

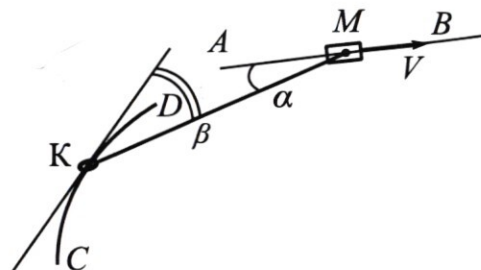
Олимпиада «Физтех» по физике, ф

Класс 11

Вариант 11-02

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

1. Муфту М двигают со скоростью $V = 40$ см/с по горизонтальной направляющей АВ (см. рис.). Кольцо К массой $m = 1$ кг может двигаться без трения по проволоке CD в виде дуги окружности радиусом $R = 1,7$ м. Кольцо и муфта связаны легким тросом длиной $l = 17R/15$. Система находится в одной горизонтальной плоскости. В некоторый момент трос составляет угол α ($\cos \alpha = 3/5$) с направлением движения муфты и угол β ($\cos \beta = 8/17$) с направлением движения кольца.



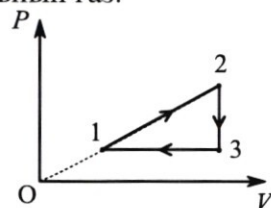
- 1) Найти скорость кольца в этот момент.
- 2) Найти скорость кольца относительно муфты в этот момент.
- 3) Найти силу натяжения троса в этот момент.

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 понижение температуры газа.

2) Найти для процесса 1-2 отношение количества теплоты, полученной газом, к работе газа.

3) Найти предельно возможное максимальное значение КПД такого цикла.



3. Обкладки конденсатора – квадратные металлические сетки, сторона квадрата во много раз больше расстояния d между обкладками. Положительно заряженная частица движется на большом расстоянии к конденсатору по оси симметрии, перпендикулярно обкладкам, влетает в него со скоростью V_1 и останавливается между обкладками на расстоянии $0,2d$ от положительно заряженной

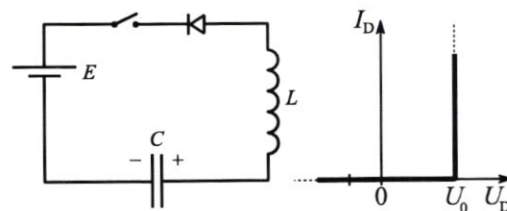
обкладки. Удельный заряд частицы $\frac{q}{m} = \gamma$.

- 1) Найдите продолжительность T движения частицы в конденсаторе до остановки.
- 2) Найдите напряжение U на конденсаторе.
- 3) Найдите скорость V_0 частицы 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 $E = 3$ В, конденсатор емкостью $C = 20$ мкФ заряжен до напряжения $U_1 = 6$ В, индуктивность идеальной катушки $L = 0,2$ 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.

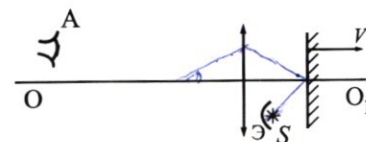


5. Оптическая система состоит из тонкой линзы с фокусным расстоянием F , плоского зеркала и небольшого экрана Э, расположенного так, что свет от источника S может попасть на линзу только после отражения от зеркала (см. рис.). Зеркало расположено перпендикулярно главной оптической оси OO_1 линзы. Источник S находится на расстоянии $8F/15$ от оси OO_1 и на расстоянии плоскости $F/3$ от 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?

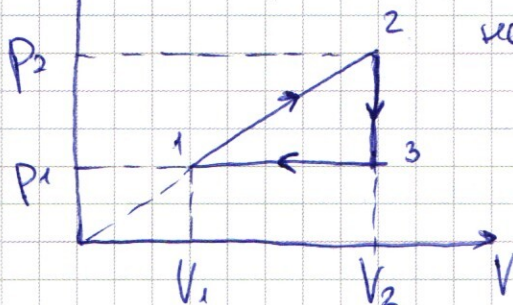
2) Под каким углом α к оси OO_1 движется изображение в этот момент? (Найти значение любой тригонометрической функции угла.)

3) Найти скорость изображения в этот момент.



ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

② P



1) Понижение температуры происходило на участках 2-3 и 3-1.

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

$$= \frac{3}{2} \nu R (T_3 - T_2); \quad \Delta T_{23} = T_3 - T_2.$$

$$C_{23} = \frac{Q_{23}}{\Delta T_{23}} = \frac{\frac{3}{2} \nu R (T_3 - T_2)}{T_3 - T_2} = \frac{3}{2} \nu R.$$

$$Q_{31} = \Delta U_{31} + A_{31} = \frac{3}{2} \nu R (T_1 - T_3) + p_1 (V_2 - V_1)$$

По ур-ю Менделеева-Клапейрона: $\begin{cases} p_1 V_1 = \nu R T_1 \\ p_2 V_2 = \nu R T_2 \\ p_1 V_2 = \nu R T_3 \end{cases}$

$$\text{т.е.: } Q_{31} = \frac{3}{2} \nu R (T_1 - T_3) + \nu R T_3 - \nu R T_1 =$$

$$= \frac{3}{2} \nu R (T_1 - T_3) - \nu R (T_1 - T_3) = \frac{1}{2} \nu R (T_1 - T_3)$$

$$\Delta T_{31} = T_1 - T_3 \Rightarrow C_{31} = \frac{Q_{31}}{\Delta T_{31}} = \frac{\frac{1}{2} \nu R (T_1 - T_3)}{T_1 - T_3} = \frac{1}{2} \nu R.$$

$$C_{23} / C_{31} = \frac{\frac{3}{2} \nu R}{\frac{1}{2} \nu R} = \textcircled{3}.$$

$$2) A_{12} = \frac{1}{2} (p_1 + p_2) (V_2 - V_1)$$

$$Q_{12} = \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_1) + \frac{1}{2} (p_1 + p_2) (V_2 - V_1) \Rightarrow \frac{Q_{12}}{A_{12}} = 1 + \frac{3 \nu R (T_2 - T_1)}{(p_1 + p_2) (V_2 - V_1)} =$$

$$= 1 + \frac{3 \nu R (T_2 - T_1)}{p_1 V_2 - p_1 V_1 + p_2 V_2 - p_2 V_1} = 1 + \frac{3 \nu R (T_2 - T_1)}{\nu R (T_2 - T_1)} = 1 + 3 = \textcircled{4}.$$

$$3) A = \frac{1}{2} (p_1 + p_2) (V_2 - V_1) + p_1 (V_2 - V_1) = \frac{1}{2} (p_2 V_2 - p_1 V_1) + p_1 (V_2 - V_1) =$$

$$= \frac{1}{2} p_2 V_2 - \frac{1}{2} p_1 V_1 + p_1 V_2 - p_1 V_1 = \frac{1}{2} \nu R T_2 - \frac{3}{2} \nu R T_1 + \nu R T_3$$

$$Q_+ = Q_{12} = \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_1) + \frac{1}{2} (p_2 V_2 - p_1 V_1) = 2 \nu R T_2 - 2 \nu R T_1$$

$$\eta = \frac{A}{Q_1} \cdot 100\% = \frac{\frac{1}{2} 2RT_2 - \frac{3}{2} 2RT_1 + 0RT_3}{2RT_2 - 2RT_1} \cdot 100\% = \frac{T_2 - 3T_1 + 2T_3}{4(T_2 - T_1)} \cdot 100\%$$

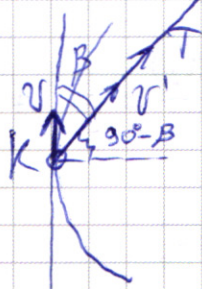
$$= \frac{3(T_2 - T_1) + 2(T_3 - T_2)}{4(T_2 - T_1)} \cdot 100\% = \frac{3}{4} + \frac{T_3 - T_2}{2(T_2 - T_1)} = \frac{3}{4} - \frac{T_2 - T_3}{2(T_2 - T_1)}$$

т.к. $T_2 > T_3 > T_1$, то при $T_2 - T_3 \rightarrow 0$, $T_2 - T_1 \rightarrow \infty \Rightarrow \eta = \frac{3}{4} \cdot 100\% = 75\%$

Ответ: 1) 3%; 2) 4; 3) 75%

①

1) Скорость кольца направлена по касательной к дуге.



$$v' = V \cdot \cos \beta$$

$$V \cdot \cos \beta = v' \Rightarrow V = \frac{v'}{\cos \beta} = V \frac{\cos \beta}{\cos \beta} = 0,4 \cdot \frac{3/5}{8/17} =$$

$$= \frac{4 \cdot 3 \cdot 17}{10 \cdot 5 \cdot 82} = \frac{34}{100} = 0,34 \text{ м/с} = 34 \text{ см/с}$$

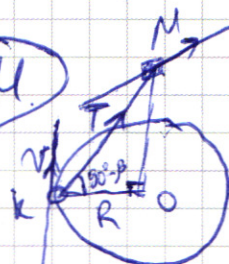
$$3) a_s = \frac{v^2}{R} \Rightarrow F = m \frac{v^2}{R}$$

$$T \cos(90^\circ - \beta) = F \Rightarrow T = \frac{F}{\sin \beta} = \frac{m v^2}{R \sin \beta}$$

$$\sin \beta = \sqrt{1 - \cos^2 \beta} = \sqrt{1 - \frac{64}{289}} = \sqrt{\frac{225}{289}} = \frac{15}{17}$$

$$\Rightarrow \frac{1 \cdot 0,34^2}{1,7 \cdot \frac{15}{17}} = \frac{0,34^2}{1,5} = \frac{1156}{15000} \approx 0,077 \text{ Н}$$

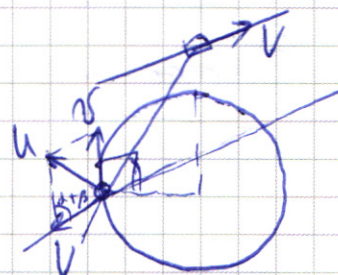
$$\text{КМ} \perp \text{КО} \quad (\text{КМ} \cdot \cos(90^\circ - \beta) = l \sin \beta = R \Rightarrow \Rightarrow \angle \text{КОМ} = 90^\circ)$$



$$2) u = \sqrt{V^2 + v^2 - 2Vv \cos(\alpha + \beta)}$$

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

$$= \frac{3 \cdot 8}{5 \cdot 17} - \frac{4 \cdot 15}{5 \cdot 17} = \frac{24 - 60}{5 \cdot 17} = \frac{-36}{5 \cdot 17}$$



$$\Rightarrow \sqrt{0,4^2 + 0,34^2 - 2 \cdot 0,4 \cdot 0,34 \cdot \frac{36}{5 \cdot 17}} \approx 0,63 \text{ м/с} = 63 \text{ см/с}$$

Ответ: 1) 34 см/с; 2) 63 см/с; 3) 0,077 Н

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

③ 2) $E_k = A \Rightarrow \frac{mv_1^2}{2} = Uadq \Rightarrow$
 $\Rightarrow U = \frac{\frac{mv_1^2}{2}}{2adq} = \frac{\frac{mv_1^2}{2}}{2q \cdot (d - 0.2d)} = \frac{\frac{mv_1^2}{2}}{1.6qd} = \frac{v_1^2}{1.6gd}$

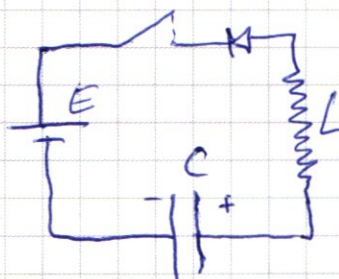
~~1) $U_1 = U_2 \Rightarrow mv_1^2 = mv_2^2$~~

1) $\frac{v_1}{2} \cdot T = ad = 0.8d \Rightarrow T = \frac{1.6d}{v_1}$

3) $\frac{mv_0^2}{2} = \frac{mv_1^2}{2} + A \Rightarrow v_0 = \sqrt{v_1^2 + \frac{2A}{m}} = \sqrt{v_1^2 + 2Ud} =$
 $= \sqrt{v_1^2 + \frac{v_1^2}{0.8gd}} = \sqrt{\frac{9}{4}v_1^2} = \frac{3}{2}v_1$

Ответ: 1) $1.6d/v_1$ 2) $\frac{v_1^2}{1.6gd}$; ~~$\frac{mv_1^2}{2} + \frac{mv_2^2}{2}$~~ 3) $\frac{3}{2}v_1$

④ 2) $\frac{CU^2}{2} = \frac{LI_{max}^2}{2} \Rightarrow I_{max} = U\sqrt{\frac{C}{L}} =$
 $= 6 \cdot \sqrt{\frac{20 \cdot 10^{-6}}{0.2}} = 6 \cdot \sqrt{2 \cdot 10^{-4}} = 6\sqrt{2} \cdot 10^{-2} A \approx$
 $\approx 85 \mu A.$



3) $U' = U_1 - U_0 = 6 - 1 = 5V$

1) $q = CU =$

Ответ: 1) 2) $85 \mu A$; 3) $5V$

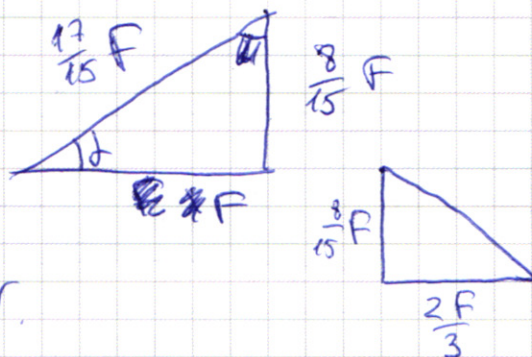
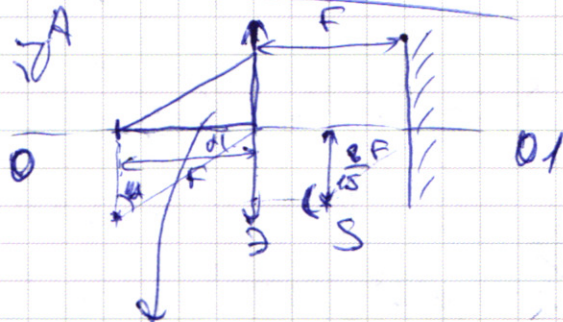
5

~~1) $d = \frac{8}{5} F$~~

1) Изображение источника в системе будет в фокусе, т.е. на расстоянии F от плоскости линзы.

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

3) $V' = \frac{2}{3} \cdot \frac{8}{15} \cdot \frac{3}{2} V = 0,8 V$



Ответ: 1) F ; 2) $\cos \alpha = \frac{15}{17}$; 3) $V' = 0,8 V$.

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$= \frac{5}{4} + \frac{T_2 - T_3}{2(T_2 - T_1)} \quad \begin{matrix} \frac{1}{2}T_2 & -\frac{3}{2}T_1 + T_3 & T_2 - 3T_1 + 2T_3 \\ dQ_1 & dQ_1 & dQ_1 \\ Q_{12} & Q_{13} & Q_{14} \end{matrix}$$

$$A = \frac{1}{2}(p_1 + p_2)(V_2 - V_1) + p_1(V_2 - V_1) = \frac{1}{2}(p_1 V_2 - p_1 V_1 + p_2 V_2 - p_2 V_1) + p_1 V_2 - p_1 V_1 = \frac{1}{2}p_2 V_2 - \frac{1}{2}p_1 V_1 + p_1 V_2 - p_1 V_1 =$$

$$= \frac{1}{2} \nu R T_2 + \nu R T_3 - \frac{3}{2} \nu R T_1 \quad \text{или } T_1, T_3, T_2$$

$$\frac{\frac{1}{2} \cancel{\nu R T_2} + \cancel{\nu R T_3} - \frac{3}{2} \cancel{\nu R T_1}}{2 \cancel{\nu R T_2} - 2 \cancel{\nu R T_1}} = \frac{T_2 - 3T_1 + 2T_3}{4(T_2 - T_1)} =$$

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

$$= \left(\frac{3}{4} - \frac{T_2 - T_3}{2(T_2 - T_1)} \right)$$

$$T_2 - T_3 = \frac{p_2 V_2 - p_1 V_2}{\nu R}$$

$$T_2 > T_3 > T_1$$

$$T_2 - T_1 = \frac{p_2 V_2 - p_1 V_1}{\nu R}$$

$$\frac{V_2(p_2 - p_1)}{p_2 V_2 - p_1 V_1}$$

$$T_2 = T_1 + \Delta T_1 = T_3 + \Delta T_2$$

$$T_3 = T_2 - \Delta T_2 = T_1 + \Delta T_1 - \Delta T_2$$

$$\Delta T_1 > \Delta T_2$$

$$\frac{T_1 + \Delta T_1 - T_1 - \Delta T_1 + \Delta T_2}{2 \Delta T_1} = \frac{\Delta T_2}{2 \Delta T_1}$$

$$Q_{23} = \frac{3}{2} \nu R (T_3 - T_2); Q_{31} = \frac{3}{2} \nu R (T_1 - T_3) + p_1 (V_2 - V_1)$$

$$C_{23} = \frac{3}{2} \nu R; C_{31} = \frac{3}{2} \nu R \quad \text{или} \quad \frac{(T_3 - T_1)}{T_1 - T_3} = \frac{1}{2} \nu R, \quad \frac{C_{23}}{C_{31}} = 3$$

$$\cos(\alpha + \beta) = \cos \alpha \cos \beta - \sin \alpha \sin \beta = \frac{3 \cdot 8}{5 \cdot 17} - \frac{4 \cdot 15}{8 \cdot 17} =$$

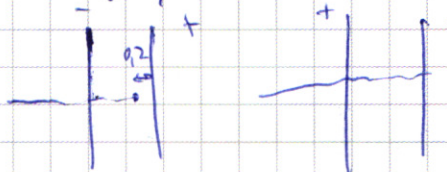
$$= \frac{24}{5 \cdot 17} - \frac{12}{17} = \frac{24 - 60}{5 \cdot 17} = -\frac{36}{5 \cdot 17} = -\frac{36}{85}$$

$$= \sqrt{0,2756 + 2 \cdot 0,4 \cdot 0,02 \cdot \frac{36}{5}} = \sqrt{0,2756 + 0,8 \cdot 0,02 \cdot 7,2} =$$

$$= \sqrt{0,2756 + 0,1152} =$$

$$= \sqrt{0,3908} \approx 0,63.$$

$$= \sqrt{0,3908} \approx 0,63.$$



$$mV_1 = F \cdot T \Rightarrow T = \frac{mV_1}{F}$$

$$\frac{mV_0^2}{2} = \frac{CU^2}{2}$$

$$444 \cdot 6 = 2400 + 84 = 1500$$

$$F = qU$$

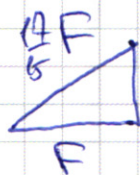
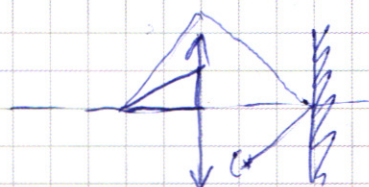
$$\sqrt{2} \approx 1,414.$$

$$1,414 \cdot 6 = 6 + 2,5 = 8,5.$$

$$q = CU$$

$$\frac{CU^2}{2} = \frac{qU}{2}$$

$$\frac{V_1}{2}$$

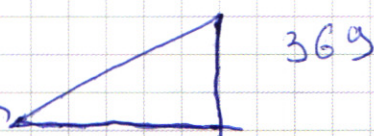


$$\frac{14F}{5}$$

$$\frac{3}{15} F.$$

$$\sqrt{1 + \frac{64}{225}} = \sqrt{\frac{289}{225}} = \frac{17}{15}.$$

$$\frac{64}{225} + \frac{4}{9} = \frac{576 + 900}{9 \cdot 225} = \frac{1476}{3 \cdot 15}.$$



$$V_1^2 + \frac{2qU}{m} = 2qU.$$

$$2q \cdot \frac{V_1^2}{4\pi\epsilon_0 d}$$

$$F = qE \quad C = \frac{\epsilon_0 S}{d}$$

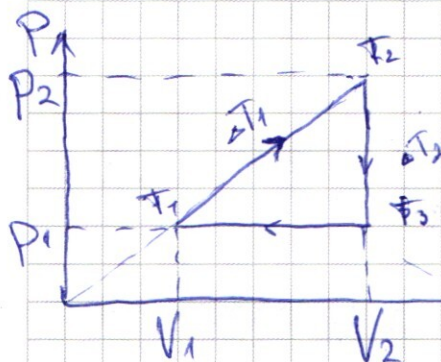
$$F = qU$$

$$A = q\phi = \frac{kq^2}{r}$$

$$\frac{A}{S} = \frac{kq^2}{r} = F.$$

$$\frac{A}{S} = F = \frac{kq^2}{r^2} \Rightarrow$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$$\begin{aligned} p_1 V_1 &= \nu R T_1 \\ p_2 V_2 &= \nu R T_2 \\ p_1 V_2 &= \nu R T_3 \end{aligned} \quad \left. \begin{aligned} Q_0 &= 2U_{12} + A_{12} = \\ &= \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_1) + \\ &+ \frac{1}{2} (p_1 + p_2) (V_2 - V_1) = \end{aligned} \right\}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{3}{2} (p_2 V_2 - p_1 V_1) + \frac{1}{2} (p_1 V_2 - p_1 V_1 + p_2 V_2 - p_2 V_1) = \\ &= \frac{3}{2} (p_2 V_2 - p_1 V_1) + \frac{1}{2} (p_1 V_2 - p_1 V_1 + p_2 V_2 - p_2 V_1) = \\ &= 2p_2 V_2 - 2p_1 V_1. \quad A = \frac{1}{2} (p_1 V_2 - p_1 V_1 + p_2 V_2 - p_2 V_1) = \\ &= \frac{1}{2} (p_2 V_2 - p_1 V_1) \end{aligned}$$

$$\frac{Q}{A} = \frac{2}{1/2} = 4$$

$$A = \frac{1}{2} (p_2 V_2 - p_1 V_1) + p_1 (V_2 - V_1)$$

$$\eta = \frac{Q_+ - Q_-}{Q_+} = \frac{2.04 - 0.17}{2.04} = 0.917$$

$$\begin{aligned} A &= \frac{1}{2} (p_1 V_2 - p_1 V_1 + p_2 V_2 - p_2 V_1) + p_1 (V_2 - V_1) = \\ &= \frac{1}{2} p_1 V_2 - \frac{1}{2} p_1 V_1 + \frac{1}{2} p_2 V_2 - \frac{1}{2} p_2 V_1 + p_1 V_2 - p_1 V_1 = \\ &= \frac{3}{2} p_1 V_2 - \frac{3}{2} p_1 V_1 + \frac{1}{2} p_2 V_2 - \frac{1}{2} p_2 V_1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_- &= \frac{3}{2} \nu R (T_3 - T_2) + \frac{3}{2} \nu R (T_1 - T_3) + p_1 (V_2 - V_1) = \\ &= \frac{3}{2} \nu R T_1 - \frac{3}{2} \nu R T_2 + \nu R T_3 - \nu R T_1 = \frac{1}{2} \nu R T_1 - \frac{3}{2} \nu R T_2 + \nu R T_3 \end{aligned}$$

$$\eta = \frac{2T_2 - 2T_1 - \frac{1}{2}T_1 + T_3}{2T_2 - 2T_1} =$$

$$= \frac{\frac{7}{2}T_2 - \frac{5}{2}T_1 - T_3}{2T_2 - 2T_1} = \frac{7T_2 - 5T_1 - 2T_3}{4(T_2 - T_1)} = \frac{5T_2 - 5T_1 + 2T_2 - 2T_3}{4(T_2 - T_1)} =$$

$$A = q \cdot U$$

q dU

$$\frac{mv_1^2}{2} = A$$

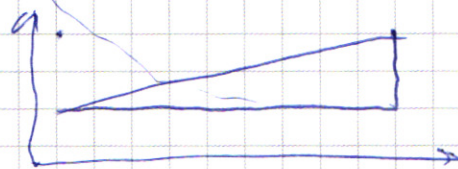
$$\frac{cu^2}{2} = \frac{L^2}{2}$$

$$I = U \sqrt{\frac{C}{L}}$$

$$F = qE$$

$$q \cdot 0,8dU = \frac{mv_1^2}{2}$$

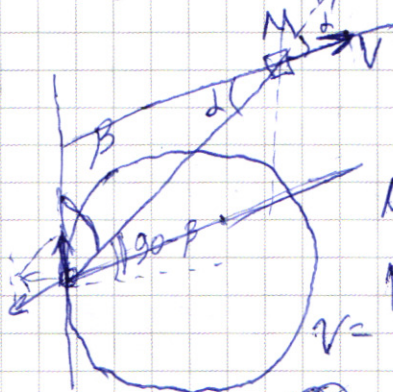
$$U = \frac{m}{q} \cdot \frac{v_1^2}{1,6d} = \frac{v_1^2}{1,6df}$$



~~q dU~~

$$m \cdot v_1 = F \cdot T \Rightarrow T = \frac{mv_1}{F}$$

$$T = \frac{mv_1}{F} = \frac{34}{102} = \frac{1}{3}$$

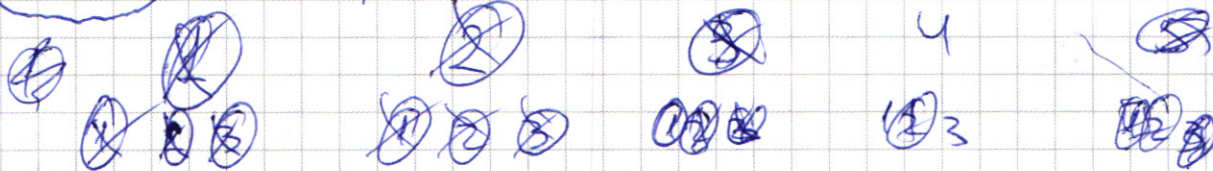


$$F_y = T \cdot \sin \beta$$

$$v = \frac{U}{m} \frac{\cos \alpha}{\cos \beta}$$

$$UV \cos \alpha = mV \cos \beta$$

$$V \cos \alpha = 0,4 \cdot \frac{3 \cdot 17}{5 \cdot 8} = \frac{3 \cdot 17 \cdot 4}{50 \cdot 8} = 0,34 \text{ m/s}$$



$$a_y = \frac{v^2}{R}, F_y = T \cdot \sin \beta = m \frac{v^2}{R} \Rightarrow T \cdot \sin \beta = m \frac{v^2}{R}$$

$$T = \frac{mv^2}{R \sin \beta} = \frac{34^2}{100^2 \cdot 1,5} = \frac{34^2}{100^2 \cdot 1,5} = \frac{0,34}{1,5} = \frac{34}{150} = \frac{17}{75} = 0,227$$

$$\frac{0,1156}{1,5} = \frac{1156}{15000}$$

$$\frac{0,34^2}{1,7 \cdot \frac{15}{17}} = \frac{0,34^2}{1,5} = \frac{0,34 \cdot 0,34}{1,5} = \frac{34 \cdot 0,134}{150}$$

$$\frac{34^2}{15000} = \frac{1156}{15000}$$

$$34 \cdot 30 + 34 \cdot 4 =$$

$$= 1020 + 120 + 16 = 1156$$

$$180 - \alpha - \beta \quad \alpha + \beta \quad \text{used}$$

$$v^2 + v^2 - 2vv \cos(\alpha + \beta)$$

$$15 \cdot 77 = 770 + 385 = 1155$$





ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ

«МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ)»

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

☒ черновик ☐ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)

