

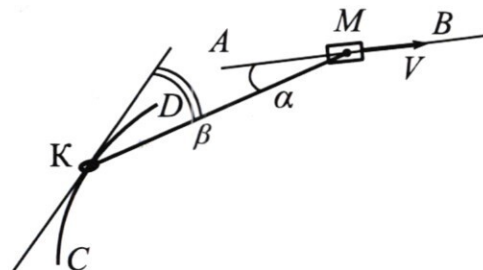
Олимпиада «Физтех» по физике, ф

Вариант 11-01

Класс 11

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

1. Муфту М двигают со скоростью $V = 68$ см/с по горизонтальной направляющей АВ (см. рис.). Кольцо К массой $m = 0,1$ кг может двигаться без трения по проволоке CD в виде дуги окружности радиусом $R = 1,9$ м. Кольцо и муфта связаны легкой нитью длиной $l = 5R/3$. Система находится в одной горизонтальной плоскости. В некоторый момент нить составляет угол α ($\cos \alpha = 15/17$) с направлением движения муфты и угол β ($\cos \beta = 4/5$) с направлением движения кольца.



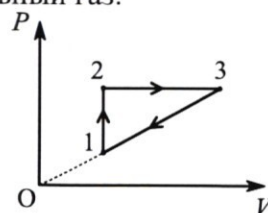
- 1) Найти скорость кольца в этот момент.
- 2) Найти скорость кольца относительно муфты в этот момент.
- 3) Найти силу натяжения нити в этот момент.

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 количества теплоты, полученной газом, к работе газа.

3) Найти предельно возможное максимальное значение КПД такого цикла.



3. Обкладки конденсатора – круглые металлические сетки площадью S , расстояние между обкладками d ($d \ll \sqrt{S}$). Из точки, находящейся между обкладками на оси симметрии на расстоянии $0,25d$ от положительно заряженной обкладки, стартует с нулевой начальной скоростью положительно заряженная частица и через время T вылетает из конденсатора перпендикулярно обкладкам. Удельный заряд частицы $\frac{q}{m} = \gamma$.

1) Найдите скорость V_1 частицы при вылете из конденсатора.

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.

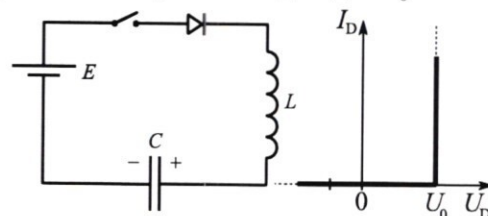
4. В цепи, схема которой показана на рисунке, ключ разомкнут, ЭДС идеального источника $E = 9$ В, конденсатор емкостью $C = 40$ мкФ заряжен до напряжения $U_1 = 5$ В, индуктивность идеальной катушки $L = 0,1$ Гн. Вольтамперная характеристика диода дана на рисунке, пороговое напряжение диода $U_0 = 1$ 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.

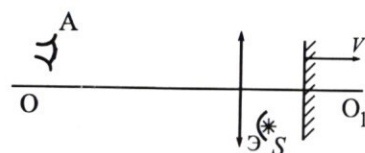


5. Оптическая система состоит из тонкой линзы с фокусным расстоянием F , плоского зеркала и небольшого экрана Э, расположенного так, что свет от источника S может попасть на линзу только после отражения от зеркала (см. рис.). Зеркало расположено перпендикулярно главной оптической оси OO_1 линзы. Источник S находится на расстоянии $3F/4$ от оси OO_1 и на расстоянии $F/2$ от плоскости 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

№ 5.

1)

S' - источник света для линзы
 S'' - изображение в системе линза-зеркало
 l_1 - расстояние от S до плоскости зеркала

l_2 - расстояние от S' до плоскости зеркала

$$l_1 = l_2 = F - \frac{F}{2} = \frac{F}{2}$$

H - расстояние от OO_1 до S''

h - расстояние от OO_1 до S'

$$h = \frac{3F}{4}$$

d - расстояние от плоскости линзы до S' ; $d = F + l_2$

f^* - расстояние от плоскости линзы до S''

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

$$f = \frac{dF}{d-F} = \frac{(F+l_2)F}{F+l_2-F}; \quad f = \frac{\frac{3}{2}F^2}{\frac{1}{2}F} = 3F; \quad d = 1,5F$$

$$\frac{H}{h} = \Gamma = \frac{f}{d} \Rightarrow H = \frac{f}{d} \cdot h; \quad H = \frac{3F}{1,5F} \cdot \frac{3F}{4} = 1,5F$$

Ответ: $1,5F$

2) Изображение будет двигаться ~~по~~ прямой ~~AB~~ BC
объект:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{h}{F}; \quad \alpha = \operatorname{arctg} \frac{\frac{3}{4}F}{F} = \operatorname{arctg} \frac{3}{4}$$

Ответ: $\operatorname{arctg} \frac{3}{4}$

3) V_1 - скорости S' ; V_0 - скорость S'' ; V_x - проекция V_0 на Ox
 $V_1 = 2V$ (т.к. S' - отражение S , а S - неподвижен)

$$\frac{V_x}{V_1} = \Gamma^2 ; \Gamma = 2 ; V_x = \Gamma^2 \cdot V_1$$

$$V_x = 2^2 \cdot 2V = 8V$$

$$V_0 = \frac{V_x}{\cos \alpha}$$

$$V_0 = \frac{8V \cdot 5}{4} = 10V$$

Ответ: 10 V

$$\cos \alpha = \sqrt{\frac{1}{1 + \Gamma^2}} ; \cos \alpha = \frac{4}{5}$$

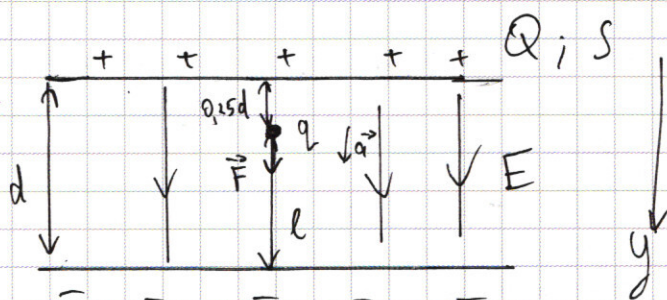
№ 3.

1)

E - напряженность поля
внутри конденсатора
 a - ускорение частицы

F - сила, действующая на частицу
со стороны поля

l - расстояние от отрицательно
заряженной обкладки до частицы



$$E = \frac{U}{d} \quad \left\{ \begin{array}{l} Q = CU \Rightarrow U = \frac{Q}{C} \\ C = \frac{\epsilon_0 S}{d} \end{array} \right. \Rightarrow U = \frac{Qd}{\epsilon_0 S}$$

$$E = \frac{Q}{\epsilon_0 S}$$

2 закон Ньютона:

$$\vec{F} = m\vec{a}$$

$$O_y: F = ma ; F = Eq$$

$$Eq = ma$$

$$a = \frac{Eq}{m} = \frac{Q}{\epsilon_0 S} \cdot \frac{q}{m} = \frac{Q\gamma}{\epsilon_0 S}$$

$$l = \frac{aT^2}{2}$$

$$0,75d \cdot 2 = aT^2$$

$$1,5d = \frac{Q}{\epsilon_0 S} \gamma \cdot T^2 \Rightarrow Q = \frac{1,5 \epsilon_0 S d}{\gamma T^2}$$

$$\text{Ответ: } \frac{1,5d}{T}$$

$$V_1 = aT ; V_1 = \frac{Q}{\epsilon_0 S} \cdot \gamma T$$

$$V_1 = \frac{1,5d}{T}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

(2) из пункта 1) $Q = \frac{1,5 \varepsilon_0 S d}{\gamma T^2}$

Ответ: $\frac{1,5 \varepsilon_0 S d}{\gamma T^2}$

~ Ч.

(1)

$\mathcal{E}_i$ - самоиндукция катушки

$\frac{\Delta I}{\Delta t}$ - скорость возрастания тока

$$\mathcal{E}_i = L \cdot \frac{\Delta I}{\Delta t} \Rightarrow \frac{\Delta I}{\Delta t} = \frac{\mathcal{E}_i}{L}$$

$$E = \mathcal{E}_i + U_i + U_0 \Rightarrow \mathcal{E}_i = E - U_i - U_0 ; \mathcal{E}_i = 9 - 5 - 1 = 3 \text{ (В)}$$

$$\frac{\Delta I}{\Delta t} = \frac{3}{0,1} = 30 \left(\frac{\text{А}}{\text{с}} \right)$$

Ответ: $30 \frac{\text{А}}{\text{с}}$

(2)

$$Eq = \Delta E_m + \Delta E_{\text{эл}}, \text{ где } \Delta E_m - \text{изменение энергии магнитного поля катушки}$$

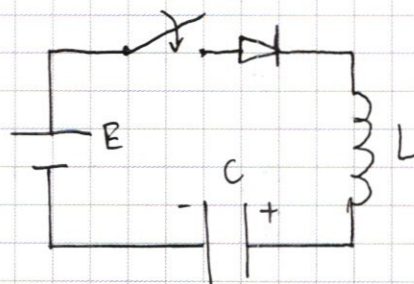
$$\Delta E_{\text{эл}} - \text{изменение энергии электрического поля конденсатора}$$

(3)

~~В~~ установившемся режиме колебаний нет, ток не течёт

$$U_2 = E ; U_2 = 9 \text{ В}$$

Ответ: 9 В

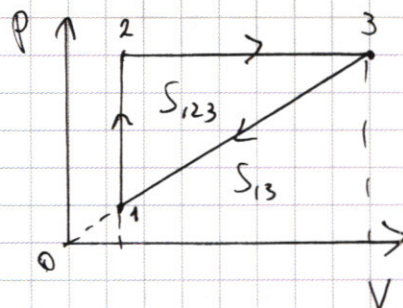


№ 2.

1)

газ
 Q - полученное кол-во теплоты
 ΔU - изменение внутр. энергии газа
 A - работа газа
 C - молярная теплоёмкость
 Индексы у $C, \Delta U, A$ и Q обозначают процесс

T - температура газа; индексы у P, V и T обозначают "момент" (моменты 1, 2 и 3)



Процессы:

1-2: изохора с ~~увеличением~~ увеличением давления

$$\frac{P}{T} = \text{const} \Rightarrow T \text{ увеличивается}$$

$$Q_{12} = \Delta U_{12} + A_{12} ; A_{12} = 0$$

$$Q_{12} = \Delta U_{12}$$

$$C_{12} \cdot \cancel{V} \cdot (T_2 - T_1) = \frac{3}{2} \cancel{V} R (T_2 - T_1)$$

$$C_{12} = 1,5 R$$

2-3: $Q_{23} = \Delta U_{23} + A_{23}$; изобара с увеличением V ; $\frac{V}{T} = \text{const} \Rightarrow T$ увеличивается

$$Q_{23} = \frac{3}{2} V R \Delta T_{23} + p_2 (V_3 - V_2)$$

$$Q_{23} = \frac{3}{2} V R \Delta T_{23} + p_3 V_3 - p_2 V_2 ; pV = \nu RT$$

$$Q_{23} = \frac{3}{2} V R \Delta T_{23} + V R (T_3 - T_2)$$

$$\cancel{V} C_{23} \cdot \cancel{V} \cdot \Delta T_{23} = 2,5 \cancel{V} R \Delta T_{23}$$

$$C_{23} = 2,5 R$$

3-1: $p \sim V$

$$\frac{p_3 V_3}{T_3} = \frac{p_1 V_1}{T_1} ; \left. \begin{array}{l} p_1 < p_3 \\ V_1 < V_3 \end{array} \right\} T_1 < T_3, \text{ т.е. } T \text{ уменьшается}$$

$$\frac{C_{23}}{C_{12}} = \frac{2,5 R}{1,5 R} = \frac{5}{3}$$

Ответ: $\frac{5}{3}$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

(2)

процесс 2-3: $Q_{23} = C_{23} \cdot \Delta T_{23} \cdot \nu = 2,5 \nu R \Delta T_{23}$ ($C_{23} = 2,5 R$ из пункта 1)

$$A_{23} = p_3 V_3 - p_2 V_2 = \nu R \Delta T_{23} \quad (\text{из пункта 1})$$

~~А~~

$$\frac{Q_{23}}{A_{23}} = \frac{2,5 \nu R \Delta T_{23}}{\nu R \Delta T_{23}} = 2,5$$

Ответ: 2,5

(3)

η — предельно возможное макс. знач. КПД

$$\eta = \frac{A_{\text{ц}}}{Q_{\text{н}}} = 1 - \frac{Q_{\text{х}}}{Q_{\text{н}}}, \quad \text{где } Q_{\text{н}} - \text{полученное газом } Q$$

$$Q_{\text{х}} - \text{отданное газом } Q$$

$$A_{\text{ц}} - \text{работа цикла}$$

процесс 3-1:

$$Q_{31} = \cancel{\Delta U_{31}} + A_{31}; \quad A_{31} = -S_{13} \quad (\text{площадь } \triangle 1-3)$$

$$Q_{31} = -\frac{3}{2} \nu R \Delta T_{13} + \frac{p_1 + p_3}{2} \cdot (V_3 - V_1) = -\frac{3}{2} \nu R \Delta T_{13} - 0,5 (p_3 V_3 - p_1 V_1 - p_3 V_1 + p_1 V_3)$$

$$p \sim V \Rightarrow \frac{p_3}{V_3} = \frac{p_1}{V_1} = p_3 V_1 = p_1 V_3; \quad pV = \nu RT$$

$$Q_{31} = -1,5 \nu R \Delta T_{13} - 0,5 (\nu R T_3 - \nu R T_1) = -2 \nu R \Delta T_{13}$$

S_{123} — площадь треугольника

$$Q_{\text{н}} = Q_{12} + Q_{23}$$

$$Q_{\text{х}} = -Q_{31}$$

$$A_{\text{ц}} = S_{123} = \frac{1}{2} (p_3 - p_1)(V_3 - V_1) = 0,5 \nu R \Delta T_{13}$$

$$\eta = 1 - \frac{2 \sqrt{R \Delta T_{13}}}{Q_H} \quad ; \quad \eta = \frac{0,5 \sqrt{R \Delta T_{13}}}{Q_H}$$

$$\eta = \frac{0,5 \sqrt{R \Delta T_{13}}}{Q_H}$$

$$1 - \frac{2 \sqrt{R \Delta T_{13}}}{Q_H} = \frac{0,5 \sqrt{R \Delta T_{13}}}{Q_H} \Rightarrow 1 = \frac{2,5 \sqrt{R \Delta T_{13}}}{Q_H}$$

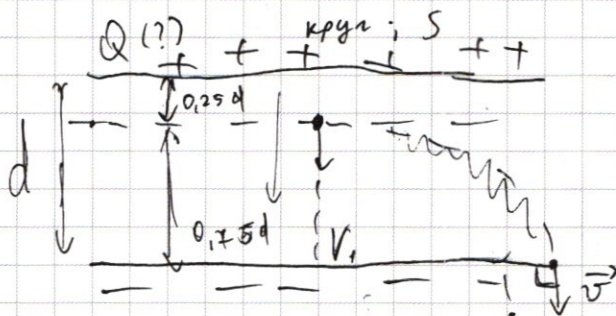
$$\eta = \frac{0,5 \sqrt{R \Delta T_{13}}}{Q_H} \Rightarrow \eta = \frac{1}{5} = 0,2$$

Ответ: 0,2

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

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

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



$$E = \frac{Qd}{\epsilon_0 \cdot S} = \frac{Q}{\epsilon_0 \cdot S}$$

$$\frac{2 \cdot (nk-1)}{2.5nk-1.5-n} = \frac{1}{nk}$$

$$S = \pi r^2$$

$$r = \sqrt{\frac{S}{\pi}}$$

$$2\sqrt{\frac{S}{\pi}}$$

$$F = Eq \Rightarrow a = \frac{Eq}{m} = \frac{Q}{\epsilon_0 \cdot S} \cdot \gamma$$

$$0.75d = 0 + \frac{at^2}{2}$$

$$V_1 = at; V_1 = \frac{Q}{\epsilon_0 \cdot S} \cdot \gamma \cdot T$$

$$1.5d = aT^2$$

$$1.5d = \frac{Q}{\epsilon_0 \cdot S} \cdot \gamma \cdot T^2 \Rightarrow Q = \frac{1.5 \epsilon_0 S d}{\gamma T^2}$$

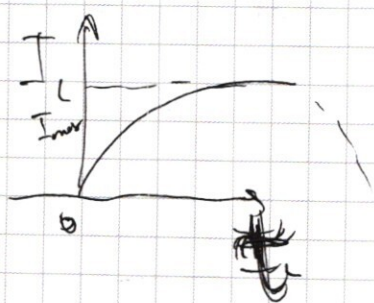
$$V_1 = \frac{1.5d}{T}$$

3) ??????

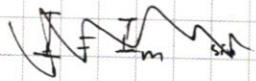
нч.

Препн. : $\mathcal{E}_i = \mathcal{E} - U_0 - U_1 = 3 \text{ В}$

$$\left(\mathcal{E}_i = L \frac{dI}{dt} \Rightarrow \frac{dI}{dt} = \frac{3}{L} = \frac{3}{\frac{1}{30}} = 30 \frac{\text{А}}{\text{с}} \right)$$

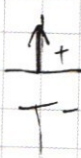


3) $U_2 = \mathcal{E} = 9 \text{ В}$



$$Eq = \Delta E_m + \Delta E_s$$

$$Eq =$$



$$U = \frac{A}{q} \Rightarrow q = \frac{A}{U}$$

$$I = \frac{q}{t} \quad I = \frac{A}{ut}$$

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

$$\cos(\alpha + \beta) = \frac{15.4}{17.5} - \frac{8.3}{17.5} = \frac{15.4 - 8.3}{17.5} = \frac{36}{85}$$

$$T \sin \beta = m a$$

$$a = \frac{T \sin \beta}{m}$$

$$a_1 = \frac{v_1^2}{R}$$

$$a_2 = \frac{v_2^2}{R}$$

$$a_1 = a_2 = \frac{v_1^2}{R} = \frac{v_2^2}{\frac{5}{3}R} \quad \left| \cdot \frac{5}{3}R \right. \quad \frac{5}{3}R$$

~~$$0.15 \frac{v_1^2}{R} = \frac{v_2^2}{\frac{5}{3}R}$$~~

$$v_1^2 = 0.6 v_2^2$$

$$v_2 = v_1 + V$$

$$P_{12} \cdot V_{23} \cdot \frac{1}{2}$$

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

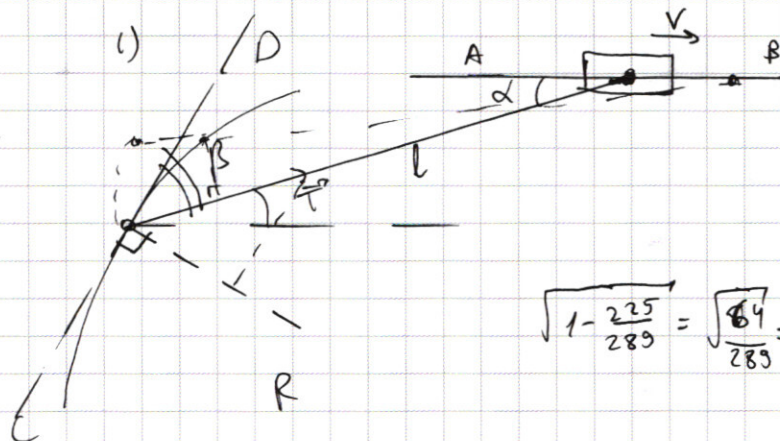
$$Q_{us} = \frac{0.5 \cdot 2R \Delta T_{13}}{1.5 \cdot 2R \Delta T_{12} + 2.5 \cdot 2R \Delta T_{23}}$$

$$2.5 T_3 - 1.5 T_1 + T_1 - T_2 + T_2 + 0.5 T_{23}$$

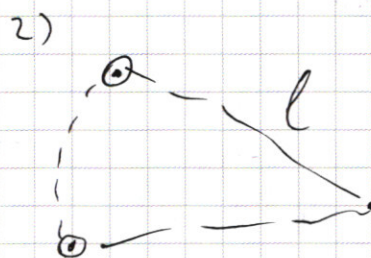
$$1.5 T_3 - 0.5 T_1 + 0.5 T_{23}$$

$$1 - \frac{0.5 \Delta T_{13}}{1.5 \Delta T_{12} + 2.5 \Delta T_{23}} = 1 - \frac{2 \Delta T_{13}}{1.5 \Delta T_{13} + \Delta T_{23}} = \left\{ 1 - \frac{T_1}{T_3} \right\}$$

$$\frac{-0.5 \Delta T_{13} + \Delta T_{23}}{1.5 \Delta T_{13} + \Delta T_{23}} = \frac{\Delta T_{13}}{T_3}$$



$$\sqrt{1 - \frac{225}{289}} = \sqrt{\frac{64}{289}} = \frac{8}{17}$$



$$A = \frac{1}{2} (P_3 - P_4) (V_3 - V_4) = \frac{1}{2} 2R \Delta T_{13}$$

$$T_3 = T_1 + T_2 + 0.5 T_{23}$$

$$\eta = \frac{2.5 \Delta T_{13}}{1.5 \Delta T_{13} + \Delta T_{23}} \quad \left| \cdot \frac{1}{\Delta T_{13}} \right. \quad \frac{2.5}{1.5 + \frac{\Delta T_{23}}{\Delta T_{13}}}$$

$$\frac{0.5 \Delta T_{13}}{1.5 \Delta T_{13} + \Delta T_{23}} = 1 - \frac{2 \Delta T_{13}}{1.5 \Delta T_{13} + \Delta T_{23}}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№2.

12

$T \uparrow$

23

$T \uparrow$

31

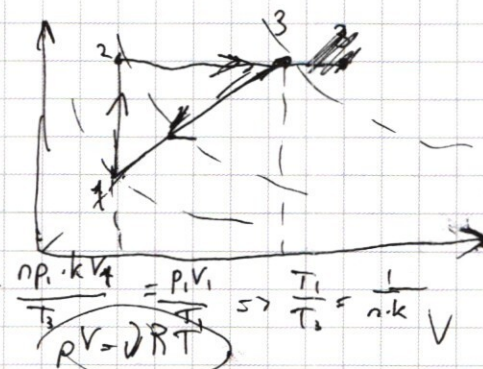
$\downarrow p, V \downarrow$
 $T \downarrow$

~~$P_1 \neq P_2$~~

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{n P_1}{n T_1} = \frac{P_2}{T_2} P$$

$$\frac{V_2}{T_2} = \frac{V_3}{T_3} = \frac{V_2 k}{T_2 k}$$

$$\frac{P_3 V_3}{T_3} = \frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_3}{T_3}$$



$$\frac{n P_1 \cdot k V_1}{T_1} = \frac{P_1 V_1}{T_1} \Rightarrow \frac{T_1}{T_2} = \frac{1}{n \cdot k} V$$

1)

12

$$Q_{12} = \Delta U_{12} + A_{12} = 0$$

$$Q_{12} = \Delta U_{12} = \frac{3}{2} \nu R \Delta T_{12}$$

$$C_{12} \Delta T_{12} = \frac{3}{2} \nu R \Delta T_{12}$$

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

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

$$C_{23} \Delta T_{23} = \frac{3}{2} \nu R \Delta T_{23} + p V_3 - p V_2$$

$$C_{23} \Delta T_{23} = \frac{3}{2} \nu R \Delta T_{23} + \nu R T_3 - \nu R T_2$$

$$C_{23} \Delta T_{23} = \frac{3}{2} \nu R \Delta T_{23} + \nu R \Delta T_{23}$$

$$C_{23} \Delta T_{23} = 2,5 \nu R \Delta T_{23}$$

$$C_{23} = 2,5 R$$

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

$$Q_{31} = \frac{3}{2} \nu R \Delta T_{31} + \frac{P_1 + P_3}{2} \cdot (V_3 - V_1) = 2 \nu R \Delta T_{31}$$

2)

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

$$Q_{23} = \frac{5}{2} \nu R \Delta T_{23}$$

$$A_{23} = \nu R \Delta T_{23} \quad (\text{из н. 1}) \quad \frac{1}{2} (p_3 V_3 - p_2 V_2 + p_2 V_1 - p_1 V_1)$$

$$\frac{Q_{23}}{A_{23}} = 2,5$$

(расчитать)

$$\eta = \frac{1 - \frac{\nu R \cdot 2 \Delta T_{12}}{\nu R (2,5 \Delta T_{23} + 1,5 \Delta T_{12})}}{1} = \frac{2 T_2 - 2 T_1}{(2,5 T_3 - 1,5 T_1 - T_2)} = \frac{\Delta T_{12}}{T_3}$$

3)

$$\eta = \frac{T_H - T_X}{T_H} = \frac{T_3 - T_1}{T_3} = 1 - \frac{T_1}{T_3}$$

$$\eta = \frac{Q_H - Q_X}{Q_H} = 1 - \frac{|Q_X|}{Q_H} = 1 - \frac{Q_{31}}{Q_{12} + Q_{23}} = 1 - \frac{Q_{31}}{1,5 \nu R \Delta T_{12} + 2,5 \nu R \Delta T_{23}}$$

$$= 1 - \frac{2 \nu R \Delta T_{12}}{\nu R (1,5 T_2 - 1,5 T_1 + 2,5 T_3 - 2,5 T_2)} = 1 - \frac{2 T_2 - 2 T_1}{(2,5 T_3 - 1,5 T_1 - T_2)} = \frac{\Delta T_{12}}{T_3}$$

$$1 - \frac{2T_3 - 2T_1}{2,5T_3 - 1,5T_1 - T_2} = \frac{2,5T_3 - 1,5T_1 - T_2 - 2T_3 + 2T_1}{2,5T_3 - 1,5T_1 - T_2} = \frac{0,5T_3 - T_2 + 0,5T_1}{2,5T_3 - 1,5T_1 - T_2}$$

$$= \frac{T_3 - T_1}{T_3}$$

$$\frac{0,5nkT_1 - nT_1 + 0,5T_1}{2,5nkT_1 - 1,5T_1 - nT_1} = 1 - \frac{1}{nk}$$

$$\frac{T_1(0,5nk - n + 0,5)}{T_1(2,5nk - n - 1,5)} = \frac{nk - 1}{nk}$$

$$1 = \frac{0,5(nk)^2 - n^2k + 0,5nk}{2,5(nk)^2 - n^2k - 1,5nk - 2,5hk + n + 1,5} = \frac{0,5(nk)^2 - n^2k + 0,5nk}{2,5(nk)^2 - n^2k - 4nk + n + 1,5}$$

$$0,5(nk)^2 - n^2k + 0,5nk = 2,5(nk)^2 - n^2k - 4nk + n + 1,5$$

$$2(nk)^2 + 1,5 + n - 4,5nk = 0$$

$$+4,5 - 4,5nk = 3 - n - 2(nk)^2 \quad | : nk$$

$$\frac{-4,5(nk - 1)}{nk} = -2nk + \frac{3 - n}{nk}$$

н 5.

$$16V^2 + 64V^2 = 80V^2$$

$$V_{\text{доп}} = 4,55V$$

$$\left(V_0 = \frac{8V}{\cos \alpha} \right) ! ; \quad \alpha = \tau^2 \cdot 2V$$

