

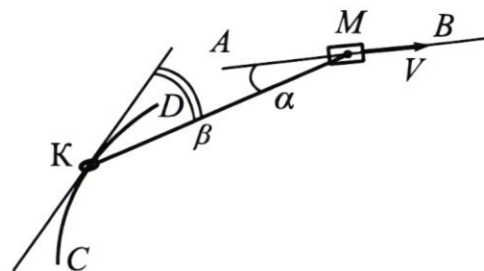
Олимпиада «Физтех» по физике, 11 класс

Вариант 11-03

Класс 11

Бланк задания обязательно должен быть вложен в работу. Работы без вложения бланка задания не принимаются.

1. Муфту M двигают со скоростью $V = 34$ см/с по горизонтальной направляющей AB (см. рис.). Кольцо K массой $m = 0,3$ кг может двигаться без трения по проволоке CD в виде дуги окружности радиусом $R = 0,53$ м. Кольцо и муфта связаны легкой нитью длиной $l = 5R/4$. Система находится в одной горизонтальной плоскости. В некоторый момент нить составляет угол α ($\cos \alpha = 15/17$) с направлением движения муфты и угол β ($\cos \beta = 3/5$) с направлением движения кольца.



1) Найти скорость кольца в этот момент.

2) Найти скорость кольца относительно муфты в этот момент.

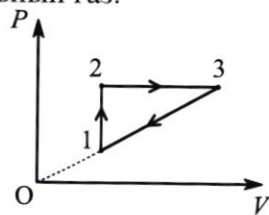
3) Найти силу натяжения нити в этот момент.

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 изменения внутренней энергии газа к работе газа.

3) Найти предельно возможное максимальное значение КПД такого цикла.



3. Обкладки конденсатора – круглые металлические сетки, радиус обкладок намного больше расстояния d между обкладками. Из точки, находящейся между обкладками на оси симметрии на расстоянии $0,3d$ от отрицательно заряженной обкладки стартует с нулевой начальной скоростью отрицательно заряженная частица и вылетает из конденсатора перпендикулярно обкладкам со скоростью V_1 . Удельный заряд частицы $\frac{|q|}{m} = \gamma$.

1) Через какое время T частица будет находиться на одинаковых расстояниях от обкладок?

2) Найдите величину Q заряда обкладок конденсатора.

3) С какой скоростью V_2 будет двигаться частица на бесконечно большом расстоянии от конденсатора?

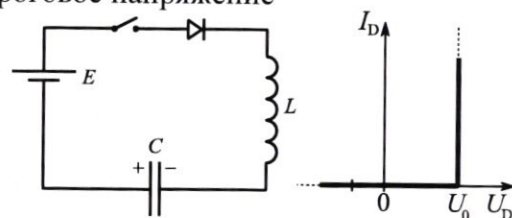
При движении частицы электрическое поле, созданное зарядами конденсатора, считать неизменным, а электрическое поле внутри конденсатора вблизи оси симметрии считать однородным.

4. В цепи, схема которой показана на рисунке, ключ разомкнут, ЭДС идеального источника $E = 6$ В, конденсатор емкостью $C = 40$ мкФ заряжен до напряжения $U_1 = 2$ В, индуктивность идеальной катушки $L = 0,1$ 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.

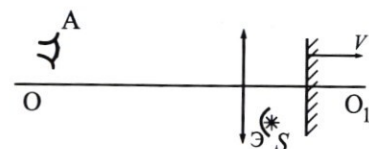


5. Оптическая система состоит из тонкой линзы с фокусным расстоянием F , плоского зеркала и небольшого экрана $\mathcal{E}$, расположенного так, что свет от источника S может попасть на линзу только после отражения от зеркала (см. рис.). Зеркало расположено перпендикулярно главной оптической оси OO_1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



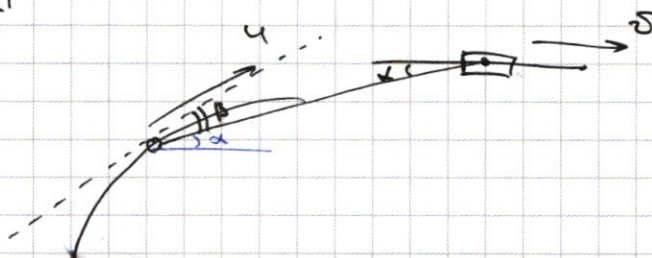
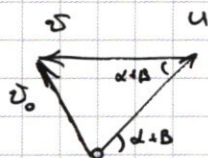
ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№1

Нить нерастяжима $\Rightarrow$ проекции скоростей концов ~~нити~~ ^{нити} на нить равны:

$$\vec{v} \cdot \cos \alpha = u \cdot \cos \beta \Rightarrow \boxed{u = \vec{v} \cdot \frac{\cos \alpha}{\cos \beta}} \quad 1)$$

Перейдем в р.о. муфты:



Т.косинусов:

$$\begin{aligned} v_0^2 &= v^2 + u^2 - 2vu \cos(\alpha + \beta) = \\ &= v^2 \left(1 + \left(\frac{\cos \alpha}{\cos \beta} \right)^2 - 2 \frac{\cos \alpha}{\cos \beta} \cdot \cos(\alpha + \beta) \right) \end{aligned}$$

$$\boxed{v_0 = v \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{\cos \alpha}{\cos \beta} \right)^2 - 2 \frac{\cos \alpha}{\cos \beta} \cdot \cos(\alpha + \beta)}} \quad 2)$$

$$\cos \alpha = \frac{15}{17} \quad \sin \alpha = \frac{8}{17}$$

$$\cos \beta = \frac{3}{5} \quad \sin \beta = \frac{4}{5}$$

$$\cos(\alpha + \beta) = \cos \alpha \cos \beta - \sin \alpha \sin \beta = \frac{15 \cdot 3 - 8 \cdot 4}{17 \cdot 5} = \frac{13}{85} = \frac{13}{17 \cdot 5}$$

$$1) \boxed{u = v \cdot \frac{\cos \alpha}{\cos \beta} = 34 \frac{\text{см}}{\text{с}} \cdot \frac{15}{3} \cdot \frac{5}{17} = 50 \frac{\text{см}}{\text{с}}}$$

$$2) \boxed{v_0 = 34 \frac{\text{см}}{\text{с}} \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{25}{17} \right)^2 - 2 \cdot \frac{25}{17} \cdot \frac{13}{17 \cdot 5}} = 2 \frac{\text{см}}{\text{с}} \cdot \sqrt{17^2 + 25^2 - 2 \cdot 5 \cdot 13} = 2 \frac{\text{см}}{\text{с}} \cdot \sqrt{784} = 56 \frac{\text{см}}{\text{с}}}$$

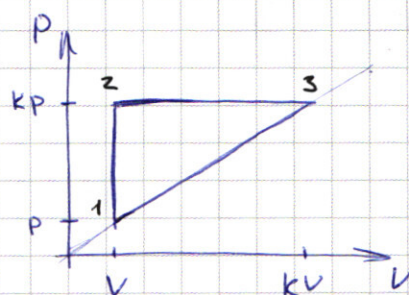
№2 $\bar{i}=3$

1) Газ нагревался на участках 12 и 23.

$$C_{12} = C_V = \frac{\bar{i}}{2} R$$

$$C_{23} = C_P = \frac{\bar{i}+2}{2} R$$

$$\boxed{\frac{C_{23}}{C_{12}} = \frac{\bar{i}+2}{\bar{i}} = \frac{5}{3} \approx 1,67}$$



2) Процесс 23 изобарный.

$$\Delta U_{23} = \frac{\bar{i}}{2} (kV kP - kP \cdot V) = \frac{\bar{i}}{2} k(k-1) pV$$

$$A_{23} = kP \cdot (k-1)V$$

$$\boxed{\frac{\Delta U_{23}}{A_{23}} = \frac{\frac{\bar{i}}{2} k(k-1) pV}{k(k-1) pV} = \frac{\bar{i}}{2} = \frac{3}{2} = 1,5}$$

$$3) \eta = \frac{A}{Q_H}$$

$$A = \frac{1}{2} (k-1) p (k-1)V = \frac{1}{2} (k-1)^2 pV$$

$$Q_H = Q_{12} + Q_{23} = A_{123} + \Delta U_{123} = (k-1)V \cdot kP + \frac{\bar{i}}{2} (kPkV - pV) =$$

$$= \frac{1}{2} (k-1) pV (2k + \bar{i}(k+1))$$

$$\eta = \frac{\frac{1}{2} (k-1)^2 pV}{\frac{1}{2} (k-1) pV (2k + \bar{i}(k+1))} = \frac{k-1}{2k + \bar{i}(k+1)} \stackrel{\bar{i}=3}{=} \frac{k-1}{5k+3} = \frac{k + \frac{3}{5}}{5k+3} - \frac{8/5}{5k+3} = \frac{1}{5} - \frac{8/5}{5k+3}$$

$$\eta < \frac{1}{5}. \quad \eta \rightarrow \frac{1}{5} \text{ при } k \rightarrow \infty$$

$$\boxed{\eta_{\max} = \frac{1}{5} = 20\%}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№3

E — напряженность поля между обкладками

ЗСЭ: $qEx = \frac{mv^2}{2}$ x — смещение заряда вдоль E

$$E = \frac{mv^2}{2qx} = \frac{v^2}{2\gamma x} \quad \Rightarrow \quad E = \frac{v_1^2}{2\gamma \cdot 0.7d}$$

$x = 0.7d$ $v = v_1$

$a = \frac{qE}{m} = \gamma E$ — ускорение заряда

$$\frac{at^2}{2} = 0.2d \Rightarrow \boxed{t = \sqrt{\frac{2 \cdot 0.2d}{a}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 0.2d \cdot 2\gamma \cdot 0.7d}{\gamma \cdot v_1^2}} = \sqrt{0.56} \frac{d}{v_1}}$$

Внутри конденсатора поле однородно, снаружи поля нет, $\Rightarrow \boxed{v_2 = v_1}$

$E = \frac{\mathcal{E}}{\epsilon_0} \Rightarrow \mathcal{E} = E \cdot \epsilon_0$

$\boxed{Q = \mathcal{E} \cdot \pi R^2 = E \epsilon_0 \pi R^2}$ R — радиус обкладки

✓4

$$\dot{q} = I$$

$$q(0) = -U_1 C$$

Диод откроется, на нем будет напряжение U_0 :

$$\mathcal{E} - U_0 - \dot{I}L - \frac{q}{C} = 0 \quad (*)$$

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

Замена: $q^* = q - (\mathcal{E} - U_0)C$

$$\ddot{q}^* = \ddot{q}$$

$$\ddot{q}^* = -\frac{q^*}{LC}$$

$$q^* = A \cdot \cos(\omega t + \varphi)$$

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

$$q^*(0) = -(\mathcal{E} - U_0 + U_1)C \quad \Rightarrow A = -(\mathcal{E} - U_0 + U_1)C$$

$$\dot{q}^*(0) = 0 \quad \Rightarrow \varphi = 0$$

$$q = q^* + (\mathcal{E} - U_0)C = (\mathcal{E} - U_0)C - (\mathcal{E} - U_0 + U_1)C \cos \omega t$$

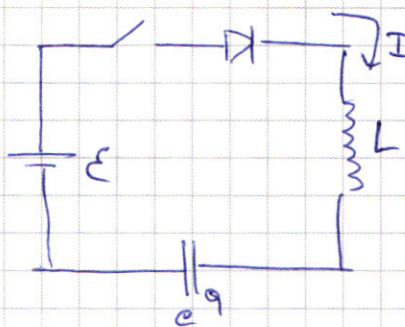
$$I = \dot{q} = (\mathcal{E} - U_0 + U_1)C \omega \sin \omega t \Rightarrow \boxed{I_{\max} = (\mathcal{E} - U_0 + U_1) \sqrt{\frac{C}{L}} \quad 2) = 140 \text{ мА}}$$

$$\boxed{\dot{I}(0) = \dot{q}(0) = (\mathcal{E} - U_0 + U_1)C \cdot \omega^2 = \frac{\mathcal{E} - U_0 + U_1}{L} \quad 1) = 70 \frac{\text{А}}{\text{с}}}$$

(*) Верно, пока диод открыт, т.е. $I > 0$, это выполняется при $\omega t < \pi$.

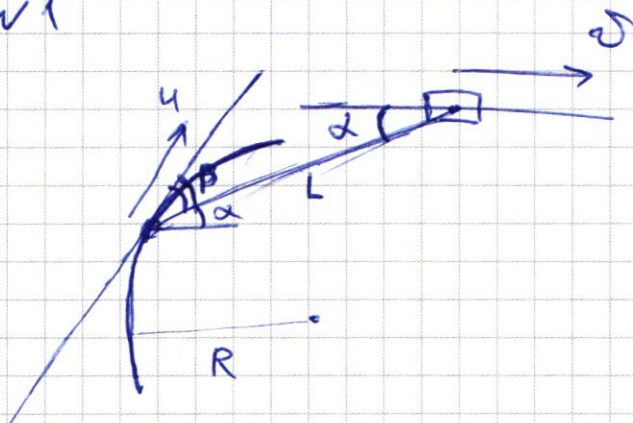
После закрытия диода тока не будет.

$$\boxed{U_2 = \frac{q(\pi/\omega)}{C} = \frac{(\mathcal{E} - U_0)C - (\mathcal{E} - U_0 + U_1)C \cos \pi}{C} = \frac{2\mathcal{E} - 2U_0 + U_1}{C} \quad 3) = 12 \text{ В}}$$



ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№ 1

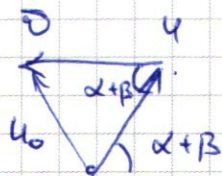


Нерастяжимость нити:

$$v \cdot \cos \alpha = u \cdot \cos \beta$$

$$u = v \cdot \frac{\cos \alpha}{\cos \beta}$$

В с.о. шурты:



Т. косинусов.

$$u_0 = \sqrt{u^2 + v^2 - 2uv \cos(\alpha + \beta)} =$$

$$= v \cdot \sqrt{\frac{\cos^2 \alpha}{\cos^2 \beta} + 1 - 2 \frac{\cos \alpha}{\cos \beta} \cdot \cos(\alpha + \beta)}$$

$$\begin{array}{l} \sim 1 \\ 1) + \\ 2) + \\ 3) \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} 1) + \\ 2) + \\ 3) \end{array}} \right) 5$$

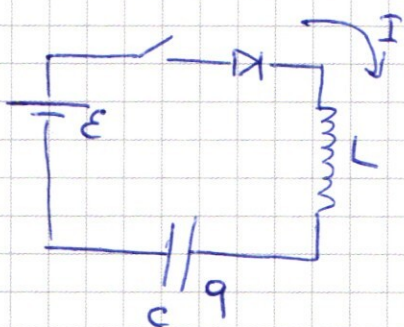
$$\begin{array}{l} \sim 2 \\ 1) + \\ 2) + \\ 3) + \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} 1) + \\ 2) + \\ 3) + \end{array}} \right) 10$$

$$\begin{array}{l} \sim 3 \\ 1) + \\ 2) ? ? \\ 3) ? - \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} 1) + \\ 2) ? ? \\ 3) ? - \end{array}} \right) 5$$

$$\begin{array}{l} \sim 4 \\ 1) + \\ 2) + \\ 3) + \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \sim 5 \\ 1) \\ 2) \\ 3) \end{array}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$$q(0) = -U_1 C$$

$$\varepsilon - U_0 - \dot{q}L - \frac{q}{C} = 0 \quad (*)$$

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

$$\ddot{q}L = -\frac{q - (\varepsilon - U_0)C}{C}$$

Замена: $q^* = q - (\varepsilon - U_0)C$

$$\ddot{q}^* = \ddot{q}$$

$$7B \cdot \sqrt{\frac{40 \cdot 10^{-6}}{91}} = 7 \cdot 20 \cdot 10^{-3} = 0,140$$

$$\ddot{q}^* = -\frac{q^*}{LC}$$

$$q^* = A \cdot \cos(\omega t + \varphi)$$

$$q^*(0) = -(\varepsilon - U_0 + U_1)C \Rightarrow A = -(\varepsilon - U_0 + U_1)C$$

$$\dot{q}^*(0) = \dot{q}(0) = 0 \Rightarrow \varphi = 0$$

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

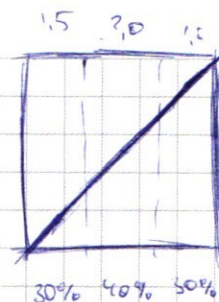
$$q = q^* + (\varepsilon - U_0)C = (\varepsilon - U_0)C - (\varepsilon - U_0 + U_1)C \cdot \cos \omega t$$

$$I = \dot{q} = (\varepsilon - U_0 + U_1)C \omega \sin \omega t \Rightarrow I_{\max} = (\varepsilon - U_0 + U_1) \sqrt{\frac{C}{L}} \quad 2)$$

$$\dot{I}(0) = \ddot{q}(0) = (\varepsilon - U_0 + U_1)C \cdot \omega^2 = \frac{\varepsilon - U_0 + U_1}{L} \quad 1)$$

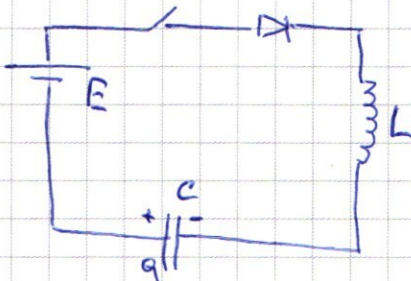
(*) верно, пока диод открыт. После закрытия диода тока не будет.

$$U_2 = \frac{q(\pi/\omega)}{C} = \frac{(\varepsilon - U_0)C - (\varepsilon - U_0 + U_1)C \cos \pi}{C} = (\varepsilon - U_0) + \varepsilon - U_0 + U_1 = 2\varepsilon - 2U_0 + U_1 \quad 3)$$



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

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$$\mathcal{E} - U_0 - I L + \frac{q}{C} = 0$$

$$I = \frac{\mathcal{E} - U_0 + q/C}{L} = \frac{\mathcal{E} - U_0 + U_1}{L}$$

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

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

$$\ddot{q} L = -\frac{q - (\mathcal{E} - U_0)C}{C} = -\frac{q^*}{C}$$

$$\ddot{q}^* = -\frac{q^*}{LC}$$

$$q^* = A \cdot \cos(\omega t + \varphi)$$

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

$$q^*(0) = -(\mathcal{E} - U_0 + U_1)C$$

$$\dot{q}^*(0) = 0$$

$$q^* = -(\mathcal{E} - U_0 + U_1)C \cos(\omega t)$$

$$q = q^* + (\mathcal{E} - U_0)C =$$

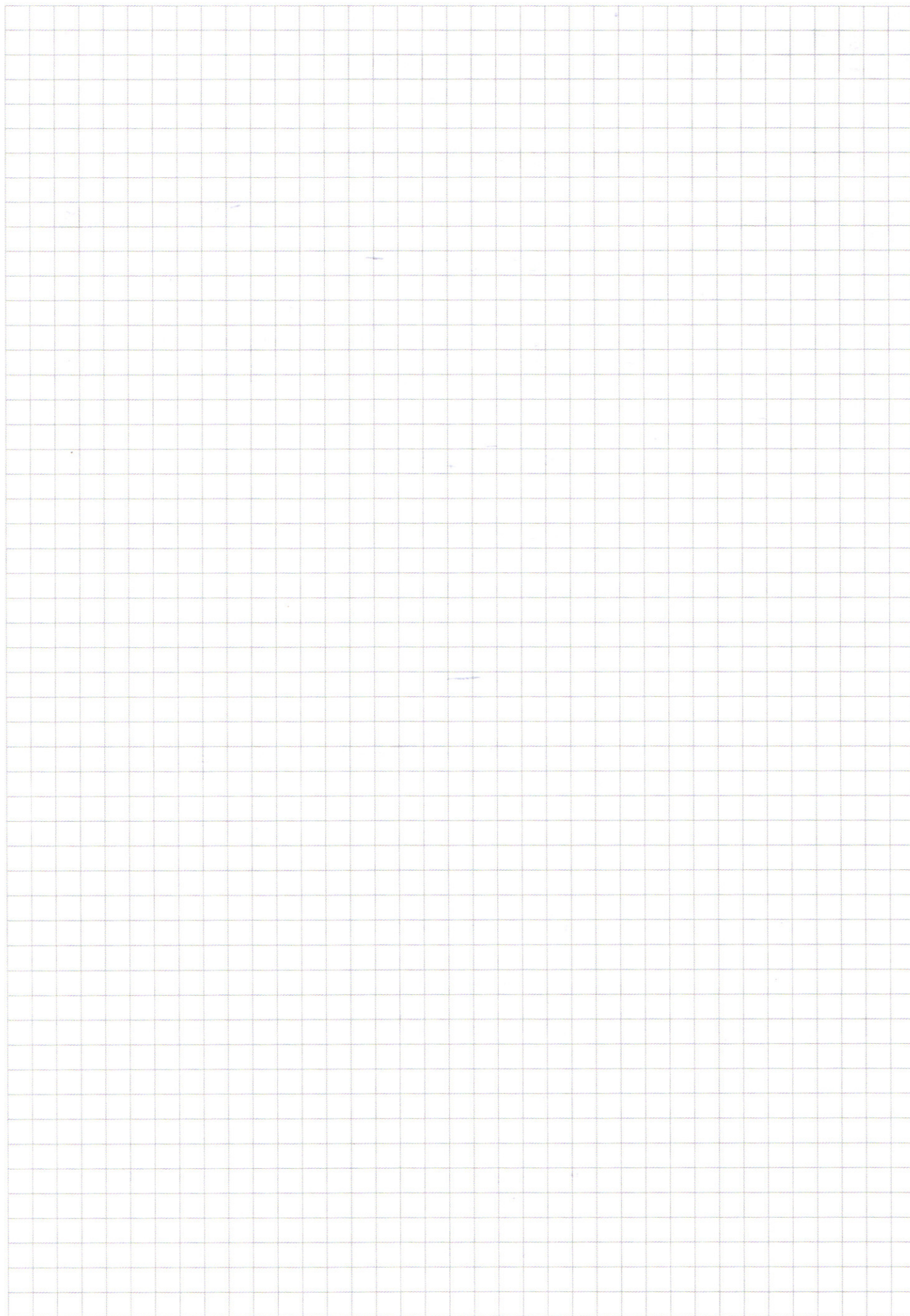
$$\dot{q} > 0 \quad \dot{q} = \dot{q}^* = +(\mathcal{E} - U_0 + U_1)\sqrt{\frac{C}{L}} \sin \omega t$$

$$\omega t < \pi \Rightarrow t < \frac{\pi}{\omega}$$

$$q\left(\frac{\pi}{\omega}\right) = (\mathcal{E} - U_0 + U_1 + \mathcal{E} - U_0)C = (2\mathcal{E} - 2U_0 + U_1)C$$

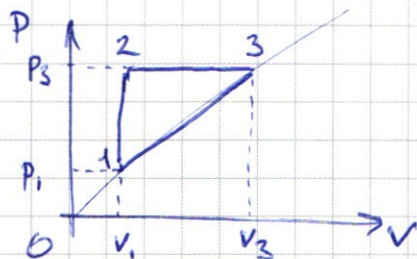
$$U_2 = q\left(\frac{\pi}{\omega}\right)/C = 2\mathcal{E} - 2U_0 + U_1$$

$$I_{\max} = I(\sin \omega t = 1) = (\mathcal{E} - U_0 + U_1)\sqrt{\frac{C}{L}}$$



ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№ 2



$$\eta = \frac{A}{Q_H}$$

$$A = \frac{1}{2} (P_3 - P_1) (V_3 - V_1)$$

$$Q_H = Q_{12} + Q_{23} = Q_{123} = A + \Delta U = \frac{1}{2} (P_3 - P_1) (V_3 - V_1) +$$

$$Q_{12} = A_{12} + \Delta U_{12} = \frac{1}{2} (P_3 V_3 - P_1 V_1)$$

$$P_3 = \alpha P_1$$

$$V_3 = \alpha V_1$$

$$A = \frac{1}{2} (\alpha - 1)^2 P_1 V_1$$

$$Q_H = \frac{1}{2} (\alpha - 1)^2 P_1 V_1 + \frac{i}{2} (\alpha^2 - 1) P_1 V_1 =$$

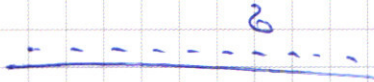
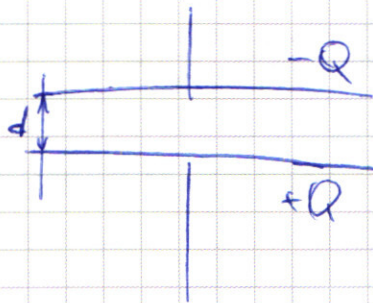
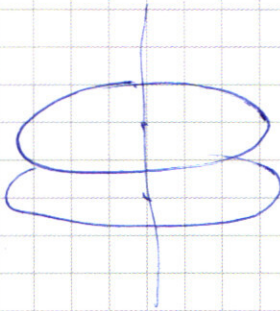
$$= \frac{1}{2} (\alpha - 1) P_1 V_1 (\alpha + i(\alpha + 1))$$

$$\eta = \frac{A}{Q_H} = \frac{\alpha - 1}{\alpha + i(\alpha + 1)} = \frac{\alpha - 1}{\alpha + 3\alpha + 3} = \frac{\alpha - 1}{4\alpha + 3}$$

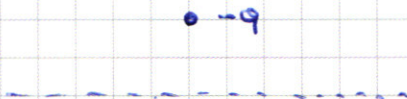
$$= \frac{\alpha + 3/4 - 7/4}{4\alpha + 3} = \frac{1}{4} - \frac{7/4}{4\alpha + 3}$$

> XXX/

v3



$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$$



$$v=0$$

$$qE \cdot x = \frac{mv^2}{2}$$

$$\delta E x = \frac{v^2}{2}$$

$$v = \sqrt{2\delta E x}$$



$$v=v_1$$

$$v_1 = \sqrt{2\delta E q_1 d}$$

$$Q = \sigma \cdot \pi R^2$$

$$E = \frac{v_1^2}{2\delta \cdot 0.7d}$$

$$a = \frac{qE}{m} = \delta E = \frac{v_1^2}{2 \cdot 0.7d}$$

$$\frac{aT^2}{2} = 0.2d$$

$$T = \sqrt{\frac{2 \cdot 0.2d}{a}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 0.2d \cdot 2 \cdot 0.7d}{v_1^2}} = \sqrt{0.56} \frac{d}{v_1}$$