

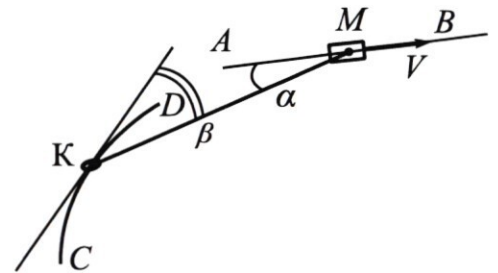
Олимпиада «Физтех» по физике, ф

Класс 11

Вариант 11-01

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

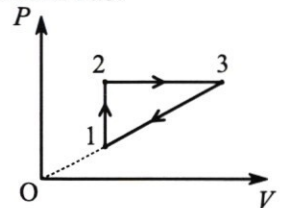
1. Муфту М двигают со скоростью $V = 68$ см/с по горизонтальной направляющей АВ (см. рис.). Кольцо К массой $m = 0,1$ кг может двигаться без трения по проволоке CD в виде дуги окружности радиусом $R = 1,9$ м. Кольцо и муфта связаны легкой нитью длиной $l = 5R/3$. Система находится в одной горизонтальной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



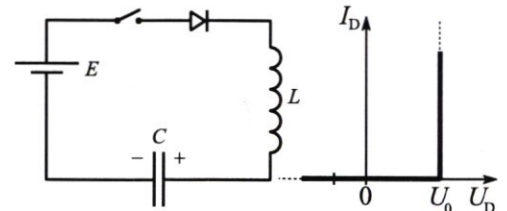
3. Обкладки конденсатора – круглые металлические сетки площадью S , расстояние между обкладками d ($d \ll \sqrt{S}$). Из точки, находящейся между обкладками на оси симметрии на расстоянии $0,25d$ от положительно заряженной обкладки, стартует с нулевой начальной скоростью положительно заряженная частица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

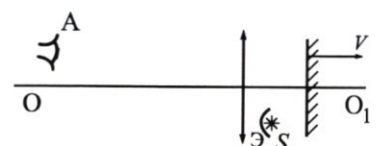
4. В цепи, схема которой показана на рисунке, ключ разомкнут, ЭДС идеального источника $E = 9$ В, конденсатор емкостью $C = 40$ мкФ заряжен до напряжения $U_1 = 5$ В, индуктивность идеальной катушки $L = 0,1$ Гн. Вольтамперная характеристика диода дана на рисунке, пороговое напряжение диода $U_0 = 1$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

Дано:

$$V = 68 \text{ м/с}$$

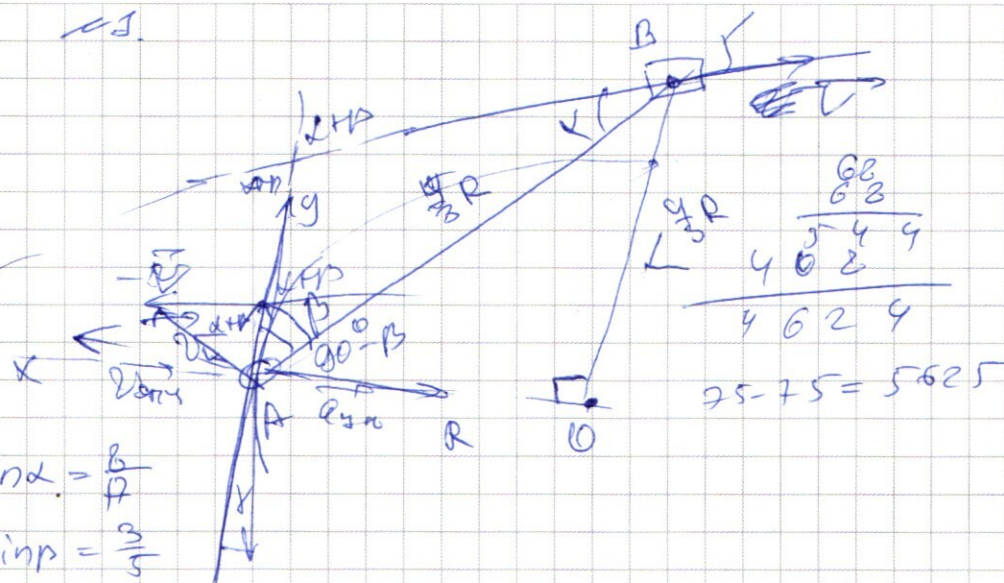
$$m = 0.1 \text{ кг}$$

$$R = 1.9 \text{ м}$$

$$l = \frac{5R}{3}$$

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

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



Нужно скажем переставим, по формуле проекции скорости кольца и муфта на неё равно

$$v_k \cdot \cos \beta = V \cos \alpha \quad v_k = \frac{V \cos \alpha}{\cos \beta} = \frac{68 \cdot \frac{15}{17}}{\frac{4}{5}} =$$

$$= 75 \text{ м/с} \quad \vec{v}_k = \vec{v}_{\text{отн}} + \vec{V} \quad \vec{v}_{\text{отн}} - \text{скорость}$$

кольца относительно муфты, $\vec{v}_{\text{отн}} = \vec{v}_k - \vec{V}$

По т. косинусов $v_{\text{отн}}^2 = v^2 + v_k^2 - 2(\cos(\alpha + \beta))v_k v$

$$v_{\text{отн}}^2 = v^2 + v_k^2 - 2(\cos \alpha \cos \beta - \sin \alpha \sin \beta)v_k v =$$

$$= (68^2 + 75^2 - 2 \cdot 68 \cdot 75 \left(\frac{15}{17} \cdot \frac{4}{5} - \frac{8}{17} \cdot \frac{3}{5} \right)) \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2} = 77^2 \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}$$

$$v_{\text{отн}} = 77 \text{ м/с} \quad a_{\text{ум}} = \frac{v_k^2}{R}$$

$$T + T_x = m a_{\text{ум}}$$

$$m g_y + T_y = 0$$

По т. косинусов

$$\frac{25}{9} R^2 + R^2 - 2 \sin \beta \cdot R \cdot \frac{5}{3} R = l^2$$

$$\frac{25}{9} R^2 + R^2 - 2 \cdot \frac{3}{5} \cdot \frac{5}{3} R^2 = l^2$$

$$\frac{16}{9} R^2 = l^2 \quad l = \frac{4}{3} R$$

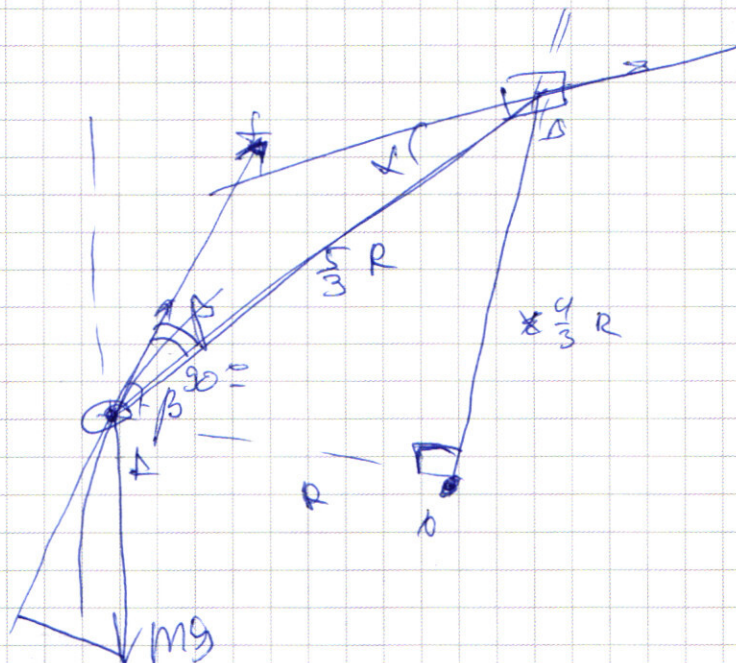
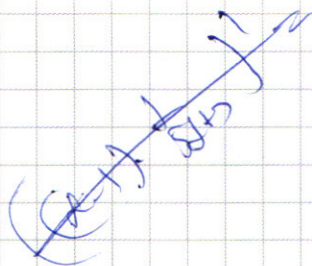
$$l^2 + \left(\frac{4}{3} R \right)^2 = \left(\frac{5}{3} R \right)^2 \Rightarrow$$

$$\angle AOB = 90^\circ$$

$$\angle AOB = 90^\circ$$

Order: 1.) 35 cm

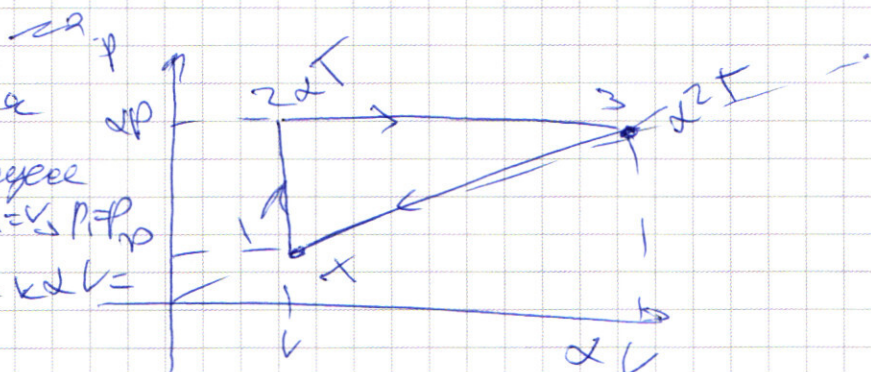
2.) 77 cm/c



Решение $V_1 = V$, тогда

т.к. $P = \frac{1}{2} V^2$ в процессе 1-3, то если $V_1 = V$, $P_1 = P_0$

$V_3 = \alpha V$, то $P_3 = P_2 = \frac{1}{2} \alpha^2 V^2 = \alpha P$



$$1.) Q_{23} = A_{23} + \Delta U_{23} = \frac{5}{2} \alpha R \Delta T = \frac{5}{2} \alpha R \Delta T$$

$$Q_{12} = \Delta U_{12} = \frac{3}{2} \alpha R \Delta T = \frac{3}{2} \alpha R \Delta T \quad C_{12} = \frac{3}{2} R$$

$$\frac{Q_{23}}{Q_{12}} = \frac{\frac{5}{2} \alpha R \Delta T}{\frac{3}{2} \alpha R \Delta T} = \frac{5}{3}$$

$$2.) \frac{Q_{23}}{A_{23}} = ? \quad Q_{23} = \frac{5}{2} \alpha R \Delta T \quad A_{23} = \alpha R \Delta T \quad \frac{Q_{23}}{A_{23}} = \frac{5}{2}$$

$$3.) \eta = \frac{A}{Q_{\text{пол}}} \quad Q_{\text{пол}} = Q_{12} + Q_{23} \neq$$

$$Q_{12} = \frac{3}{2} \alpha R \Delta T \quad \text{Решение } T_1 = T \quad PV = \nu RT \quad \alpha PV = \nu RT_2$$

$$\alpha^2 PV = \nu RT_3 \quad T_3 = \alpha^2 T_2 = \alpha T$$

$$Q_{12} = \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_1) = \frac{3}{2} \alpha R \Delta T (\alpha - 1)$$

$$Q_{23} = \frac{5}{2} \nu R (T_3 - T_2) = \frac{5}{2} \nu R (\alpha^2 T - \alpha T) = \frac{5}{2} \alpha R \Delta T (\alpha - 1)$$

$$Q_{\text{пол}} = \frac{5}{2} \alpha R \Delta T (\alpha - 1) + \frac{3}{2} \alpha R \Delta T (\alpha - 1)$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Дано:

S, T, d

$$\frac{q}{m} = f$$

1.) v_1

$$\frac{3}{2}d = \frac{v_1 - 0}{a} T$$

$$v_1 = \frac{1.5d}{T}$$

2.)

a - ускорение

$$a = \frac{1.5d}{T^2}$$

$$F = ma$$

$$F = Eq$$

$$ma = Eq$$

$$\frac{1.5d}{T^2} = E \cdot \frac{q}{m} = Ef$$

$$E = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2}$$

$$\frac{1.5d}{T^2} = f \frac{Q}{4\pi\epsilon_0}$$

$$Q = \frac{1.55\epsilon_0 d}{f T^2}$$

3.)

$$\frac{mv_1^2}{2} + W_1 = \frac{mv_2^2}{2} + 0$$

$$W_1 =$$

Ответ: 1.) $\frac{1.5d}{T}$ 2.) $Q = \frac{1.55\epsilon_0 d}{f T^2}$

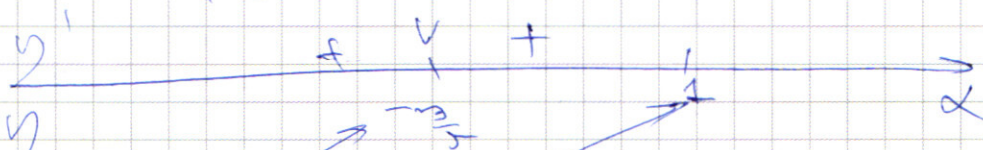
$$Q_{\text{max}} = \frac{LRT}{2} (x-1)(5x+3)$$

А так работу можно вычислить, как площадь под графиком

$$= \frac{(p-p_0)(V-V_0)}{2} = \frac{LRT}{2} p_0 \frac{(x-1)^2}{2} = \frac{LRT}{2} (x-1)^2$$

$$\eta = \frac{(x-1)^2}{(x-1)(5x+3)} = \frac{x-1}{5x+3} \quad \eta' = \frac{(5x+3) - 5(x-1)}{(5x+3)^2} =$$

$$= \frac{8}{(5x+3)^2} = \frac{8}{25(x+\frac{3}{5})^2}$$



сх рисунка видно $x \rightarrow 0 \Rightarrow \eta \rightarrow 0$ $x \rightarrow \infty \Rightarrow \eta \rightarrow 100\%$

Ответ: $\frac{c_2}{c_1} = \frac{5}{3} \Rightarrow \frac{5}{2} \quad 3) \quad \eta_{\text{max}} = 100\%$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Дано:

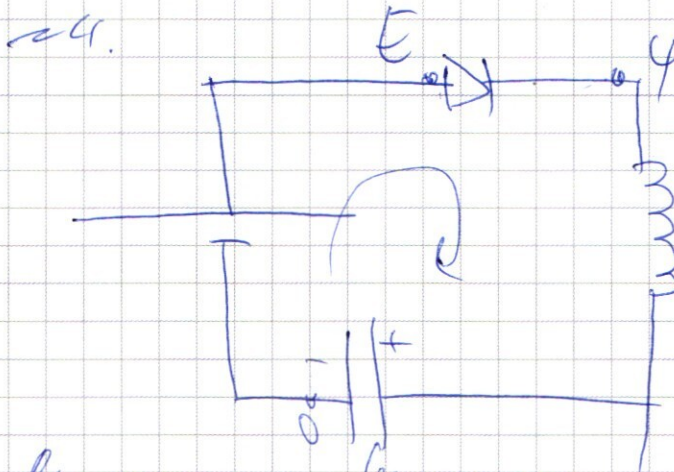
$$E = 8 \text{ В}$$

$$C = 40 \text{ мкФ}$$

$$U_1 = 5 \text{ В}$$

$$U_0 = 1 \text{ В}$$

$$L = 0,1 \text{ Гн}$$



по закону Кирхгофа

$$E - L \dot{I} - U_C = 0$$

В начальный момент времени

$$U_C = U_1$$

$$I^* = \frac{E - U_1}{L} = \frac{8 - 5}{0,1 \text{ Гн}} = 30 \frac{\text{А}}{\text{с}}$$

1) Сразу после замыкания ключа ток в цепи начнет возрастать, напряжение на конденсаторе тоже будет возрастать

2) Ток будет максимальным, когда

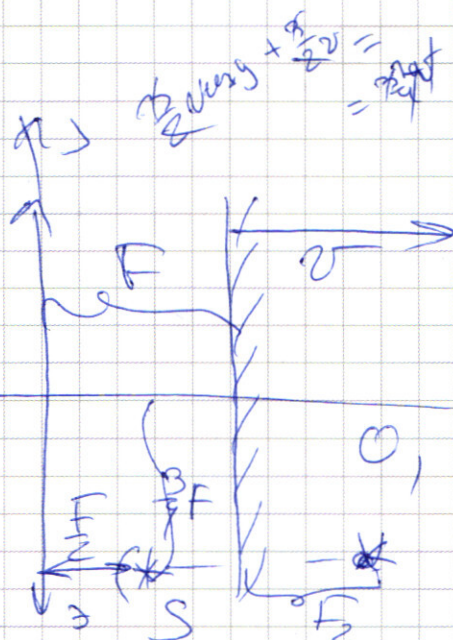
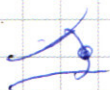
$$E - U = U_0$$

Ответ: $30 \frac{\text{А}}{\text{с}}$

с5.

Дано:

1.)



От зеркала источник находится на расстоянии

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

тогда изображение в зеркале будет находится на расстоянии

$$d = F + \frac{F}{2} = \frac{3}{2} F$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{\frac{3}{2} F} + \frac{1}{F} \quad \frac{1}{f} = \frac{1}{F} - \frac{2}{3F} = \frac{1}{3F} \quad f = 3F$$

3F - на таком расстоянии наблюдатель увидит четкий

2) Если скорость зеркала v, то скорость изображения в зеркале

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

$$0 = -\frac{d}{d^2} - \frac{1}{f^2}$$

По оси x в начальной моменте скорость изображения

$$\frac{v}{d^2} = \frac{v_{\text{изх}}}{f^2} \quad v_{\text{изх}} = \frac{f^2}{d^2} v \rightarrow$$

$$\frac{h_1}{h_2} = \frac{d}{f} \quad h_1 f = d h_2 \quad \left(\frac{3F}{\frac{3}{2}F} \right)^2 v = 4v$$

$$\frac{h_2}{\frac{3}{2}F} = \frac{3F}{\frac{3}{2}F} = 2 \quad h_2 = \frac{3}{2}F$$

то в начальной моменте

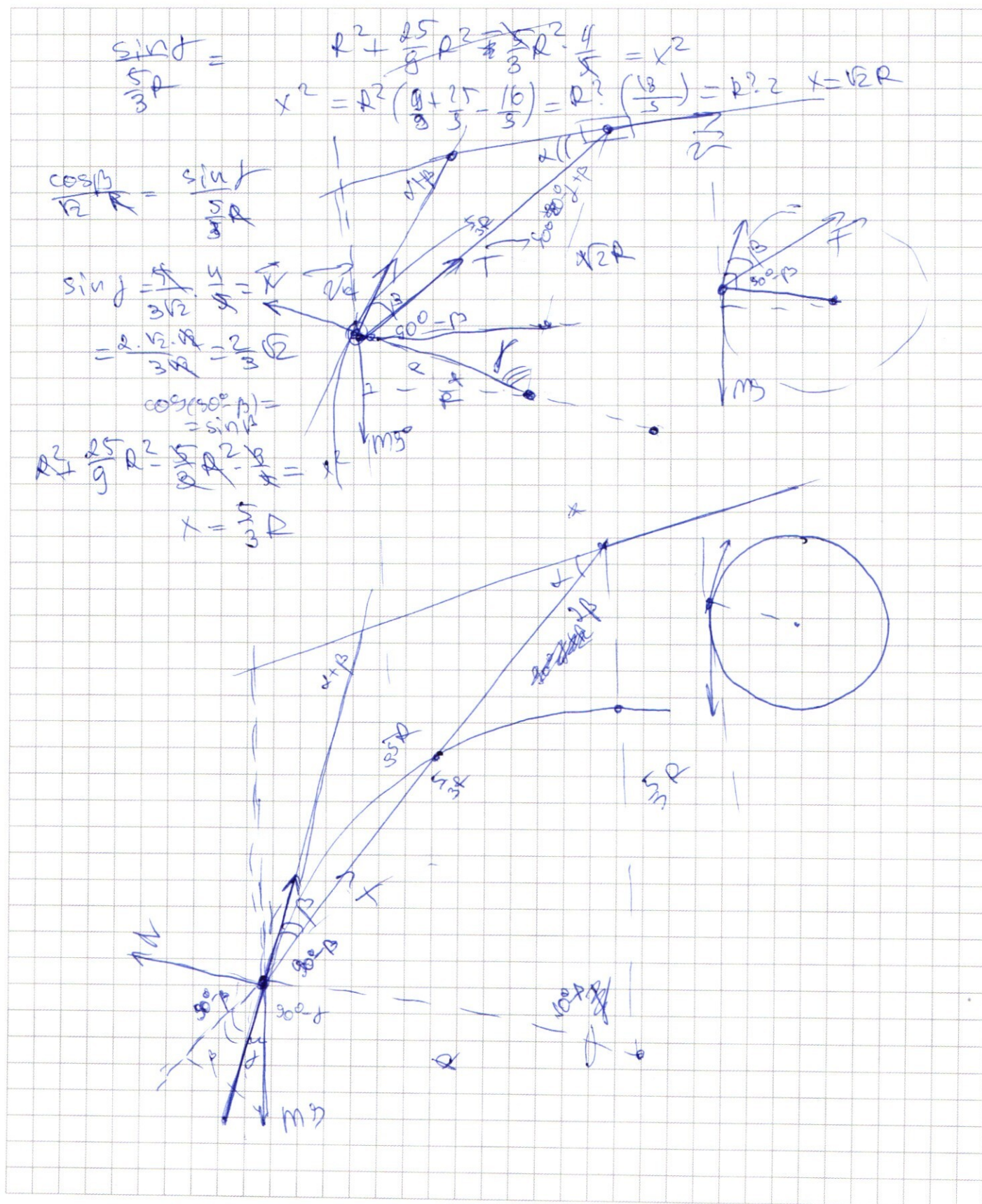
$$\frac{3}{4} F \cdot 8v = v \cdot \frac{3}{2} F + \frac{3}{2} F v$$

$$\frac{3}{2} v_{\text{изх}} + \frac{3}{2} v = \frac{3}{2} 2v \quad v_{\text{изх}} = v$$

$$v_{\text{изх}} = \sqrt{16v^2 + v^2} = \sqrt{17} v$$

Answer: 1) $f = 3F$ 2) $k = \frac{1}{4}$ 3) $\sqrt{17} v$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Handwritten calculations and diagrams on grid paper.

Arithmetic:

$$\begin{array}{r} 68 \\ 68 \\ \hline 594 \\ 408 \\ \hline 4624 \\ 5525 \\ \hline 10148 \\ 4320 \\ \hline 5828 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 75 \\ 75 \\ \hline 325 \\ 525 \\ \hline 5825 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 4624 \\ 5625 \\ \hline 10249 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 120 \\ 36 \\ \hline 120 \\ 36 \\ \hline 4320 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 23 \\ 23 \\ \hline 218 \\ 514 \\ \hline 23 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 27 \\ 27 \\ \hline 539 \\ 539 \\ \hline 5329 \end{array}$$

Formulas and Calculations:

$$48+6=54$$

$$v_{\text{отн}}^2 = v_k^2 + v^2$$

$$v_{\text{отн}}^2 = (v_k \cos \alpha \cos \beta - v \sin \alpha \sin \beta)^2$$

$$= 68^2 + 75^2 - 2 \cdot 68 \cdot 75 \cdot \cos \alpha \cos \beta = 68^2 + 75^2 - 8 \cdot 15 \cdot 36 = 5929 = 77^2$$

$$v_{\text{отн}} = 77 \text{ cm/s}$$

$$a_y = \frac{v_k^2}{R} =$$

$$m a_y = T \sin \beta - N$$

Diagram:

Дано:

$$v = 68 \text{ см/с}$$

$m = 0,1 \text{ кг}$ — масса кольца

$$R = 1,9 \text{ м}$$

$$l = \frac{5R}{3}$$

$$\cos \alpha = \frac{15}{17}$$

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

$$\cos \beta = \frac{4}{5}$$

$$\sin \beta = \sqrt{1 - \frac{16}{25}} = \frac{3}{5}$$

по условию скорости муфты и кольца на нее равны

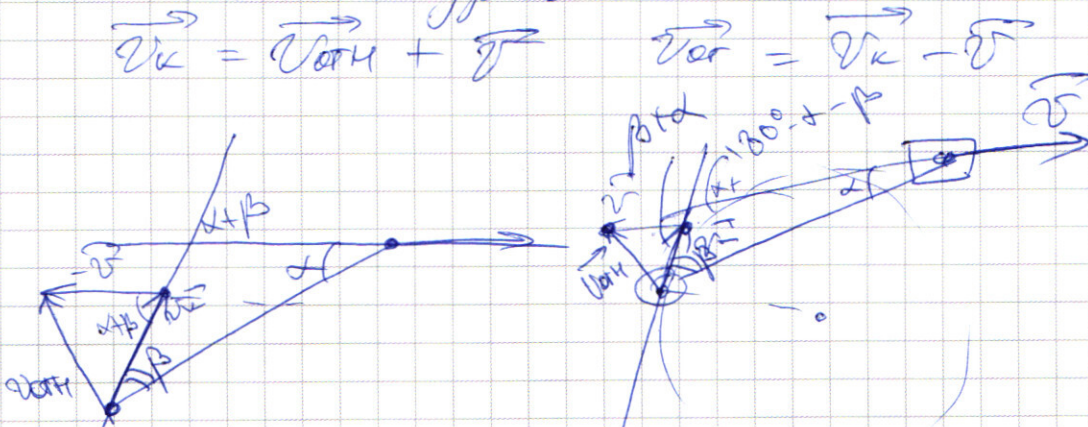
$$v \cos \alpha = v_k \cos \beta \quad v_k - \text{скорость кольца}$$

$$1.) \quad v_k = \frac{v \cos \alpha}{\cos \beta} = \frac{68 \frac{\text{см}}{\text{с}} \cdot \frac{15}{17}}{\frac{4}{5}} = 5 \cdot 15 \frac{\text{см}}{\text{с}} = 75 \text{ см/с}$$

2.) $v_{\text{отн}}$ — скорость кольца относительно муфты

$$\vec{v}_k = \vec{v}_{\text{отн}} + \vec{v}$$

$$\vec{v}_{\text{отн}} = \vec{v}_k - \vec{v}$$



$$v_{\text{отн}}^2 = v_k^2 + v^2 - 2 v_k v \cos(\alpha + \beta)$$

$$= v_k^2 + v^2 - 2 v_k v (\cos \alpha \cos \beta - \sin \alpha \sin \beta) =$$

$$= v_k^2 + v^2 - 2 \left(\frac{15}{17} \cdot \frac{4}{5} - \frac{8}{17} \cdot \frac{3}{5} \right) v_k v =$$

$$= 75^2 + 68^2 - 2 \cdot 75 \cdot 68 \cdot 2 \cdot \left(\frac{60 - 24}{85} \right) =$$

$$= 75^2 + 68^2 - 2 \cdot 75 \cdot 68 \cdot 2 \cdot \frac{36}{85} = 8537$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

22.

1.) $\frac{C_{12}}{C_{23}} = ?$ $T_1 = T_2 = T$

$Q_{23} = \frac{5}{2} L R T (\alpha^2 - 1)$

$Q_{12} = \frac{3}{2} L R (T_2 - T_1)$

$C_{\psi \Delta T} = \frac{5}{2} L R \Delta T$

$C_{23} = \frac{5}{2} L R$

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

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

2.) $Q_{23} = \frac{5}{2} L R (\alpha^2 T - \alpha T) = \frac{5}{2} L R T (\alpha^2 - 1)$

$A = \frac{p(\alpha-1) \cdot V(\alpha-1)}{2} = \frac{L R T (\alpha-1)^2}{2}$

$A_{23} = L R (\alpha^2 - 1) T$

3.) $\eta_{\max} = ?$

$\eta = \frac{A}{Q_{23}}$

$Q_{\text{пол}} = Q_{12} + Q_{23} = \frac{3}{2} L R T (\alpha - 1) + \frac{5}{2} L R T (\alpha^2 - 1)$

$A = \frac{L R T (\alpha-1)^2}{2}$

$\eta = \frac{A}{Q_{\text{пол}}} = \frac{\frac{L R T (\alpha-1)^2}{2}}{\frac{3}{2} L R T (\alpha - 1) + \frac{5}{2} L R T (\alpha^2 - 1)}$

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

$\eta = \frac{(\alpha-1)^2}{5\alpha^2 - 2\alpha - 2}$

$\eta' = \frac{2(\alpha-1)(1-\alpha)}{10\alpha - 2} = \frac{2(\alpha-1)(1-\alpha)}{2(5\alpha-1)}$

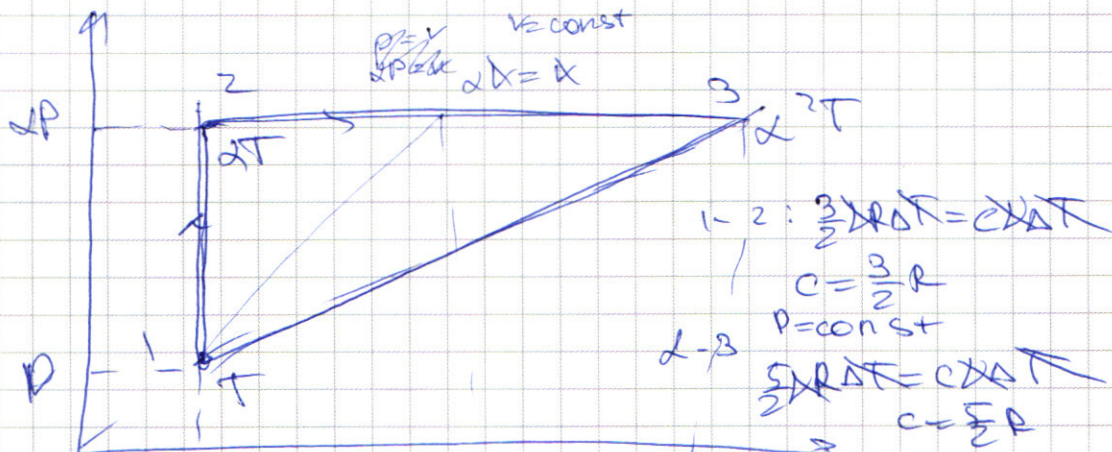
$\eta' = \frac{(\alpha-1)(1-\alpha)}{5\alpha-1}$

$\eta' = \frac{-(\alpha-1)^2}{5\alpha-1}$

$\eta' = 0 \Rightarrow \alpha = 1$

$\eta = \frac{0}{5 \cdot 1 - 1} = 0$

$\eta = \frac{0}{4} = 0$



2.) $\frac{Q_{23}}{A_{23}} = ?$

$Q_{23} =$

$$= \frac{5}{2} \nu R \frac{3}{2} \nu R (T_3 - T_2) + \nu R (T_3 - T_2) = \frac{5}{2} \nu R (\alpha^2 T - T) = \frac{5}{2} \nu R \alpha T (\alpha - 1)$$

$$A_{23} = \nu R \Delta T = \nu R \alpha T (\alpha - 1)$$

3.) $\eta = \frac{A}{Q_{non}} = \frac{A}{Q_{12} + Q_{23}}$

$$\eta = \frac{\frac{\nu R T}{2} (\alpha - 1)^2}{Q_{12} + Q_{23}} =$$

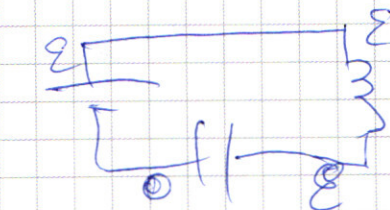
$$= \frac{\frac{\nu R T}{2} (\alpha - 1)^2}{\frac{5}{2} \nu R \alpha T (\alpha - 1) + \frac{3}{2} \nu R T (\alpha - 1)} = \frac{\alpha - 1}{5\alpha + 3}$$

$$\frac{5}{2} \nu R \alpha T (\alpha - 1) + \frac{3}{2} \nu R T (\alpha - 1)$$

$$\eta' = \frac{5\alpha + 3 - 5(\alpha - 1)}{(5\alpha + 3)^2} = \frac{8}{(5\alpha + 3)^2}$$

определяют среднюю температуру $V = \text{const}$ и $\alpha V = V$ если $\alpha > 1$ то $\alpha > 1$ т.к. $\alpha V > V$

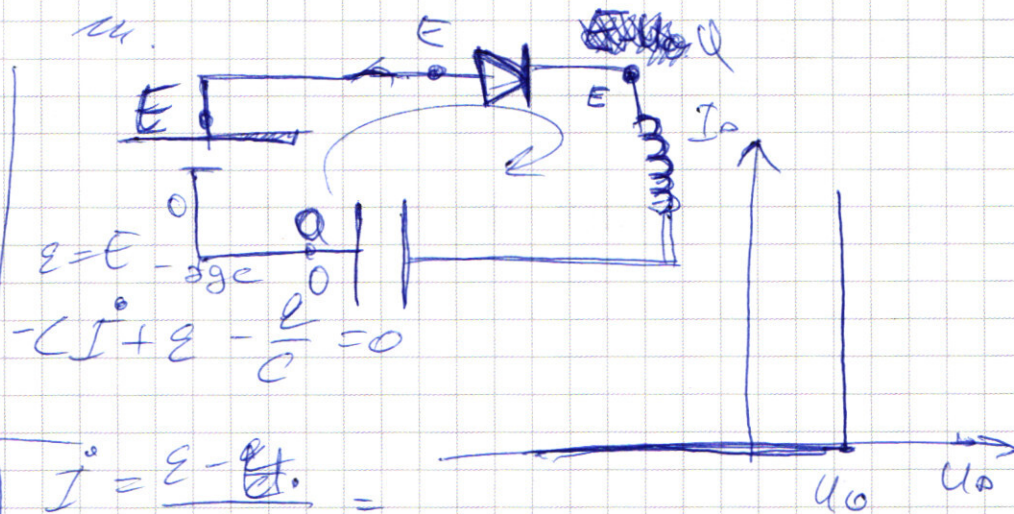
и при этом среднее давление растет, так как увеличивается давление



ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

[illegible]

Дано:
 $E = 9 \text{ В}$
 $C = 40 \text{ мкФ}$
 $U_1 = 5 \text{ В}$
 $L = 0,1 \text{ Гн}$
 $U_0 = 1 \text{ В}$



$$\varepsilon = E - \frac{q}{C}$$

$$-LI' + \varepsilon - \frac{q}{C} = 0$$

$I' = ?$

$$I' = \frac{\varepsilon - \frac{q}{C}}{L} =$$

$$= \frac{9 \text{ В} - \frac{40 \text{ мкФ} \cdot 5 \text{ В}}{1 \text{ Гн}}}{0,1 \text{ Гн}} = \frac{4 \text{ В}}{0,1 \text{ Гн}} = 40 \frac{\text{А}}{\text{с}}$$

2.) После замыкания ключа конденсатор начнет заряжаться до U_0 и будет заряжаться до того момента, пока напряжение на диоде не станет равным U_0 . В этот момент ток в начальном направлении течения прекратится.

Значит непосредственно в этот момент ток в катушке будет максимальным.