

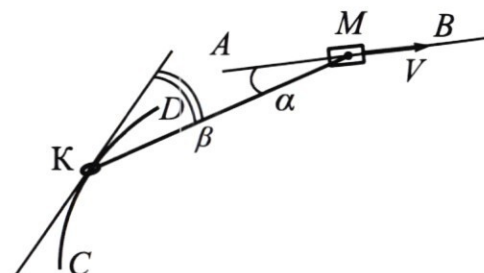
Олимпиада «Физтех» по физике, 1

Вариант 11-03

Класс 11

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

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.

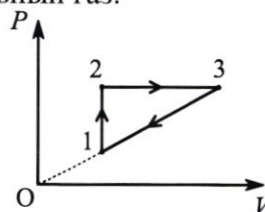
3) Найти силу натяжения нити в этот момент.

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?

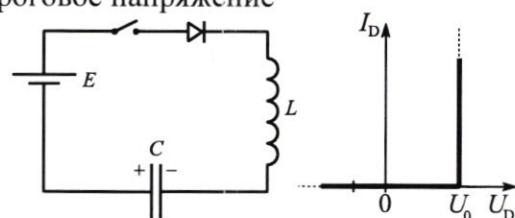
При движении частицы электрическое поле, созданное зарядами конденсатора, считать неизменным, а электрическое поле внутри конденсатора вблизи оси симметрии считать однородным.

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.

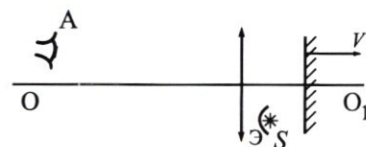


5. Оптическая система состоит из тонкой линзы с фокусным расстоянием F , плоского зеркала и небольшого экрана Э, расположенного так, что свет от источника S может попасть на линзу только после отражения от зеркала (см. рис.). Зеркало расположено перпендикулярно главной оптической оси OO_1 линзы. Источник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

№ 1

- 1) Прямую нить имеет постоянную длину, скорость её концов в проекции на неё одинакова:

$$V \cos \alpha = V_k \cos \beta \Rightarrow V_k = \frac{V \cos \alpha}{\cos \beta} = \frac{34 \frac{\text{см}}{\text{с}} \cdot \frac{15}{17}}{\frac{3}{5}} = 50 \frac{\text{см}}{\text{с}},$$

где V_k - скорость кольца.

- 2) $\vec{V}_{\text{отн.}} = \vec{V}_k - \vec{V}$, где $V_{\text{отн.}}$ - скорость кольца относительно нити.

Из геометрии рисунка, по теореме косинусов:

$$\begin{aligned} V_{\text{отн.}}^2 &= V^2 + V_k^2 - 2V \cdot V_k \cos(\alpha + \beta) = V^2 + V_k^2 - 2VV_k(\cos \alpha \cos \beta - \\ &- \sin \alpha \sin \beta) = (34 \frac{\text{см}}{\text{с}})^2 + (50 \frac{\text{см}}{\text{с}})^2 - 2 \cdot 34 \frac{\text{см}}{\text{с}} \cdot 50 \frac{\text{см}}{\text{с}} \cdot (\frac{15}{17} \cdot \frac{3}{5} - \\ &- \frac{4}{17} \cdot \frac{4}{5}) = 3736 \frac{\text{см}^2}{\text{с}^2} \Rightarrow V_{\text{отн.}} = 56 \frac{\text{см}}{\text{с}} \end{aligned}$$

- 3) По второму закону Ньютона: $\frac{m V_k^2}{R} = T \sin \beta \Rightarrow T = \frac{m V_k^2}{R \sin \beta} =$
 $= \frac{0,3 \text{ кг} \cdot (50 \frac{\text{см}}{\text{с}})^2}{0,53 \text{ м} \cdot \frac{4}{5}} =$

1) По уравнению Менделеева - Клапейрона: $pV = \nu RT$, поэтому
 количество молекул газа вычислим по уравнению
 $1 \rightarrow 2$; $2 \rightarrow 3$.

$$1 \rightarrow 2: Q = \Delta U + A = \Delta U = 1,5 \nu R \Delta T_{12} \Rightarrow c = \frac{Q_{12}}{\nu \Delta T_{12}} = 1,5 R$$

$$2 \rightarrow 3: Q = \Delta U + A = 1,5 \nu R \Delta T_{23} + p_2 (V_3 - V_2) = 1,5 \nu R \Delta T_{23} + \nu R \Delta T_{23} = 2,5 \nu R \Delta T_{23} \Rightarrow c = \frac{Q_{23}}{\nu \Delta T_{23}} = 2,5 R$$

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

2) Изобарный процесс - $2 \rightarrow 3$: $\Delta U = 1,5 \nu R \Delta T_{23}$;

$$A = p_2 (V_3 - V_2) = p_2 V_3 - p_2 V_2 = p_2 V_3 - p_2 V_2 = \nu R (T_3 - T_2) = \nu R \Delta T_{23}$$

$$\frac{\Delta U_{23}}{A_{23}} = \frac{1,5 \nu R \Delta T_{23}}{\nu R \Delta T_{23}} = 1,5$$

3) Работу газа в цикле можно посчитать, как площадь
 фигурирующая на графике $p(V)$: $A = \frac{(p_2 - p_1)(V_3 - V_2)}{2} =$

$$= p_2 V_3 - p_1 V_3 - p_2 V_2 + p_1 V_2 = -p_3 V_1 - p_1 V_3 + p_3 V_3 + p_1 V_1 = p_3 V_3 + p_1 V_1 - 2 p_2 V_2$$

(так как $\frac{p_1}{V_1} = \frac{p_3}{V_3}$)

$$Q = Q_{12} + Q_{23} = 1,5 (p_2 - p_1) V_1 + 2,5 p_2 (V_3 - V_2) = 1,5 \nu R (T_2 - T_1) + 2,5 \nu R (T_3 - T_2)$$

$$A = \nu R T_3 + \nu R T_1 - 2 \nu R T_2$$

$$A = \frac{(p_2 - p_1)(V_3 - V_2)}{2} = p_3 V_3 + p_1 V_1 - 2 p_2 V_2; Q = -1,5 \nu R T_1 + 2,5 \nu R T_3 -$$

$$- \nu R T_2 = -1,5 p_1 V_1 + 2,5 p_3 V_3 - p_2 V_2; \text{ пусть } k = \frac{T_2}{T_3} = \frac{V_2}{V_3} = \frac{p_1}{p_2},$$

$$\text{тогда } \eta = \left(\frac{A}{Q} \right) = \left(\frac{k^2 - 2k + 1}{-1,5k^2 - k + 2,5} \right) = 0 = 1$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№ 3

1) По второму закону Ньютона: $E|q| = ma \Rightarrow a = Ex$

$$\text{Потенциал } q, 7d = \frac{v_1^2}{2a} = \frac{v_1^2}{2Ex} \Rightarrow E = \frac{v_1^2}{2,4 \gamma d}$$

$$q, 2d = \frac{aT^2}{2} = \frac{v_1^2 T^2}{2,8 d} \Rightarrow T = \frac{\sqrt{0,56 d}}{v_1}$$

2)

1) Сразу после замыкания ключа по цепи будет протекать ток I' , тогда: $\varepsilon + U_1 - LI' = U_0 \Rightarrow I' = \frac{\varepsilon + U_1 - U_0}{L}$
 $= \frac{6\text{ В} + 2\text{ В} - 7\text{ В}}{0,1\text{ мГн}} = 70 \frac{\text{В}}{\text{с}}$

2) При максимальном токе $I' = 0$, на конденсаторе установится напряжение U , тогда: $\varepsilon + U = U_0 \Rightarrow U = U_0 - \varepsilon =$
 $= 7\text{ В} - 6\text{ В} = 1\text{ В}$

По закону сохранения энергии: $\varepsilon(U_1 C - U C) + \frac{U_1^2 C}{2} =$

$= \frac{U^2 C}{2} + \frac{LI'^2}{2} \Rightarrow I_m = \sqrt{\frac{C}{L} (2\varepsilon(U_1 - U) + U_1^2 - U^2)} = \sqrt{\frac{40 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}}{0,1 \text{ мГн}}} \times$

$\times (2 \cdot 6\text{ В} (2\text{ В} + 1\text{ В}) + (2\text{ В})^2 - (1\text{ В})^2) = 0,06\sqrt{7} \text{ А}$

3) В установившемся режиме ток в цепи не будет, по закону сохранения энергии: $\varepsilon(U_1 C - U_2 C) + \frac{U_1^2 C}{2} =$

$= \frac{U_2^2 C}{2} \Rightarrow U_1^2 C + 2\varepsilon U_1 C - 2\varepsilon U_2 C - U_2^2 C = 0 \Rightarrow U_2^2 + 2\varepsilon U_2 - 2\varepsilon U_1 - U_1^2 = 0 \Rightarrow$

$\Leftrightarrow U_2^2 + 72 U_2 - 28 = 0 \Rightarrow \begin{cases} U_2 = -74\text{ В} \\ U_2 = 2\text{ В} \end{cases} \Rightarrow U_2 = -74\text{ В}$

Ответ: 1) $I' = 70 \frac{\text{В}}{\text{с}}$; 2) $I_m = 0,06\sqrt{7} \text{ А}$; 3) $U_2 = -74\text{ В}$.

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№ 5

1) Изображение источника в зеркале будет находиться на расстоянии d от плоскости mirrors: $d = \frac{F}{4} + 2 \cdot \frac{2F}{4} = \frac{5F}{4}$

По формуле тонкой линзы: $\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f} \Rightarrow \frac{1}{f} = \frac{1}{F} - \frac{4}{5F} \Rightarrow$

$\Rightarrow f = 5F$, где f - расстояние от плоскости mirrors изображения в системе.

2) Изображение источника в зеркале движется со скоростью $2V$ вдоль оси OO_1 ,

поэтому изображение в системе движется со скоростью

$V_x = \Gamma^2 \cdot 2V = \left(\frac{f}{d}\right)^2 \cdot 2V = 32V$ вдоль оси OO_1 ; и со

скоростью $V_y = \left(\Gamma \cdot \frac{3F}{4}\right)^2 = \frac{3F}{4} \cdot \Gamma' = \frac{3F}{4} \cdot \left|\frac{f}{d}\right|' = \frac{3F}{4} \cdot \frac{f' \cdot d - d' \cdot f}{d^2} =$

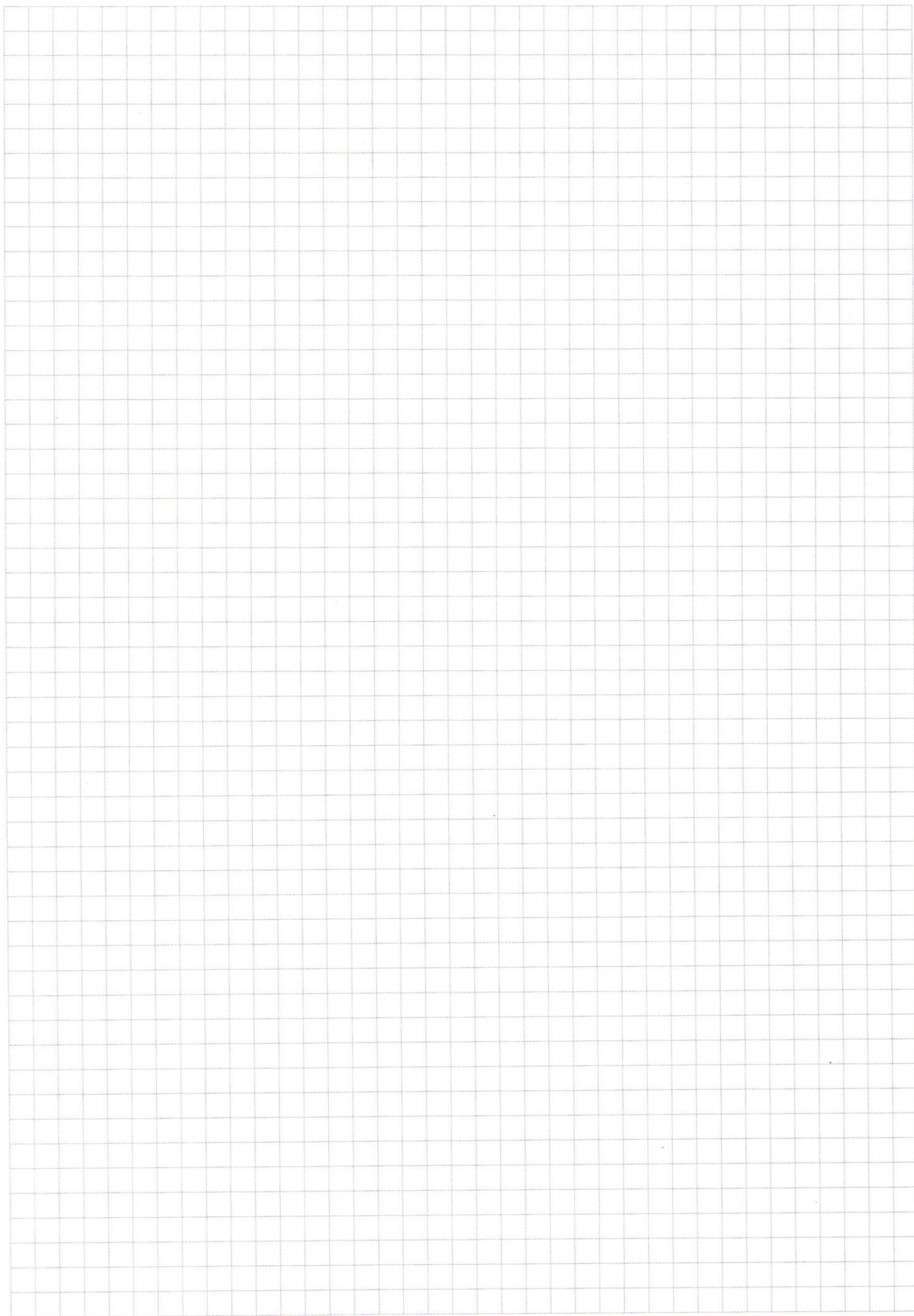
$= \frac{3F}{4} \cdot \frac{-32V \cdot d - 2V \cdot f}{d^2} = \frac{3F}{4} \cdot \frac{-32V \cdot \frac{5F}{4} - 2V \cdot 5F}{\left(\frac{5F}{4}\right)^2} = -24V$

перпендикулярно оси OO_1 ,

$\tan \alpha = \frac{|V_y|}{|V_x|} = \frac{24V}{32V} = \frac{3}{4}$

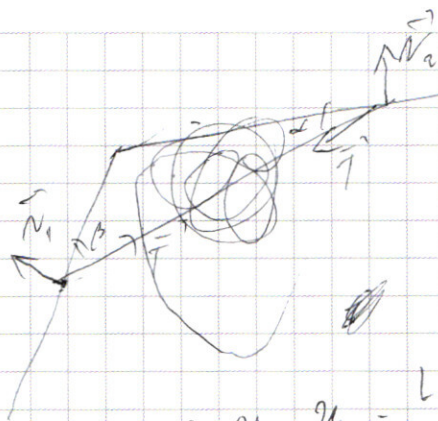
3) $V_n = \sqrt{V_x^2 + V_y^2} = \sqrt{(32V)^2 + (24V)^2} = 40V$

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



ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$\begin{aligned}
 & -3k^2 - 2k \\
 & -1 - 3k - 2,5 = 0 \\
 & -7,5k - 2,5 = 0 \\
 & -7,5(k^2 + \frac{2}{3}k + \frac{5}{3}) = -7,5 \\
 & -7,5(k-1)(k + \frac{5}{3})(2k-2) + (3k+1)(k-1)^2 = \\
 & p = (\frac{2}{3})^2 - 4 \cdot 7 \cdot (-\frac{5}{3}) = \frac{4}{9} + \frac{20}{3} = \frac{4+60}{9} = \frac{64}{9} \\
 & k = -\frac{2}{3} \pm \frac{8}{3} = \frac{6}{3} = 2 \\
 & = -3(k-1)(k + \frac{5}{3}) + (3k+1)(k-1)^2 = 0 \\
 & (k-1)^2(-3k-5) + 3k+1 = 0 \\
 & \frac{k-1}{-7,5k-2,5} = \frac{(k-1) \cdot (-7,5k-2,5)}{(-7,5k-2,5) \cdot (k-1)} = \\
 & \frac{(k-1) \cdot (-7,5k-2,5) + 7,5k-7,5}{-7,5(k-1)(k + \frac{5}{3}) - 7,5(k + \frac{5}{3})(7,5k-2,5)} = \\
 & \frac{-7,5(k + \frac{5}{3}) - (-7,5) \cdot (k-1)}{(-7,5k-2,5)^2} = \\
 & \frac{-7,5k - 12,5 + 7,5k + 7,5}{(-7,5k-2,5)^2} = \frac{-5}{(-7,5k-2,5)^2} \\
 & \frac{2(-7,5k-2,5) \cdot -7,5}{-7,5(k-1)^2} = \frac{15}{k-1} \\
 & \frac{15}{k-1} = \frac{15}{k-1} \\
 & \frac{15}{k-1} = \frac{15}{k-1}
 \end{aligned}$$



~~Рис~~

$$E + u - u_0 - LI = 0 \Rightarrow LI = E + u - u_0 \quad C = \frac{E E_0 S}{d}$$

$$a(u_1 C - u_2 C) + \frac{u_1^2 C}{2} = \frac{u_2^2 C}{2} \Rightarrow \pm x = u = \frac{q}{C} = \frac{q d}{E E_0 S} \quad 14$$

$$2E(u_1 - u_2) + u_1^2 = u_2^2$$

$$72(2 - u_2) + 4 = u_2^2 \Rightarrow u_2^2 + 72u_2 - 140 = 0 \Rightarrow$$

$$E = \frac{q}{E E_0 S}$$

$$E d = m a \Rightarrow I_y = a$$

$$2,8 \cdot 0,2 = 0,56$$

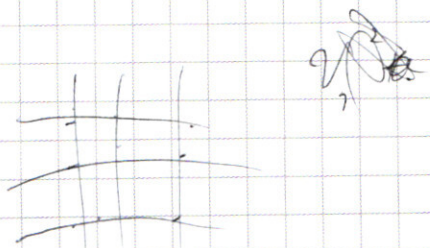
$$\sqrt{I_y^2 T^2} = 0,56 \cdot 2$$

$$q = \frac{v^2}{2a}$$

$$0,2 d = \frac{a T^2}{2}$$

$$u T = \sqrt{0,56 d}$$

$$0,56 = 0,2 \cdot 0,8 = \sqrt{4 \cdot 0,08} =$$



$$\frac{0,3 \cdot 0,25 \cdot 5}{0,53 \cdot 4} = \frac{3}{5,3} \cdot \frac{1,25}{4} = \frac{3 \cdot 12,5}{53 \cdot 4} = \frac{37,5}{53 \cdot 4}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$1,5 p_2 V_1 - 1,5 p_1 V_2 + 2,5 p_2 V_3 - 2,5 p_1 V_2 =$$

$$V \cos \alpha = V_k \cos \beta = 7 V_k = \frac{V \cos \alpha}{\cos \beta} = \frac{34 \frac{\text{cm}}{\text{s}}}{\frac{75}{77} \cdot \frac{5}{3}} = 50 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$$

$$p_2 V_2 = p_3 V_3$$

$$p_2 V_2 = p_3 V_3$$

$$p_2 V_2 = p_3 V_3$$

$$p_2 (V_3 - V_2) + 5 \sin \beta = \frac{4}{5}$$

$$V_{\text{вспл.}} = V^2 + V_k^2 - 2 V V_k \cos(\alpha + \beta) = 34^2 + 50^2 - 2 \cdot 34 \cdot 50 \cdot (\cos \alpha \cos \beta - \sin \alpha \sin \beta) = 34^2 + 50^2 - 2 \cdot 34 \cdot 50 \cdot \left(\frac{75}{77} \cdot \frac{3}{5} - \frac{8}{77} \cdot \frac{4}{5} \right) = 34^2 + 50^2 - 2 \cdot 34 \cdot 50 \cdot \frac{13}{77 \cdot 5} = 34^2 + 50^2 - 40 \cdot 73 = 7756 + 2500 - 520 = 7756 + 1980 = 2000 + 7736 = 3736$$

$$\frac{p_1}{V_1} = \frac{p_2}{V_2} = 1$$

$$n = \frac{T_3 + T_1 - 2 T_2}{T_3 T_1 - T_2^2} = \frac{137 - 15 T_1 - T_2^2}{R \sin \beta} = \frac{0,3 \cdot 0,5^2}{0,53 \cdot \frac{4}{5}} = \frac{0,075}{0,424} = 0,177$$

$$(50 + 3)^2 = 50^2 + 3^2 + 700 \cdot 3 = 50^2 + 3^2 + 700 \cdot 5$$

$$(56)^2 = (50 + 6)^2 = 50^2 + 6^2 + 700 \cdot 6 = 3736$$

$$\eta = \frac{(2k - 2) / (-75k^2 k + 2,5) - (-3k - 7) / (k^2 - 2k + 7)}{1}$$

$$\frac{T_2}{T_3} = k^2, \quad T_1 = k^2 T_3, \quad T_2 = k T_3$$

$$\left(\frac{T_2}{T_3}\right)^2 = \frac{T_1}{T_3} = 1, \quad \frac{T_2^2}{T_3^2} = \frac{T_1}{T_3} \Rightarrow$$

$$7) \quad \varepsilon + u_1 - u_0 = \frac{L \delta I}{\delta t} \Rightarrow L I = \varepsilon + u_1 - u_0 \Rightarrow I = \frac{\varepsilon + u_1 - u_0}{L}$$

$$L I = 0 \Rightarrow \varepsilon + u - u_0 = 0 \Rightarrow u = u_0 - \varepsilon$$

$$\Rightarrow \frac{T_2^2}{T_3^2} = T_1 \Rightarrow \frac{T_2^2}{T_3^2} = \frac{T_1}{T_3}$$

$$\eta = \frac{u_1}{u} = \frac{u^2}{2} \cdot \frac{1}{T_3} \cdot k^2 = k^2 \frac{u^2}{2 T_3}$$

$$c = \frac{q}{n} \quad \eta = \frac{A}{\theta} = \frac{T_1}{T_3}$$

$$\frac{L I^2}{2} = C \left(\varepsilon (u_1 - u) + \frac{u_1^2}{2} - \frac{u^2}{2} \right) \Rightarrow I^2 = \frac{2C}{L} \left(\varepsilon \right)$$

$$I^2 = I = \sqrt{\frac{2C}{L} (2\varepsilon(u_1 - u) + u_1^2 - u^2)}$$

$$= \sqrt{R(T_3 + T_1 - 2T_2)}$$

70-6

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f} \Rightarrow \frac{1}{d^2} = \frac{1}{f^2} \Rightarrow \frac{F}{d^2} = \frac{1}{f^2} \Rightarrow F = \frac{d^2}{f^2}$$

$$72 \cdot 4 = 284 \quad A = 7,5 \sqrt{R(T_2 - T_1)} + \dots$$

$$84 + 4 - 25 = 88 - 25 = 63$$

$$\sqrt{R(-7,5 T_2 + 2,5 T_3 - T_2)}$$

$$\frac{P_1}{V_1} = \frac{P_2}{V_2} = \frac{P_3}{V_3} \Rightarrow P_1 V_3 = P_3 V_1$$

$$63 \cdot 40 \cdot 70 = 70 \cdot \sqrt{63 \cdot 4 \cdot 70} = 2 \cdot 70 \sqrt{63} =$$

$$\eta = \frac{T_3 + T_1 - 2T_2}{-7,5 T_2 + 2,5 T_3 - T_2}$$

$$H = T \cdot h \Rightarrow H = h \cdot F \Rightarrow h \cdot \left(\frac{f}{d}\right) = h$$

$$A = \frac{(P_2 - P_1)(V_3 - V_2)}{2} = \frac{15k^2 + 25 - k}{2}$$

$$P_2 V_2 = \frac{5F}{4} = 4 \quad \left(\frac{V_2}{T_2}\right)^2 = \frac{T_1}{T_3}$$

$$P_3 V_3 = \frac{5F}{4} \quad P_2 = P_3 \quad \frac{3F}{4}$$

$$\frac{V_2}{V_3} = \frac{T_2}{T_3} \quad A = V_2 = V_1$$

$$\frac{3F}{4} = 32V$$

$$P_1 V_1 = \frac{5F}{4}$$

$$P_3 V_3 = \frac{5F}{4} \quad P_2 V_2 = \frac{5F}{4}$$

$$- \frac{3F}{4} = \left(\frac{32V}{\frac{5F}{4}} + \frac{2V}{\frac{5F}{4}} - 4 \right) = - \frac{3}{4} \cdot \frac{40V}{\left(\frac{5}{4}\right)} = - \frac{3 \cdot 40V}{5} = -24V$$

$$\left(\frac{f}{d}\right)^2 = \frac{f \cdot d - d^2 - f^2}{d^2}$$

$$= \frac{P_2 V_3 + P_1 V_2 - P_2 V_2 - P_1 V_3}{2}$$

$$= \frac{P_3 V_3 + P_1 V_1 - P_3 V_2 - P_1 V_3}{2}$$

$$= \frac{3 \cdot 40V}{5} = 24V$$