

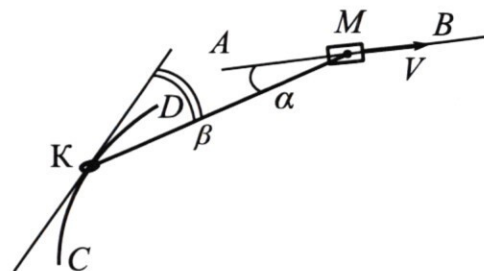
Олимпиада «Физтех» по физике, 11 класс

Вариант 11-04

Класс 11

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

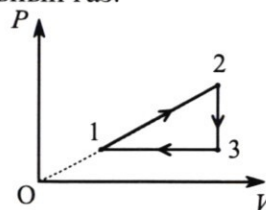
1. Муфту M двигают со скоростью $V = 2$ м/с по горизонтальной направляющей AB (см. рис.). Кольцо K массой $m = 0,4$ кг может двигаться без трения по проволоке CD в виде дуги окружности радиусом $R = 1,9$ м. Кольцо и муфта связаны легким тросом длиной $l = 17R/15$. Система находится в одной горизонтальной плоскости. В некоторый момент трос составляет угол α ($\cos \alpha = 4/5$) 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 изменения внутренней энергии газа 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. Напряжение на конденсаторе U . Отрицательно заряженная частица движется на большом расстоянии к конденсатору по оси симметрии, перпендикулярно обкладкам, влетает в него со скоростью V_1 и останавливается на расстоянии $0,2d$ от отрицательно заряженной обкладки.

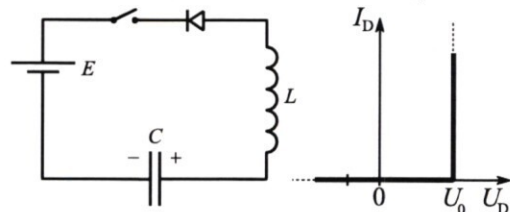
- 1) Найдите удельный заряд частицы $\gamma = \frac{|q|}{m}$.
- 2) Через какое время T после влета в конденсатор частица вылетит из него?
- 3) Найдите скорость V_0 частицы на бесконечно большом расстоянии от конденсатора.

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 $E = 6$ В, конденсатор емкостью $C = 10$ мкФ заряжен до напряжения $U_1 = 9$ В, индуктивность идеальной катушки $L = 0,4$ 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.

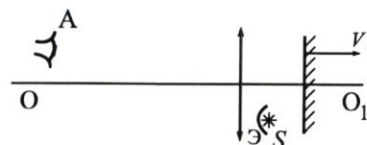


5. Оптическая система состоит из тонкой линзы с фокусным расстоянием F , плоского зеркала и небольшого экрана Э, расположенного так, что свет от источника S может попасть на линзу только после отражения от зеркала (см. рис.). Зеркало расположено перпендикулярно главной оптической оси OO_1 линзы. Источник S находится на расстоянии $8F/15$ от оси OO_1 и на расстоянии $3F/5$ от плоскости линзы. Линза и источник неподвижны, а зеркало движется со скоростью V вдоль оси OO_1 . В некоторый момент зеркало оказалось на расстоянии $6F/5$ от линзы.

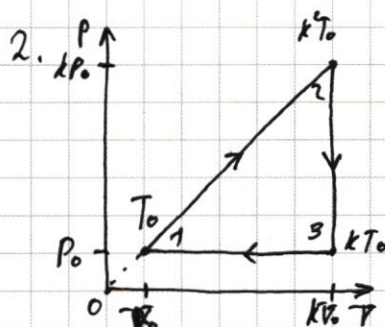
1) На каком расстоянии от плоскости линзы наблюдатель А сможет увидеть в этот момент изображение источника в системе?

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) Т.к. в процессе 1-2 $P \sim V$, то, если $P_2 = kP_0$, то $V_2 = kV_0$

2) $\frac{VP}{T} = \text{const} \Rightarrow T_2 = k^2T_0; T_3 = kT_0$

3) Температура повышается в процессах 2-3 и 3-1.

$$4) |Q_{23}| = |\Delta U_{23} + A_{23}| = \frac{3}{2} \nu R (k^2T_0 - kT_0) + 0 = \frac{3}{2} \nu R T_0 k(k-1)$$

$$|\Delta T_{23}| = k^2T_0 - kT_0 = T_0 k(k-1)$$

$$C_{23} = \frac{1}{\nu} \frac{|Q_{23}|}{|\Delta T_{23}|} = \frac{\frac{3}{2} \nu R T_0 k(k-1)}{\nu T_0 k(k-1)} = \frac{3}{2} R$$

$$5) |Q_{31}| = |\Delta U_{31} + A_{31}| = \frac{3}{2} \nu R (kT_0 - T_0) + P_0 (kV_0 - V_0) = \frac{3}{2} \nu R T_0 (k-1) + \nu R T_0 (k-1) = \frac{5}{2} \nu R T_0 (k-1)$$

$$|\Delta T_{31}| = (kT_0 - T_0) = T_0 (k-1)$$

$$C_{31} = \frac{|Q_{31}|}{\nu |\Delta T_{31}|} = \frac{\frac{5}{2} \nu R T_0 (k-1)}{\nu T_0 (k-1)} = \frac{5}{2} R$$

$$6) \frac{C_{23}}{C_{31}} = \frac{\frac{3}{2}}{\frac{5}{2}} = \boxed{0,6}$$

$$7) \Delta U_{12} = \frac{3}{2} \nu R (T_0 k^2 - T_0) = \frac{3}{2} \nu R T_0 (k^2 - 1)$$

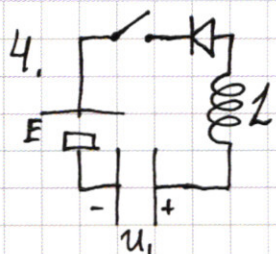
$$A_{12} = \frac{1}{2} (P_0 + kP_0) (kV_0 - V_0) = \frac{1}{2} P_0 V_0 (k+1)(k-1) = \frac{1}{2} \nu R T_0 (k^2 - 1)$$

$$\frac{\Delta U_{12}}{A_{12}} = \frac{\frac{3}{2} \nu R T_0 (k^2 - 1)}{\frac{1}{2} \nu R T_0 (k^2 - 1)} = \boxed{3}$$

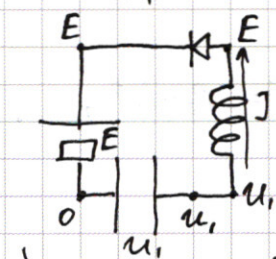
8) К газу подводим тепло только в процессе 1-2
Газ совершает работу только в процессе 1-2 $\Rightarrow$

$$\Rightarrow \eta = \frac{A_{12}}{Q_{12}} = \frac{\frac{1}{2} \nu R T_0 (k^2 - 1)}{\frac{4}{2} \nu R T_0 (k^2 - 1)} = \frac{1}{4} = 25\%$$

$$\text{Ответ: } \frac{C_{23}}{C_{31}} = 0,6; \frac{\Delta U_{12}}{A_{12}} = 3; \eta = 25\%$$



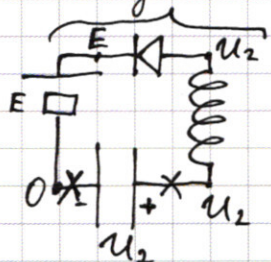
1) Рассмотрим момент времени сразу после замыкания ключа: Т.к ток пойдет через диод от катода к аноду, то можно считать соединительным проводником; напряжение на конденсаторе не изменяется.



2) ~~Т.к ток~~ ЭДС катушки равно напряжению на ней

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_i &= U_1 - E \\ \mathcal{E}_i &= I' L \end{aligned} \quad \text{Кривые } \mathcal{E}_i: \quad U_1 - E = I' L \Rightarrow \boxed{I' = \frac{U_1 - E}{L} = 7,5 \text{ A/c}}$$

метод узлов потенциалов



3) Рассмотрим установившуюся цепь: ток через конденсатор не идет, напряжение на катушке = 0

4) Напряжение на диоде уменьшилось, ток не сильно увеличивается:

$$U_0 = U_2 - E \Rightarrow \boxed{U_2 = E + U_0 = 7 \text{ В}}$$

5) Т.к. ток возрастает, то I_m максимального при минимальном I' , т.е. при $U_c = U_2$

6) Закон сохранения энергии

$$\Delta W = \Delta W_L + \Delta W_C; -E \Delta q = \frac{1}{2} I_m^2 + \frac{C U_2^2}{2} - \frac{C U_1^2}{2} \Rightarrow$$

$$I_m = \sqrt{\frac{C}{L} (U_1^2 - U_2^2 - 2E U_1 + 2E U_2)} = \sqrt{\frac{3 \cdot 10^{-4}}{2}} = \sqrt{\frac{3}{2}} \cdot 10^{-2} \text{ A} =$$

$$= \sqrt{150} \text{ mA} \approx \sqrt{15} \text{ mA}$$

Ответ: $I' = 7,5 \text{ A/c}$; $I_m = \sqrt{15} \text{ mA}$; $U_2 = 7 \text{ В}$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

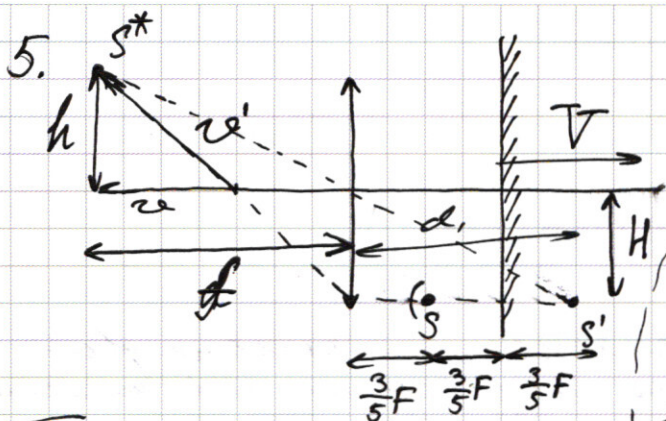
1. Т.к. длина троса не меняется, то можно рассмотреть его относительно муфта по окружности

1) $v \cos \beta = V \cos \alpha$
 $v = V \frac{\cos \alpha}{\cos \beta} = V \frac{\frac{4}{5}}{\frac{17}{17}} = \frac{2 \cdot 4 \cdot 17}{28 \cdot 5} = \frac{2 \cdot 17}{10} = 3,4 \text{ м/с}$

2) $v_{отн}^2 = V^2 + v^2 - 2Vv \cos(\alpha + \beta)$
 $v_{отн} = \sqrt{V^2 + \left(\frac{17}{10}\right)^2 V^2 + 2 \frac{17}{10} V \frac{17}{10}} =$
 $= V \sqrt{\left(\frac{17}{10}\right)^2 + \frac{17}{10} + 1} = V \sqrt{\frac{559}{100}} =$

$$\approx \frac{2}{10} \cdot 23 \approx \frac{46}{10} \approx 4,6 \text{ м/с}$$

Ответ: $v = 3,4 \text{ м/с}$; $v_{отн} = 4,6 \text{ м/с}$



1) Пусть S' — это минимальное расстояние центра, являющегося отражением S , тогда $d_1 = \frac{2}{3}F$

$$\Gamma = \frac{F}{d-F} = \frac{F}{\frac{2}{3}F-F} = \frac{F}{\frac{1}{3}F} = 3$$

$$h = H\Gamma = \frac{8}{15}F \cdot 3 = \frac{8}{5}F$$

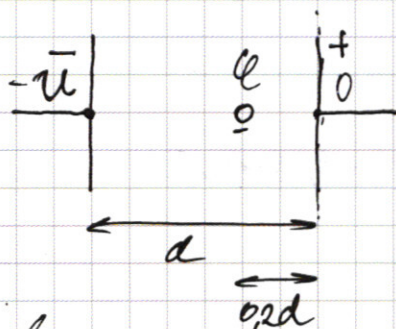
$$f = \frac{d_1 F}{d_1 - F} = \frac{\frac{2}{3}F^2}{\frac{2}{3}F - F} = \frac{\frac{2}{3}F^2}{-\frac{1}{3}F} = -\frac{2}{1}F = -2F$$

$$2) \tan \alpha = \frac{h}{f-F} = \frac{\frac{8}{5}F}{-\frac{2}{1}F - F} = \frac{\frac{8}{5}F}{-\frac{7}{1}F} = -\frac{8}{7}$$

$$3) v = \frac{v}{\cos \alpha} = \frac{V\Gamma}{\cos \alpha} = \frac{V \cdot \frac{25}{16}}{\frac{15}{17}} = \frac{25 \cdot 17}{16 \cdot 15} V = \frac{15}{16} V = 5,3125V$$

Ответ: $f = -2F$; $\tan \alpha = -\frac{8}{7}$; $v = 5,3125V$

3.



$$1) 0 - \varphi = \frac{A}{0,2d} = \frac{m v_1^2}{0,4d} = \varphi = \frac{E_{qs}}{0,2d} \Rightarrow$$

$$\frac{d\varphi}{dt} = \frac{v_1^2}{0,4d} \cdot \frac{1}{0,2d} = \frac{v_1^2}{0,08d^2} = 12,5 \frac{v_1^2}{d^2}$$

2) вычитая гасущая с такой же скоростью что и летит, но по другому поведению

$$t_{0,4} = \frac{v_1}{a} = \frac{v_1}{\frac{F}{m}} = \frac{v_1 \cdot m}{F} = \frac{v_1 \cdot 0,08d^2}{v_1^2} = \frac{0,08d^2}{v_1}$$

$$t = 2 t_{0,4} = \frac{0,16d^2}{v_1} = \frac{(0,4d)^2}{v_1}$$

3) Закон сохранения энергии:

$$\frac{m v_0^2}{2} = 0,8d^2 \Rightarrow v_0^2 = \frac{1,6d^2}{m}$$

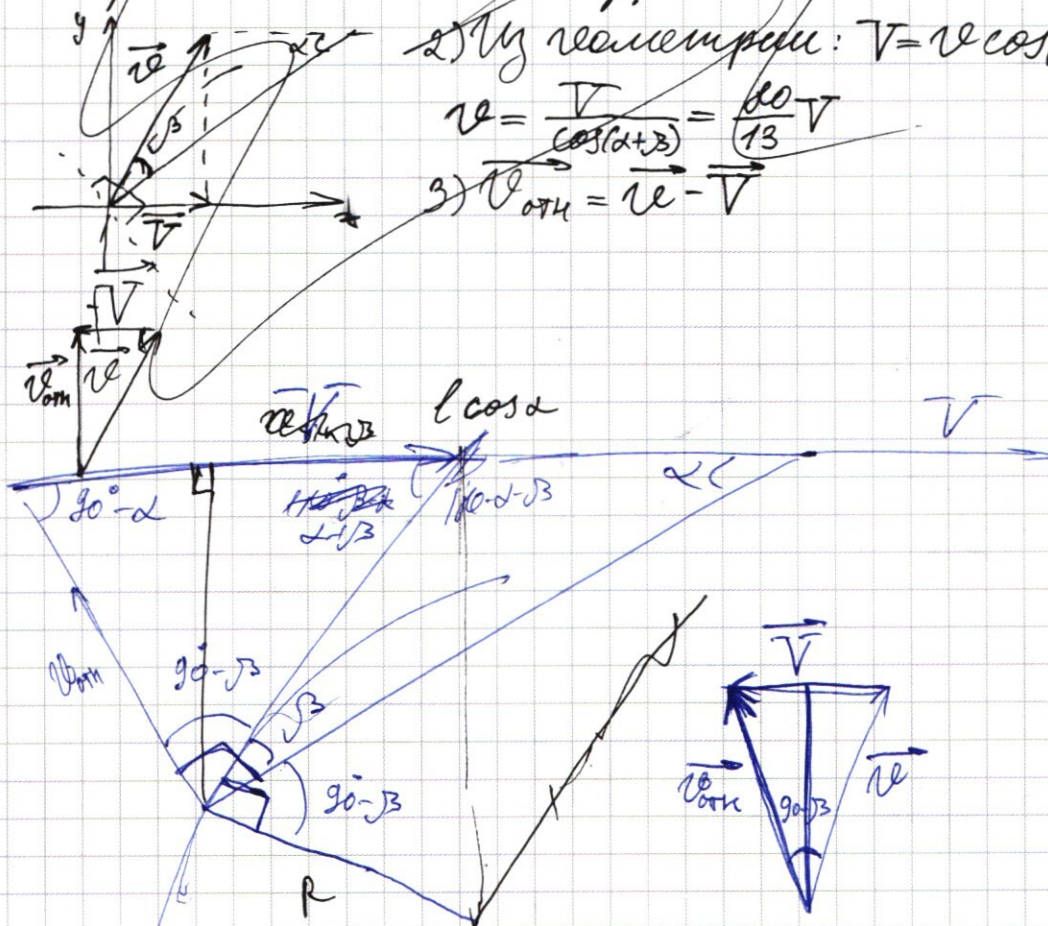
$$\frac{m v_0^2}{2} = k \frac{q}{0,8d} \Rightarrow v_0^2 = \frac{k}{d \cdot 0,4} \frac{q}{m} = \frac{k}{d \cdot 0,4} \frac{v_1^2}{0,4d} = \frac{k v_1^2}{(0,4d)^2} = \frac{v_1^2}{4 \pi \epsilon_0 (0,4d)^2}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

1. 1) Т.к. длина пружины не меняется, но ~~касательная~~ по горизонтальной касательной движется с постоянной скоростью, что и нужно.

2) Из геометрии: $V = v \cos(\alpha + \beta) \Rightarrow$
 $v = \frac{V}{\cos(\alpha + \beta)} = \frac{10}{13} V$

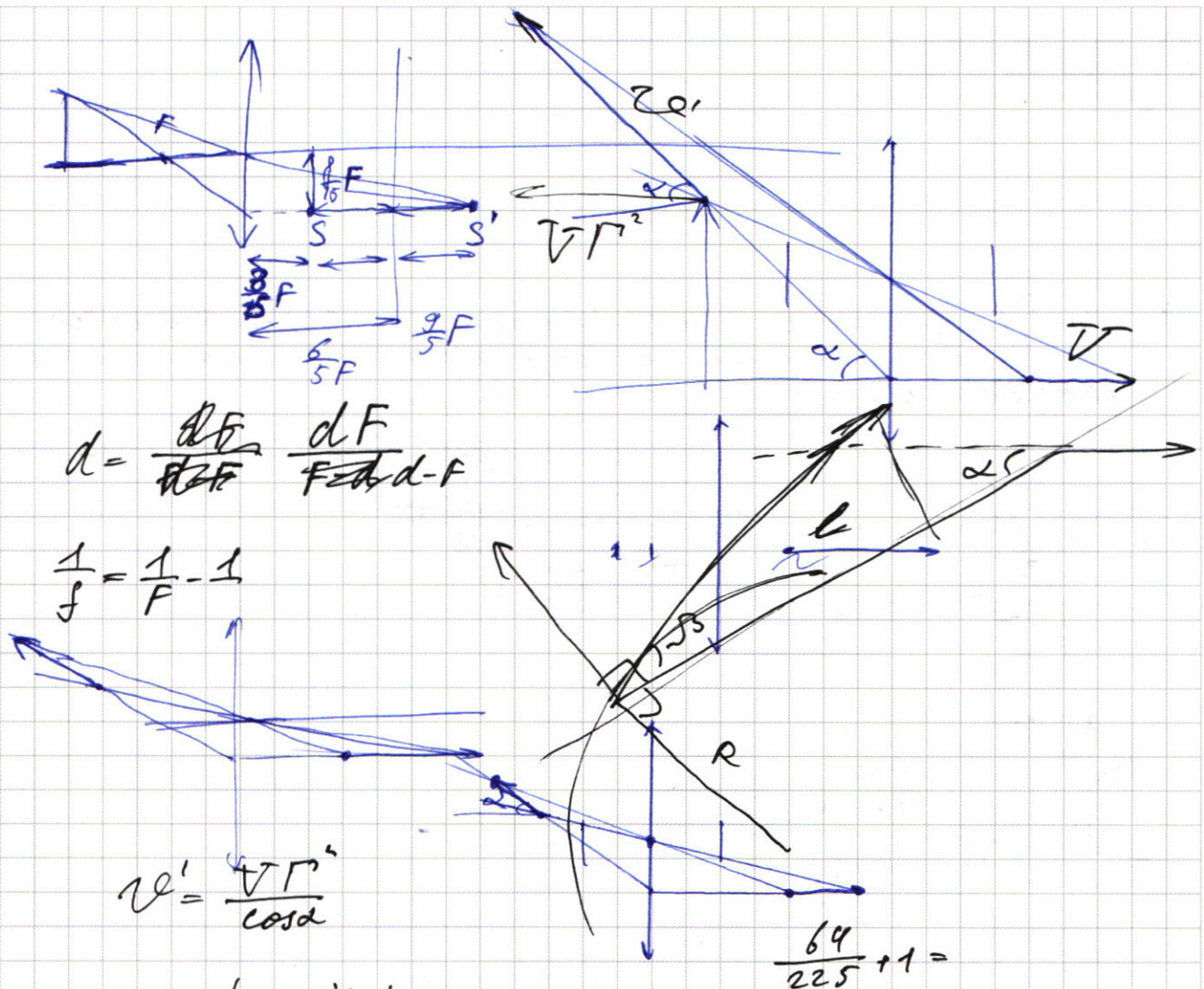
3) $\vec{v}_{отн} = \vec{v} - \vec{V}$



$$V^2 = 2v^2 - 2v^2 \cos(90 - \beta)$$

$$V^2 = 2v^2 - \frac{2 \cdot 15}{17} v^2 = \frac{2(17-15)}{17} v^2 = \frac{4}{17} v^2$$

$$v^2 = \frac{17}{4} V^2 = 17$$



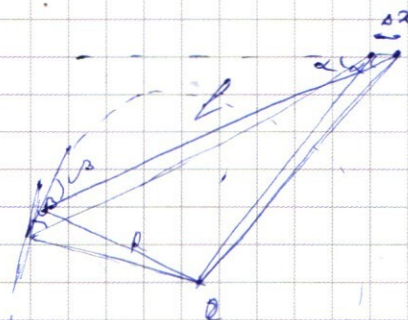
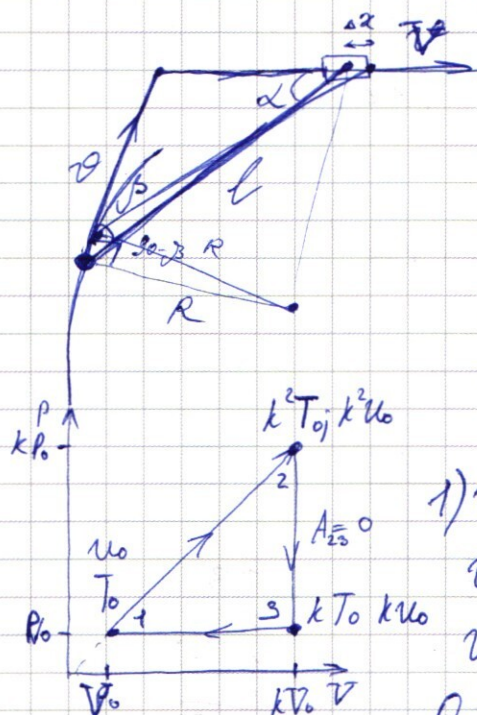
$$\cos^2 \alpha = \frac{1}{\tan^2 \alpha + 1} = \frac{1}{225}$$

$$\frac{525 \cdot 17}{16 \cdot 15} = \frac{85}{16}$$

$$= \frac{85}{16} = 5,3125$$

$$\frac{17}{15} = 1,1333...$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$$k^2 u_0 - k u_0 = k u_0 (k-1)$$

$$k^2 T_0 - k T_0 = k T_0 (k-1)$$

$$C_M = \frac{\Delta Q}{\Delta T}$$

$$1) u_0 = \frac{3}{2} \nu R T_0 = \frac{3}{2} P_0 V_0$$

$$u_2 = \frac{3}{2} \nu R T_0 k^2 = \frac{3}{2} P_0 V_0 k^2$$

$$u_3 = \frac{3}{2} \nu R T_0 k = \frac{3}{2} P_0 V_0 k$$

$$Q_{23} = \Delta u_{23} = \frac{3}{2} \nu R T_0 k (k-1) = \frac{3}{2} \nu R T_0$$

$$Q_{31} = \Delta u_{31} + A_{31} = \frac{3}{2} \nu R T_0 (k-1) + P_0 V_0 (k-1) = \frac{5}{2} \nu R T_0 (k-1)$$

$$C_{23} = \frac{Q_{23}}{\Delta T_{23}} = \frac{\frac{3}{2} \nu R T_0 (k-1) k}{\sqrt{k T_0 (k-1)}} = \frac{3}{2} R$$

$$\frac{C_{23}}{C_{31}} = \frac{\frac{3}{2} R}{\frac{5}{2} R} = 0,6$$

$$C_{31} = \frac{Q_{31}}{\Delta T_{31}} = \frac{\frac{5}{2} \nu R T_0 (k-1)}{\sqrt{k T_0 (k-1)}} = \frac{5}{2} R$$

$$2) \Delta u_{12} = k^2 u_0 - u_0 = u_0 (k^2 - 1) = \frac{3}{2} P_0 V_0 (k^2 - 1)$$

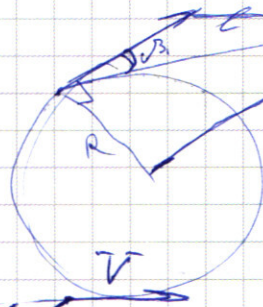
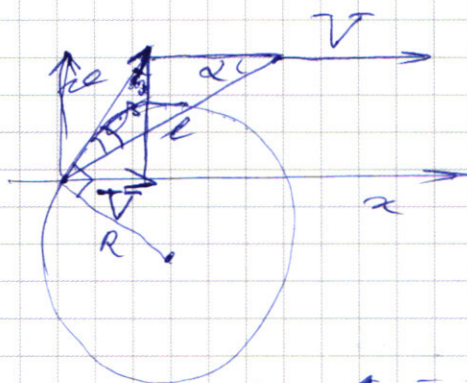
$$A_{12} = \frac{(P_0 + k^2 P_0)(k V_0 - V_0)}{2} = \frac{P_0 V_0 (k+1)(k-1)}{2} = \frac{P_0 V_0 (k^2 - 1)}{2}$$

$$\frac{\Delta u_{12}}{A_{12}} = \frac{\frac{3}{2} P_0 V_0 (k^2 - 1)}{\frac{1}{2} P_0 V_0 (k^2 - 1)} = 3$$

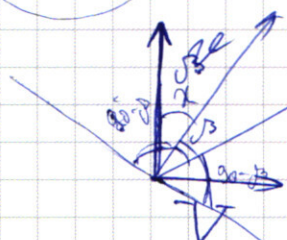
$$3) A_{12} = \frac{(k P_0 - P_0)(k V_0 - V_0)}{2} = P_0 V_0 (k-1)^2 \frac{1}{2}$$

$$Q_{12} = A_{12} + \Delta u_{12} = \frac{1}{2} P_0 V_0 (k^2 - 1) + \frac{3}{2} P_0 V_0 (k^2 - 1)$$

$$Q_{23} = \Delta u_{23} = \frac{3}{2} P_0 V_0 k (k-1) \quad Q_{31} = \Delta u_{31} + A_{31} = \frac{3}{2} \nu R T_0 (k-1) + P_0 V_0 (k-1) = \frac{5}{2} \nu R T_0 (k-1)$$



$$\frac{17 \times 17}{1000} + \frac{170}{1000} + \frac{100}{100} = \frac{559}{100}$$

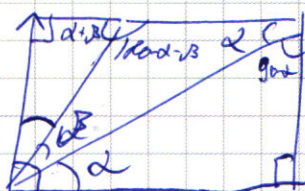


$$180^\circ - 90^\circ + \beta - 90^\circ + \beta - \beta - \alpha = 0$$

$$\beta = \alpha$$

$$R \cos \beta = V \quad R = \frac{V}{\cos \beta}$$

$$\begin{array}{r} \times 17 \\ 17 \\ \hline 289 \\ 64 \\ \hline 225 = 15^2 \end{array}$$



$$\begin{array}{r} \times 15 \\ 15 \\ \hline 225 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} \times 23 \\ 23 \\ \hline 529 \end{array}$$

$$\sin \beta = \frac{15}{17}$$

$$\begin{array}{r} \times 27 \\ 27 \\ \hline 729 \end{array}$$

$$30 + 15 = 45$$

$$\cos(\alpha + \beta) = \cos \alpha \cos \beta - \sin \alpha \sin \beta = \frac{4}{5} \cdot \frac{8}{17} - \frac{15}{17} \cdot \frac{3}{5} = \frac{32 - 45}{85} = \frac{-13}{85}$$

$$\frac{32 - 45}{85} = \frac{-13}{85}$$

$$\sin \alpha \cos \beta + \cos \alpha \sin \beta = \frac{3}{5} \cdot \frac{8}{17} + \frac{4}{5} \cdot \frac{15}{17} = \frac{24 + 60}{85} = \frac{84}{85}$$

$$\begin{array}{r} \times 13 \\ 13 \\ \hline 169 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 3 \cdot 8 + 4 \cdot 15 = 24 + 60 = 84 \\ 80 \quad 80 \\ \hline 6231 \end{array}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$\eta = \frac{A_{12}}{Q_{12}} = \frac{P_0 V_0 (k-1)^2 \frac{1}{3}}{\frac{1}{2} P_0 V_0 (k^2-1)} = \frac{1}{3} \frac{(k-1)}{(k+1)}$$

$$\left(\frac{k-1}{k+1}\right)^2 = \frac{(k-1)(k+1) - (k-1)(k+1)}{(k+1)^2} = \frac{1(k+1) - k-1}{(k+1)^2} = \frac{k+1-k-1}{(k+1)^2} = \frac{0}{(k+1)^2} = 0$$

$$\frac{(k-1)(k+1)}{(k+1)^2} = \frac{-2}{(k+1)^2} = 0 \quad 2 = (k+1)^2 \quad (k+1)^2 = 2$$

$$k^2 + 2k - 1 = 0$$

$$D = 4 + 4 = 8$$

$$k = \frac{-2 \pm \sqrt{8}}{2} = -1 \pm \sqrt{2} = \sqrt{2} - 1$$

$$P_0(k+1)V_0(k-1)$$

$$\frac{\frac{1}{2} P_0 V_0 (k^2-1)}{\frac{1}{2} P_0 V_0 (k^2-1)} = \frac{1}{4} \quad ??$$

$$\times \frac{17}{17}$$

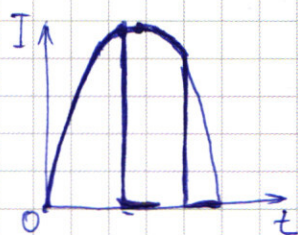
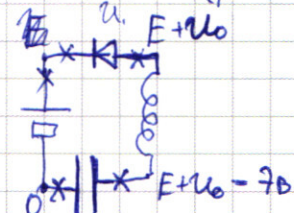
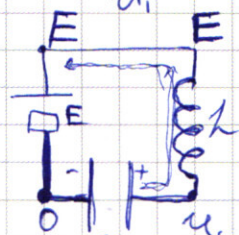
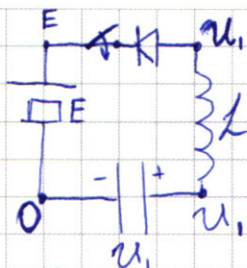
$$Q_{12} = \Delta U + A =$$

$$= 2 P_0 V_0 (k^2-1)$$

$$\frac{P_0 V_0 (k-1)^2}{P_0 V_0} = \frac{(k-1)^2}{(k+1)^2} = \frac{1}{3}$$

$$\left(\frac{k-1}{k+1}\right)^2 = \frac{(k-1)(k+1) - (k+1)(k-1)}{(k+1)^2} = \frac{k+1-k-1}{(k+1)^2} = \frac{0}{(k+1)^2} = 0$$

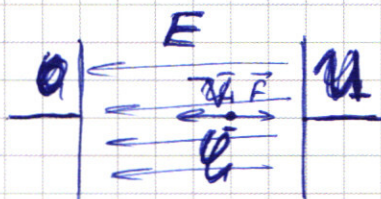
$$\sqrt{\left(\frac{17}{15}\right)^2 - 1} = \frac{289}{225} - 1 = -\frac{289}{64}$$



$$\frac{10 \cdot 10^{-6} \cdot 20}{4} = 5 \cdot 10^{-4}$$

$$\frac{10 \cdot 10^{-6} \cdot 20}{4} = 5 \cdot 10^{-4}$$

$$81 - 49 - 108 + 84 = 163 - 157 = 6$$



$$U - U_1 = 0.2dA$$

$$\frac{Ed}{d} = \frac{0.2d}{0.4d}$$

$$Eq = F$$

$$Eq = \frac{e}{s}$$

$$Fs = e$$

$$e = Eqs = \frac{u}{d} q_0 d^2$$

$$E_0 = \frac{\Delta I}{\Delta t} = F u, E = 3B$$

$$1) I' = \frac{u - E}{L} = \frac{3}{0.4} = \frac{3}{4} = \frac{30}{4} = 7.5 \frac{A}{C}$$

$$3) U_2 = E + U_0 = 7B$$

$$2) \text{ при } I_{\text{max}} I' = 0 \quad \frac{u - E}{L} \neq 0$$

$$I_{\text{max}} \text{ при } u - E \text{ min, т.е. при } u - E = 7B$$

$$\Delta S = \Delta W =$$

$$-E \Delta q = \frac{L I_{\text{max}}^2}{2} + \frac{C U_2^2}{2} - \frac{C U_1^2}{2}$$

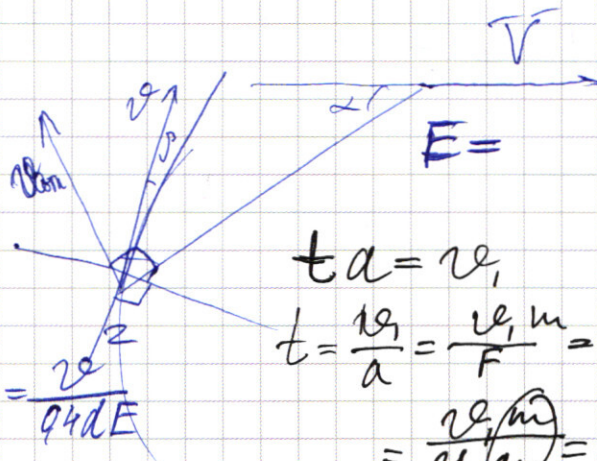
$$-E(C U_1 - C U_2) =$$

$$\Rightarrow I_m^2 = C(U_1^2 - U_2^2 + E U_1 + E U_2) -$$

$$= 10 \cdot 10^{-6} (81 - 49 - 54 + 42) = 123$$

$$= 10^{-7} (81 - 54 - 7) = 10^{-7} \cdot 20 = 2 \cdot 10^{-6} = 2 \text{ (нА)}$$

$$= \sqrt{\frac{20}{4} \cdot 10^{-6}} = \sqrt{5} \cdot 10^{-3} = 0.4$$



$$ta = v_1$$

$$t = \frac{v_1}{a} = \frac{v_1 m}{F} = \frac{v_1 m}{\frac{u}{d} E q}$$

$$= \frac{v_1 m}{\frac{u}{d} E q} = \frac{q_0 d^2 u v_1}{v_1^2 d}$$