

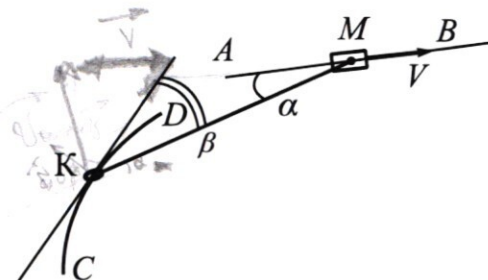
Олимпиада «Физтех» по физике, (

Вариант 11-01

Класс 11

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

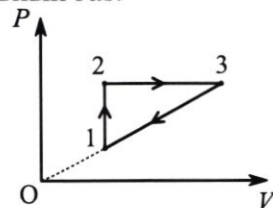
1. Муфту М двигают со скоростью $V = 68$ см/с по горизонтальной направляющей АВ (см. рис.). Кольцо К массой $m = 0,1$ кг может двигаться без трения по проволоке CD в виде дуги окружности радиусом $R = 1,9$ м. Кольцо и муфта связаны легкой нитью длиной $l = 5R/3$. Система находится в одной горизонтальной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



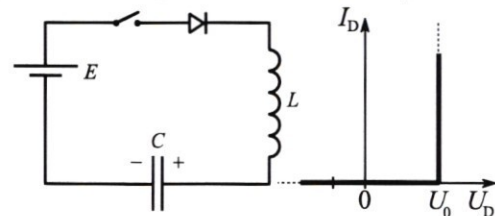
3. Обкладки конденсатора – круглые металлические сетки площадью S , расстояние между обкладками d ($d \ll \sqrt{S}$). Из точки, находящейся между обкладками на оси симметрии на расстоянии $0,25d$ от положительно заряженной обкладки, стартует с нулевой начальной скоростью положительно заряженная частица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

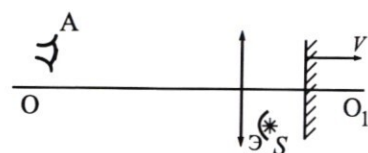
4. В цепи, схема которой показана на рисунке, ключ разомкнут, ЭДС идеального источника $E = 9$ В, конденсатор емкостью $C = 40$ мкФ заряжен до напряжения $U_1 = 5$ В, индуктивность идеальной катушки $L = 0,1$ Гн. Вольтамперная характеристика диода дана на рисунке, пороговое напряжение диода $U_0 = 1$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

N1.

М; $V = 68 \text{ см/с}$;
 $m = 0,1 \text{ кг}$;
 $R = 1,9 \text{ м}$;
 $l = 5R/3$;
 $\cos \alpha = \frac{1}{5}$;
 $\cos \beta = \frac{4}{5}$;
 Найти: V ;
 $V_{\text{отн}}$; T .

Решение: $\vec{V}_{\text{отн}} = \vec{V} - \vec{V}$
 $T = m a_{\text{из}} = \frac{m V_{\text{отн}}^2}{L}$

$T \sin \beta = \frac{m V^2}{R} \cdot x$

$V (\cos(\alpha + \beta)) = V$

$90 - \beta + \alpha + \beta = 90 + \alpha$

$15 = 225$
 12
 17
 119
 14
 289

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

$16 - 1 = 20 U_c$

$E - U_c = U_c$

$2E - U_c = 2U_c$

$U_c = 4,5$

$E + \frac{LI}{\Delta t} - U_c = U_c$; $E + E - U_c - U_c = U_c$

$U = E - U_1 = 4,5$; $U = LI$; $I = \frac{U}{L}$

$E - U_c + \frac{LI}{\Delta t} = U_c$; $8 + \frac{LI}{\Delta t} = U_c$

$8 - (E - U_c) = U_c$; $8 - 9 = 2U_c$; $U_c =$

N2.

$i = 3$; $C_p = R + C_v = \frac{i+2}{2} R = \frac{5}{2} R$;
 $C_v = \frac{i}{2} R = \frac{3}{2} R$

$\eta = \frac{A_{\text{из}}}{Q_{\text{в}}} = \frac{pV_2 - pV_1}{2(p_1(V_2 - V_1) + p(V_2 - V_1))}$

$A = p \Delta V = pV_2 - pV_1$
 $= 2RT_2 - 2RT_1 = 2R \Delta T$;
 $Q_{23} = \frac{5}{2} 2R \Delta T_{23}$
 $Q_{12} = \frac{3}{2} 2R \Delta T_{12}$

$\frac{5}{2} 2R \Delta T_{13}$
 $\frac{5}{2} 2R \Delta T_{12} + \frac{5}{2} 2R \Delta T_{23}$
 $= \frac{\Delta T_{13}}{\Delta T_{12} + \Delta T_{23}}$

N3.

$F_k = Eq$; $a = \frac{Eq}{m}$; $a = gE$; $\frac{3}{4} d = \frac{gE T^2}{2}$

$C = \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{d}$; $C = \frac{\epsilon_0 S}{d}$; $Q = CU = CE d = \frac{\epsilon_0 S}{d} \cdot E \cdot d = \epsilon_0 SE$

N3.

Дано: Решение: на частицу будет действовать $F_k = S; d(d \ll \sqrt{S}); = Eq$; по II з. Н.: $Eq = ma$; $a = \frac{Eq}{m} = \delta E$. По закону $x_0 = 0,25d$; $PJLJLQ$: $x = x_0 + v_0 t + \frac{at^2}{2}$, приняв исходное $\frac{q}{m} = \delta$; Т. положение частицы за 0, имеем $d - 0,25d = \frac{aT^2}{2}$;
Найти: $0,75 = \frac{\delta ET^2}{2}$; $E = \frac{1,5}{\delta T^2}$; $C = \frac{\epsilon_0 S}{d}$; $U = E \cdot d$; $Q = CU = \frac{\epsilon_0 S}{d} \cdot E \cdot d$;
 $V_1; Q; V_2$. $= \epsilon_0 S E = \frac{\epsilon_0 S \cdot 1,5}{\delta T^2}$. Известно, что $V_1 = v_0 + at$; $v_0 = 0$;
 $V_1 = aT = \delta E \cdot T = \frac{1,5}{T}$. Поскольку в конденсатора не равно $E_{вн} = 0$, $F_{квн} = 0$; $V_2 = V_1$ (из-за $a = 0$).
Ответ: $V_1 = \frac{1,5}{T}$; $Q = \frac{\epsilon_0 S \cdot 1,5}{\delta T^2}$; $V_2 = \frac{1,5}{T}$.

N2.

Дано: Решение: $V_{12} = \text{const}_2 \Rightarrow C_{12} = C_v = \frac{5}{2} R = \frac{3}{2} R$; $p_{23} = \text{const} \Rightarrow$
 $p_{23} = \text{const}$; $\Rightarrow C_{23} = C_p = C_v + R$ (формула Майера) $= \frac{5}{2} R$; $\frac{C_{12}}{C_{23}} = \frac{C_v}{C_p} = \frac{\frac{3}{2} R}{\frac{5}{2} R} = \frac{3}{5}$;
 $V_{12} = \text{const}$; $= 0,6$; $\Delta_{23} = p_{23} \Delta V = p_{23} V_3 - p_{23} V_2 = \Delta RT_3 - \Delta RT_2 = \Delta R \Delta T_{23}$;
 $p_{13} \sim V_{13}$; $Q_{23} = \Delta C_{23} \Delta T_{23} = \chi_p \Delta T_{23} = \Delta \cdot \frac{5}{2} R \Delta T_{23}$; $\frac{Q_{23}}{\Delta_{23}} = \frac{\Delta \cdot \frac{5}{2} R \Delta T_{23}}{\Delta R \Delta T_{23}} = 2,5$.
 $i = 3$. $\eta = \frac{\Delta_{12}}{Q_{12}} = \frac{p_2(V_3 - V_1)}{2(\frac{3}{2}(p_2 - p_1)V_1 + \frac{5}{2}(p_2(V_3 - V_1)))} = \frac{nV_3^2 - nV_1V_3}{3n(V_1V_3 - V_1^2) + 5n(V_3^2 - V_1V_3)}$;
Найти: C_{12}/C_{23} ; $= \frac{V_3^2 - V_1V_3}{5V_3^2 - 2V_1V_3 - 3V_1^2}$; $V_3^2 - V_1V_3 = \eta(5V_3^2 - 2V_1V_3 - 3V_1^2)$;
 Q_{23}/Δ_{23} ; Пусть $x = \frac{1}{\eta}$; тогда $xV_3^2 - V_1V_3 = 5V_3^2 - 2V_1V_3 - 3V_1^2$.
 $\eta_{\max}$; $\eta_{\max}$ при $V_1 \rightarrow 0$; $x_{\eta_{\max}} = 5$, так как $xV_3^2 = 5V_3^2$ при $V_1 \rightarrow 0$.
 $\eta_{\max} = \frac{1}{x_{\eta_{\max}}} = \frac{1}{5} = 20\%$.

Ответ: ~~0,6~~; $\frac{C_{12}}{C_{23}} = 0,6$; $\frac{Q_{23}}{\Delta_{23}} = 2,5$; $\eta_{\max} = 20\%$.

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$\begin{cases} T \cos(90^\circ - \beta) + N \cos \beta = m \frac{v^2}{R} \\ T - N = \frac{m v_{\text{центр}}^2}{L} \end{cases}; \begin{cases} (T - N) = \frac{m v^2}{\sin \beta R}; T = N + \frac{m v^2}{\sin \beta R} \\ T - N = \frac{m v_{\text{центр}}^2}{\frac{3}{2} R} \end{cases}$$

$$\begin{cases} T \sin \beta - N = \frac{m v^2}{R} \\ T - N \sin \beta = \frac{m v_{\text{центр}}^2}{\frac{3}{2} L} \end{cases}; \begin{cases} T \sin^2 \beta - N \sin \beta = \frac{m v^2}{R} \sin \beta \\ T - N \sin \beta = \frac{m v_{\text{центр}}^2}{\frac{3}{2} L} \end{cases}$$

$$T(1 - \sin^2 \beta) = \frac{m v_{\text{центр}}^2}{\frac{3}{2} L} - \frac{m v^2 \sin \beta}{R}; T = \left(\frac{m v_{\text{центр}}^2}{L} - \frac{m v^2 \sin \beta}{R} \right) \frac{1}{\cos^2 \beta}$$

$$\begin{array}{r} 4 \\ 74 \\ \times 74 \\ \hline 539 \\ 539 \\ \hline 5929 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 2 \\ 75 \\ \times 75 \\ \hline 375 \\ 525 \\ \hline 5625 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 5929 \\ 5625 \\ \hline 304 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 304 \overline{) 16} \\ 16 \overline{) 19} \\ \hline 144 \\ - 144 \\ \hline 0 \end{array}$$

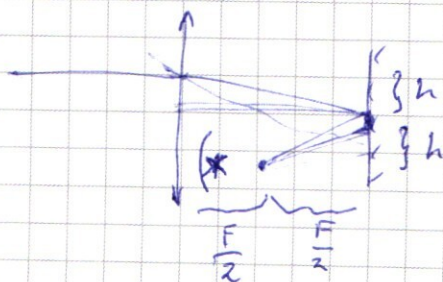
$$\eta = \frac{p_2 V_3 - p_2 V_1}{2(p_2 V_1 - p_2 V_1^2 + 5(p_2 V_3 - p_2 V_1))} = \frac{p_2 V_3 - p_2 V_1}{3p_2 V_1 - 3p_1 V_1 + 5p_2 V_3 - 5p_2 V_1} = \frac{p_2 V_3 - p_2 V_1}{5p_2 V_3 - 3p_1 V_1 - 3p_2 V_1}$$

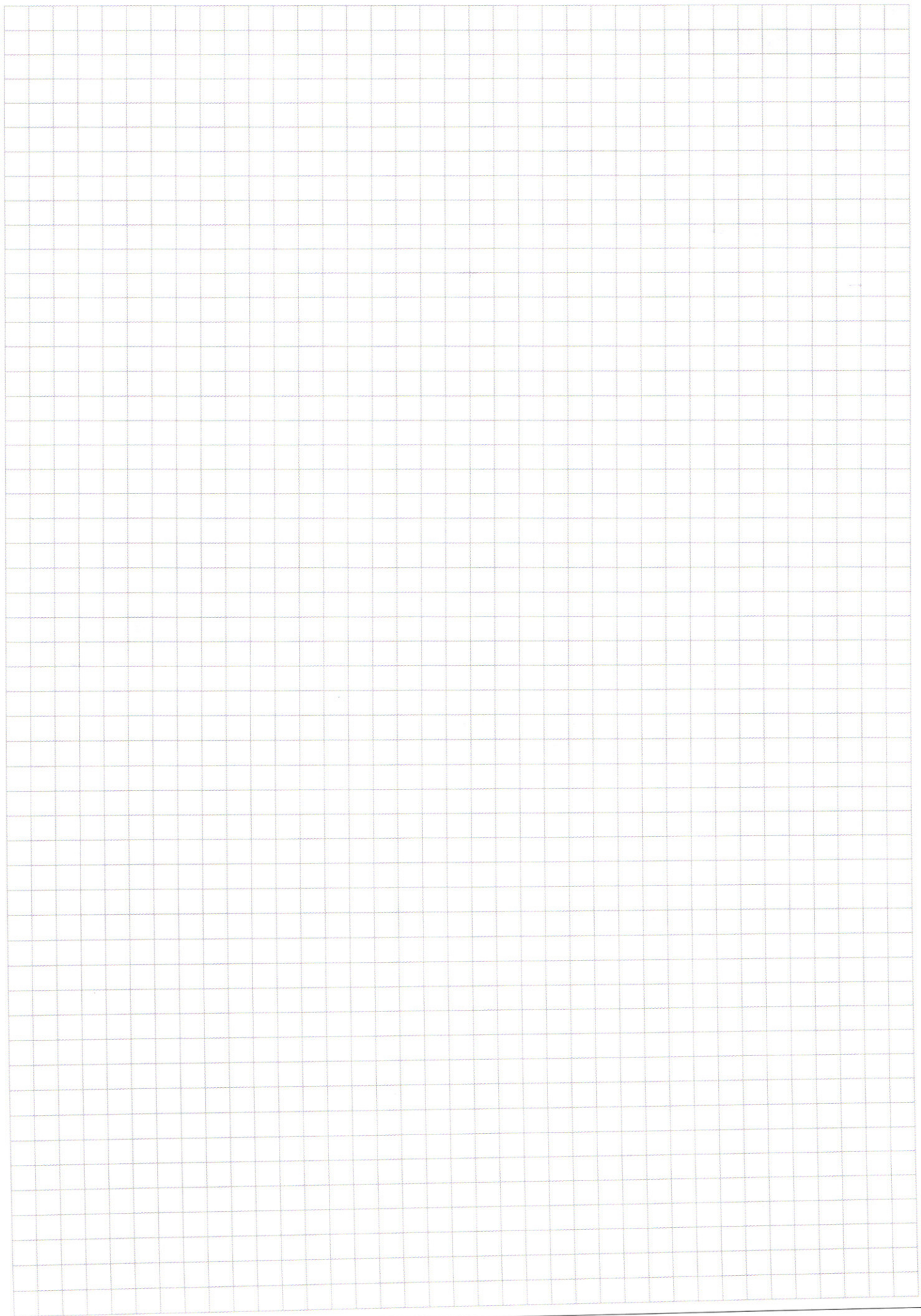
$$= \frac{h V_3^2 - h V_1 V_3}{5h V_3^2 - 3h V_1 V_3 - 2h V_1 V_3} = \frac{V_3^2 - V_1 V_3}{5V_3^2 - 3V_1 V_3 - 2V_1 V_3} = \frac{V_3(V_3 - V_1)}{5V_3^2 - 5V_1 V_3 - 3V_1^2}$$

$$\frac{5V_3^2 - 2V_1 V_3 - 3V_1^2}{5V_3^2 + 5V_1 V_3 - 2V_1 V_3 - 3V_1^2} \cdot \frac{V_3 - V_1}{5V_3}$$

$$(V_3^2 - V_1 V_3) x = 5V_3^2 - 2V_1 V_3 - 3V_1^2; x V_3^2 - x V_1 V_3 = 5V_3^2 - 2V_1 V_3 - 3V_1^2$$

$$x = 5; \eta_{\text{max}} = \frac{1}{7}$$





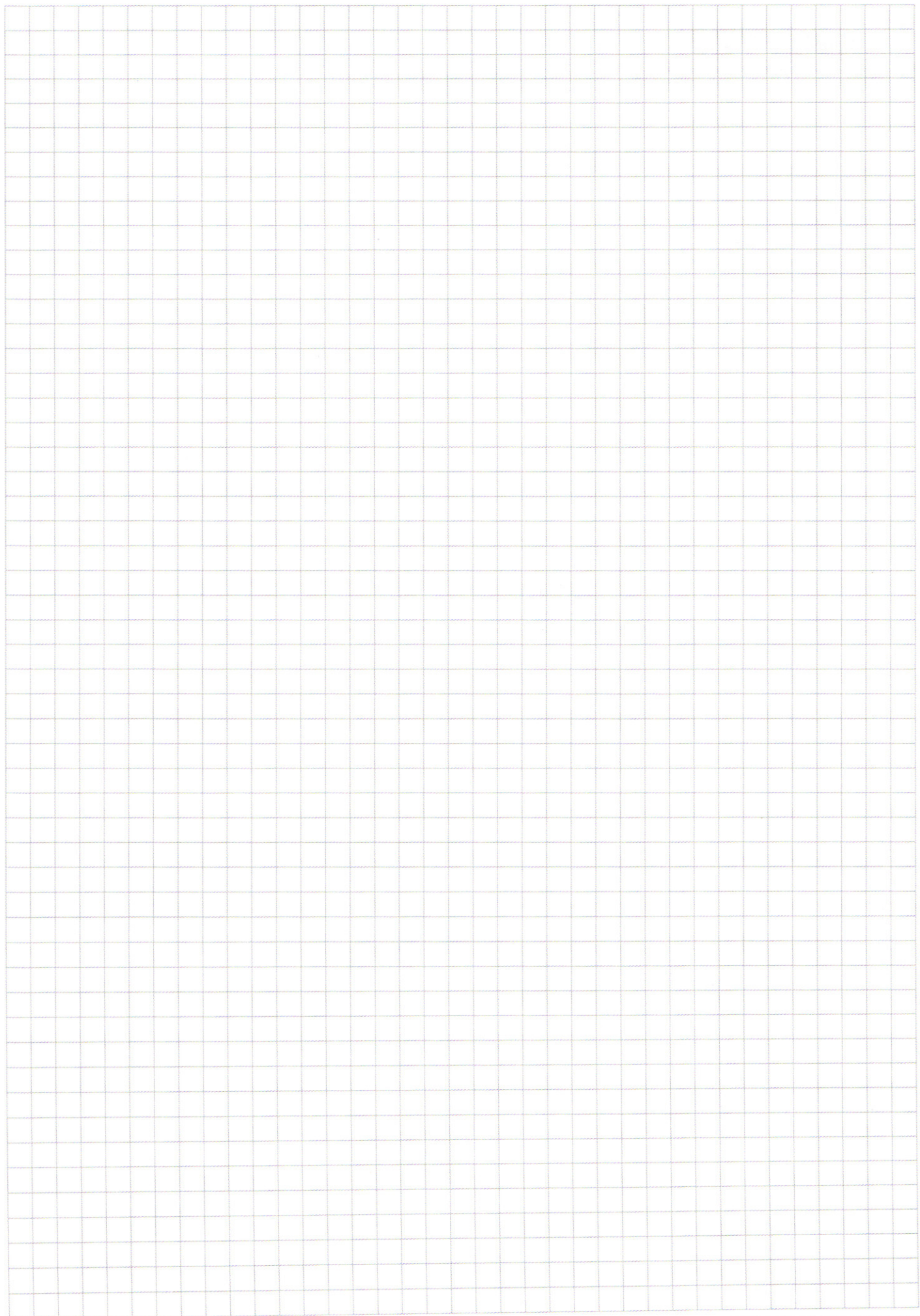
☐ черновик ☐ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$\frac{Q_{\text{ДЗ}}}{Q_{\text{С}}} = \frac{\frac{p}{3}h}{\frac{2}{3}h} = 4; \text{ДЗР} = 4 \text{СР} = 4F; \text{ДЗР} - \text{СР} = \text{ДЗС} = 3F. \text{ДЗС} - \text{искомое расстояние } f; f = 3F.$$

Ответ: $f = 3F$.



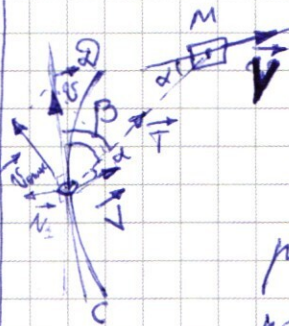
ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

N1.

Дано:
 $V = 68 \text{ см/с};$
 $m = 0,1 \text{ кг};$
 $R = 1,9 \text{ м};$
 $L = 5R/3;$
 $\cos \alpha = 15/17;$
 $\cos \beta = 4/5.$

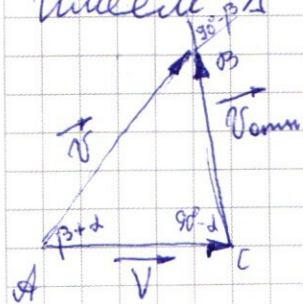
Найти:
 $V; V_{\text{отн}}; T.$

Решение: мы понимаем, что нить натянута; в системе отсчёта мурты, которая инерциальна ($\vec{V} = \text{const}$), кольцо движется по окружности радиуса $L = \frac{5R}{3}$ и имеет $V_{\text{отн}}$, перпендикулярную нити, то есть, $(\vec{V}; \vec{V}_{\text{отн}}) = 90^\circ - \beta$. Но в системе отсчёта Земли мурта



движется со скоростью $\vec{V}$, значит, СО мурты движется со скоростью $\vec{V}$. Таким образом в СО Земли кольцо имеет скорость $\vec{V} = \vec{V}_{\text{отн}} + \vec{V}$.

Имеем Δ скоростей: $(\vec{V}; \vec{V}) = \beta + \alpha$, так как $\vec{V}$ с нитью образует β и $\vec{V}$ с другой стороной с нитью образует α , и всё в горизонтальной плоскости. Обозначим вершины этого Δ как на рисунке: А, В и С. $\angle BAC = \beta + \alpha$;



$\angle ABC = (\vec{V}; \vec{V}_{\text{отн}})$ (как вертикальные); $\angle ACB = 90^\circ - \beta$;

$\angle ACB = 180^\circ - \angle BAC - \angle ABC = 180^\circ - \alpha - \beta - 90^\circ + \beta = 90^\circ - \alpha$.

Мы знаем все углы и одну из сторон (V) Δ . Найдём V и $V_{\text{отн}}$. По теореме синусов $\frac{V}{\sin(90^\circ - \beta)} = \frac{V_{\text{отн}}}{\sin(\alpha + \beta)} = \frac{V}{\sin(90^\circ - \alpha)}$

$$\frac{V}{\cos \beta} = \frac{V_{\text{отн}}}{\sin(\alpha + \beta)} = \frac{V}{\cos \alpha}; \quad V = \frac{V \cos \alpha}{\cos \beta} = \frac{15}{17} \cdot \frac{5}{4} \cdot V = \frac{75 \cdot 68}{17 \cdot 4} = \frac{75 \cdot 17}{17} = 75 \text{ (см/с)}.$$

Дано:

$E = 9 \text{ В};$

$C = 40 \text{ мкФ};$

$U_1 = 5 \text{ В};$

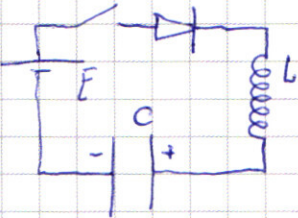
$L = 0,1 \text{ Гн};$

$U_0 = 1 \text{ В}.$

Найти:

 $\dot{I}; I_{\max}; U_2.$

Решение: после замыкания ключа конденсатор будет создавать поле в противоположном источнику направлении.



$U = E - U_1 = 9 - 5 = 4 \text{ (В)} - \text{напряжение}$

сразу в цепи; $U > U_0 \Rightarrow$ ток будет возрастать. U - это напряжение на катушке; $U = \dot{\Phi} = L \dot{I};$

$\dot{I} = \frac{U}{L} = \frac{4}{0,1} = 40 \text{ (А/с)}. \text{ Очевидно, ток прекратится,}$

когда конденсатор зарядится до $U_2 = E - U_0$, то есть, разность между ЭДС и U_0 снизится до U_0 ;

$U_2 = E - U_0 = 9 - 1 = 8 \text{ (В)}. E + L \dot{I} - U_0 = U_2; E + L \left(\frac{E - U_2}{L} \right) - U_0 = U_2;$

$2E - U_0 = 2U_2; U_2 = \frac{2E - U_0}{2} = \frac{2 \cdot 9 - 1}{2} = 8,5 \text{ (В)}.$

$I_{\max} \text{ при } E - U_c = U_0;$

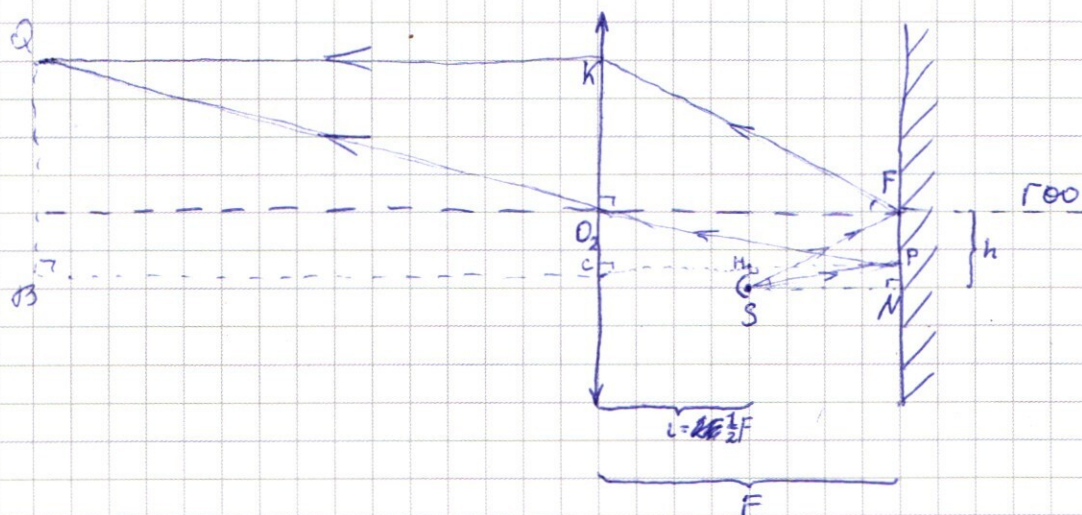
Ответ: $\dot{I} = 40 \text{ А/с}; U_2 = 8,5 \text{ В}.$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№ 5.

Дано: $F; H; \frac{3F}{4};$
 $\phi L = \frac{F}{2}; V.$
Найти:
 $f; d; V.$

Решение: $\Gamma O O$ - главная оптическая ось. Рассмотрим луч, идущий от источника в точку пересечения ~~мт~~ зеркала и $\Gamma O O$. Для линзы он идет из фокуса $\Rightarrow$ после линзы пойдет $\parallel \Gamma O O$. Другой луч



возьмём таким, что после отражения от зеркала он пройдет через центр тонкой линзы $\Rightarrow$ не преломится. $\angle F O_2 K = \angle S N F = 90^\circ$; $\angle K F O_2 = \angle O_1 F S$ (по закону отражения); $\angle O_1 F S = \angle F S N$ (как накр. лет. при $S N \parallel O_2 F$ и сек. $S F$) $\Rightarrow \triangle S F N \sim \triangle F K O_2$ (по гв. $\angle$).
 $S N = F - \frac{1}{2}F = \frac{1}{2}F = \frac{1}{2}O_2 F \Rightarrow F N = \frac{1}{2}K O_2$; $K O_2 = 2h$. Аналогично $\triangle S P N \sim \triangle O_2 P C$;
 $M P = \frac{F}{2} = \frac{1}{2}P C \Rightarrow O_2 C = 2P N$; $O_2 C = \frac{2}{3}h$; $\triangle O_2 C P \sim \triangle Q O_2 P$; $Q O_2 = O_2 C + K O_2 = \frac{8}{3}h$;

$$V_{\text{отн}} = \frac{V \sin(\alpha + \beta)}{\cos \alpha} = \frac{V(\sin \alpha \cos \beta + \sin \beta \cos \alpha)}{\cos \alpha}$$

$$\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1; \sin^2 \alpha + \frac{225}{289} = 1; \sin^2 \alpha = \frac{64}{289}; \sin \alpha = \frac{8}{17}$$

$$\sin^2 \beta + \cos^2 \beta = 1; \sin^2 \beta + \frac{16}{25} = 1; \sin^2 \beta = \frac{9}{25}; \sin \beta = \frac{3}{5}$$

$$V_{\text{отн}} = \frac{45 \left(\frac{8}{17} \cdot \frac{4}{5} + \frac{3}{5} \cdot \frac{15}{17} \right)}{\frac{15}{17}} = 17 \cdot 5 \left(\frac{32}{17 \cdot 5} + \frac{45}{17 \cdot 5} \right) = 32 + 45 = 77 \text{ (м/с)}$$

Ясно, что вертикальная составляющая $\vec{N}$: $\vec{N}_2 = -m\vec{g}$ (по $\vec{z}$ и $\vec{y}$). Рассмотрим горизонтальную составляющую силы $\vec{N}$. Это $\vec{N}_1$. $\vec{N}_1 \perp \vec{V}$ и направлена от центра проволоки (влево). Запишем уравнения движения кольца по окружности в СС Земли и в СС муфты:

$$\begin{cases} T \sin \beta - N = \frac{mV^2}{R} \\ T - N \cos(90^\circ - \beta) = \frac{mV_{\text{отн}}^2}{L} \end{cases}; \begin{cases} T \sin^2 \beta - N \sin \beta = \frac{mV^2 \sin \beta}{R} \\ T - N \sin \beta = \frac{mV_{\text{отн}}^2}{L} \end{cases};$$

$$T(1 - \sin^2 \beta) = m \left(\frac{V_{\text{отн}}^2}{L} - \frac{V^2 \sin \beta}{R} \right);$$

$$T = \frac{m \left(\frac{3}{5} \frac{V_{\text{отн}}^2}{R} - \frac{3}{5} \frac{V^2}{R} \right)}{\cos^2 \beta} = \frac{3m(V_{\text{отн}}^2 - V^2)}{5R \cos^2 \beta} = \frac{3 \cdot 0,1 \cdot (0,77^2 - 0,75^2)}{5 \cdot 1,9 \cdot \frac{16}{25}} =$$

$$= \frac{0,3 \cdot 5(0,5929 - 0,5625)}{16 \cdot 1,9} = \frac{1,5 \cdot 0,0304}{16 \cdot 1,9} = \frac{1,5 \cdot 19}{1,9} = 15 \text{ (Н)}$$

Ответ: $V = 0,75 \text{ м/с}$; $V_{\text{отн}} = 0,77 \text{ м/с}$; $T = 15 \text{ Н}$.