

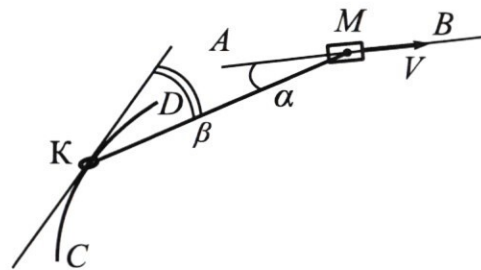
Олимпиада «Физтех» по физике, ф

Вариант 11-02

Класс 11

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

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.



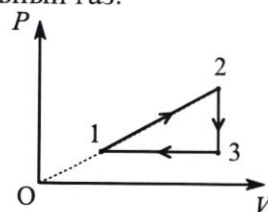
- 1) Найти скорость кольца в этот момент.
- 2) Найти скорость кольца относительно муфты в этот момент.
- 3) Найти силу натяжения троса в этот момент.

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

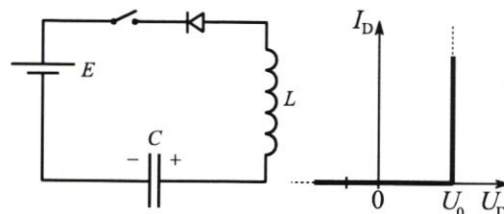
1) Найдите продолжительность T движения частицы в конденсаторе до остановки.

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.

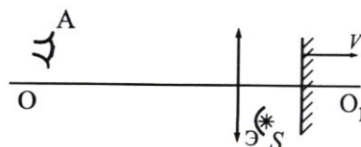
3) Найти установившееся напряжение U_2 на конденсаторе после замыкания ключа.

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.



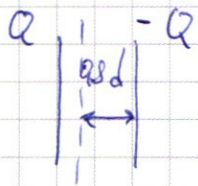
ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№3

Методом обобщения по формуле однородности

$\Rightarrow$ частицы движутся с постоянной скоростью

Состояние системы в заданное время



$\leftarrow q$, где Q и q - одного знака

$\rightarrow 0,2d$

$\Rightarrow$ справедливы формулы

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

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

Кинетическая энергия $U = Ed$

Третье $a = \frac{Eq}{m}$ - ускорение частицы

$$0,8d = \frac{v_1^2 - 0^2}{2a}, \quad 0,8d = \frac{v_1^2}{2Ex}$$

$$\Rightarrow E = \frac{v_1^2}{1,6dx} \Rightarrow U = \frac{v_1^2}{1,6x}$$

По 3-му закону сохранения энергии

$$E_{\text{пот}1} + \frac{mv_1^2}{2} = E_{\text{пот}\infty} + \frac{mv_0^2}{2}$$

где $E_{\text{пот } 1}$ - потерянная при энергии частицы в поле конденсатора

$E_{\text{пот } \infty} \rightarrow 0$ - пот. энергия частицы при бесконечном удалении от конденсатора

$$E_{\text{пот } 1} = qU = \frac{v_1^2}{1,6} q$$

$$\frac{v_1^2}{1,6} q + \frac{m v_1^2}{2} = \frac{m v_0^2}{2} \quad | \cdot \frac{2}{m}$$

$$2 \frac{v_1^2}{1,6} + v_1^2 = v_0^2$$

$$\Rightarrow v_0 = \sqrt{\frac{v_1^2}{0,8} + v_1^2} = v_1 \sqrt{\frac{20}{8} + 1} = \sqrt{\frac{9}{4}} v_1$$

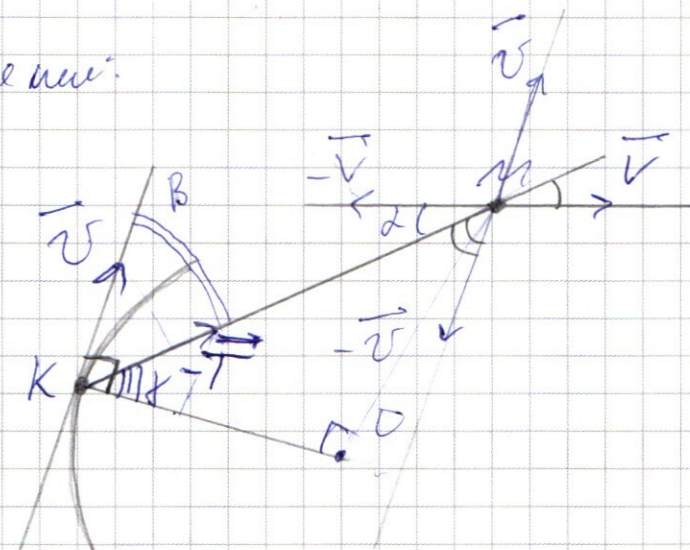
$$v_0 = \frac{3}{2} v_1$$

Ответ: 1) $T = 1,6 \frac{d}{v_1}$ 2) $U = \frac{v_1^2}{1,6}$ 3) $v_0 = \frac{3}{2} v_1$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$\nu 1$
 Дано:
 $V = 40 \text{ км/с}$
 $m = 1 \text{ кг}$
 $R = 1,7 \text{ м}$
 $L = \frac{17}{25} R$
 $\cos \alpha = \frac{3}{5}$
 $\cos \beta = \frac{8}{17}$
 $V = ?$
 $V_{\text{от}} = ?$
 $T = ?$

Решение:



Т.к. движение по окружности происходит, если скорость не превышает критическую, то скорость должна быть меньше или равна критической.

$$\Rightarrow V \cos \beta = V \cos \alpha$$

$$V = V \frac{\cos \alpha}{\cos \beta} = 40 \frac{\frac{3}{5}}{\frac{8}{17}} \text{ км/с} = 40 \cdot \frac{51}{40} \text{ км/с} = 51 \text{ км/с}$$

$$\vec{V}_{\text{от}} = -\vec{V} + \vec{V}$$

$$V_{\text{от}}^2 = V^2 + V^2 - 2VV \cos(\beta + \alpha)$$

$$V_{\text{от}} = \sqrt{40^2 + 51^2 - 2 \cdot 40 \cdot 51 \cdot \frac{8}{17}} \text{ км/с}$$

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

$$\sin \alpha = \sqrt{\frac{25}{25} - \frac{321}{52}} = \frac{4}{5}$$

$$\sin \beta = \sqrt{\frac{189}{189} - \frac{64}{189}} = \frac{25}{17}$$

$$\begin{aligned}
 v_{0T} &= \left(40^2 + 57^2 - 2 \cdot 40 \cdot 57 \left(-\frac{4}{5} \cdot \frac{15}{17} + \frac{3}{5} \cdot \frac{8}{17} \right) \right)^{\frac{1}{2}} \text{ м/с} = \\
 &= \left(1600 + 2601 - 2 \cdot 40 \cdot 57 \frac{1}{5 \cdot 17} (24 - 60) \right)^{\frac{1}{2}} \text{ м/с} = \\
 &= \sqrt{1600 + 2601 + 48 \cdot 1440 \cdot 36} \text{ м/с} = \\
 &= 77 \text{ м/с}
 \end{aligned}$$

— $\overline{T}$ — средняя модуль ускорения $a_n = \frac{v^2}{R}$

$$T \cos \varphi = m \frac{v^2}{R}$$

$$\cos \varphi = \frac{R}{l} = \cos(90^\circ - \beta) = \sin \beta = \frac{15}{17}$$

$$T = m \frac{v^2}{R} \frac{l}{R} = m \frac{v^2}{R^2} \frac{17}{15} R$$

$$T = 1 \cdot \frac{0,57^2}{10^7} \cdot \frac{17}{15} \text{ Н} = \frac{0,57^2 \cdot 10}{15} \text{ Н} = 0,57^2 \cdot \frac{2}{3} \text{ Н} = 0,1734 \text{ Н}$$

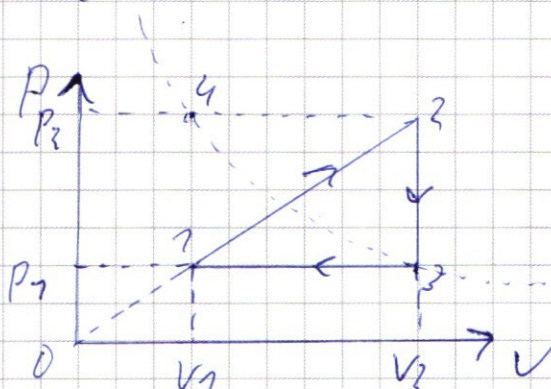
Ответ: 1) $v = 57 \text{ м/с}$

2) $v_{0T} = 77 \text{ м/с}$

3) $T = 0,1734 \text{ Н}$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

~ 2



$$C_{Di} = \left(\frac{dQ}{dT} \right)_i \cdot \frac{1}{T}$$

Физ

Температуры T_{23} и T_{31} и T_{12} нормированы на единицу

$$\eta = \frac{C_{D23}}{C_{D31}} = \left(\frac{dQ}{dT} \right)_{23} : \left(\frac{dQ}{dT} \right)_{31}$$

$$\begin{aligned} \Delta Q_{23} &= A_{23} + \Delta U_{23} \\ \Delta Q_{31} &= A_{31} + \Delta U_{31} \end{aligned} \quad \left. \begin{array}{l} \Delta V=0 \\ \Delta U_{23} = \Delta U_{31} \end{array} \right\} \text{1-3-й термодинамический закон}$$

$$\Delta Q_{23} = \frac{3}{2} \nu R \Delta T \quad \left(\frac{dQ}{dT} \right)_{23} = \frac{3}{2} \nu R$$

$$\Delta Q_{31} = \frac{5}{2} \nu R \Delta T \quad \left(\frac{dQ}{dT} \right)_{31} = \frac{5}{2} \nu R$$

$$\Rightarrow \eta = \frac{3}{2} \cdot \frac{2}{5} = \frac{3}{5}$$

$$Q_{12} = A_{12} + \Delta U_{12} \quad | : A_{12}$$

$$\frac{Q_{12}}{A_{12}} = 1 + \frac{\Delta U_{12}}{A_{12}}, \quad A_{12} = \frac{1}{2} (P_1 + P_2) (V_2 - V_1)$$

$$\Delta U_{12} = \frac{3}{2} \nu R \Delta T \quad \cancel{\frac{3}{2} \nu R \Delta T}$$

$$\cancel{\frac{3}{2} \nu R \Delta T} = \frac{3}{2} \nu R (P_2 V_2 - P_1 V_1)$$

$$\Delta T = T_2 - T_1$$

$$\frac{P V}{T} = \text{const} - \text{у.м.м. условие}$$

$$= \frac{3}{2} \nu R (P_2 V_2 - P_1 V_1)$$

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$$

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

$$p_2 V_2 = \nu R T_2 \quad - \text{гидри мегенелее термисирани}$$

$$\Rightarrow T_2 = \frac{p_2 V_2}{\nu R}$$

$$\Rightarrow \Delta U_{12} = \frac{3}{2} \nu R \frac{p_2 V_2}{\nu R} \frac{p_2 V_2 - p_1 V_1}{p_2 V_2} = \frac{3}{2} (p_2 V_2 - p_1 V_1)$$

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

$$\frac{\Delta U_{12}}{A_{12}} = \frac{\frac{3}{2} (p_2 V_2 - p_1 V_1)}{\frac{1}{2} (p_1 V_2 - p_1 V_1 + p_2 V_2 - p_2 V_1)} \quad \#$$

Точки 3 (V_2, p_1) и 4 (V_1, p_2) имамот рикти
отмостелно прелини 01

Это соотвествует изотерм

Типрболи в координатна pV - изотерм

$$\Rightarrow p_1 V_2 - p_2 V_1 = \nu R T_3 - \nu R T_4 = 0$$

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

$$\frac{Q_{12}}{A_{12}} = 1 + 3 = 4$$

$$\eta = \frac{A}{Q^+}; \quad Q^+ = Q_{12} = 4 A_{12}$$

$$A = A_{12} + A_{23} + A_{31} = A_{12} - p_1 (V_2 - V_1)$$

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

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$\eta = \frac{\frac{1}{2} p_2 V_2 - \frac{1}{2} p_1 V_1 - p_1 V_2 + p_1 V_1}{2 p_2 V_2 - 2 p_1 V_1}$$

$$\eta = \frac{\frac{1}{2} p_2 V_2 - p_1 V_2 + \frac{1}{2} p_1 V_1}{2 (p_2 V_2 - p_1 V_1)} \quad (1)$$

Очевидно, что КПД $\sim A$

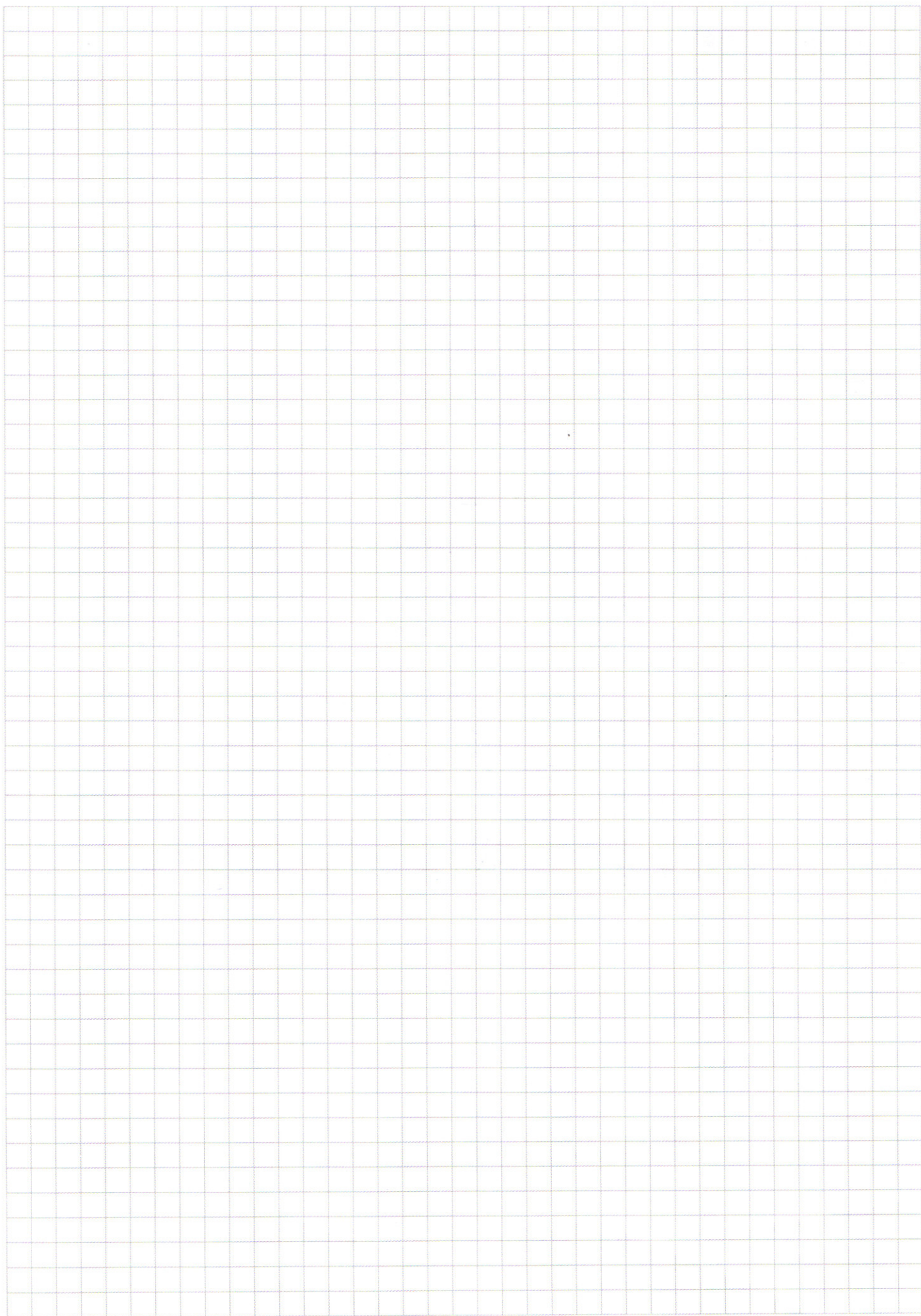
A максимальное при $p_1 \rightarrow 0$

(тогда положительная работа не уходит 1-2
возрастает с отрицательной на графике 3)
— уменьшаются)

Вывод

$$\lim_{p_1 \rightarrow 0} \eta = \frac{\frac{1}{2} p_2 V_2}{2 p_2 V_2} = \frac{1}{4} = 0,25$$

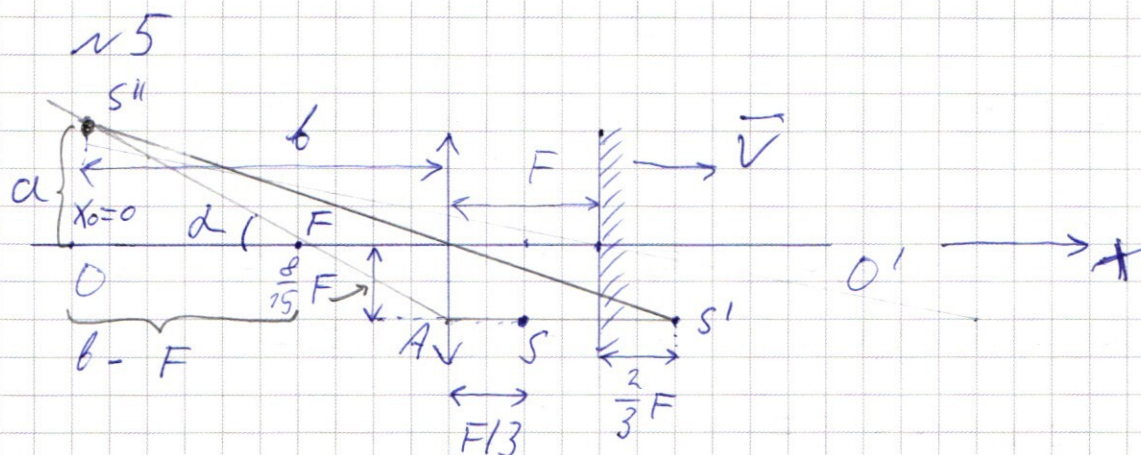
Откуда: 1) $\eta = \frac{3}{5}$ 2) $\frac{Q_{из}}{A_{из}} = 4$ 3) $\eta = 25\%$



☐ черновик ☐ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



S' - изображение источника S в зеркале

S'' - изображение точки S' в линзе

По формуле тонкой линзы

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{F + \frac{2}{3}F} + \frac{1}{b} \Rightarrow b = \frac{(F + \frac{2}{3}F)F}{F + \frac{2}{3}F - F} = F \frac{5}{\frac{2}{3}}$$

$$b = \frac{5}{2} F$$

При движении зеркала точка S' удаляется от линзы по прямой SS'

Поэтому путь луча $S'AS''$ не изменится

Полностью лишь изменится путь $S'S''$ к оси OO'

$\Rightarrow$ изображение S'' движется по прямой AS''

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{a}{b - F} ; \quad \frac{\frac{8}{15}F}{\frac{5}{2}F - F} = \eta = \frac{b}{F + \frac{2}{3}F}$$

$$a = b \frac{\frac{8}{15}}{\frac{5}{2} - 1} = \frac{8}{25} b$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\frac{8}{25} b}{\frac{5}{2}F - F} = \frac{\frac{8}{25} \cdot \frac{5}{2}F}{\frac{5}{2}F - F} = \frac{4}{3} : \frac{3}{2} = \frac{4}{3} \cdot \frac{2}{3} = \frac{8}{9}$$

Получим в общем виде формулу (1)

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{b - v_x t} + \frac{1}{\frac{F}{3} + 2\left(\frac{2}{3}F + Vt\right)}$$

где v_x - скорость точки S'' вдоль оси x

$b - v_x t = x(t)$ - координата S'' по оси x

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{x(t)} + \frac{1}{\frac{F}{3} + \frac{4}{3}F + Vt}; \quad \frac{1}{F} = \frac{1}{x(t)} + \frac{1}{\frac{5}{3}F + 2Vt}$$

$$x(t) = \frac{F\left(\frac{5}{3}F + 2Vt\right)}{\frac{5}{3}F + 2Vt - \frac{3}{3}F} = \frac{\frac{5}{3}F^2 + 2VFt}{\frac{2}{3}F + 2Vt}$$

$$x(t) = \frac{5F^2 + 6VFt}{2F + 6Vt}$$

$$v_x(t) = -\frac{d}{dt} x(t) = -\frac{6VF(2F + 6Vt) - 6V(5F^2 + 6VFt)}{(2F + 6Vt)^2}$$

$$v_x(0) = v_x = -\frac{6V \cdot 2F - 6V \cdot 5F^2}{4F^2} = \frac{18}{4}V = \frac{9}{2}V$$

$$\frac{v_x}{v} = \cos \alpha = \left(1 + \tan^2 \alpha\right)^{-\frac{1}{2}} = \left(\frac{81}{81} + \frac{64}{81}\right)^{-\frac{1}{2}} = \frac{9}{\sqrt{145}}$$

$$\Rightarrow v = v_x \cdot \frac{\sqrt{145}}{9} = \frac{9}{2}V \cdot \frac{\sqrt{145}}{9} = V \cdot \frac{\sqrt{145}}{2} \approx 6V$$

Ответ: 1) $\frac{5}{2}F$ 2) $\tan \alpha = \frac{4}{9}$ 3) $v = V \cdot \frac{\sqrt{145}}{2}$
 $v = 6V$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№ 4

Дано:

$$E = 3 \text{ В}$$

$$C = 20 \text{ мкФ}$$

$$U_1 = 6 \text{ В}$$

$$L = 0,2 \text{ Гн}$$

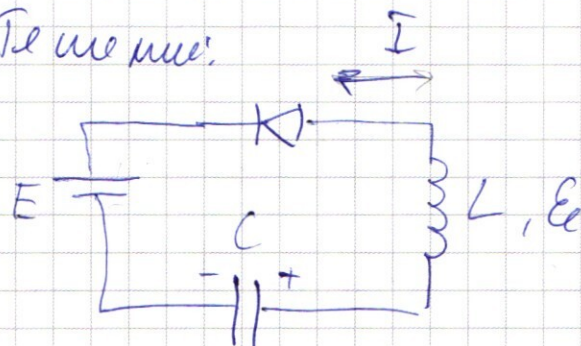
$$U_0 = 1 \text{ В}$$

$$\frac{dI(t)}{dt} = ?$$

$$I_{\max} = ?$$

$$U_2 = ?$$

Решение:



По второму правилу Кирхгофа

$$E - \mathcal{E} = U_C + U_0 \quad (1)$$

$$\mathcal{E} = L \frac{dI}{dt} = L \dot{I} \quad \text{з-н Фарадея}$$

$$q = C U_C \Rightarrow U_C = \frac{1}{C} q$$

$$E - L \dot{I} = \frac{1}{C} q + U_0 \Leftrightarrow E - L \ddot{q} = \frac{1}{C} q + U_0$$

$$\ddot{q} + \frac{1}{LC} q = -\frac{E + U_0}{L} = \text{const}$$

$$\Rightarrow q(t) = q_{\max} \sin\left(\sqrt{\frac{1}{LC}} t + \varphi_0\right)$$

$$I(t) = \frac{d}{dt} q(t) = \underbrace{\sqrt{\frac{1}{LC}} q_{\max}}_{I_{\max}} \cos\left(\sqrt{\frac{1}{LC}} t + \varphi_0\right)$$

$$q_{\max} = C U_1$$

$$\Rightarrow I_{\max} = \sqrt{\frac{1}{LC}} C U_1 = \sqrt{\frac{C}{L}} U_1$$

$$I_{\max} = \sqrt{\frac{20 \cdot 10^{-6}}{0,2}} 6 \text{ (А)} = 6 \text{ мА}$$

Переключим (7) для начального момента времени

$$-E - L \frac{d}{dt} I(0) = U_1 + U_0$$

$$\Rightarrow \frac{d}{dt} I(0) = \frac{-E - U_1 - U_0}{L} = \frac{-3 - 6 - 7}{0,2} \left(\frac{В}{Гн} \right) = -50 \frac{А}{с}$$

За небольшое время полярность тока изменит направление и ток не сможет пройти через диод

Тогда на конденсаторе установится напряжение U_2

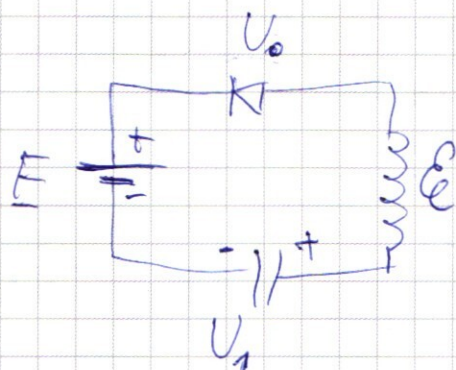
$$\text{При этом } \frac{dI}{dt} = 0$$

$$-E = U_2 + U_0$$

$$\Rightarrow U_2 = -E - U_0 = -4В$$

$$\text{Ответ: 1) } \frac{d}{dt} I(0) = 50 \frac{А}{с} \quad 2) I_{\max} = 6 \text{ мА} \quad 3) U_2 = 4В$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$$-E + \mathcal{E} = U_0 + U_1$$

$$\mathcal{E} = L \frac{dI}{dt} = L \dot{I} \quad m \frac{v_1^2}{2} = \frac{m v_1^2}{2} + E_{пот.0}$$

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

$$q = C U_C \quad U_C = \frac{q}{C}$$

$$-E - L \ddot{q} = U_0 + \frac{q}{C}$$

$$-E + L \frac{dI}{dt} = U_0 + \frac{q}{C}$$

$$-E - L \frac{dI}{dt} = U_0 + \frac{q}{C}$$

$$-E - L \dot{I} = U_0 + \frac{q}{C}$$

$$-E + L \ddot{q} = U_0 + \frac{q}{C}$$

$$\ddot{q} + \frac{1}{LC} q = \text{const}$$

$$q = q_{\max} \sin(\omega t + \varphi_0)$$

$$\dot{q} = \omega q_{\max} \cos(\omega t + \varphi_0)$$

$$\omega = \sqrt{\frac{1}{LC}}$$

$$I_{\max}$$

$$E_{\text{пот}} = E q$$

$$E q = F$$

$$F = E q_{\text{зд}}$$

$$E_{\text{пот}} = \int_0^x E q dx$$

$$\frac{m v_1^2}{2} = E d \cdot 0,8 q$$

$$\frac{v_1^2}{2a} = 0,8 d$$

$$\frac{v_1^2}{2} = E d = U$$

$$\frac{v_1^2}{2 E \delta} = 0,8 d$$

$$E q = F$$

$$dA \Rightarrow F dx = dE_{\text{пот}}$$

$$\frac{v_1 + 0}{2} t = 0,8 d$$

$$a = \frac{F q}{m} = E \delta$$

$$-E - \mathcal{E} = +U_c + U_0$$

$$E + L \frac{dI}{dt} = -\frac{1}{C} q - U_0$$

$$E + L \ddot{q} = -\frac{1}{C} q - U_0$$

$$\ddot{q} + \frac{1}{LC} q = -\frac{E+U_0}{L}$$

$$q = q_{\max} \sin(\omega t + \phi_0)$$

$$I = \omega q_{\max} \cos(\omega t + \phi_0)$$

$$-E = U_c + U_0$$

$$-E = \frac{1}{C} q + U_0$$



$$48 \cdot 40$$

$$1600$$

$$U_1$$

$$C_0 = \frac{dC}{dt}$$

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

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

$$Q_{23} =$$

$$y = \frac{y}{x}$$

$$z = \frac{z}{x}$$

$$y = \frac{y}{x}$$

$$(80-11)^2$$

$$6400 - 160 + 1$$

$$2550$$

$$\sqrt{67.21} = 8.2$$

$$\begin{array}{r} 82 \\ 9 \overline{) 7912} \\ \underline{72} \\ 712 \\ \underline{720} \\ 12 \end{array}$$

$$\mathcal{E} = U_1$$