

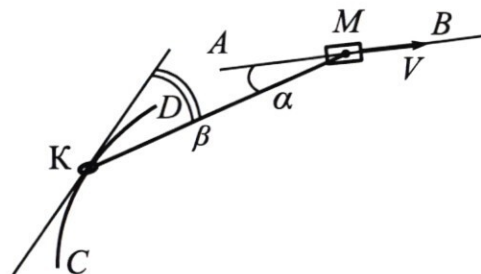
Олимпиада «Физтех» по физике, ф

Класс 11

Вариант 11-03

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

1. Муфту М двигают со скоростью $V = 34$ см/с по горизонтальной направляющей АВ (см. рис.). Кольцо К 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.



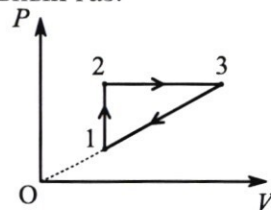
- 1) Найти скорость кольца в этот момент.
- 2) Найти скорость кольца относительно муфты в этот момент.
- 3) Найти силу натяжения нити в этот момент.

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.



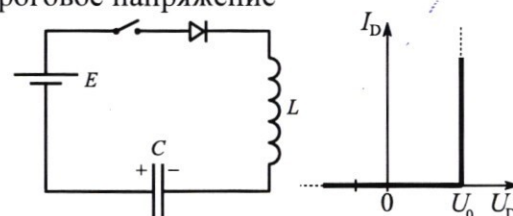
3. Обкладки конденсатора – круглые металлические сетки, радиус обкладок намного больше расстояния d между обкладками. Из точки, находящейся между обкладками на оси симметрии на расстоянии $0,3d$ от отрицательно заряженной обкладки стартует с нулевой начальной скоростью отрицательно заряженная частица 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.



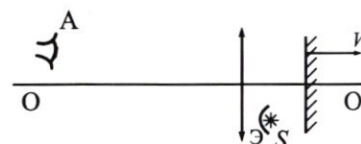
- 1) Найти скорость возрастания тока сразу после замыкания ключа.
- 2) Найти максимальный ток после замыкания ключа.
- 3) Найти установившееся напряжение U_2 на конденсаторе после замыкания ключа.

5. Оптическая система состоит из тонкой линзы с фокусным расстоянием F , плоского зеркала и небольшого экрана 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 $3F/4$ 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.

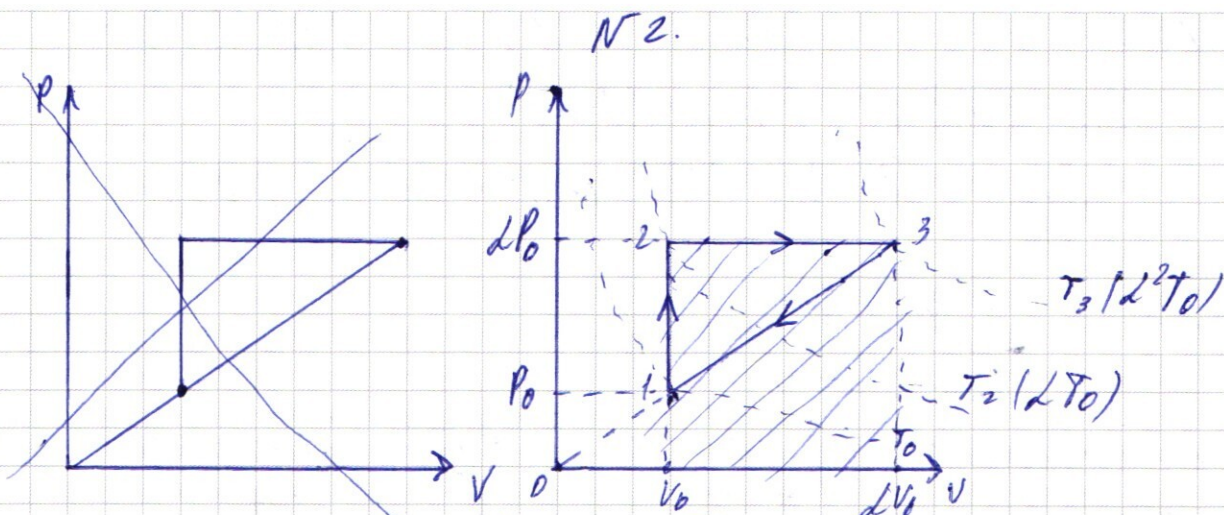
1) На каком расстоянии от плоскости линзы наблюдатель А сможет увидеть в этот момент изображение источника в системе?

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



Пусть в T_1 давление, объём, температура газа равны P_0, V_0, T_0 - соответственно.

Заметим, что изотерма, проходящая через T_3 лежит выше изотерм, проходящих через T_2 и T_1 , а изотерма, проходящая через T_1 лежит ниже всех. $\Rightarrow T_0 < T_2 < T_3$.

процесс 1-3 - процесс с прямой пропорциональностью $\Rightarrow P = L V$, где $L = \text{const}$, тогда давление и объём в T_3 в L раз больше давления и объёма в T_1 . Запишем уравнение Менделеева-Клапейрона для T_1 и T_2

$$P_0 V_0 = \nu R T_0 \Rightarrow L P_0 V_0 = \nu R T_2 \Rightarrow T_2 = L T_0;$$

$$\text{для } T_1 \text{ и } T_3 \quad L^2 P_0 V_0 = \nu R T_3 \Rightarrow T_3 = L^2 T_0.$$

т.к. $T_0 < T_2 < T_3 \Rightarrow$ процессы с повышением температуры - процессы 1-2 и 2-3.

т.к процесс 1-2 - изохора, тогда $C_{12} = C_V = \frac{5}{2}R = \frac{3}{2}R$.
 т.к процесс 2-3 - изобара, тогда $C_{23} = C_P = C_V + R = \frac{7}{2}R$.
 тогда. $\frac{C_{12}}{C_{23}} = \frac{3R \cdot 2}{2 \cdot 5R} = \frac{3}{5}$.

процесс 2-3 - изобара. $\Delta U_{2-3} = \frac{3}{2} \nu R (T_3 - T_2) =$
 $= \frac{3}{2} \nu P_0 V_0 - \frac{3}{2} \nu P_0 V_0 = \frac{3}{2} P_0 V_0 \nu (2 - 1)$.

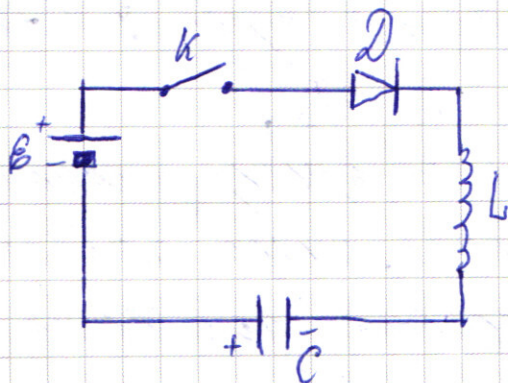
$A_{2-3} = S_{\text{гп}} = (2V_0 - V_0) \cdot 2P_0 = P_0 V_0 \cdot 2 \cdot (2 - 1)$, тогда.

$$\frac{\Delta U_{2-3}}{A_{2-3}} = \frac{\frac{3}{2} P_0 V_0 \nu (2 - 1)}{P_0 V_0 \cdot 2 \cdot (2 - 1)} = \frac{3}{2}.$$

Максимально возможный КПД вычисляется по формул. $\eta = \frac{T_H - T_X}{T_H}$, где $\frac{T_H}{T_X} = \frac{T_3}{T_0} = 2^2$

$$\eta = \frac{T_0(2^2 - 1)}{2^2 T_0} = 1 - \frac{1}{2^2}$$

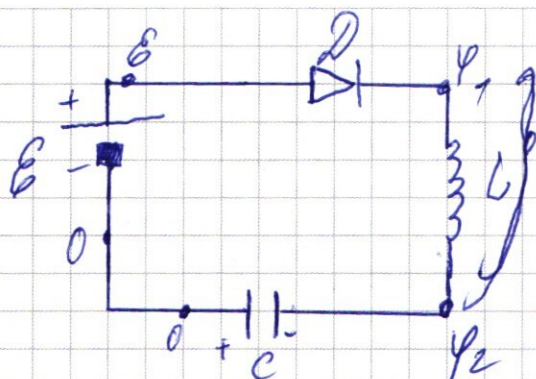
Ответ: 1) $\frac{3}{5}$; 2) $\frac{3}{2}$; 3)
 №4.



В начальном состоянии, при разомкнутом ключе, ток через катушку не т.к.

Рассмотрим цепь сразу после замыкания ключа К. Ток скачком через катушку не изменится $\Rightarrow I_L = I(0) = 0$ сила тока в катушке будет такой же как и до замыкания. Дiode будет в открытом состоянии $\Rightarrow$ напряжение на диоде $U_D = U_0$ из вольт-амперной характеристики диода.

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



используем
метод узловых
потенциалов.

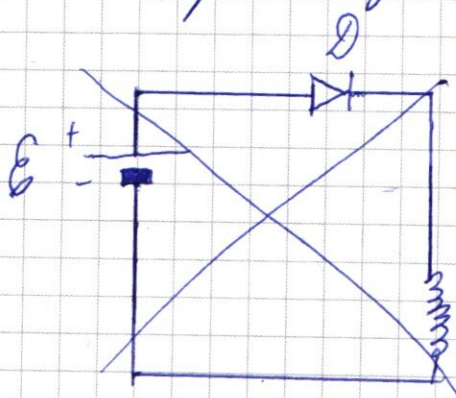
напряжения
на конденсаторе
сначала не изменим-
ся. $\Rightarrow U_C = U_C(0) = U_0$

$$U_D = E - \varphi_1 \Rightarrow \varphi_1 = E - U_D = E - U_0$$

$$U_C = 0 - \varphi_2 \Rightarrow \varphi_2 = -U_C = -U_0$$

$$U_L = L \cdot I'(t) \Rightarrow I'(t) = \frac{U_L}{L} = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{L} = \frac{E - U_0 + U_0}{L} = \frac{6 - 1 + 2}{0,1} = 40 \text{ А}$$

Из цепи видно (полярность конденсатора и источника), что конденсатор будет перезаряжаться в следствие чего поменяет свою полярность, тогда максимальный ток в цепи будет, когда заряд конденсатора будет равен нулю. рассмотрим цепь в этом состоянии.



используем метод
узловых потенциалов.

т.к. заряд
конденсатора
стал равен 0 $\Rightarrow U_C = 0$
 $U_L = E - U_0 - 0 =$
 $= E - U_0 = 5 \text{ В}$

$\vec{I}_C = C \frac{\Delta U}{\Delta t}$; ~~ЭДС~~ U_b на левой пластине конденсатора был заряд $q = CU_1$, а стал нулевой $\Rightarrow$ с левой пластины утёк заряд CU_1 , а на правую соответственно притёк заряд CU_1 .

ЗСЭ: $A_5 = \Delta W + Q$, $Q = 0$. т.к. в цепи нет резисторов.

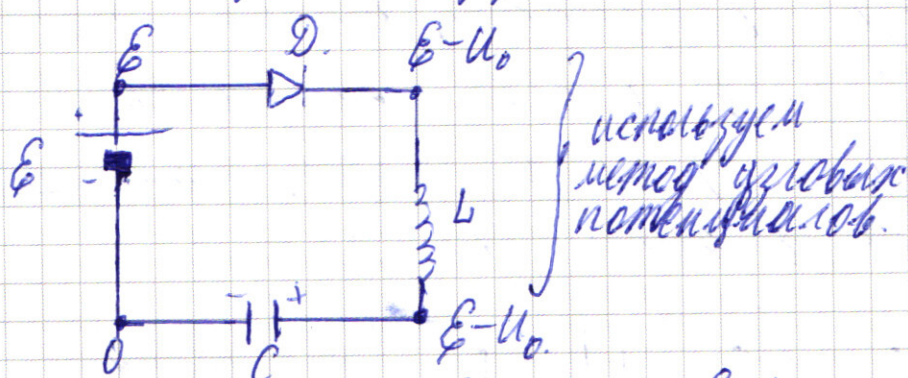
$$A_5 = \mathcal{E} \cdot q = \mathcal{E} C U_1, \quad \Delta W = \frac{L I_m^2}{2} - \frac{C U_1^2}{2}$$

$$\mathcal{E} C U_1 = \frac{L I_m^2}{2} - \frac{C U_1^2}{2} \Rightarrow I_m = \sqrt{\frac{2 \mathcal{E} C U_1 + C U_1^2}{L}} =$$

$$= \sqrt{\frac{2 \cdot 6 \cdot 40 \cdot 10^{-6} \cdot 2 + 40 \cdot 10^{-6} \cdot 4}{0,1}} = \sqrt{7 \cdot 10^{-4}} \approx 2,6 \cdot 4 \cdot 10^{-2} \approx$$

$$\approx 104 \mu A.$$

Рассмотрим цепь в установившемся состоянии, тогда через конденсатор ток не потечёт $\Rightarrow$ не потечёт во всей цепи, напряжение на катушке будет равняться нулю.

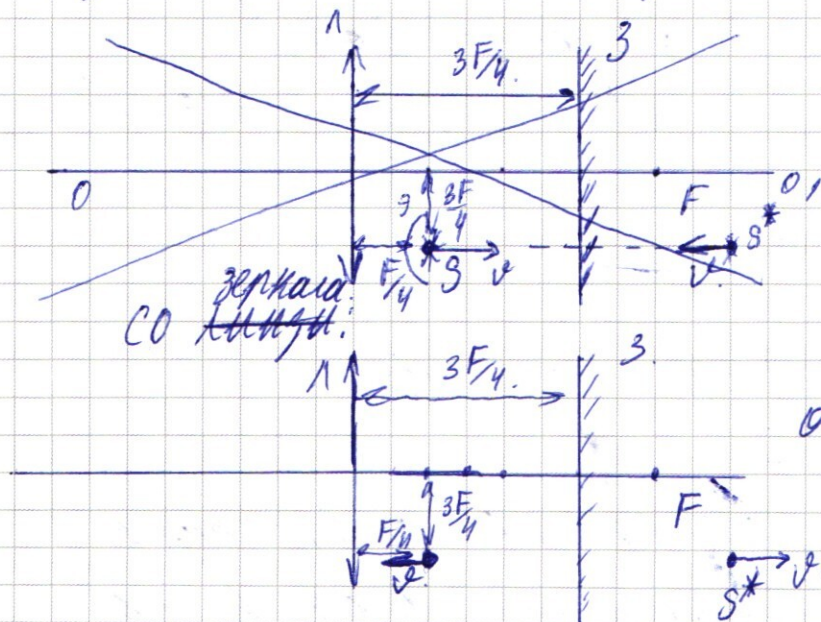


$$U_C(t_{уст}) = \mathcal{E} - U_0 - 0 = \mathcal{E} - U_0 = 5V.$$

Ответ: 1) $40 \frac{A}{C}$; 2) $I_m = \sqrt{\frac{2 \mathcal{E} C U_1 + C U_1^2}{L}} \approx 104 \mu A$. 3) $5V$.

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

N 5.
В системе отсчета (СО) зеркала изображ.
ние S^* источника S будет двигаться ^{от} в сторону
линзы с такой же скоростью т.к. $\Gamma_1 = 1$.

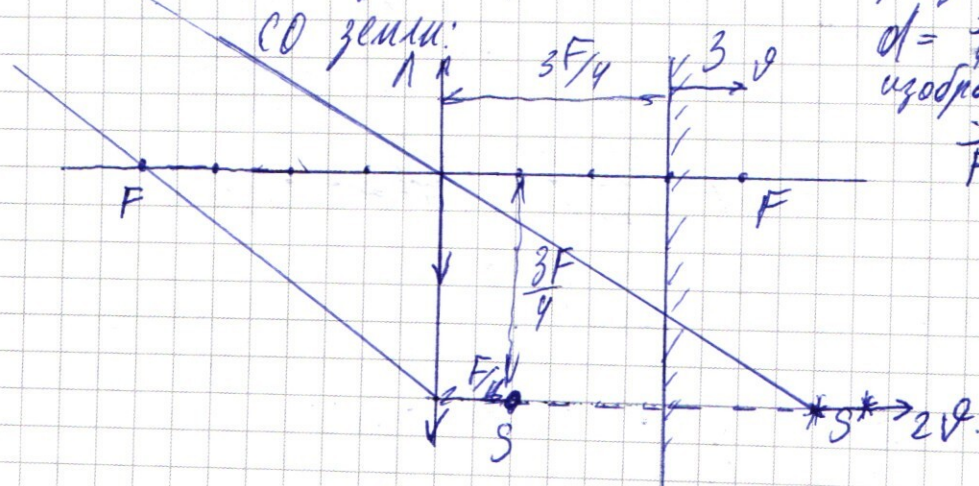


$$\vec{v}_{\text{отн}} = \vec{v}_{\text{отн}} + \vec{v}_{\text{пер.}}$$

$$v_{\text{отн}} = -v.$$

В СО земл.
изображение S^*
будет двигаться
со скоростью
 $2v$.

Для линзы L изображение S^* будет
являться действительным предметом.



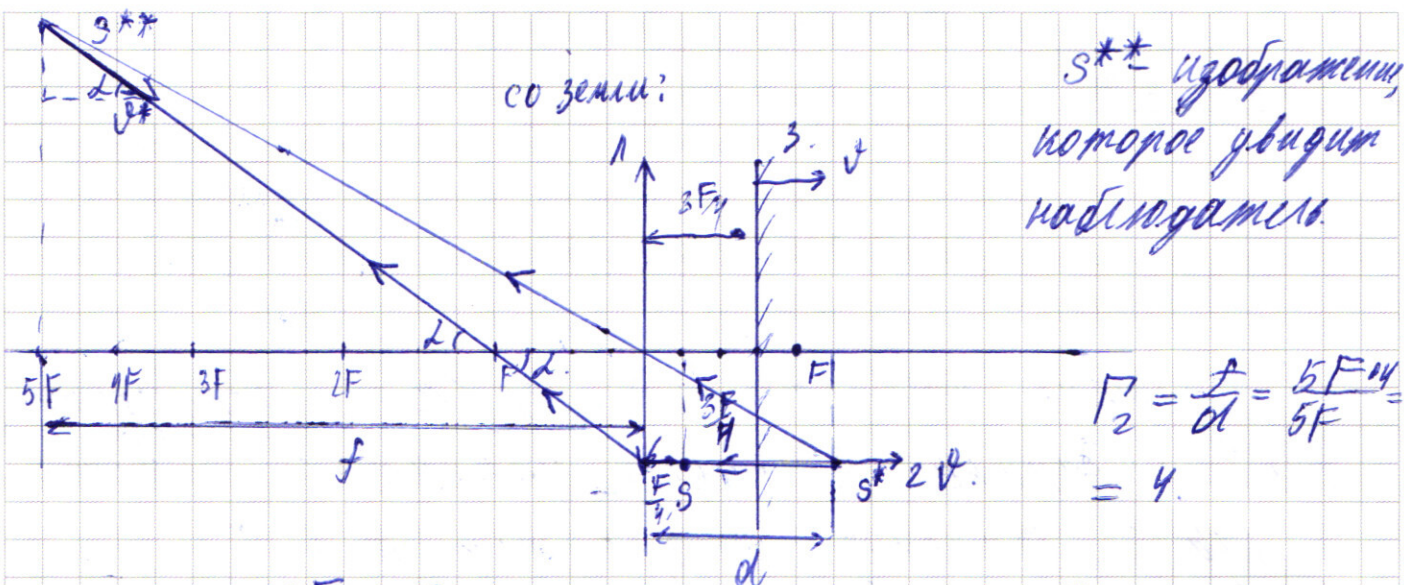
$$d = \frac{3F}{4} + \frac{F}{2} = \frac{5F}{4} > F \Rightarrow$$

изображение действительное.

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{F} - \frac{4}{5F} = \frac{1}{5F}$$

$$\Rightarrow f = 5F.$$



$$\tan \alpha = \frac{3F}{4F} = \frac{3}{4}$$

$$1 + \frac{9}{16} = \frac{1}{\cos^2 \alpha}$$

$$\cos \alpha = \sqrt{\frac{1}{\frac{25}{16}}} = \frac{4}{5}$$

$$v^* \cos \alpha = 2v \cdot \Gamma_2^2$$

$$v^* = \frac{2v \cdot 16}{\cos \alpha} = \frac{2 \cdot 16 \cdot v \cdot 5}{4} = 40v.$$

Ответ: 1) $5F$; 2) $\tan \alpha = \frac{3}{4}$; 3) $40v$.

N 1.

Л. и нить не растягивая $\Rightarrow$ проекции скоростей движущихся точек на нить должны быть равны.



$$v^* \cos \beta = v \cos \alpha$$

$$v^* = v \cdot \frac{\cos \alpha}{\cos \beta}$$

$$\Rightarrow v^* = 34 \cdot \frac{15 \cdot 5}{17 \cdot 8} = 50 \text{ см/с.}$$

ВСО удары:

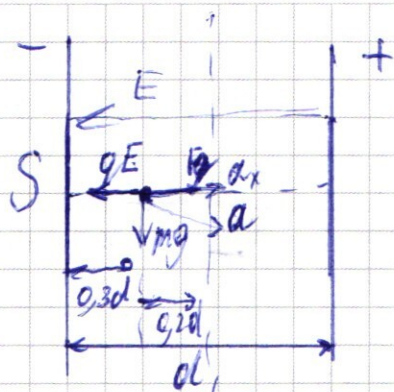
$$\vec{v}^* = \vec{v}_{отн} + \vec{v}$$

$$v_{отн} = \sqrt{v^{*2} + v^2 - 2v^*v \cdot \cos(180 - (\alpha + \beta))}$$

$$v_{отн} = \sqrt{v^{*2} + v^2 + 2v^*v \cdot \cos(\alpha + \beta)}$$

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

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$$C = \frac{q}{U} = \frac{q}{E \cdot d} = \frac{q}{\frac{q}{S} \cdot d} = \frac{S}{d}$$

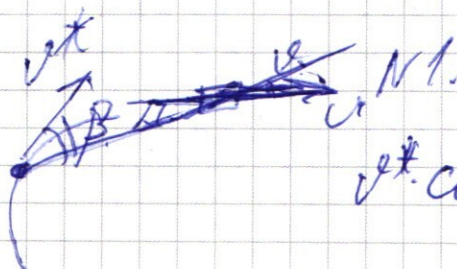
N 3.

$$C = \frac{\epsilon_0 S}{d}; C \cdot U = Q$$

$$E = \frac{U}{d}$$

$$X = \frac{F_q - q \cdot E = ma.}{}$$

$$\frac{kq \cdot \Delta q}{r^2}$$



$$v^* \cdot \cos \beta = v \cdot \cos \alpha.$$

$$\begin{array}{r} 34^{\circ} \\ - 34 \\ \hline 136 \\ 102 \\ \hline 1156 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 2500 \\ + 1156 \\ \hline 3656 \\ + 520 \\ \hline 4176 \end{array}$$

$$\sin \alpha = \sqrt{1 - \cos^2 \alpha} = \sqrt{1 - \frac{15^2}{14^2}} = \sqrt{\frac{(14-15)(14+15)}{14^2}} = \frac{8}{14}$$

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

$$\cos(\alpha + \beta) = \frac{3}{5} \cdot \frac{15}{14} - \frac{8}{14} \cdot \frac{4}{5} = \frac{45 - 32}{14 \cdot 5} = \frac{13}{14 \cdot 5}$$

$$V_{\text{отн}} = \sqrt{50^2 + 34^2 + 2 \cdot 50 \cdot 34 \cdot \frac{13}{14 \cdot 5}} = \sqrt{50^2 + 34^2 + 4 \cdot 10 \cdot 13} = \sqrt{4146}$$

Ответ: 1) $\frac{V \cos \alpha}{\cos \beta} = 50 \text{ см/с}$ 2) $\sqrt{V^2 \frac{\cos^2 \alpha}{\cos^2 \beta} + V^2 + 2V^2 \frac{\cos \alpha}{\cos \beta} \cdot \frac{\cos(180 - (\alpha + \beta))}{\cos \beta}}$
 $= \sqrt{4146}$

№2 (продолжения)

$$\eta = \frac{A_{\Sigma}}{Q_{\text{н}}}$$

$$A_{\Sigma} = S_{\text{цилиндр}} = \frac{1}{2} P_0 (\alpha - 1) \cdot V_0 (\alpha - 1) = \frac{1}{2} P_0 V_0 (\alpha - 1)^2$$

$$Q_{\text{н}} = Q_{12} + Q_{23} = C_{12} \cdot \dot{V} (T_2 - T_1) + C_{23} \cdot \dot{V} (T_3 - T_2) =$$

$$\frac{3}{2} R \dot{V} T_0 (\alpha - 1) + \frac{5}{2} R \dot{V} \alpha T_0 (\alpha - 1) = \frac{1}{2} \dot{V} R T_0 (\alpha - 1) (3 + 5\alpha)$$

$$\frac{(\alpha - 1)(\alpha + 1)}{2} = \frac{\alpha - 1}{(3 + 5\alpha)}$$

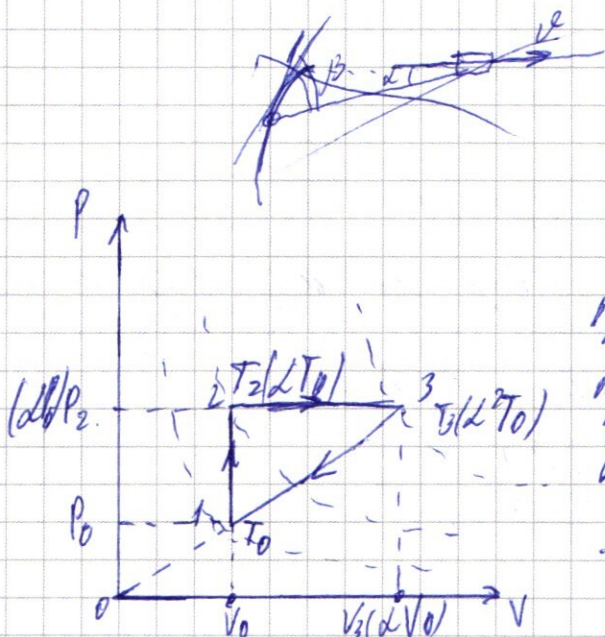
$$(3 + 5\alpha)(\alpha + 1) = \alpha^2$$

$$4\alpha^2 + 8\alpha + 3 = 0$$

$$D = 64 - 16 \cdot 3 = 64 - 48 = 16 \quad \sqrt{D} = 4 \quad \alpha_1 = \frac{-8 - 4}{8} = -\frac{12}{8}$$

$$\alpha_2 = \frac{-8 + 4}{8} = -\frac{4}{8} = -\frac{1}{2}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



N2.

$$i = 3$$

prozess 2: $V = \text{const} \Rightarrow$

процесс подчиняется закону
Шарля. $\Rightarrow \frac{p}{T} = \text{const.}$

Пусть в 7.1. давление, обьем,
температура газе соот.

график P_0, V_0, T_0 , тогда.

$$\frac{P_0}{T_0} = \frac{P_2}{T_2} \Rightarrow \frac{P_0}{T_0} = \frac{2P_0}{T_2} \Rightarrow T_2 = 2T_0$$

для процесса 2-3: $P = \text{const} \Rightarrow$ процесс подчиняется закону Гей-Люссака. $\Rightarrow \frac{V}{T} = \text{const.}$

1-3 процесс с прямой пропорциональностью.

$P = L V$, где $L = \text{const}$, тогда $P_3 = P_2 = L P_0$.

$$V_3 = \alpha V_0.$$

$$P_0 V_0 = \nu R T_0 \Rightarrow T_3 = \alpha^2 T_0$$

$$2P_0V_0 = \nu R T_3$$

Из рисунка видно, что $T_0 < T_2 < T_3 \Rightarrow T_{min} = T_0$

$$T_{\max} = T_3 = 27^\circ\text{C}$$

$\Rightarrow$ процесс с повышением температуры.

Эти процессы: 1-2 и 2-3, тогда $c_H = c_V = c_p + R =$

$$\# \quad C_{12} = C_V = \frac{1}{2} R = \frac{3}{2} R; \quad C_{23} = C_P = C_V + R = \frac{3}{2} R + R = \frac{5}{2} R;$$

$$\frac{C_{12}}{C_{23}} = \frac{\frac{3}{2} R}{\frac{5}{2} R} = \frac{3}{5}$$

$$2-3: A_{2-3} = S_{rp} = p_0(LV_0 - V_0) = p_0 V_0 (L-1)$$

$$\Delta U_{2-3} = \frac{3}{2} \nu R (T_3 - T_2) = \frac{3}{2} L^2 p_0 V_0 - \frac{3}{2} L p_0 V_0 = \frac{3}{2} p_0 V_0 L (L-1)$$

$$\frac{\Delta U_{2-3}}{A_{2-3}} = \frac{\frac{3}{2} p_0 V_0 L (L-1)}{L p_0 V_0 (L-1)} = \left(\frac{3}{2} \right)$$

$$\eta_{\max} = \frac{T_H - T_X}{T_H} = \frac{L^2 T_0 - T_0}{L^2 T_0} = \frac{L^2 - 1}{L^2}$$

$$T_X = T_{\min} = T_0$$

$$T_H = T_{\max} = L^2 T_0$$

$$Q_{2-3} = C_p = \frac{5}{2} R = \frac{Q_{2-3}}{\nu (T_3 - T_2)}$$

по первому началу термодинамики

$$Q_{12-3} = \Delta U_{2-3} + A_{23} = \frac{3}{2} A_{23} + A_{23} = \frac{5}{2} A_{23}$$

$$\frac{5}{2} R = \frac{5 L p_0 V_0 (L-1)}{2 \nu (T_3 - T_2)} = \frac{5 L \nu R T_0 (L-1)}{2 \nu T_0 (L^2 - L)}$$

$$\eta = \frac{Q_H - Q_X}{Q_H} = \frac{A_E}{Q_H} = \frac{L-1}{3+5L}$$

$$A_E = S_E = \frac{1}{2} (L p_0 - p_0) \cdot (L V_0 - V_0) = \frac{1}{2} p_0 V_0 (L-1)^2$$

$$Q_H = Q_{12} + Q_{2-3} = C_{12} \cdot \nu (T_2 - T_1) + C_{23} \cdot \nu (T_3 - T_2) =$$

$$= \frac{3}{2} R \nu T_0 (L-1) + \frac{5}{2} R \nu (L^2 T_0 - L T_0) = \frac{1}{2} \nu R T_0 (L-1) (3+5L)$$

$$\frac{(L-1)(L+1)}{L^2} = \frac{L-1}{3+5L}$$

$$(L+1)/(3+5L) = L^2$$

$$3L + 5L^2 + 3 + 5L - L^2 = 0$$

$$4L^2 + 8L + 3 = 0$$

$$D = 64 - 16 \cdot 3 = 64 - 48 = 16 \quad \sqrt{D} = 4 \quad L_1 = \frac{-8-4}{8} = -\frac{12}{8} < 0$$

$$L_2 = \frac{-8+4}{8} = -\frac{1}{2}$$

$$\frac{y-y_1}{y_2-y_1} = \frac{x-x_1}{x_2-x_1}$$

$$y = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} x + y_1 - \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} x_1$$

$$y - y_1 = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} (x - x_1)$$

$$y = kx + b$$

$$y_1 = kx_1 + b$$

$$y_2 = kx_2 + b$$

$$y_2 - y_1 = k(x_2 - x_1)$$

$$k = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

$$y_1 = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \cdot x_1 + b$$

не подх.

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$\frac{P - P_0}{\lambda P_0 - P_0} = \frac{V - V_0}{\lambda V_0 - V_0}$$

$$P = \frac{(\lambda P_0 - P_0)(V - V_0)}{\lambda V_0 - V_0} + P_0 = \frac{P_0(\lambda - 1)(V - V_0)}{V_0(\lambda - 1)} + P_0$$

$$P = \frac{P_0}{V_0} V - P_0 + P_0 = \frac{P_0}{V_0} V \Rightarrow \lambda = \frac{P_0}{V_0}$$

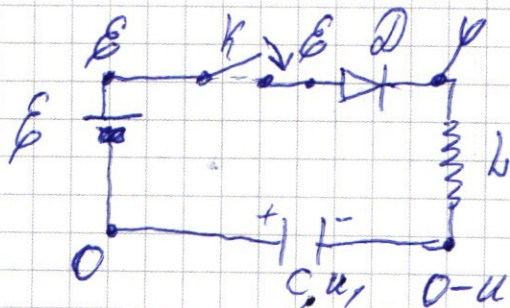
$$\eta = 1 - \frac{V_0^2}{P_0^2}$$

$$P_0 V_0 = \lambda R T_0$$

$$\frac{1}{2} P_0 V_0 (\lambda - 1)^2$$

$$\frac{\frac{3}{2} \lambda R T_0 (\lambda - 1) + \frac{5}{2} R T_0 (\lambda^2 - \lambda)}{\frac{3}{2} (\lambda - 1) + 5 \lambda (\lambda - 1)} = \frac{\lambda - 1}{3 + 5\lambda}$$

$$\frac{P_0 - V_0}{V_0 \cdot \frac{3V_0 + 5P_0}{V_0}} = \frac{P_0 - V_0}{3V_0 + 5P_0}$$



Сразу после λ

Диод открыт: $\Rightarrow I_D > 0$.

и исходя из ВАХ (вольт-амперной характеристики)

$$U_D = U_0$$

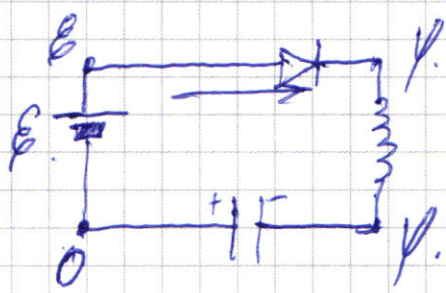
$$U_L = L I'(t)$$

$$I'(t) = \frac{U_L}{L} = \frac{4}{0,1} = 40$$

$$U_D = E - \varphi \Rightarrow \varphi = E - U_D$$

$$U_L = \varphi - (0 - U_1) = E - U_D + U_1 = 6 - 1 + 2 = 4 \text{ В}$$

Рассмотрим цепь в уст. состоянии, тогда $I_s = \tilde{I}(t_{уст})$, $u_L = 0$.



Э-р.

$$Eq = \left(\frac{L I_m^2}{2} + 0 \right) - \left(\frac{C U^2}{2} + 0 \right)$$

$$Eq + \frac{C U^2}{2} = \frac{L I_m^2}{2}$$

$$\sqrt{2Eq + C U^2} = I_m$$

$$\sqrt{\frac{2 \cdot 6 \cdot 40 \cdot 10^{-6} \cdot 2 + 40 \cdot 10^{-6} \cdot 4}{0,1}}$$

$$\sqrt{\frac{(6+1) \cdot 40 \cdot 10^{-6} \cdot 4}{1 \cdot 10^{-7}}}$$

$$\sqrt{4 \cdot 16 \cdot 10^{-4}} = 4 \sqrt{4} \cdot 10^{-2} \approx 4 \cdot 2,6 \cdot 10^{-2}$$

$$\begin{array}{r} 2,6 \\ 2,6 \\ \hline + 15,6 \\ \hline 5,2 \\ \hline 6,46 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} \sqrt{4} \\ 2 \sqrt{4} \\ \hline 2 \sqrt{4} \\ \hline 1 \sqrt{30} \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 2,6 \\ 2,6 \\ \hline + 15,6 \\ \hline 5,2 \\ \hline 6,46 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 2,6 \\ 2,6 \\ \hline + 15,6 \\ \hline 5,2 \\ \hline 6,46 \end{array}$$

