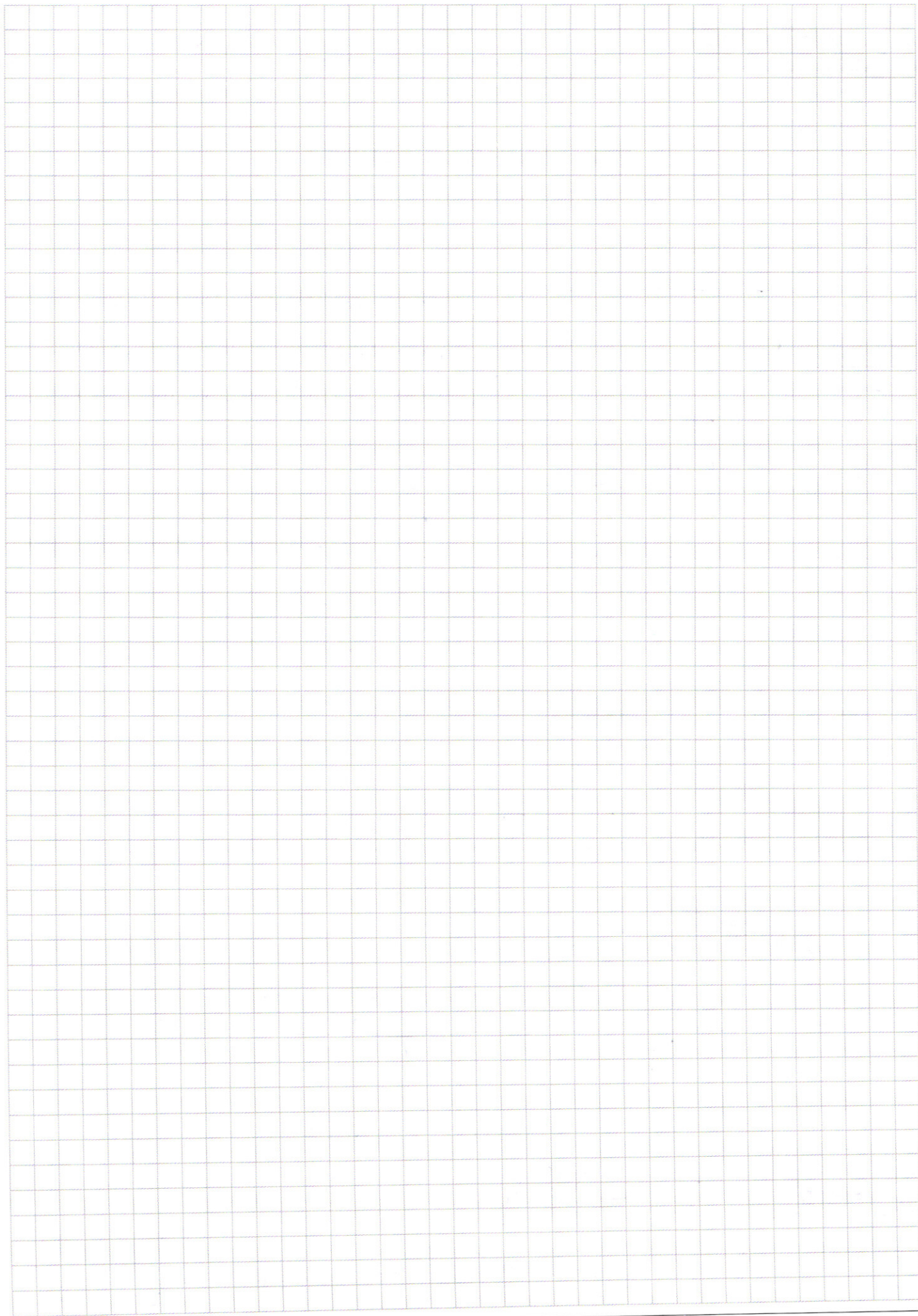
$$L\dot{I}_0 = U_1 - U_0 - E$$

$$\dot{I}_0 = \frac{U_1 - U_0 - E}{L} = \frac{6\text{В} - 1\text{В} - 3\text{В}}{0,2\text{Гн}} = 10 \frac{\text{А}}{\text{с}}$$

$I = I_{\max}$ в состоянии равновесия при

~~$U_c = E$~~ ~~$U_c = E$~~

$$\text{ЗСЭ: } E(cU_c - cU_1) = L \frac{I_{\max}^2}{2} + \frac{cU_c^2}{2} - \frac{cU_1^2}{2}$$



☒ черновик ☐ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

НЧ₁

1) правило Кирхгофа

$$E + L \dot{i} = \cancel{U_0} + U_c$$

U_c — напряжение на конденсаторе

1) сразу после замыкания ключа

1) $\dot{i}_0$; 2) $I_{\max}$; 3) U_2

$$U_c = U_1$$

$$L \dot{i}_0 = \cancel{U_0} + U_1 - E$$

$$\dot{i}_0 = \frac{U_1 - E - U_0}{L} = \frac{6\text{В} - 3\text{В} - 1\text{В}}{0,25\text{м}} = \frac{2}{0,25} \text{А/с} = 8 \text{А/с}$$

Ток перестаёт идти

~~Равновесие наступает~~ в момент, когда ток меняет направление, т.к. через диод он может идти только в одном направлении

$$q_1 = C U_1 = 20 \cdot 10^{-6} \text{Ф} \cdot 6\text{В} = 1,2 \cdot 10^{-4} \text{Кл}$$

— изначальный заряд конденсатора

Максимальный ток достигается в состоянии равновесия при $U_c = 0$

~~$E = \mathcal{E} = 3\text{В}$~~ ~~$\mathcal{E} = E + U_0 = 4\text{В}$~~ ~~$\mathcal{E} = E + U_0 = 4\text{В}$~~

303

$$\varepsilon(0 - q_1) = \left(0 - \frac{c\bar{U}_1^2}{2}\right) + \frac{L\bar{I}_{\max}^2}{2} = -\varepsilon c\bar{U}_1$$

$$\frac{L\bar{I}_{\max}^2}{2} = \frac{c\bar{U}_1^2}{2} - \varepsilon c\bar{U}_1 \Rightarrow L\bar{I}_{\max}^2 = c\bar{U}_1^2 - 2\varepsilon c\bar{U}_1 =$$

$$= c\bar{U}_1(\bar{U}_1 - 2\varepsilon) \Rightarrow \bar{I}_{\max}^2 = \frac{c\bar{U}_1(\bar{U}_1 - 2\varepsilon)}{L} =$$

~~$$= \frac{20 \cdot 10^{-6} \text{ ГД} \cdot 6 \text{ В} (6 \text{ В} - 2 \cdot 3 \text{ В})}{0,25 \text{ Н}} - 0 \Rightarrow \bar{I}_{\max} = 0$$~~

$$= \frac{20 \cdot 10^{-6} \text{ ГД} \cdot 6 \text{ В} (6 \text{ В} - 2 \cdot \frac{4}{2} \text{ В})}{0,25 \text{ Н}} = \frac{20 \cdot 10^{-6} \text{ ГД} \cdot 6 \text{ В} (-2 \text{ В})}{0,25 \text{ Н}} < 0$$