

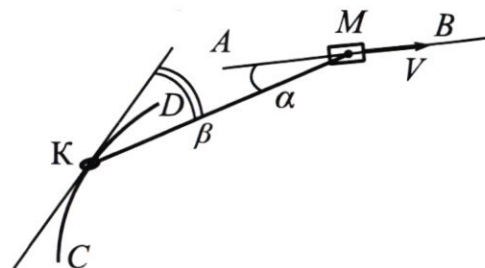
Олимпиада «Физтех» по физике, 11 класс

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.



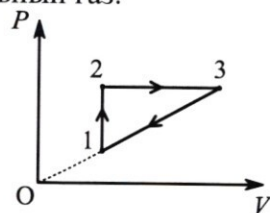
- 1) Найти скорость кольца в этот момент.
- 2) Найти скорость кольца относительно муфты в этот момент.
- 3) Найти силу натяжения нити в этот момент.

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?

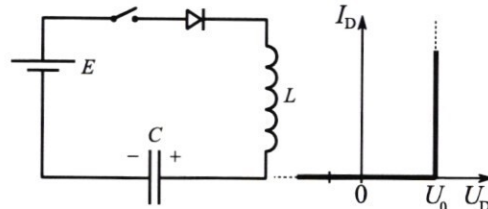
При движении частицы электрическое поле, созданное зарядами конденсатора, считать неизменным, а электрическое поле внутри конденсатора вблизи оси симметрии считать однородным.

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.

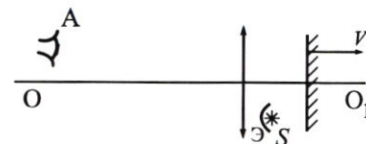


5. Оптическая система состоит из тонкой линзы с фокусным расстоянием F , плоского зеркала и небольшого экрана Э, расположенного так, что свет от источника S может попасть на линзу только после отражения от зеркала (см. рис.). Зеркало расположено перпендикулярно главной оптической оси OO_1 линзы. Источник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

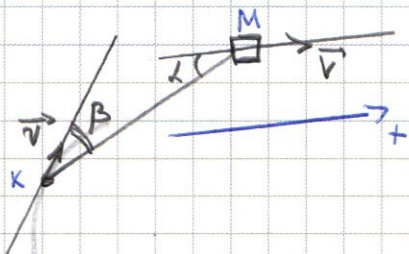
2) Под каким углом α к оси OO_1 движется изображение в этот момент? (Найти значение любой тригонометрической функции угла.)

3) Найти скорость изображения в этот момент.



ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

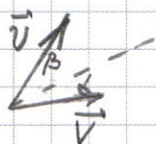
№1



Нить нерастяжима $\Rightarrow$ можно спроецировать скорости муфта и кольца на (км) и проекции будут равны

$$v \cos \beta = V \cos \alpha \Rightarrow v = V \frac{\cos \alpha}{\cos \beta} = 0,68 \cdot \frac{15 \cdot 5}{17 \cdot 4} = 0,75 \text{ м/с}$$

Чтобы найти относительную скорость кольца (отн. муфты) нужно векторно сложить их скорости (кольца и муфты)



$$v_{\text{отн}} = \sqrt{(v \cos \beta + V \cos \alpha)^2 + (v \sin \beta + V \sin \alpha)^2} = \text{III. Пифагора}$$

$$\cos \beta = \frac{4}{5}, \sin \beta = \frac{3}{5}$$

$$\cos \alpha = \frac{15}{17}, \sin \alpha = \frac{8}{17}$$

$$= \sqrt{\left(\frac{3}{4} \cdot \frac{4}{5} + \frac{17 \cdot 4}{100} \cdot \frac{15}{17}\right)^2 + \left(\frac{3}{4} \cdot \frac{3}{5} + \frac{17 \cdot 4}{100} \cdot \frac{8}{17}\right)^2} = \sqrt{\frac{36}{25} + \left(\frac{77}{100}\right)^2} \approx \sqrt{\frac{36}{25} + \frac{9}{16}} \approx \sqrt{2} \text{ м/с}$$

$\approx \sqrt{2} \text{ м/с}$

закон изменения

Запишем закон изменения момента импульса для точки K

$$\frac{dL}{dt} = \sum \vec{M}$$

$$\frac{dL}{dt} = R \cdot \frac{dF}{dt} = R \cdot m \cdot \frac{dv}{dt} = R \cdot m \cdot a = R \cdot m \cdot \frac{v^2}{R} = mv^2$$

Моменты всех сил кроме F равны 0, так как длины плеч сил равны 0

$$M_F = F \cdot l \cdot \cos \alpha$$

$$\text{Из IIЗН для муфты } \vec{0} = \vec{F} + \vec{T} + \vec{N} \Rightarrow M_F = l \cdot T \cos^2 \alpha$$

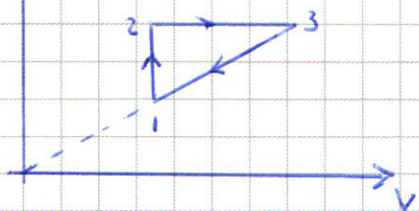
$$\text{х: } F = T \cos \alpha$$

$$\text{Итак, } mv^2 = l T \cos^2 \alpha \Rightarrow T = \frac{mv^2}{l \cos^2 \alpha} = \frac{0,1 \cdot 0,75^2 \cdot 17^2}{5/3 \cdot 1,9 \cdot 15^2} = \frac{17^2 \cdot 15}{19} \cdot 10^{-4} \approx 217 \cdot 10^{-4} \text{ Н}$$

Ответ: 1) $v = 0,75 \text{ м/с}$; 2) $v_{\text{отн}} \approx \sqrt{2} \text{ м/с}$; 3) $T \approx 217 \cdot 10^{-4} \text{ Н}$

№ 2

P



Итак из ПД:

$$C_m = \frac{\delta Q}{\delta T}$$

$$\delta Q = \delta U + \delta A$$

$$1-2: \delta Q = \delta U = \frac{3}{2} J R \delta T \Rightarrow C_{m12} = \frac{3}{2} R$$

$$2-3: \delta Q = \delta U + \delta A = \frac{3}{2} J R \delta T + p_3 V_3 - p_2 V_2 =$$

$$= \frac{3}{2} J R \delta T + J R \delta T = \frac{5}{2} J R \delta T \Rightarrow C_{m23} = \frac{5}{2} R$$

Уравнение Менделеева-Клапейрона
 $pV = JRT$

3-1: $T_1 < T_3$ ⇒ температура понизилась

$$1) \frac{C_{m12}}{C_{m23}} = \frac{3}{5}$$

$$2) 2-3: \frac{\delta Q}{\delta A} = \frac{\frac{5}{2} J R \delta T}{J R \delta T} = \frac{5}{2}$$

$$3) \eta = \frac{A}{Q^+}$$

3-1: прямая пропорциональность: пусть V_3 больше V_1 в k раз, тогда p_3 больше p_1 также в k раз.

$$V_3 = kV_1$$

$$V_2 = V_1$$

$$p_3 = kp_1$$

$$p_2 = p_3 = kp_1$$

Тогда A — площадь внутри цикла

$$A = \frac{1}{2} (V_3 - V_2) (p_2 - p_1) = \frac{1}{2} (k-1) V_1 (k-1) p_1 = \frac{1}{2} p_1 V_1 (k-1)^2$$

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

$$Q_{23}^+ = \frac{5}{2} J R (T_3 - T_2) = \frac{5}{2} (p_3 V_3 - p_2 V_2) = \frac{5}{2} p_1 V_1 k(k-1)$$

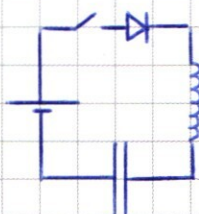
$$\eta = \frac{\frac{1}{2} p_1 V_1 (k-1)^2}{\frac{3}{2} p_1 V_1 (k-1) + \frac{5}{2} p_1 V_1 k(k-1)} = \frac{k-1}{3+5k} \uparrow \Rightarrow \text{максимальное } \eta \text{ при } k \rightarrow +\infty$$

$$\eta = \frac{k-1}{3+5k} \xrightarrow{k \rightarrow +\infty} \frac{1}{5} = 20\%$$

Ответ: 1) 0,6 ; 2) 2,5 ; 3) 20%.

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№ 4



Сразу после замыкания ключа конденсатор ведёт себя, как батарейка

Из Кирхгофа: $\mathcal{E} = U_1 + L \frac{dI}{dt} \Rightarrow \frac{dI}{dt} = \frac{\mathcal{E} - U_1}{L} = 40 \frac{A}{c}$

Из Кирхгофа для переходного процесса $\mathcal{E} = \frac{q}{C} + L \ddot{q}$

$$0 = \frac{I}{C} + L \ddot{I} \Leftrightarrow \ddot{I} + \frac{I}{LC} = 0, \quad I(0) = 0, \quad \dot{q}(0) = U_1 C$$

$$I = A \sin\left(\frac{1}{\sqrt{LC}} t\right)$$

$$q = -\sqrt{LC} A \cos\left(\frac{1}{\sqrt{LC}} t\right) + K$$

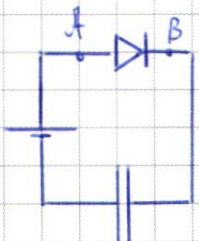
Подставим в $\mathcal{E} = \frac{q}{C} + L \ddot{q}$: $\mathcal{E} = -\sqrt{LC} A \cos\left(\frac{1}{\sqrt{LC}} t\right) \frac{1}{C} + \frac{K}{C} + \frac{1}{\sqrt{LC}} \cdot L \cdot A \cos\left(\frac{1}{\sqrt{LC}} t\right)$

$$K = \mathcal{E} C$$

$$q(0) = \mathcal{E} C - \sqrt{LC} A = U_1 C \Rightarrow A = \frac{\mathcal{E} - U_1}{\sqrt{L}} \sqrt{C} = 4 \sqrt{\frac{40 \cdot 10^{-6}}{0.1}} = 80 \text{ мА}$$

$$I_{\text{max}} = A = 80 \text{ мА}$$

Установившийся режим ($I=0$)



$$\varphi_A - \varphi_B = \mathcal{E} - U_C = U_0 \Rightarrow U_C = \mathcal{E} - U_0 = 8 \text{ В}$$

конденсатор заряжается до тех пор пока не закроется гирд

Ответ: 1) $\frac{dI}{dt} = \frac{\mathcal{E} - U_1}{L} = 40 \frac{A}{c}$

2) $I_{\text{max}} = (\mathcal{E} - U_1) \sqrt{\frac{C}{L}} = 80 \text{ мА}$

3) $U_2 = \mathcal{E} - U_0 = 8 \text{ В}$

$$\triangle ACO' \sim \triangle S'CB$$

$$\begin{array}{l} BC = \frac{F}{2} \\ OC = F \end{array} \quad BS' = \frac{3}{4}F \quad / \Rightarrow AO = ED = \frac{3}{2}F$$

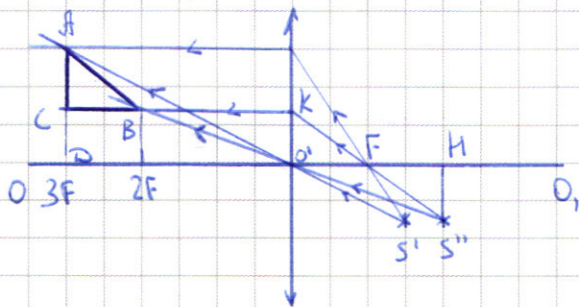
$$\triangle EOD \sim \triangle S'OB$$

$$ED = \frac{3}{2} F$$

$$\Rightarrow \underline{\underline{OD = 3F}}$$

$$BS' = \frac{3}{4}F \quad O'B = \frac{3}{2}F$$

Рассмотрим движение источника (мнимого) от расстояния $\frac{3}{2}F$ до линзы до расстояния $2F$ до линзы.
Изображение ~~тогда~~ за это время перемещалось по прямой.



$\nexists \triangle ABC$
 $\overline{BC} \parallel \overline{OO_1}$
 $\overline{O_1C} \parallel \overline{AB}$

$\Rightarrow \angle = \angle ABC$
 искомым

$CD = KO' = HS'' = \frac{3}{4}F \Rightarrow JPC = JPD - CD \quad \ominus$
 т.к. $\Delta KFO' \xrightarrow{\uparrow}$
 $= \Delta FHS''$ по камню и другому углу

$$\textcircled{=}\frac{3}{2}F - \frac{3}{4}F = \frac{3}{4}F$$

$$\begin{aligned} BC &= F \text{ (если источник на } 2F, \text{ то изображение тоже на } 2F) \quad / \Rightarrow \\ \text{"} & \\ CK - BK &= 3F - 2F \end{aligned}$$

$$\Rightarrow \alpha = \arctg\left(\frac{3}{4}\right)$$

$$S' S'' = \frac{F}{2}$$

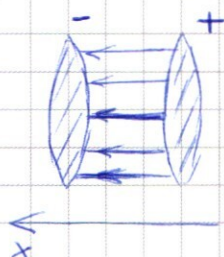
$$\frac{S' S'' = \frac{F}{2}}{v_s = 2V} \Rightarrow T = \frac{F}{2 \cdot 2V} = \frac{1}{4} \frac{F}{V}$$

$$J_B = F \sqrt{\frac{9}{16} + 1} = \frac{5}{4} F = T \cdot v \Rightarrow v = \frac{5}{4} \frac{F}{T} \cdot 4V = 5V$$

Омбер: 1) $3F$; 2) $\alpha = \arctg(\frac{3}{4})$; 3) $U = 5V$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№3



Из Ньютона: $m\vec{a} = \vec{F}_{эл}$

$$x: ma = E \cdot q \Rightarrow a = Eq$$

$E = \text{const}$ (однородное поле) $\Rightarrow a = \text{const}$

Свойства равноускоренного движения:

$$\frac{v_1 - v_0}{2} = \langle v \rangle = \frac{S}{T} = \frac{0,75d}{T} \quad v_0 = 0 \text{ (по условию)} \Rightarrow v_1 = \frac{1,5d}{T}$$

$$0,75d = v_0 T + \frac{aT^2}{2} \Rightarrow a = \frac{1,5d}{T^2} \Rightarrow E = \frac{1,5d}{qT^2}$$

$$E = \frac{Q}{\epsilon_0 S} = \frac{1,5d}{qT^2} \Rightarrow Q = \epsilon_0 S \cdot \frac{1,5d}{qT^2}$$

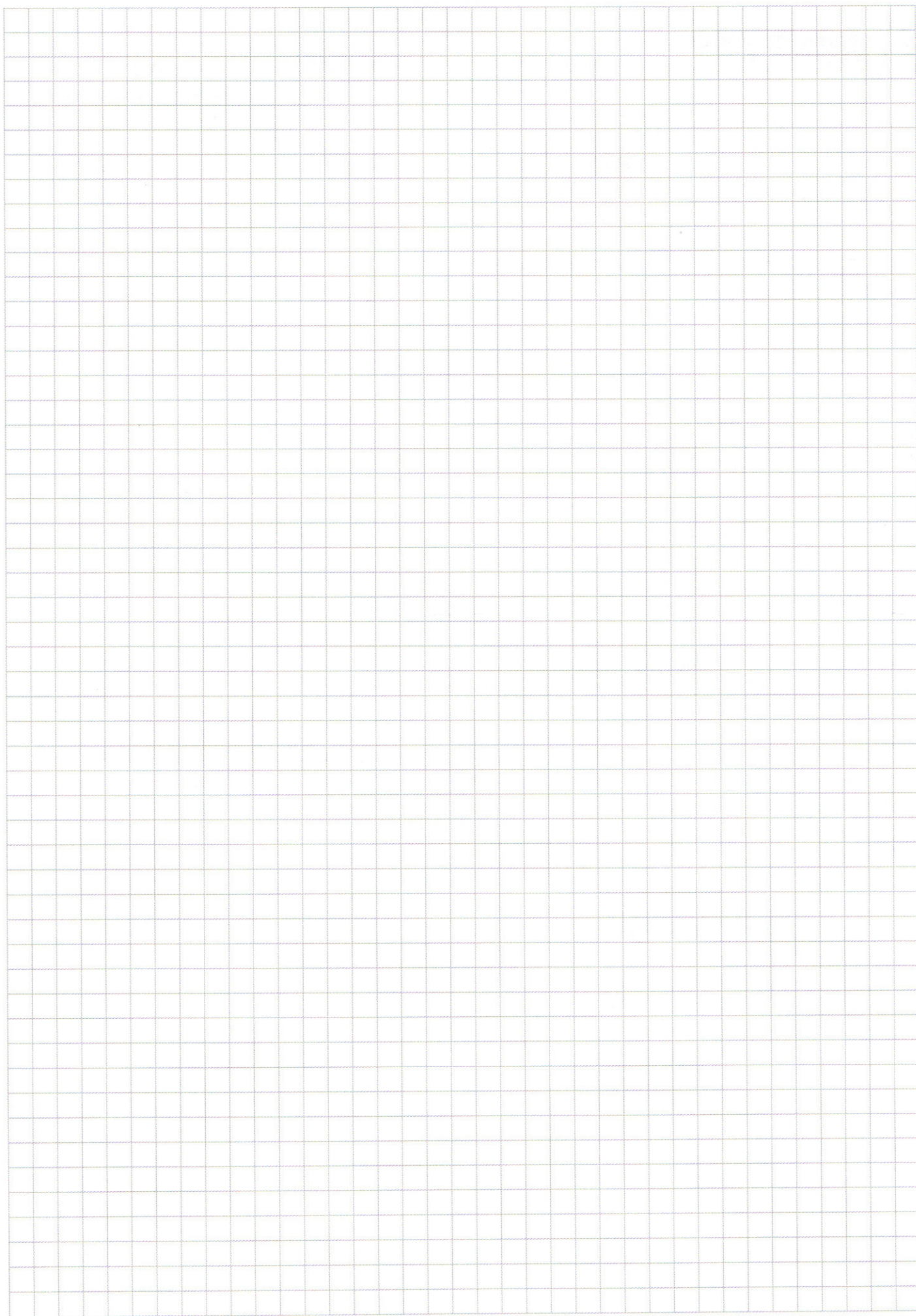
Поскольку $d \ll \sqrt{S}$ можно считать, что поле вне конденсатора нет ($E=0$).

Тогда на частицу после вылета из конденсатора не действуют никакие внешние силы. Это означает, что частица будет продолжать двигаться со скоростью $v_2 = v_1$ на бесконечности.

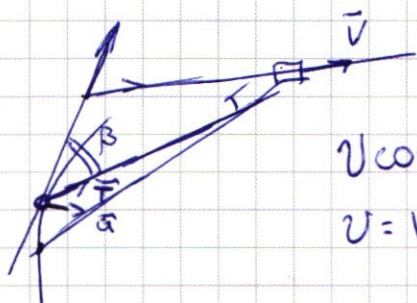
Ответ: 1) $v_1 = \frac{1,5d}{T}$

2) $Q = \epsilon_0 S \frac{1,5d}{qT^2}$

3) $v_2 = v_1 = \frac{1,5d}{T}$

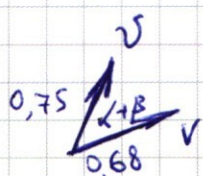


ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



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

$$V = V \frac{\cos \alpha}{\cos \beta} = 0,68 \cdot \frac{15 \cdot 5}{17 \cdot 4} = 0,75 \text{ м/с}$$



$$\cos(L+\beta) = \frac{15}{17} \cdot \frac{4}{5} - \frac{8}{17} \cdot \frac{3}{5} = \frac{4}{5} \cdot \frac{8}{17} + \frac{3}{5} \cdot \frac{15}{17} = \frac{77}{85}$$

$$269 - 225$$

$$0,75 + 0,68 \cdot \frac{36}{85} = 0,75 + 0,288 = 1,038$$

$$0,68 \cdot \sin(L+\beta) = 0,68 \cdot \frac{77}{85} = 0,616$$

$$\frac{36}{144} \quad \frac{77}{308}$$

$$v_{\text{отн}} = \frac{0,08}{1,9} \sqrt{14569}$$

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

$$T = \frac{0,1 \cdot 0,75^2}{1,9 \cdot \frac{3}{5}}$$

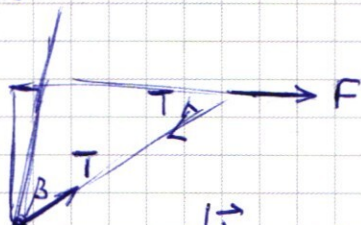
$$\begin{array}{r} 1038 \\ 616 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 519 \\ 308 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 519 \\ \times 519 \\ \hline 4671 \\ 519 \\ \hline 2595 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 308 \\ \times 308 \\ \hline 2464 \\ 924 \\ \hline 94864 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 269361 \\ 94864 \\ \hline 364225 \quad | \quad 5 \\ 72845 \quad | \quad 5 \\ \hline 14569 \end{array}$$



$$\frac{d\vec{T}}{dt} = \sum \vec{M}$$

$$l \cdot p = l \cdot m \omega = l \cdot m \cdot v$$

$$R \cdot m \cdot v$$

$$R m a = l \cos \alpha \cdot F$$

$$m v^2 = \frac{SR}{3} \cos^2 \alpha \cdot T$$

$$T = \frac{3 m v^2}{S R \cos^2 \alpha} = \frac{3 \cdot 0,1 \cdot 0,75^2}{8 \cdot 1,9 \cdot \left(\frac{15}{17}\right)^2}$$

$$\frac{d(lp)}{dt} = l m a = R m \frac{v^2}{R}$$

$$C_M = \frac{Q}{\sqrt{\Delta T}}$$

1 → 2

$$Q = \frac{3}{2} \sqrt{R \Delta T} (T_2 - T_1) = \frac{3}{2} p_2 V_2 - p_1 V_2 = \frac{3}{2} V_2 (p_2 - p_1)$$

2 → 3

$$Q = p_3 (V_3 - V_2) + \frac{3}{2} \sqrt{R} (T_3 - T_2) = \frac{3}{2} \sqrt{R} (T_3 - T_2) + \frac{3}{2} \sqrt{R} \Delta T = \frac{5}{2} \sqrt{R} \Delta T$$

$$C_{M12} = \frac{3}{2} R$$

$$\frac{C_{M12}}{C_{M23}} = \frac{3}{5}$$

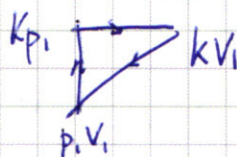
$$C_{M23} = \frac{5}{2} R$$

$$2 \rightarrow 3 \quad \frac{Q}{R} = \frac{\frac{5}{2} \sqrt{R} \Delta T}{\sqrt{R} \Delta T} = \frac{5}{2}$$

$$\eta = \frac{\frac{3}{2} V_2 (p_2 - p_1) + \frac{5}{2} p_2 (V_3 - V_2)}{\frac{3}{2} V_2 (p_2 - p_1) + \frac{5}{2} p_2 (V_3 - V_2)}$$

$$= \frac{(k-1) V_1 (k-1) p_1}{3 V_1 (k-1) p_1 + 5 k p_1 (k-1) V_1} = \frac{k-1}{3+5k} = \left(\frac{1}{5} \right)$$

$$\eta = \frac{3+5k - (k-1) \cdot 5}{(3+5k)^2}$$



$$\frac{Q}{\epsilon_0} g = ma$$

and

$$a = \int \frac{Q}{\epsilon_0} = \frac{1.5d}{T^2}$$

$$\frac{m v_1^2}{2} = \frac{Q}{\epsilon_0} \cdot 0.75d$$

$$Q = \frac{1.5d \epsilon_0}{T^2}$$

$$Q = \frac{m}{g} \frac{v_1^2 \epsilon_0}{2 \cdot 0.75d} = \frac{1}{g} \frac{v_1^2 \epsilon_0}{1.5d}$$

$$0.75d = \frac{a T^2}{2} \Rightarrow a = \frac{1.5d}{T^2}$$

$$v_1^2 = \frac{Q 1.5d}{\epsilon_0} = \frac{3.25d^2}{T^2}$$

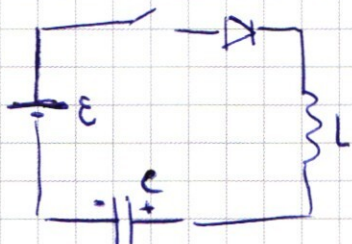
$$v_1 = \frac{1.5d}{T}$$

$$\frac{m v_1^2}{2} = \frac{Q}{\epsilon_0} \cdot 0.75d$$

$$\frac{m v_1^2}{2} = \int \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qQ}{r^2} dr - \int \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qQ}{(r+d)^2} dr = \frac{qQ}{4\pi\epsilon_0} \int_0^\infty \left(\frac{1}{r^2} - \frac{1}{(r+d)^2} \right) dr =$$

$$= \frac{qQ}{4\pi\epsilon_0} \left(-\frac{1}{r} + \frac{1}{r+d} \right) \Big|_d^\infty$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$$\varepsilon = \frac{q}{C} + L \frac{dI}{dt}$$

$$\varepsilon q = q^2$$

$$U_c = \frac{q}{C}$$

$$\varepsilon = U_c +$$

$$\ddot{I} + \frac{I}{LC} = 0$$

$$\text{Наз. } \varepsilon - U_c = L \frac{dI}{dt}$$

$$\frac{dI}{dt} = \frac{\varepsilon - U_c}{L} = 40 \frac{\text{A}}{\text{с}}$$

$$q = \sqrt{LC} I \sin\left(\sqrt{\frac{1}{LC}} t\right) + U_c C$$

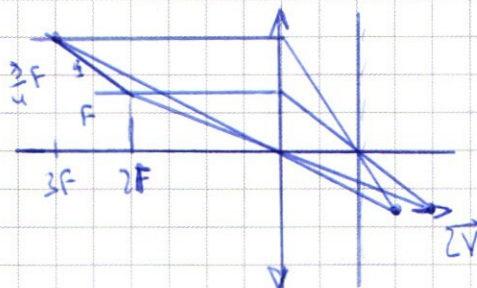
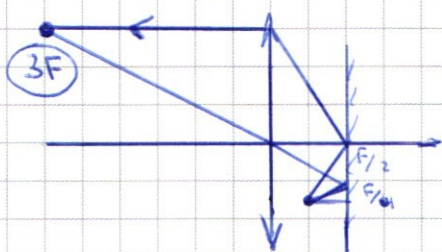
$$I = I \cos\left(\sqrt{\frac{1}{LC}} t\right)$$

$$\lambda = \arctg\left(\frac{3}{4}\right)$$

$$\frac{F}{2T} \quad T = \frac{F}{2 \cdot 2V}$$

$$L = F \sqrt{\frac{3}{16} + 1} = F \cdot \frac{5}{4}$$

$$V = \frac{L}{T} = \frac{5}{4} \frac{F}{F} \cdot 4V = 5V$$



4.3.



$$\delta p = \varepsilon - U_c$$

$$U_c = \varepsilon - U_0 = \delta B$$

$$I = I \sin\left(\sqrt{\frac{1}{LC}} t\right)$$

$$I(0) = 0$$

$$q = -I \cos\left(\sqrt{\frac{1}{LC}} t\right) \cdot \sqrt{LC} + k$$

$$q(0) = q U_c$$

$$\varepsilon = \frac{q}{C} + L \ddot{q}$$

$$\sqrt{\frac{1}{LC}} I \cos$$

$$\varepsilon = -I \cos\left(\sqrt{\frac{1}{LC}} t\right) \sqrt{\frac{L}{C}} + \sqrt{\frac{L}{C}} I \cos\left(\sqrt{\frac{1}{LC}} t\right) + \frac{k}{C}$$

$$k = \varepsilon C$$

$$q = -I \cos\left(\sqrt{\frac{1}{LC}} t\right) \sqrt{LC} + \varepsilon C$$

$$-I \sqrt{LC} + \varepsilon C = U_c \quad 80 \text{ мА}$$

$$I = \frac{\varepsilon - U_c}{\sqrt{\frac{L}{C}}} = 4 \cdot \sqrt{\frac{40 \cdot 10^{-6}}{0.1}}$$

$$F = T \cos \alpha$$

~~мы~~

$$R \cdot m \cdot a = m \cdot v^2 = T \cos \alpha \cdot l \cos \alpha$$

$$T = \frac{mv^2}{\cos^2 \alpha \cdot l} = \frac{0,1 \cdot 0,75^2}{\frac{15^2}{17^2} \cdot \frac{5}{3} \cdot 1,9} \cdot \frac{(0,05)^2 \cdot 5 \cdot 0,1 \cdot 17^2}{3 \cdot 1,9} = \frac{10^{-3} \cdot 0,003 \cdot 5 \cdot 17^2}{1,9}$$

$$= \frac{17^2 \cdot 15 \cdot 10^{-4}}{1,9 \rightarrow 20}$$

$$\begin{array}{r} \times 17 \\ \times 15 \\ \hline 85 \\ 17 \\ \hline 255 \end{array}$$

$$\frac{17}{17} = \frac{289 \cdot 3}{4} = \frac{867}{4} = 217 \cdot 10^{-4} \text{ H}$$

$$\begin{array}{r} 36 \\ \times 16 \\ \hline 216 \\ 36 \\ \hline 576 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 9 \\ \times 25 \\ \hline 45 \\ 18 \\ \hline 225 \end{array}$$

$$7 \frac{800}{25 \cdot 16} = \frac{8 \cdot 4}{16} = 2$$

$$\mathcal{E} = \frac{q}{C} - L \frac{dI}{dt} = u_0$$

