

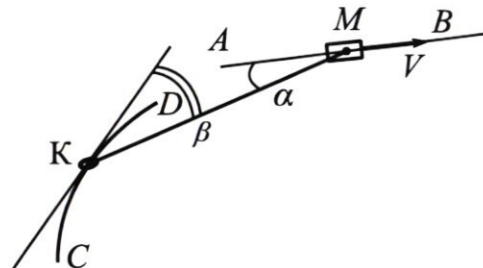
Олимпиада «Физтех» по физике, ф

Вариант 11-01

Класс 11

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

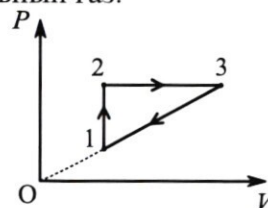
1. Муфту М двигают со скоростью $V = 68$ см/с по горизонтальной направляющей АВ (см. рис.). Кольцо К массой $m = 0,1$ кг может двигаться без трения по проволоке CD в виде дуги окружности радиусом $R = 1,9$ м. Кольцо и муфта связаны легкой нитью длиной $l = 5R/3$. Система находится в одной горизонтальной 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.

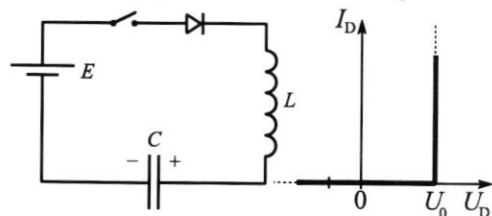


3. Обкладки конденсатора – круглые металлические сетки площадью S , расстояние между обкладками d ($d \ll \sqrt{S}$). Из точки, находящейся между обкладками на оси симметрии на расстоянии $0,25d$ от положительно заряженной обкладки, стартует с нулевой начальной скоростью положительно заряженная частица 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?

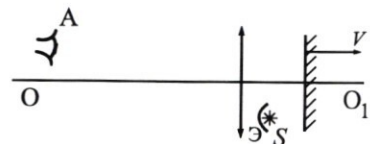
При движении частицы электрическое поле, созданное зарядами конденсатора, считать неизменным, а электрическое поле внутри конденсатора вблизи оси симметрии считать однородным.

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.

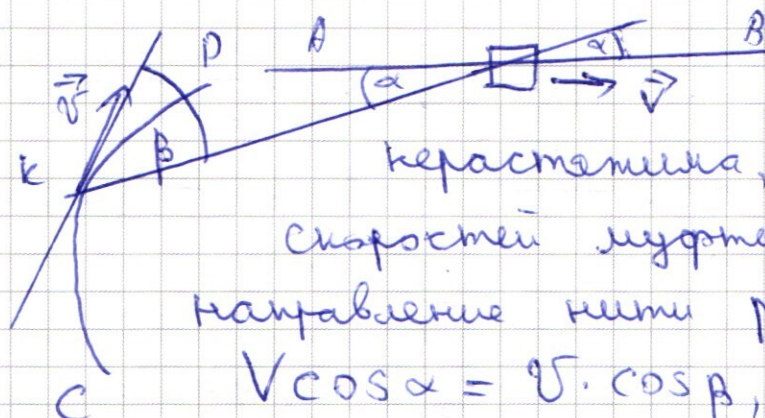
5. Оптическая система состоит из тонкой линзы с фокусным расстоянием F , плоского зеркала и небольшого экрана Э, расположенного так, что свет от источника S может попасть на линзу только после отражения от зеркала (см. рис.). Зеркало расположено перпендикулярно главной оптической оси OO_1 линзы. Источник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

№1)



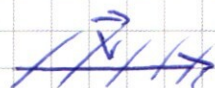
1) т.к. нить

нерастянима, то проекция
скоростей муфта и конца на
направление нити равны:

$$V \cos \alpha = V_{\text{к}} \cos \beta, \text{ где } V_{\text{к}} - \text{ скорость конца.}$$

$$V_{\text{к}} = V \frac{\cos \alpha}{\cos \beta} = V \cdot \frac{15}{17} \cdot \frac{5}{4} = \frac{75}{68} V = 75 \text{ см/с}$$

2)

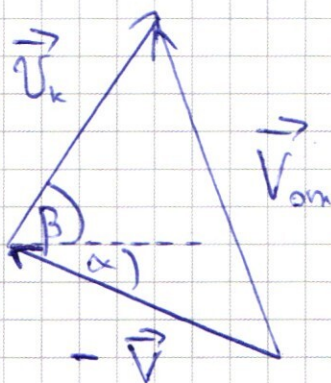


$$\vec{V}_{\text{om}} = \vec{V}_{\text{к}} - \vec{V}, \text{ где}$$

$\vec{V}_{\text{om}}$ - относительная скорость.

$\vec{V}_{\text{к}}$ - скорость конца.

$\vec{V}$ - скорость муфты.



По теореме косинусов:

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

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

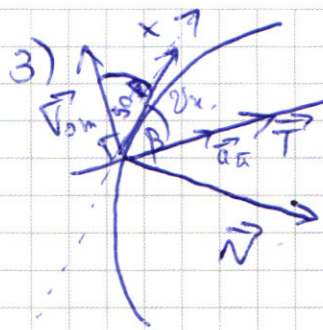
$$\sin \alpha = \sqrt{1 - \cos^2 \alpha} = \sqrt{1 - \left(\frac{15}{17}\right)^2} = \sqrt{1 - \frac{225}{289}} = \sqrt{\frac{64}{289}} = \frac{8}{17}$$

$$\sin \beta = \sqrt{1 - \cos^2 \beta} = \sqrt{1 - \left(\frac{4}{5}\right)^2} = \sqrt{1 - \frac{16}{25}} = \sqrt{\frac{9}{25}} = \frac{3}{5}$$

$$\text{значит, } \cos(\alpha + \beta) = \frac{15}{17} \cdot \frac{4}{5} - \frac{8}{17} \cdot \frac{3}{5} = \frac{12}{17} - \frac{24}{85} = \frac{60}{85} - \frac{24}{85} =$$

$$= \frac{36}{85}. \text{ Итого, } V_{\text{om}} = \sqrt{75^2 + 68^2 - 2 \cdot \frac{36}{85} \cdot 68 \cdot 75}$$

$$V_{\text{om}} = \sqrt{75^2 + 68^2 - 4320} = \sqrt{5625 + 4624 - 4320} = \sqrt{5929} = 77 \Rightarrow V_{\text{om}} = 77 \text{ см/с.}$$



3) В системе отсчета неподвижной
камеры движение по окружности
радиусом ℓ , при этом скорость камня
перпендикулярна к радиусу CO . В процессе

на ось камня: $m \frac{v_{\text{cm}}^2}{\ell} = T_x \Rightarrow m \frac{v_{\text{cm}}^2}{\ell} \cos \beta = T \cos \beta$

$T = m \frac{v_0^2}{\ell} \cdot \cos \beta = 0,1 \cdot \frac{72^2 \cdot 10}{3 \cdot 190} \cdot \frac{4}{5} = \frac{12}{1900} \cdot 72^2$

$\frac{m v_{\text{cm}}^2}{\ell} = T + N \sin \beta$ Умножив на $\frac{m v^2}{R} = T \sin \beta + N \Rightarrow$

$\Rightarrow T - \frac{m v_{\text{cm}}^2}{\ell} = (T \sin \beta - N \sin \beta) \sin \beta \Rightarrow \frac{34}{25} T = \frac{3}{5} \frac{m}{R} (v^2 + v_{\text{cm}}^2)$

$T = \frac{15}{34} \cdot \frac{0,1}{190} (72^2 + 75^2) \approx 3 \text{ Н}$

√2) На участке 1-2 по закону Шарля: $T = \text{const}$
 $\Rightarrow T$ увеличивается.

На участке 2-3 по закону Гей-Люссака: $\frac{V}{T} = \text{const}$
 $\Rightarrow T$ увеличивается.

На участке 3-1 $\frac{p}{V} = \text{const} \Rightarrow$ по закону.

Клапейрона-Менделеева: $\frac{\partial p T}{V^2} = \text{const} \Rightarrow T$ - увеличивается.

Значит найдем отношение: $\frac{C_{12}}{C_{23}}$; для одноатом-

ного газа: $C_{12} = C_v = \frac{3}{2} R$; $C_{23} = C_p = C_v + R = \frac{5}{2} R$.

Итак, $\frac{C_{12}}{C_{23}} = \frac{3}{2} R \cdot \frac{2}{5 R} = \frac{3}{5} = 0,6$

2) По I началу термодинамики: $Q = \Delta U + A'$

$Q = \int C_p \Delta T = \int C_v \Delta T + A' \Rightarrow A' = \int \Delta T (C_p - C_v)$

Тогда, $\frac{Q}{A'} = \frac{\int C_p \Delta T}{\int \Delta T (C_p - C_v)} = \frac{C_p}{C_p - C_v} = \frac{\frac{5}{2} R}{\frac{5}{2} R - \frac{3}{2} R} = \frac{5}{2} = 2,5$

3) Найдем $Q_{31} = |Q_x|$: $|Q_x| = |A'| + |\Delta U|$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$|A| = \frac{p_3 + p_1}{2} (V_3 - V_1) = \frac{1}{2} (p_3 V_3 + p_1 V_3 - p_3 V_1 - p_1 V_1)$$

$$\text{П.к.} \quad \frac{p_1}{V_1} = \frac{p_3}{V_3}, \text{ то } |A| = \frac{1}{2} (p_3 V_3 - p_1 V_1) = \frac{1}{2} \nu R \Delta T_{13}$$

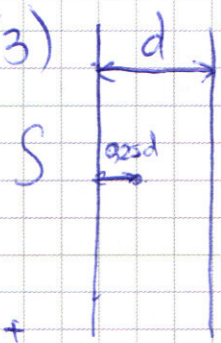
$$|\Delta U| = \frac{3}{2} \nu R \Delta T_{13} \Rightarrow |Q_x| = \frac{3}{2} \nu R \Delta T_{13} + \frac{1}{2} \nu R \Delta T_{13} = 2 \nu R \Delta T_{13}$$

$$Q_H = Q_{12} + Q_{23} = \nu C_v \Delta T_{12} + \nu C_p \Delta T_{23}, \text{ тогда:}$$

$$\eta = 1 - \frac{|Q_x|}{Q_H} = 1 - \frac{2 \nu R \Delta T_{13}}{\nu C_v \Delta T_{12} + \nu C_p \Delta T_{23}} = 1 - \frac{2 \Delta T_{13}}{\frac{3}{2} \Delta T_{12} + \frac{5}{2} \Delta T_{23}}$$

$$= 1 - \frac{4 \Delta T_{13}}{3 \Delta T_{12} + 5 \Delta T_{23}}$$

№3) 1) По II закону Ньютона и теореме об изменении кинетической энергии:



$$Eq \cdot (d - 0,25d) = \frac{mV_1^2}{2}$$

П.к. $Eq = ma$ и $(d - 0,25d) = \frac{at^2}{2}$,

$$m_0 \cdot E = \frac{ma}{q} = \frac{m}{q} \cdot \frac{1,5d}{T^2}, \text{ тогда}$$

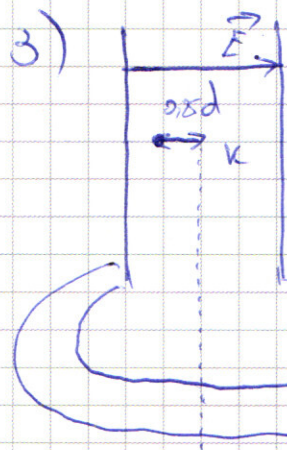
$$\frac{m}{q} \cdot \frac{1,5d}{T^2} \cdot q \cdot 0,25d = \frac{1}{2} mV_1^2 \Rightarrow V_1^2 = \frac{2,25d^2}{T^2}$$

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

2) Име наэгерс, $2m_0$ $E = \frac{1,5d}{T^2} \cdot \frac{m}{q} = \frac{1,5d}{T^2} \cdot \frac{1}{\gamma} \Rightarrow$

$$U_c = E \cdot d = \frac{1,5d^2}{T^2} \cdot \gamma. \text{ Перенос } Q = CU_c = \frac{\epsilon_0 S}{d} \cdot \frac{1,5d^2}{T^2} =$$

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



3) Чтобы избежать влияния краевых эффектов, рассмотрим такой путь. Частица на бесконечности, при которой работа ~~э~~ электрического поля за пределами конденсатора равна нулю. Частица после перемещения

о к оси ОК. вылетит вдоль перпендику-
лярно напряжённости, тогда $\frac{mV_2^2}{2} = E \cdot 0,25d q$

$$V_2^2 = \frac{2,25d \cdot 1,5d}{T^2} \cdot 2 = \frac{3,25d^2}{T^2} \Rightarrow V_2 = \frac{\sqrt{3}d}{2T}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№4) 1) Сразу после замыкания заряд на конденса-
торе не успеет измениться, значит

по II правилу Кирхгофа: $\mathcal{E} - L\dot{I} = U_0 + U_1$

$$\dot{I} = \frac{\mathcal{E} - U_0 - U_1}{L} = \frac{9\text{В} - 1\text{В} - 5\text{В}}{0,1\text{Гн}} = 30\text{А/с}$$

2) По закону сохранения энергии:

$A_{\text{ист}} + A_{\text{из}} = \Delta W_{\text{с}} + W_{\text{л}}$. При максималь-
ном тке напряжение на катушке равно нулю,

то $U_3 = \mathcal{E} - U_0 = 8\text{В}$ (напряжение на конденсаторе)

$$\mathcal{E}\Delta q + U_0\Delta q = \frac{CU_3^2}{2} - \frac{CU_1^2}{2} + \frac{L\dot{I}_m^2}{2}$$

$$\Delta q = CU_3 - CU_1 = C(U_3 - U_1); \text{ Тогда:}$$

$$(\mathcal{E} + U_0)(U_3 - U_1)C = \frac{1}{2}C(U_3^2 - U_1^2) + L\frac{\dot{I}_m^2}{2}$$

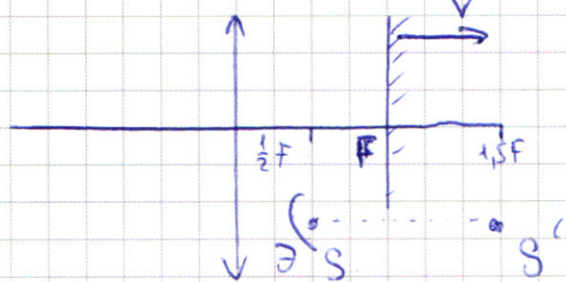
$$\dot{I}_m^2 = \frac{C(U_3 - U_1)(2(\mathcal{E} + U_0) - (U_3 + U_1))}{L} =$$

$$= \frac{C(\mathcal{E} - U_0 - U_1)(\mathcal{E} + 3U_0 - U_1)}{L} \Rightarrow \dot{I}_m = \sqrt{\frac{40 \cdot 10^{-9} (9 - 1 - 5)(9 + 3 - 5)}{0,1}}$$

$$\dot{I}_m = 2\sqrt{21 \cdot 10^{-7}}\text{А.}$$

3) В установившемся режиме напряжение на
конденсаторе $U_2 = \mathcal{E} + U_0 = 10\text{В}$

№5) 1) Расстояние от S до изображения в зеркале

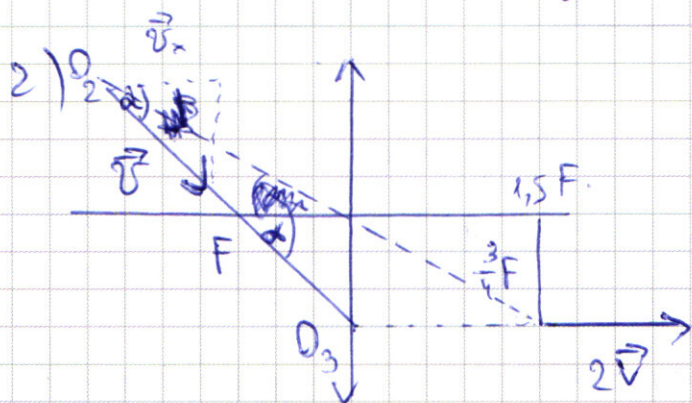


S' равно $2 \cdot \frac{F}{2} = F$, значит

S' находится от линзы на расстоянии $1.5F = d$.

По формуле тонкой линзы.

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f} \Rightarrow f = \frac{Fd}{d-F} = \frac{F \cdot \frac{3}{2}F}{\frac{3}{2}F - F} = \underline{3F}$$



Значение получим вдоль прямой $O_2 O_3$, проходящей через фокус линзы.

Из рисунка

видна, что $\operatorname{tg} \alpha = \frac{\frac{3}{4}F}{F} = \underline{\frac{3}{4}}$.

3) При продольном увеличении $U_x = \Gamma^2 U$, где U - скорость предмета, Π - зеркало движется со скоростью V , то отражение в зеркале со скоростью $2V$. Но само изображение движется под углом α к оси $O O_1$, значит

используя скорость $U = \frac{U_x}{\cos \alpha} = \frac{\Gamma^2 \cdot U}{\cos \alpha} = \frac{\Gamma^2 \cdot 2V}{\cos \alpha}$.

$\Gamma = \frac{f}{d} = \frac{3F}{1.5F} = 2 \Rightarrow U = \frac{8V}{\cos \alpha}$

$\cos \alpha = \sqrt{\frac{1}{\operatorname{tg}^2 \alpha + 1}} = \sqrt{\frac{1}{\frac{9}{16} + 1}} = \sqrt{\frac{16}{25}} = \frac{4}{5}$.

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

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$Eq \cdot 0.25d = \frac{mv^2}{2} \quad 0.25d \cdot 15d^2 = \frac{v^2}{2} \quad 0.253 \quad \frac{L}{\sigma \cdot R}$$

$$V_2 = \sqrt{\frac{0.25d^2}{T^2}} = \frac{d}{T} \cdot 0.5\sqrt{3} = \frac{\sqrt{3}d}{2T}$$

$$\sqrt{4) \quad ma_y = T \sin \beta + N \quad a_x^2 + a_y^2 = \frac{mV_{om}^2}{l}$$

$$ma_x = T \cos \beta$$

$$E = U_0 + L \Delta \quad 2E + 2U_0 - E + U_0 = U_1$$

$$40 \cdot 10^8 (3 \cdot 2) = 21 \cdot 40 \cdot 10^3 \quad 2 \cdot 10^{-2}$$

$$E + L I^0 = U + U_c \quad U = E + L I - U_c \quad \sin \beta = \frac{3}{5}$$

$$U_0 + E = U_2 = 10B$$

$$T \sin \beta + N = \frac{mv^2}{R}$$

$$T + N \sin \beta = \frac{mV_{om}^2}{l}$$

$$V_{ot}^2 = v^2 + V^2$$

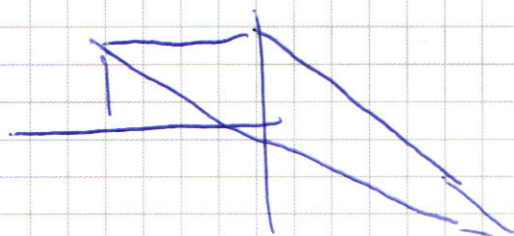
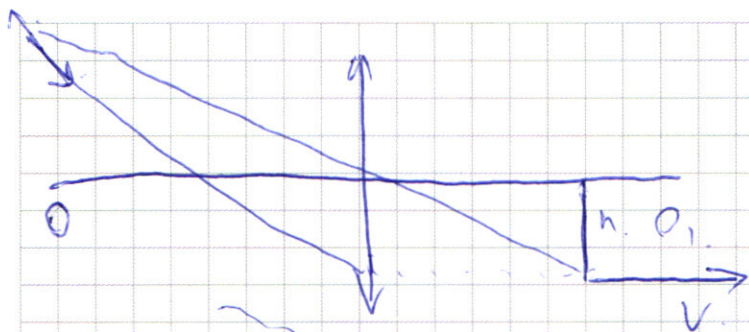
$$T - \frac{mV_{ot}^2}{l} = \left(\frac{mv^2}{R} - T \sin \beta \right) \sin \beta$$

$$\frac{E}{l} (V^2 + v^2) = \frac{3}{5} \frac{mv^2}{R} - T + \frac{16}{25} T$$

$$T - \frac{3}{5} \frac{mv^2}{R} = \frac{3}{5} \frac{mv^2}{R} - T + \frac{16}{25} T$$

$$\frac{3}{5} T = \frac{3}{5} \frac{mv^2}{R}$$

56

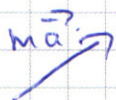


$$\frac{(5629 + 5625)}{1900} \cdot \frac{3}{68}$$

$$\frac{11254}{190} \cdot \frac{3}{68} =$$

$$\operatorname{tg}^2 \alpha + 1 = \frac{1}{\cos^2 \alpha} \quad \cos^2 \alpha = \frac{1}{\operatorname{tg}^2 \alpha + 1} \Rightarrow \cos \alpha = \sqrt{\frac{1}{\frac{9}{16} + 1}} =$$

$$= \sqrt{\frac{16}{25}} = \frac{4}{5}$$



$$p \Delta V_{23} = \nu R \Delta T_{23}$$

$$\Delta p_{12} V = \nu R \Delta T_{12}$$

$$\Delta V_{23}$$

23.

11254 | 2

4000.

300

$$\Delta p_{12}^2 + \Delta V_{23}^2 = \left(\frac{\nu R \Delta T_{12}}{V^2} \right)^2$$

$$\frac{Q_x}{Q_H} \cdot \frac{V_3 - V_2}{p_2 - p_1} = \frac{V_3}{p_2}$$

$$\frac{p_3}{V_3} = \frac{p_1}{V_1}$$

$$p_1 = \frac{V_1}{V_3} p_3$$

$$\frac{1}{2} (V_3 - V_2) (p_2 - p_1)$$

$$Q_{12} = \frac{3}{2} \nu R \Delta T_{12} = \frac{3}{2} (p_2 V_2 - p_1 V_1) \quad Q_{23} = \frac{5}{2} (p_3 V_3 - p_2 V_2)$$

$$\eta = \frac{A}{Q_H} = \frac{\frac{1}{2} (p_2 V_3 - p_2 V_2 - V_3 p_1 + p_1 V_2)}{Q_H}$$

$$T = \frac{m V_{\text{on}}^2}{\nu}$$

$$T = \frac{0,1 \cdot 27^2}{\frac{5}{3} \cdot 190} = \frac{3 \cdot 5629}{9500} =$$

$$1900 \cdot 5 = 5 + 9500 = 9505$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№1)

Время на направление нити:

$m a_y = N$
 $m a_x = T$

$V \cos \alpha = V \cos \beta$
 $V \cdot \frac{15}{17} = V \cdot \frac{4}{5}$

$N = V \cdot \frac{15}{17} \cdot \frac{5}{4} = V \cdot \frac{75}{68} = 75 \cdot \frac{25}{68} = 275$

$\cos \alpha \cos \beta - \sin \alpha \sin \beta$

$\sin \alpha = \sqrt{1 - \cos^2 \alpha} = \sqrt{1 - \frac{225}{289}} = \frac{8}{17}$

$\sin \beta = \frac{3}{5}$

$\frac{36}{85} \cdot 68 \cdot 25 = 36 \cdot 17 \cdot 4 \cdot 5 \cdot 15 = 60 \cdot 36 \cdot 2 = 60 \cdot 72 = 4320$

$60 \cdot 72 = 120 + 1200 = 4320$

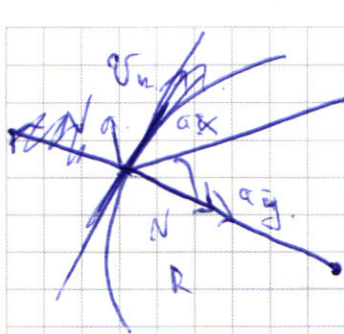
$5625 + 804 = 5829$

$T = \frac{v^2}{R} \cdot \sin \beta$

$T = \frac{25^2}{1,9} \cdot \frac{3,1}{0,6} = \frac{5625}{1,9 \cdot 0,6} = \frac{56250}{11,4}$

$m \cdot \frac{v^2}{R} = T \sin \beta = \frac{56250}{11,4}$

$A = \Delta W$



27

$$25 \cdot 68 \cdot \sqrt{\cos \beta} = a_x$$

~~5629~~ 5

$$\sqrt{\cos \beta} = \frac{m a_x}{V}$$

$$V_u \sin \beta = V_{om} \sin \gamma \quad a_x =$$

$$\sin \gamma = \frac{V_u}{V_{om}} \sin \beta = \frac{25}{27} \cdot 0,6 = \frac{25}{27} \cdot \frac{3}{5}$$

$$\sqrt{21} = \frac{45}{27}$$

$$m \frac{V_{om}^2}{l} = T = 0,1 \cdot \frac{27^2}{\frac{5}{3} \cdot 1,9} = \frac{0,3}{9,5} \cdot 27^2$$

$$\frac{3}{95} 27^2 =$$

$$\sqrt{2}) \quad \frac{P}{V} = \frac{\partial T}{\partial V}$$

$$\eta = \frac{Q_H - Q_X}{Q_H}$$

$$Q_H = \frac{\partial C_V \Delta T + \partial C_P \Delta T - Q_X}{Q_H}$$

$$\eta = 1 - \frac{Q_X}{Q_H} = 1 - \frac{|Q_X|}{\partial \Delta T (C_V + C_P)}$$

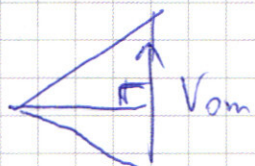
$$25 \cdot \frac{3}{5} = 15$$

$$|Q_X| = |A' + \Delta U| =$$

$$15^2 = 225$$

$$W = \frac{q^2}{2C} = \frac{0^2}{2}$$

$$\eta_{\max} = \sqrt{\cos \beta} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{a_x}{V}$$



$$V_{or} = V_u \sin \beta + V \sin \alpha$$

$$V_{or} = 25 \cdot 0,6 + 68 \cdot \frac{3}{5} = 32 + 40 = 72$$

$$m \frac{V_{om}^2}{l} =$$

$$\frac{9(T_3 - T_1)}{3(T_2 - T_1) + 5(T_3 - T_2)} = \frac{4T_3 - 4T_1}{5T_3 - 2T_2 - 3T_1}$$

$$\eta_{\max} \text{ при}$$

$$\frac{4(T_3 - T_1)}{3(T_2 - T_1) + 5(T_3 - T_2)} - \text{min} \quad \frac{4 \Delta T_{13}}{5T_3 - 2T_2 - 3T_1}$$

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

$$\Delta T_{13} = T_3 - T_1$$

$$\eta = \frac{P}{T}$$

$$\eta_{\max} = \frac{V}{a_x^2 + a_y^2} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{a_x}{V}$$

$$A = \frac{1}{2} p_2 \cdot \frac{1}{2} (p_2 - p_1) \cdot (V_3 - V_2) = \frac{5T_3 - 5T_2 - 4T_3 + 4T_1}{3T_2 - 3T_1 + 5T_3 - 5T_2} = \frac{T_3 - 5T_2 + 4T_1}{5T_3 - 2T_2 - 3T_1}$$