

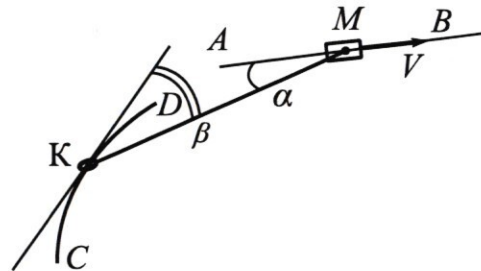
Олимпиада «Физтех» по физике, ф

Класс 11

Вариант 11-02

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

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.



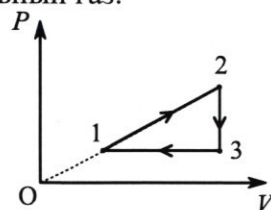
- 1) Найти скорость кольца в этот момент.
- 2) Найти скорость кольца относительно муфты в этот момент.
- 3) Найти силу натяжения троса в этот момент.

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.

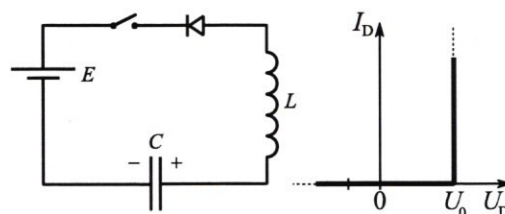


3. Обкладки конденсатора – квадратные металлические сетки, сторона квадрата во много раз больше расстояния d между обкладками. Положительно заряженная частица движется на большом расстоянии к конденсатору по оси симметрии, перпендикулярно обкладкам, влетает в него со скоростью V_1 и останавливается между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



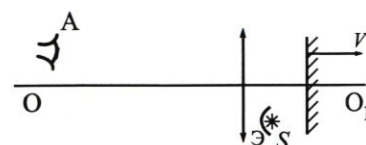
- 1) Найти скорость возрастания тока сразу после замыкания ключа.
- 2) Найти максимальный ток после замыкания ключа.
- 3) Найти установившееся напряжение U_2 на конденсаторе после замыкания ключа.

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

У2. Найти: 1) $\frac{C_{D13}}{C_{D23}}$; 2) $\frac{Q_{12}}{A_{12}}$; 3) η_{max}

Пусть p_1 давление газа в точке 1; p_2 - давл. в точке 2; V_1 - объем в т.1; V_2 - в точках 2, 3. Из условия известно, что $p_1 = \alpha V_1$, $p_2 = \alpha V_2$.

$Q = C_D \Delta T \Rightarrow C_D = \frac{Q}{\Delta T}$ По графику зависимости $p(V)$ 2-3 и 1-3 - участки на которых повышается температура

$pV = \Delta T \Rightarrow \frac{C_{D13}}{C_{D23}} = \frac{\frac{Q_{13}}{\Delta T_{13}}}{\frac{Q_{23}}{\Delta T_{23}}} = \frac{Q_{13} \Delta T_{23}}{Q_{23} \Delta T_{13}}$

$Q_{13} = p_1 \Delta V + \frac{3}{2} p_1 \Delta V = \frac{5}{2} p_1 \Delta V = \frac{5}{2} \Delta p \Delta V$

$Q_{23} = \Delta U + A = \frac{3}{2} \Delta p \Delta V_{23} \Rightarrow$

1) $\frac{C_{D13}}{C_{D23}} = \frac{\frac{5}{2} \Delta p \Delta V_{13} \cdot \Delta T_{23}}{\frac{3}{2} \Delta p \Delta V_{23} \cdot \Delta T_{13}} = \frac{5}{3}$

2) $\eta = \frac{Q_{12}}{A} = 1 + \frac{\Delta U}{A}$ $\Delta U = \frac{3}{2} (p_2 V_2 - p_1 V_1) = \frac{3}{2} \alpha (V_2^2 - V_1^2)$

$A = S \cdot A = \left(\frac{p_1 + p_2}{2} \right) (V_2 - V_1) = \frac{\alpha (V_1 + V_2)}{2} (V_2 - V_1) = \frac{\alpha}{2} (V_2^2 - V_1^2) \Rightarrow$

$\eta = 1 + \frac{\frac{3}{2} \alpha (V_2^2 - V_1^2)}{\frac{\alpha}{2} (V_2^2 - V_1^2)} = 1 + 3 = 4$

3) $\eta = 1 - \frac{Q_x}{Q_H}$ $Q_H = Q_{12} = \frac{3}{2} \alpha (V_2^2 - V_1^2) + \frac{\alpha}{2} (V_2^2 - V_1^2) = 2 \alpha (V_2^2 - V_1^2)$

$Q_x = Q_{13} + Q_{23} = \frac{5}{2} p_1 (V_2 - V_1) + \frac{3}{2} (p_2 - p_1) V_2 = \frac{5}{2} \alpha V_1 (V_2 - V_1) + \frac{3}{2} \alpha (V_2 - V_1) V_2 = \frac{\alpha}{2} (V_2 - V_1) (5V_1 + 3V_2) \Rightarrow$

$\eta = \frac{Q_H - Q_x}{Q_H} = \frac{2 \alpha (V_2^2 - V_1^2) - \frac{\alpha}{2} (V_2 - V_1) (5V_1 + 3V_2)}{2 \alpha (V_2^2 - V_1^2)} = 1 - \frac{5V_1 + 3V_2}{4(V_1 + V_2)}$

$\eta = \frac{A}{Q_H} = \frac{\frac{\alpha}{2} (V_2^2 - V_1^2)}{2 \alpha (V_2^2 - V_1^2)} = \frac{V_2 - V_1}{4(V_1 + V_2)}$

Ответ: 1) $\frac{C_{D13}}{C_{D23}} = \frac{5}{3}$; 2) $\frac{Q_{12}}{A_{12}} = 4$.

WS3

1) $T = ?$; 2) $U = ?$; 3) $V_0 = ?$

1) $\frac{0 - V_1^2}{2s} = a \Rightarrow a = \frac{V_1^2}{2 \cdot (d - 0,2d)} = \frac{V_1^2}{1,6d}$

$S = V_1 T - \frac{a T^2}{2}$

$a_1 T^2 - 2 V_1 T + 2S = 0$

$2 = 4 V_1^2 - 8 a S = 4 (V_1^2 - 2 a S) = 4 (V_1^2 - \frac{V_1^2 \cdot 0,8d}{1,6d}) = 0 \Rightarrow$

$T = \frac{V_1}{a} = \frac{V_1}{\frac{V_1^2}{1,6d}} = \frac{1,6d}{V_1}$

Дано: d
 $d_1, V_1, 0,2d$
 $\frac{q}{m} = \gamma$

2) $A = q \Delta \varphi = q U \Rightarrow U = \frac{A}{q}$

$\frac{m V_1^2}{2} = \frac{m V_0^2}{2} + A \Rightarrow A = \frac{m V_1^2}{2} \Rightarrow U = \frac{m V_1^2}{2q} = \frac{V_1^2}{2\gamma}$

3) $\frac{m V_0^2}{2} = \frac{m V_1^2}{2} + \frac{Kq}{d/2} \cdot 2 \Rightarrow m V_0^2 = m V_1^2 + \frac{4q}{d/2} \Rightarrow$

$V_0 = \sqrt{V_1^2 + \frac{Kq}{d/2}}$

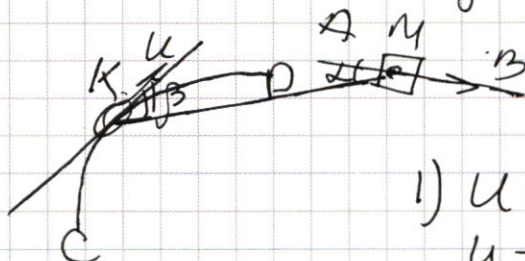
3) $\frac{m V_0^2}{2} = \frac{m V_1^2}{2} + 2qU$ $V_0 = \sqrt{V_1^2 + 2\gamma U} = \sqrt{2} V_1 = 1,41 V_1$

Ответ: 1) $T = \frac{1,6d}{V_1}$; 2) $U = \frac{V_1^2}{2\gamma}$; 3) $V_0 = 1,41 V_1$

WS1

Дано:
 $V = 40 \text{ см/с}$
 $m = 1 \text{ кг}$
 $R = 1,7 \text{ м}$
 $l = \frac{17R}{15}$
 $\cos \alpha = \frac{3}{5}$
 $\cos \beta = \frac{8}{17}$

1) $V_K = ?$
 2) $V_{KM} = ?$
 3) $T = ?$



Решить и- скорость
 конька

1) $U \cos \beta = V \cos \alpha$
 $U = \frac{V \cos \alpha}{\cos \beta} = \frac{40 \cdot \frac{3}{5}}{\frac{8}{17}} = 51 \text{ см/с}$

2) $\vec{V}_{KM} = \vec{V}_K - \vec{V}_M = \vec{U} - \vec{V}$

$\cos(180^\circ - (\alpha + \beta)) = -\cos(\alpha + \beta)$

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

$\sin \alpha = \sqrt{1 - \frac{9}{25}} = \frac{4}{5}$; $\sin \beta = \sqrt{1 - \frac{64}{289}} = \frac{15}{17}$ По Т. кос:

$V_{KM} = \sqrt{U^2 + V^2 + 2UV \cdot \cos(\alpha + \beta)}$ $\Leftrightarrow$

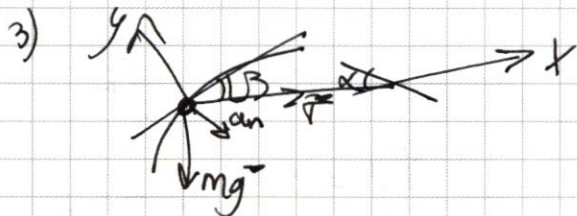
$\cos(\alpha + \beta) = \frac{3}{5} \cdot \frac{8}{17} - \frac{4}{5} \cdot \frac{15}{17} = -\frac{36}{85}$

$\Leftrightarrow \sqrt{1600 + 2601 - \frac{14600}{85}} = \sqrt{1600 + 2601 - 1728} = \sqrt{2473} \approx 49,7 \text{ см/с}$

3) $\Rightarrow$ стр. 3

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

УТ. (продолжение)



$$\begin{aligned} \text{ок } T - mg \cos \beta &= m a_n \cdot \cos \beta \\ T &= m(a_n + g) \cos \beta = \\ &= m \cos \beta \left(\frac{v^2}{R} + g \right) = \\ &= \frac{8}{17} (17 \frac{2.9}{1.7} + 10) \approx \\ &\approx 758 \text{ Н} \end{aligned}$$

Ответ: 1) $u = 51 \text{ м/с}$; 2) $V_{\text{км}} = 49 \text{ м/с}$
3) $T = 758 \text{ Н}$

УЧ.

Дано:

$$E = 3 \text{ В}$$

$$C = 20 \text{ мкФ}$$

$$U_1 = 6 \text{ В}$$

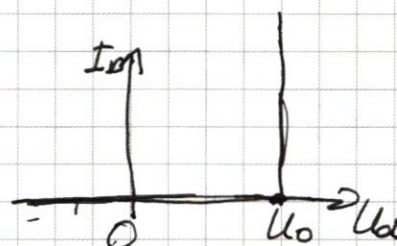
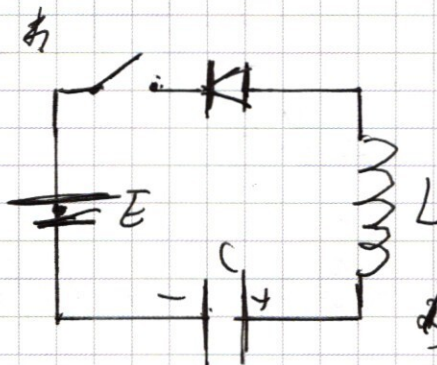
$$L = 0,2 \text{ Гн}$$

$$U_0 = 1 \text{ В}$$

$$1) U - ?$$

$$2) I_m - ?$$

$$3) U_2 - ?$$



$$2) U_1 = LI + U_0 + E \Rightarrow$$

$$I_m = \frac{U_1 - U_0 - E}{L} = \frac{2}{0,2} = 10 \text{ А/с}$$

2) $t_{\text{кн}}$ Конд. разряжается и тогда $I = 0$

$$U_k(t) = LI - E - U_0 = 0$$

$$I = \frac{U_k(t) - E - U_0}{L} = 0 \Rightarrow U_k(t) = E + U_0$$

$$U_0 = U_k + U_{\text{max}}$$

$$\frac{CU^2}{2} = \frac{LI_m^2}{2} + \frac{CU_k^2}{2}$$

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

$$= \sqrt{\frac{20 \cdot 10^{-6} (36 - 16)}{0,2}} = \sqrt{\frac{20^2 \cdot 10^{-6}}{0,2}} =$$

$$= \frac{20 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{0,2}} = 10^{-3} \cdot \sqrt{2000} =$$

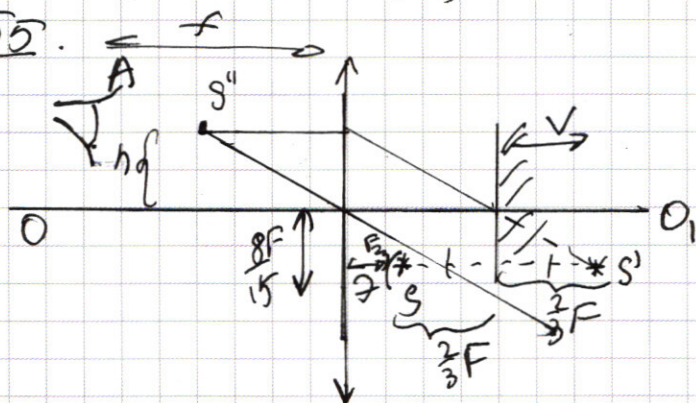
$$= 10^{-2} \cdot \sqrt{20} =$$

$$= 4,5 \cdot 10^{-2} \Rightarrow \text{отв. 4}$$

б) $U_2 = E - U_0 = 0 \Rightarrow U_2 = E + U_0$ — напряжение, которое фотокатодом устанавливается на конденсаторе после замыкания ключа $U_2 = 3 + 1 = 4 \text{ В}$

Ответ: 1) $I = 10 \text{ А/с}$; 2) $I_m = 4,5 \cdot 10^{-2} \text{ А}$; 3) $U_2 = 4 \text{ В}$

У5.



$$1) d = \frac{2}{3}F + F = \frac{5}{3}F$$

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F} \Rightarrow \frac{1}{f} = \frac{1}{F} - \frac{1}{d} = \frac{1}{F} - \frac{3}{5F} = \frac{2}{5F} \Rightarrow f = \frac{5F}{2}$$

$$f = \frac{F \cdot d}{d - F} = \frac{\frac{5}{3}F \cdot F}{\frac{5}{3}F - F} = \frac{5F}{2}$$

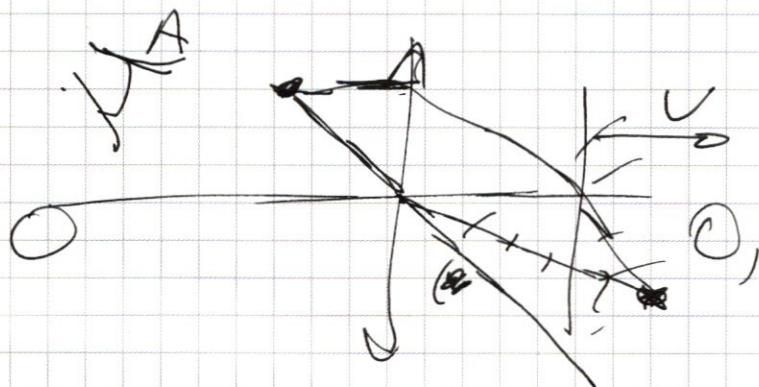
из подобия тр-ков:

$$2) \frac{\frac{8F}{15}}{h} = \frac{f}{d-f} \Rightarrow h = \frac{4}{5}F$$

$$\tan \alpha = \frac{h}{f-F} = \frac{\frac{4}{5}F}{\frac{5}{2}F - F} = \frac{8}{5} \Rightarrow \alpha = \arctg \frac{8}{5}$$

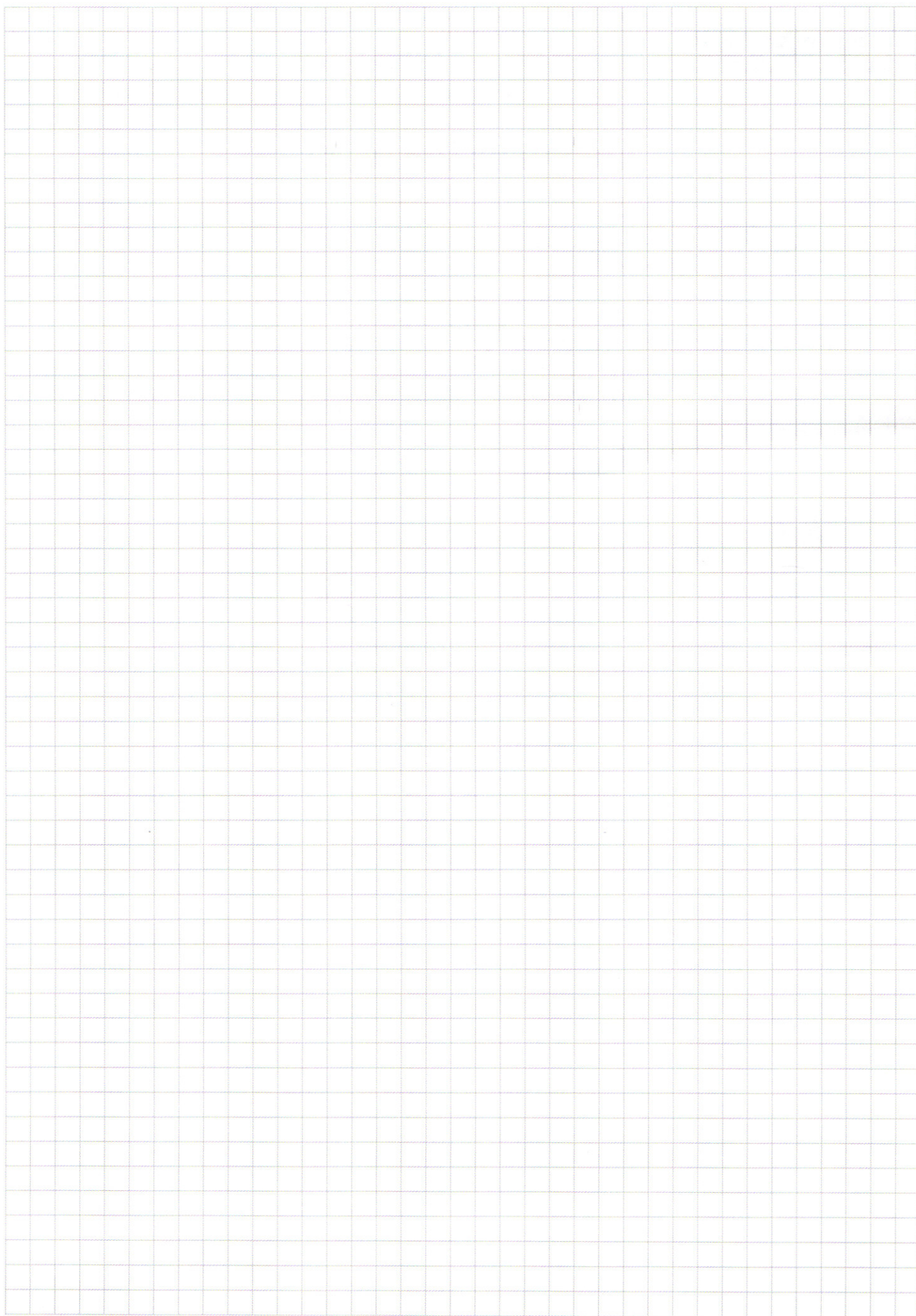
Ответ: 1) $f = \frac{5}{2}F$; 2) $\alpha = \arctg \frac{8}{5}$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$$\begin{array}{r} 4,5 \\ + 4,5 \\ \hline + 225 \\ 180 \\ \hline 20,25 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 4,4 \\ + 4,4 \\ \hline 76 \\ + 176 \\ \hline 19,36 \end{array}$$

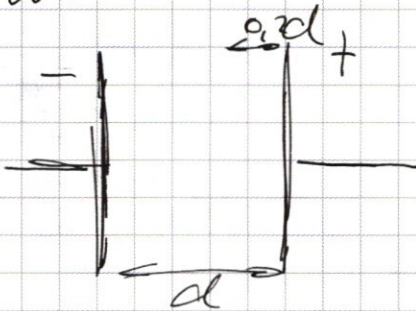


☒ черновик ☐ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

у3.



① ~~мех~~ ~~Электростатика~~

$$v_1^2 - v_0^2 = 2as \Rightarrow \frac{0 - v_1^2}{2s} = a$$

$$a = \frac{v_1^2}{2 \cdot 0.001} = \frac{v_1^2}{0.002}$$

$$s = v_0 t - \frac{at^2}{2} \quad (1)$$

$$at^2 - 2v_0 t + 2s = 0$$

$$D = 4v_0^2 - 8as = 4(v_0^2 - 2as) \Rightarrow 4(1.6^2 - 2 \cdot \frac{v_1^2}{0.002} \cdot 0.001)$$

$$v_{1,2} = \frac{2v_0 \pm \sqrt{4v_0^2 - 8as}}{2a}$$

$$v_1 = \frac{v_0 + \sqrt{v_0^2 - 2as}}{a}$$

$$\Rightarrow 4(v_0^2 - \frac{v_1^2 \cdot 0.001}{0.002}) = 0 \Rightarrow v_1 = \frac{v_0}{a} = \frac{1.6}{1.6} = 1.6 \text{ м/с}$$

② ~~U = E \cdot d~~ $C = \frac{q}{U} \Rightarrow U = \frac{q}{C}$

~~$U = E \cdot d$~~

$$A = q \Delta \varphi = qU$$

$$U = \frac{A}{q}$$

$$\frac{mv_1^2}{2} = \frac{mv_0^2}{2} + A$$

$$A = \frac{m(v_1^2 - v_0^2)}{2}$$

$$U = \frac{\frac{mv_1^2}{2}}{q} = \frac{m}{q} \frac{v_1^2}{2} = \frac{v_1^2}{2\gamma}$$

$$C = \frac{q}{U} = \frac{q}{\frac{q}{2\gamma}} = \frac{2\gamma}{v_1^2}$$

③ ~~$q \sqrt{\frac{A}{m}}$~~ ~~$\frac{mv_1^2}{2}$~~ ~~$\frac{mv_0^2}{2}$~~

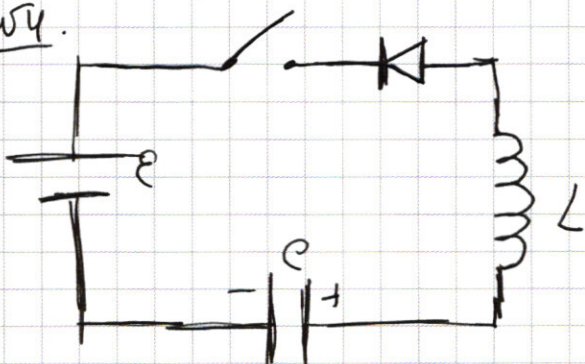
$$\frac{mv_0^2}{2} = \frac{mv_1^2}{2} + \frac{kq^2}{d^2} \cdot 1.2$$

$$mv_0^2 = mv_1^2 + \frac{kq^2}{d^2} \cdot 1.2m$$

$$v_0^2 = v_1^2 + \frac{kq^2}{d^2} \cdot 1.2$$

$$v_0 = \sqrt{v_1^2 + \frac{kq^2}{d^2} \cdot 1.2}$$

W4.



$$C = 20 \mu\text{F}$$

$$U_1 = 6\text{В}; E = 3\text{В}$$

$$L = 92\text{мГн}; U_0 = 1\text{В}$$

- 1) U_1 - ?
- 2) I_m - ?
- 3) U_2 - ?

$$\mathcal{E} = -L \frac{dI}{dt}$$

$$\textcircled{2} I_2 = \frac{U_1 - U_0 - E}{L}$$

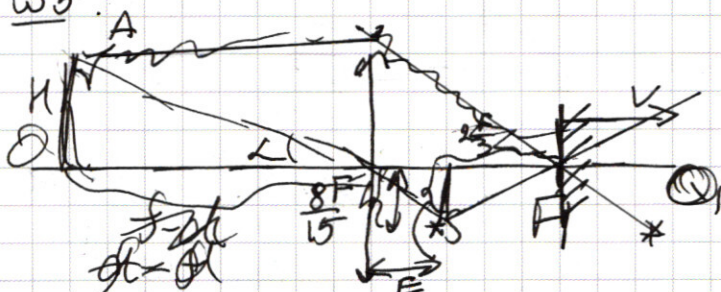
$$\textcircled{1} \frac{dU_1}{dt} = \frac{U_1 - U_0 - E}{L}$$

$$\frac{4}{5} = \frac{15}{8} \cdot x$$

$$x = \frac{32}{5 \cdot 15}$$

$$I_m = \frac{U_1 - U_0 - E}{L}$$

W5.



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

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

$$\frac{H}{\frac{8F}{15}} = \frac{F}{\frac{F}{3}} = \frac{F}{\frac{F}{6}} = 2$$

$$H = \frac{15}{16} F$$

$$\textcircled{1} \frac{5}{3} \frac{f^2}{2F} = \frac{5}{2} \frac{f^2}{F}$$

$$\textcircled{3} U_1 = \frac{9}{2} \text{В}$$

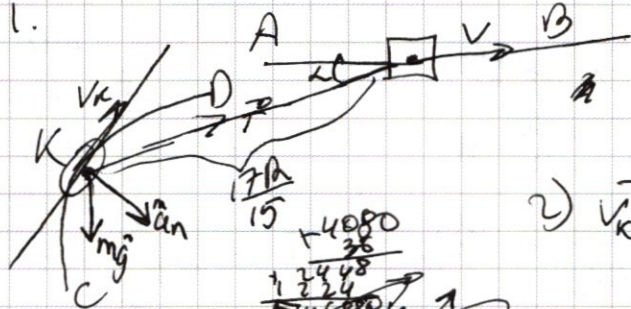
$$V = \frac{2V f^2}{d^2} = \frac{2 \cdot V \cdot \frac{25}{4} F^2}{(\frac{F}{3})^2 \cdot \frac{25}{9} F^2} = \frac{9}{2} \text{В}$$

4000

15 | 100

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

51.



$$u \cos \beta = v \cos \alpha$$
$$u = \frac{v \cdot \cos \alpha}{\cos \beta} = \frac{40 \cdot \frac{3}{5}}{\frac{4}{5}} =$$

2) $\vec{v}_{KM} = \vec{v}_K - \vec{v}_m = \frac{3}{17} 51 \text{ cm/s}$

$$\begin{array}{r} 51 \\ + 51 \\ \hline 51 \\ + 255 \\ \hline 2601 \end{array}$$

$$V_{km} = \sqrt{V_k^2 + V_m^2 + 2V_k V_m \cos(\alpha + \beta)}$$

$$V_{KM} = \sqrt{40^2 + 51^2 + 2 \cdot 40 \cdot 51 \cdot \frac{36}{85}} =$$

$$\cos(\alpha + \beta) = \frac{3}{5} \cdot \frac{8}{17} - \frac{15}{17} \cdot \frac{4}{5} = \frac{24 - 60}{85} = -\frac{36}{85}$$

$V_{K1A} = 17$
 $V_m = 17$
 $V_B = 119$

$$\cos(\alpha + \beta) = \frac{17}{289} - \frac{64}{23}$$

$$\sin \alpha = \sqrt{1 - \frac{9}{25}} = \frac{4}{5}$$

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

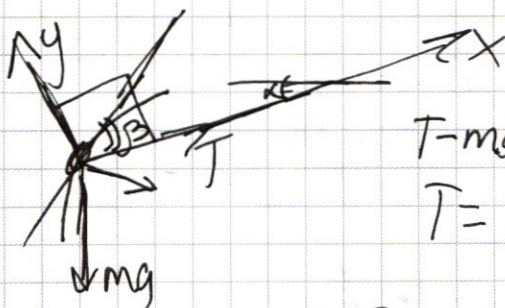
⑤ $\sqrt{1600+2601 - \frac{146880}{89}} = \sqrt{1600+2601 - 178} = \sqrt{2473} \approx$

$$\begin{array}{r} 146880 \overline{) 85} \\ \underline{85} \\ -618 \\ \underline{595} \\ -238 \\ \underline{170} \\ -680 \\ \underline{680} \\ 0 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 260 \\ - 420 \\ \hline 1720 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 216 \\ \times 54 \\ \hline 864 \\ 1080 \\ \hline 23664 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} \cancel{+51} + 49 \\ \hline 196 \\ \hline 2501 \end{array} \quad \begin{array}{r} + 48 \\ \hline 384 \\ \hline 23043896 \\ \hline 1948 \\ \hline 2371,69 \end{array} \quad \begin{array}{r} + 48 \\ \hline 4817 \\ \hline 3409 \end{array}$$



$$T - mg \cos \beta = m a_n \cdot \cos \beta$$

$$T = m \cos \beta (a_n + g) =$$

$$= \cancel{m} \cdot \frac{8}{17} \left(\frac{v^2}{r_a} + g \right) =$$

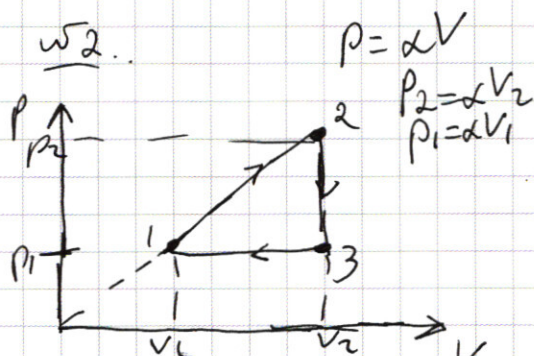
$$= \frac{8}{17} \left(\frac{17^2 - 9}{47} + 10 \right) =$$

$$= \frac{8}{17} (17.90 + 10) =$$

$$= 8.90 + \frac{80}{17} =$$

$$= 80 \left(9 + \frac{8}{17} \right) =$$

$$\frac{16}{17} \cdot \frac{12880}{17} = \frac{12880}{17} \approx 757.6$$



$$pV = \nu R T$$

$$Q = G \cdot \nu \cdot \Delta T$$

$$C_p = \frac{Q}{\nu \Delta T} = \frac{3 \nu R \Delta T}{\nu \Delta T} = 3R$$

$$Q = \Delta U + A$$

$$\Delta U = \frac{3}{2} (p_2 V_2 - p_1 V_1) = 0$$

$$Q = \Delta U + A$$

$$Q_{2-3} = \Delta U = \frac{3}{2} \nu R \Delta T_{23}$$

$$Q_{1-3} = p \Delta V + \frac{3}{2} p \Delta V = \frac{5}{2} p \Delta V = \frac{5}{2} \nu R \Delta T_{13}$$

$$\textcircled{1} \left[\frac{C_{p13}}{C_{p23}} \right] = \frac{\frac{Q_{13}}{\nu \Delta T_{13}}}{\frac{Q_{23}}{\nu \Delta T_{23}}} = \frac{Q_{13} \Delta T_{23}}{Q_{23} \Delta T_{13}} = \frac{Q_{13} \cdot \Delta T_{23}}{\frac{3}{2} \nu R \Delta T_{23} \cdot \Delta T_{13}} = \frac{5}{2} \frac{p \Delta V}{\nu R \Delta T_{13}} = \frac{5}{2} \frac{p \Delta V}{\frac{3}{2} \nu R \Delta T_{13}} = \frac{5}{3}$$

$$\textcircled{2} Q_{12} = \Delta U + A$$

$$\eta = \frac{Q_{12}}{A} = 1 + \frac{\Delta U}{A}$$

$$\Delta U = \frac{3}{2} (p_2 V_2 - p_1 V_1) = \frac{3}{2} \alpha (V_2^2 - V_1^2)$$

$$A = (V_2 - V_1) \cdot \frac{p_2 + p_1}{2} = (V_2 - V_1) \cdot \alpha \left(\frac{V_1 + V_2}{2} \right)$$

$$\eta = \frac{\Delta U + A}{A} = 1 + \frac{\Delta U}{A} = 1 + \frac{\frac{3}{2} \alpha (V_2^2 - V_1^2)}{\alpha (V_2 - V_1) \frac{V_1 + V_2}{2}} = 1 + \frac{3}{2} \frac{(V_2^2 - V_1^2)}{(V_2 - V_1)(V_1 + V_2)} = 1 + \frac{3}{2} \frac{(V_2 + V_1)}{(V_2 - V_1)} = \frac{5}{2} \frac{V_1 + V_2}{V_2 - V_1}$$

$$\textcircled{3} \eta = \frac{Q_H - Q_X}{Q_H} = 1 - \frac{Q_X}{Q_H}$$

$$Q_X = Q_{13} + Q_{23}$$

$$Q_H = Q_{12} = \frac{3}{2} \alpha (V_2^2 - V_1^2) + \alpha (V_2 - V_1) \frac{V_1 + V_2}{2} = 2 \alpha (V_2^2 - V_1^2)$$

$$\frac{A}{Q_H} = \frac{Q_X}{Q_H} = \frac{\frac{5}{2} p \Delta V + \frac{3}{2} p \Delta V}{\frac{5}{2} p \Delta V + \frac{3}{2} p \Delta V} = \frac{5}{2} \frac{p \Delta V}{\frac{5}{2} p \Delta V + \frac{3}{2} p \Delta V} = \frac{5}{2} \frac{p \Delta V}{4 p \Delta V} = \frac{5}{8}$$

$$\eta = 1 - \frac{5}{8} \frac{V_1}{V_2 - V_1}$$

$$\eta = 1 - \frac{5}{8} \frac{(V_1 + V_2) - V_2}{(V_2 - V_1)} = 1 - \frac{5}{8} \frac{V_1}{V_2 - V_1}$$

$$\eta = 1 - \frac{5}{8} \frac{V_1}{V_2 - V_1}$$

$$\frac{V_1}{V_2 - V_1} > \frac{4}{5}$$

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

$$Q_X = Q_{13} + Q_{23} = \frac{5}{2} p_1 (V_2 - V_1) + \frac{3}{2} (p_2 - p_1) V_2 = \frac{5}{2} p_1 (V_2 - V_1) + \frac{3}{2} \alpha (V_2 - V_1) V_2$$

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