

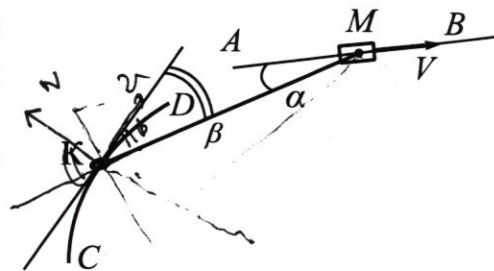
Олимпиада «Физтех» по физике, ф

Класс 11

Вариант 11-03

Бланк задания обязательно должен быть вложен в работу. Работы без вложенного задания не проверяются.

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.



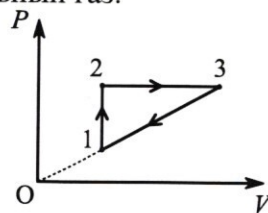
- 1) Найти скорость кольца в этот момент.
- 2) Найти скорость кольца относительно муфты в этот момент.
- 3) Найти силу натяжения нити в этот момент.

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?

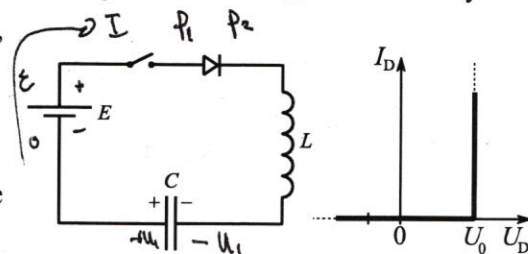
При движении частицы электрическое поле, созданное зарядами конденсатора, считать неизменным, а электрическое поле внутри конденсатора вблизи оси симметрии считать однородным.

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.

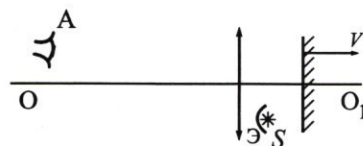


5. Оптическая система состоит из тонкой линзы с фокусным расстоянием F , плоского зеркала и небольшого экрана Э, расположенного так, что свет от источника S может попасть на линзу только после отражения от зеркала (см. рис.). Зеркало расположено перпендикулярно главной оптической оси OO_1 линзы. Источник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

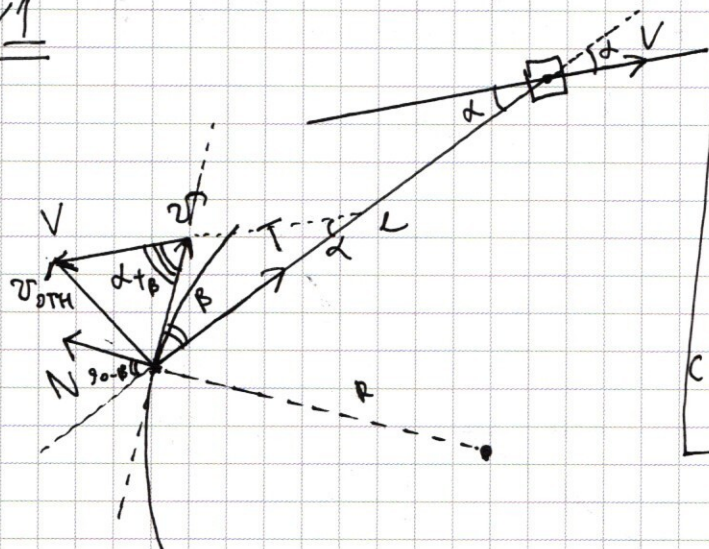
2) Под каким углом α к оси OO_1 движется изображение в этот момент? (Найти значение любой тригонометрической функции угла.)

3) Найти скорость изображения в этот момент.



ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№1



$$V = 34 \text{ м/с}$$

$$m = 0,3 \text{ кг}$$

$$R = 0,53 \text{ м}$$

$$l = \frac{5R}{4}$$

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

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

1) Так как киты натягута, то проекции скоростей муфты и кабеля на киты одинаковы!

$$V \cos \alpha = v \cos \beta$$

$$v = \frac{\cos \alpha}{\cos \beta} V = \frac{15 \cdot 5 \cdot 34}{17 \cdot 3} = 50 \text{ (м/с)}$$

$$2) \vec{v}_{отн} = \vec{v} - \vec{V}$$

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

$$v_{отн}^2 = V^2 \left(1 + \frac{\cos^2 \alpha}{\cos^2 \beta} - \frac{2 \cos \alpha}{\cos \beta} (\cos \alpha \cos \beta - \sin \alpha \sin \beta) \right)$$

$$v_{отн}^2 = V^2 \left(1 + \frac{15^2}{17^2} - \frac{2 \cdot 15 \cdot 5 \cdot 13}{17 \cdot 3 \cdot 17 \cdot 5} \right)$$

$$v_{отн}^2 = V^2 \left(\frac{17^2 + 15^2 - 230}{17^2} \right) = V^2 \frac{1}{17^2} (225 + 100 + 49 + 140 - 130)$$

~~$v_{отн}$~~

$$v_{отн} \approx 40 \text{ м/с}$$

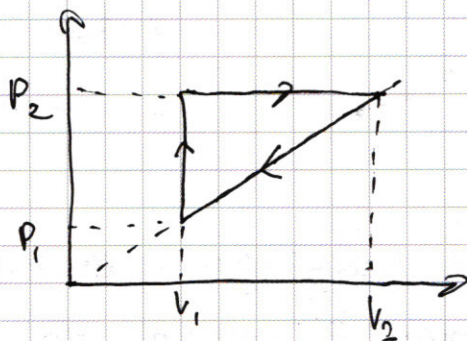
N3

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

$$\frac{mv_{\text{орт}}^2}{R} = T - N \sin \beta \quad \frac{4mv_{\text{орт}}^2}{5R} = T(1 - \sin^2 \beta) + \frac{mv^2 \sin \beta}{R}$$

$$T = \frac{m}{R \cos \beta} \left(\frac{4}{5} v_{\text{орт}}^2 - v^2 \sin \beta \right) =$$

N2



- 1) Температура газа увеличивается при изохорном и изобарном процессах.
молярная теплоемкость при изохорном процессе $C_v = \frac{3}{2}R$; а при изобарном $C_p = \frac{5}{2}R$

$$\frac{C_p}{C_v} = \frac{5}{3}$$

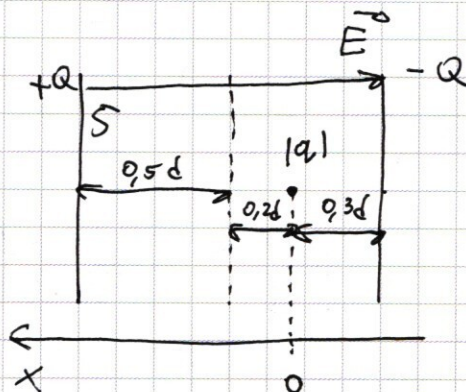
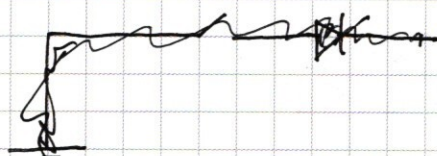
2) $Q = \Delta U + A \quad \frac{\Delta U}{A} = \frac{Q}{A} - 1$

$$\frac{\Delta U}{A} = \frac{Q}{A} - 1 = \frac{5}{2} \frac{P_2(V_2 - V_1)}{P_2(V_2 - V_1)} - 1 = \frac{5}{2} - 1 = \frac{3}{2}$$

Ответ: 1) $\frac{C_p}{C_v} = \frac{5}{3}$ 2) $\frac{\Delta U}{A} = \frac{3}{2}$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

N 3



Поле внутри конденсатора: $E = \frac{Q}{S\epsilon_0}$
Пластина приобретает ускорение по оси x :

$$E|q| = ma$$

$$a = \frac{2Q}{S\epsilon_0}$$

Из кинематики следует что:

$$v(t) = at$$

$$x(t) = \frac{at^2}{2}$$

$$\Rightarrow v_1 = at$$

$$0,7d = \frac{at^2}{2} \Rightarrow 0,7d = \frac{v_1^2}{2a}$$

$$1) \begin{cases} 0,2d = \frac{aT^2}{2} \\ 0,7d = \frac{v_1^2}{2a} \end{cases}$$

$$\Rightarrow 0,14d^2 = \frac{v_1^2 T^2}{4}$$

$$T = \sqrt{0,56} \frac{d}{v_1}$$

$$2) \begin{cases} a = \frac{2Q}{S\epsilon_0} \\ a = \frac{5}{7} \frac{v_1^2}{d} \end{cases}$$

$$\Rightarrow \frac{2Q}{S\epsilon_0} = \frac{5}{7} \frac{v_1^2}{d}$$

$$Q = \frac{5}{7} \frac{v_1^2 S\epsilon_0}{d}$$

3) Из закона сохранения энергии для частицы:

$$\frac{k|q|Q}{0,3d} - \frac{k|q|Q}{0,7d} = \frac{mV_2^2}{2}$$

$$2 \cdot \frac{kQq}{d} \left(\frac{10}{3} - \frac{10}{7} \right) = V_2^2$$

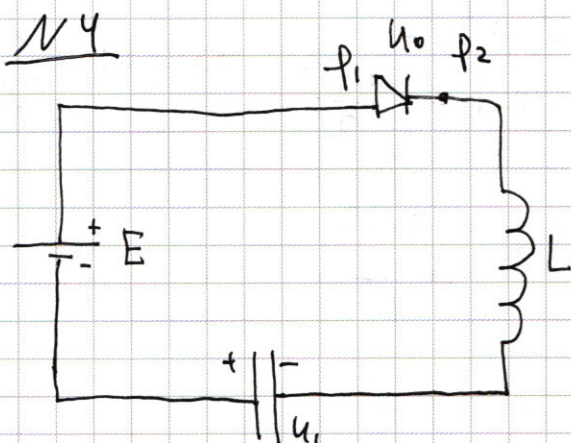
$$V_2^2 = \frac{80}{21} \frac{kQq}{d} = \frac{80 \cdot 5 \cdot 5 \cdot 10^{-18}}{21 \cdot 4 \pi \cdot 10^{-9} \cdot 7 \cdot 10^{-2}} V_1^2$$

$$V_2 = \frac{V_1}{d} \sqrt{\frac{1005}{49 \cdot 3\pi}} = \frac{10}{7} \frac{V_1}{d} \sqrt{\frac{5}{3\pi}}$$

Ответ: 1) $T = \sqrt{0,56} \frac{d}{V_1}$

2) $Q = \frac{5}{7} \frac{V_1^2 \cdot 5 \epsilon_0}{d^2}$

3) $V_2 = \frac{10}{7} \frac{V_1}{d} \sqrt{\frac{5}{3\pi}}$



$$E = 6 \text{ В}$$

$$C = 40 \text{ мкФ}$$

$$U_1 = 2 \text{ В}$$

$$L = 0,1 \text{ Гн}$$

$$U_0 = 1 \text{ В}$$

Диод будет открыт если $p_1 - p_2 > U_0$

1) Сразу после замыкания ключа ток в цепи не идет.

$$E = U_0 + L \dot{I} - U_1 \Rightarrow \dot{I} = \frac{E + U_1 - U_0}{L}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$\dot{I} = \frac{6 + 2 - 1}{0,1} = 70 \left(\frac{A}{C} \right)$$

2) Конденсатор будет перезарядиться.
Когда ток максимален падение напряже-
ния на катушке равно нулю
 $U_L = L \dot{I} \quad I = I_{\max} \Rightarrow \dot{I} = 0$

$$Eq = W_2 - W_1$$

$$Eq = \frac{CU_1'^2 + LI_m^2 - CU_1^2}{2}$$

$$q = U_1 + U_1'$$

$$2EC(U_1 + U_1') = CU_1'^2 + LI_m^2 - CU_1^2$$

$$I_m = \frac{C}{L} (2E(U_1 + U_1') + U_1^2 - U_1'^2)$$

$$E = U_0 + U_1' \Rightarrow U_1' = E - U_0$$

$$I_m^2 = \frac{C}{L} (2E(E - U_0 + U_1) + U_1^2 - (E - U_0)^2)$$

$$I_m^2 = \frac{C}{L} (2E^2 - 2EU_0 + 2EU_1 + U_1^2 - E^2 + 2EU_0 - U_0^2)$$

$$I_m^2 = \frac{C}{L} (E^2 + 2EU_1 + U_1^2 - U_0^2)$$

$$I_m = \sqrt{\frac{C}{L} (E(E + 2U_1) + U_1^2 - U_0^2)}$$

$$I_m = \left(\frac{40 \cdot 10^{-6}}{10^{-1}} (6 \cdot 10 + 4 - 1) \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$I_m \approx 16 \text{ мА}$$

3) В какой-то момент диод закрывается.

$$p_1 - p_2 = U_0$$

$$E(U_2 + U_1) = \frac{CU_2^2}{2} - \frac{CU_1^2}{2}$$

$$2EU_2 + 2EU_1 = U_2^2 - U_1^2$$

$$U_2^2 - 2EU_2 - U_1^2 - 2EU_1 = 0$$

$$U_2 = \frac{2E + \sqrt{4E^2 + 4(U_1^2 + 2EU_1)}}{2}$$

(Второй корень не подходит так как он отрицательный.)

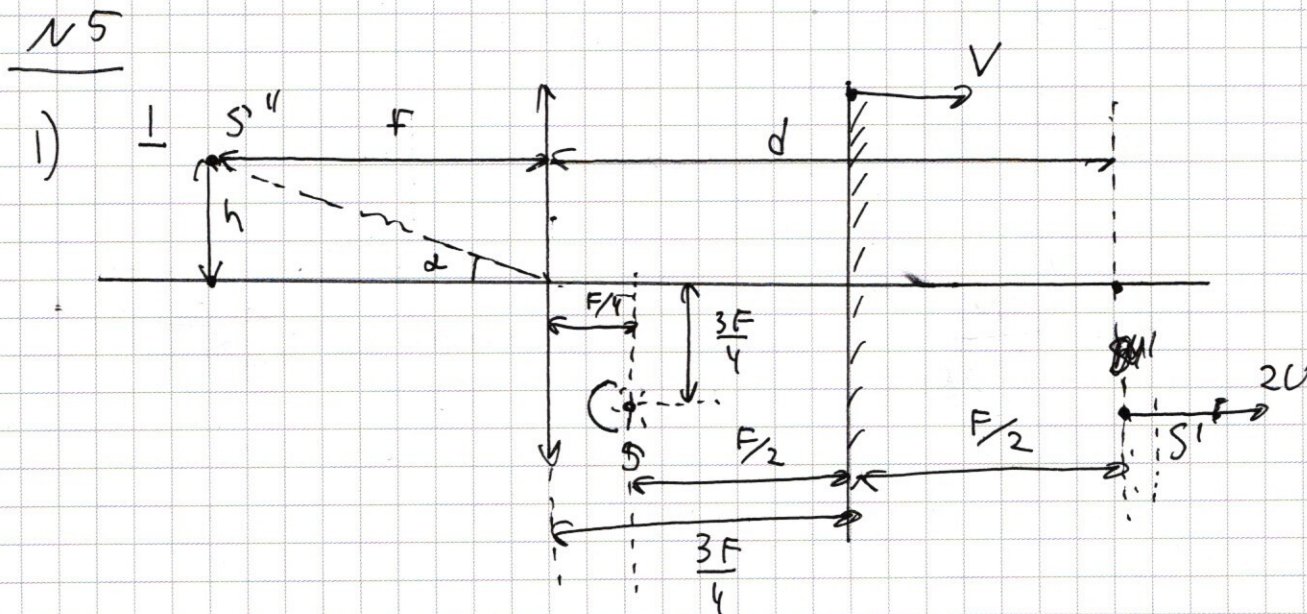
$$U_2 = \frac{12 + 16}{2} = 14 \text{ (В.)}$$

Ответ: 1) $\dot{I} = 70 \text{ А/с}$

2) $I_m \approx 16 \text{ мА}$

3) $U_2 = 14 \text{ В.}$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



После отражения в ~~зеркале~~ ^{зеркале} изображение находится на расстоянии d от линзы.

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

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

f - расстояние на котором

находится ~~то~~ ^{конечное} изображение от плоскости линзы.

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

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

$$2) \quad \tan \alpha = \frac{h}{f} = \frac{3F}{4 \cdot 5F} = \frac{3}{5}$$

$$\tan \alpha = \frac{3}{5}$$

3) Скорость изобретения S' относительно
миллы $2V$

$$v_x = 2V \cdot \Gamma^2$$

$$\Gamma = \frac{45F}{5F} = 9$$

$$v_x = 32V$$

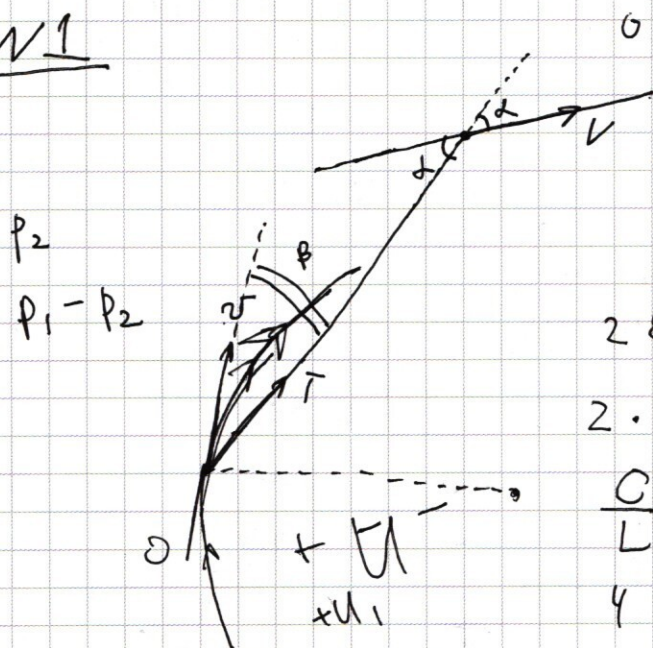
$$v_x = v \cos \alpha$$

$$v = \frac{v_x}{\cos \alpha}$$

$$\cos \alpha = \sqrt{\frac{1}{1 + \gamma^2 \beta^2 c^2}}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№1



$$U_2 = 5 \text{ В.}$$

$$q = \int (U_1 + U_2) dt$$

$$2 \varepsilon C (U_1 + U_2) = LI^2 + CU_2^2 - CU_1^2$$

$$2 \cdot 6 \cdot 10^{-6} \cdot 10 = 40 \cdot 10^{-6} \cdot 10 (2 \cdot 6 \cdot 2 - 5^2 + 2^2) = 24 - 25 + 4$$

$$L \dot{I} = \varepsilon$$

$$P_1 > P_2 - \text{откр. } I = \frac{\varepsilon - U_0 + U_1}{L} = \frac{6 - 1 + 2 \cdot 10}{40 \cdot 10^{-6}} = 70 \left(\frac{\text{А}}{\text{с}} \right)$$

$$P_1 - P_2 \Rightarrow$$

$$\varepsilon = U_0 + L \dot{I} - U_1$$

$$U_2 = \varepsilon - U_0 = 5 \text{ В.}$$

$$\varepsilon q = \frac{LI^2}{2} + \frac{CU_2^2}{2} - \frac{CU_1^2}{2}$$

$$q = CU_1$$

$$I^2 = \frac{C}{L} (2 \varepsilon U_1 - U_2^2 + U_1^2)$$

$$40 \cdot 10^{-6} \cdot 10 (2 \cdot 6 \cdot 2 - 5^2 + 2^2) = 24 - 25 + 4$$

$$\begin{array}{r} 325 \\ 59 \\ \hline 2 \overline{) 384} \end{array}$$

$$(18,5)^2$$

$$\begin{array}{r} 100 + 64 + 160 \\ 224 \\ 324 + \end{array}$$

12

$$\begin{array}{r} 100 + 81 + 180 \\ 4 + 1 \\ 25 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 180 \\ 81 \\ \hline 261 \\ 361 \\ 364 \\ \hline 389 \\ 16 \\ 220 \end{array}$$

$$\frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = \tan \alpha$$

$$1 - \cos^2 \alpha = \sin^2 \alpha$$

$$\frac{3}{5}$$

$$(400)$$

$$\approx 20$$

$$\boxed{484}$$

$$u_2 \quad L \dot{I}$$

$$\frac{16 + 12}{12}$$

$$p_1 - p_2 = u_0$$

$$p_1 = E$$

$$p_2$$

$$\frac{L dI}{dt}$$

$$12 \quad 12$$

$$144 + 4(4 + 219 \cdot 4 \cdot 6)$$

$$6 + 8$$

$$u_2$$

$$144 + 4 \cdot 28$$

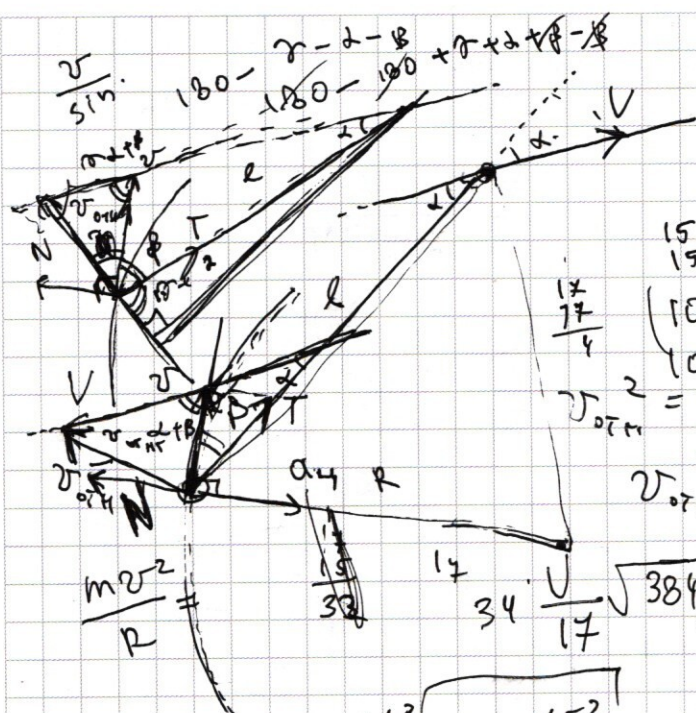
$$\begin{array}{r} 127 + 4 \cdot 28 \\ 3 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 4 \end{array}$$

$$12 - 1$$

$$\begin{array}{r} 4 \\ 9 + 7 \\ 16 \\ 16 \end{array}$$

$$u_2 = 2E$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$$(10 + 8)^2 = 100 + 64 + 160$$

$$V \cos \alpha = v \cos \beta$$

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

$$v_{074}^2 = v^2 + V^2 - 2vV \cos(\alpha + \beta)$$

$$v_{074}^2 = v^2 + V^2 - 2vV(\cos \alpha \cos \beta - \sin \alpha \sin \beta)$$

$$v_{074}^2 = \frac{34}{17} \sqrt{384 \sin \alpha \sin \beta}$$

$$mv^2 = \frac{15 \cdot 3}{17 \cdot 5} = \frac{9}{17}$$

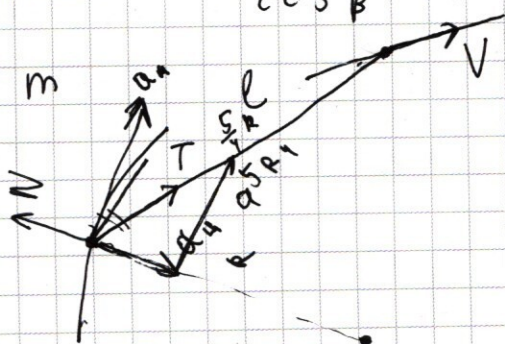
$$\sin \alpha = \frac{1}{17} \sqrt{17^2 - 15^2} = \frac{1}{17} \sqrt{17^2 - 15^2} = \frac{8}{17}$$

$$\frac{34}{17^2} = \frac{1}{17} \sqrt{(17+15)(17-15)} = \frac{1}{17} \sqrt{32 \cdot 2} = \frac{\sqrt{64}}{17} = \frac{8}{17}$$

$$\sin \beta = \frac{1}{5} \sqrt{(5-3)(5+3)} = \frac{1}{5} \sqrt{2 \cdot 8} = \frac{\sqrt{16}}{5} = \frac{4}{5}$$

$$v = \frac{V \cos \alpha}{\cos \beta}$$

$$v_{074} = V \sqrt{\frac{\cos^2 \alpha}{\cos^2 \beta} + 1 - \frac{2 \cos \alpha}{\cos \beta} (\cos \alpha \cos \beta - \sin \alpha \sin \beta)} = \frac{4 \cdot 8}{5 \cdot 17} = \frac{32}{17}$$

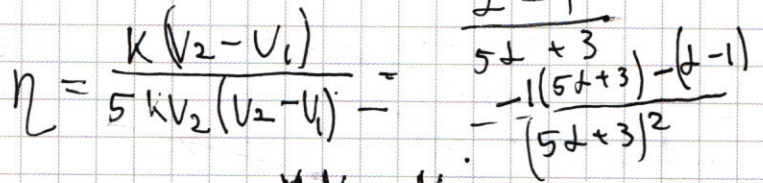


$$ma_z = T \sin \alpha$$

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

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

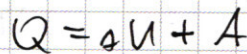
$$\frac{mv^2}{r} = \frac{mv_x}{\cos \theta}$$



$$V_3 =$$

$$\frac{C_p}{C_v} = \frac{5}{3} = \frac{5}{3}$$

$$\frac{V_1 (2 - 1)}{52 + 3}$$



$$\frac{4U}{A} = \frac{Q}{A} -$$

$$r^2$$

$$v_x =$$

$$\frac{5}{2} \text{ JRT}$$

$$P_2(V_2 - V_1)$$

$$\frac{5}{2} \sqrt{4T} = 1$$

ii)  $K (V_2 - V_1)$

$$p = kV$$

$$P_1 = K V_1$$

$$P_2 = K U_2$$

$$\frac{x-1}{5x+3}$$

$$A = \frac{1}{2} (P_2 - P_1) (V_2 - V_1)$$

$$Q_+ = \frac{3}{2} (P_2 V_2 - P_1 V_1) + P_2 (V_2 - V_1)$$

$$-1(5x+3) - 5(x-1) = 0$$

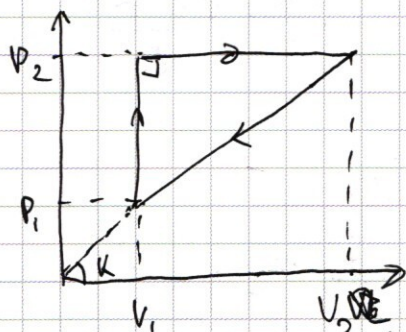
$$-52 - 3 - 52 + 5 = 0$$

$$-10 \angle = 5 - 3$$

$$\alpha = \frac{1}{2}$$

$$Q_+ = \frac{5}{2} P_2 (V_2 - V_1) + \frac{3}{2} V_1 (P_2 - P_1) + \frac{5}{2} K V_2 (V_2 - V_1) + \frac{3}{2} K V_1 (V_2 - V_1)$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$$p_1 V_2 = p_2 V_1$$

$$p_1 = k V_1$$

$$p_2 = k V_2$$

$$V_2 = 2V_1$$

$$\eta = \frac{A}{Q_+} = \frac{(p_2 - p_1)(V_2 - V_1)}{5(p_2 V_2 - p_2 V_1) + 3(p_2 V_1 - p_1 V_1)} = \frac{k-1}{5k+3}$$

$$\eta = \frac{p_2 V_2 - p_2 V_1 - p_1 V_2 + p_1 V_1}{5p_2 V_2 - 5p_2 V_1 + 3p_2 V_1 - 3p_1 V_1} = \frac{k-1}{5k+3}$$

$$5 - 2p_2 V_1 \quad p_2 = 2V_2$$

$$\frac{p_2 V_2 (p_2 - p_1)(V_2 - V_1)}{5p_2 (V_2 - V_1) + 3V_1 (p_2 - p_1)} \quad V_2 - V_1 = 2V_1$$

$$\frac{2(V_2 - V_1)(V_2 - V_1)}{5V_2(V_2 - V_1) + 3V_1(V_2 - V_1)}$$

$$\frac{V_2 - V_1}{5V_2 + 3V_1}$$

$$V_2 = k V_1$$

$$\frac{k-1}{5k+3}$$

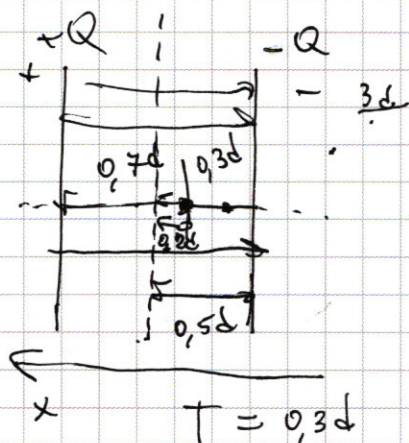
$$(k-1)'(5k+3) = (5k+3)'(k-1)$$

$$-5k-3 = 5k-5$$

$$10k = 2$$

$$k = \frac{1}{5}$$

$$\frac{k|q|Q}{0,3d} - \frac{k|q|Q}{0,7d} = \frac{m v_2^2}{2} \quad 2 \cdot \frac{k Q^2}{d} \left(\frac{10}{3} - \frac{10}{7} \right)$$



$$E = \frac{Q}{S \epsilon_0} \quad \frac{70-30}{21}$$

$$E = \frac{Q}{S \epsilon_0} \quad 40$$

$$\frac{80}{21} \frac{k Q^2}{d}$$

$$E(q) = m a$$

$$E r = a$$

$$a = \frac{q Q^2}{S \epsilon_0}$$

$$L I$$

$$75 \times 70 + 25$$

$$V_1 =$$

$$v(t) = a t$$

$$x(t) = \frac{a t^2}{2}$$

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

$$56 = 7 \cdot 8$$

$$t = \frac{v}{a}$$

$$0,7d = \frac{V_1^2}{2a}$$

$$0,7d = \frac{V_1^2}{2a}$$

$$a = \frac{V_1^2}{0,7d}$$

$$Q = \frac{5}{7} \frac{V_1^2 S \epsilon_0}{d^2}$$

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

$$0,4d = a r^2$$

$$0,7 \cdot 0,2d^2 = \frac{a r^2 V_1^2}{2 \cdot 2a}$$

$$0,14 \cdot 4$$

$$56$$

$$8 \sqrt{56}$$

$$0,7 \quad 0,14 \cdot 4$$

$$r^2 V_1 = \frac{7 \cdot 2 \cdot 4}{10 \cdot 10}$$

$$r = \sqrt{56}$$

$$0,7d = \frac{7d}{10}$$

$$\frac{7}{5} d = \frac{V_1^2}{a}$$

$$\frac{7}{5} d = \frac{V_1^2}{E r}$$

$$E = \frac{5}{7} \frac{V_1^2}{d^2} = \frac{Q}{S \epsilon_0}$$

$$E = \frac{5}{7}$$

$$\frac{10 k |q| Q}{0,3d}$$