

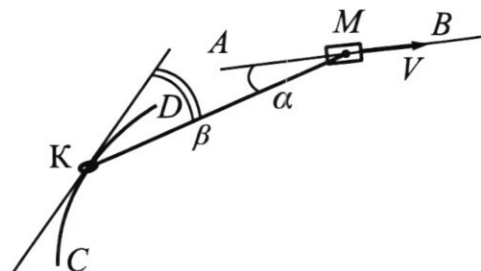
Олимпиада «Физтех» по физике, ф

Класс 11

Вариант 11-01

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

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.



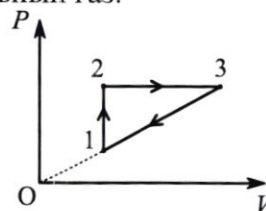
- 1) Найти скорость кольца в этот момент.
- 2) Найти скорость кольца относительно муфты в этот момент.
- 3) Найти силу натяжения нити в этот момент.

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?

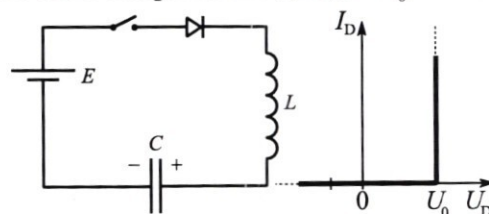
При движении частицы электрическое поле, созданное зарядами конденсатора, считать неизменным, а электрическое поле внутри конденсатора вблизи оси симметрии считать однородным.

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.

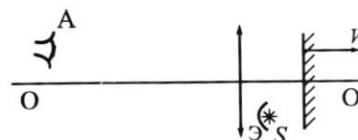


5. Оптическая система состоит из тонкой линзы с фокусным расстоянием F , плоского зеркала и небольшого экрана Э, расположенного так, что свет от источника S может попасть на линзу только после отражения от зеркала (см. рис.). Зеркало расположено перпендикулярно главной оптической оси OO_1 линзы. Источник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

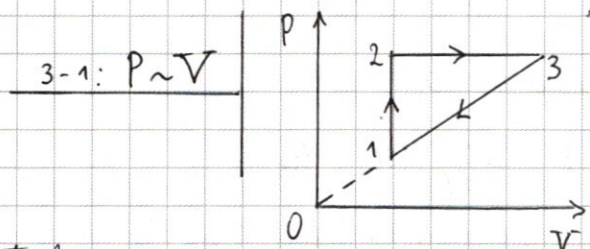
2) Под каким углом α к оси OO_1 движется изображение в этот момент? (Найти значение любой тригонометрической функции угла.)

3) Найти скорость изображения в этот момент.



ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

д. 2.



$$1) \frac{P_2}{P_1} = \frac{T_2}{T_1} \quad \frac{V_3}{V_2} = \frac{T_3}{T_2}$$

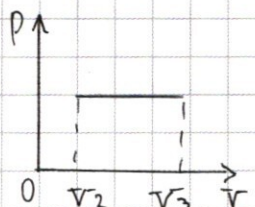
Повышение температуры происходило на
участках 1-2 и 2-3.

Первый закон термодинамики.

$$Q = \Delta U + A \quad Q_1 = \frac{3}{2} \nu R \Delta T_1 \quad Q_2 = \frac{5}{2} \nu R \Delta T_2 \text{ как изохорный и изобарный процессы.}$$

$$Q_1 = C_{1-2} \Delta T_1 \quad Q_2 = C_{2-3} \Delta T_2 \quad C_{1-2} = \frac{3}{2} \nu R \quad C_{2-3} = \frac{5}{2} \nu R \quad \frac{C_{2-3}}{C_{1-2}} = \frac{5}{3}$$

2) Изобар



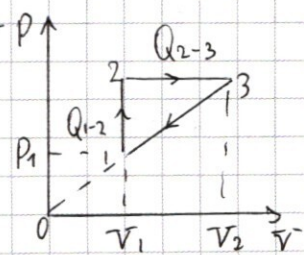
$$A_{\text{изобар}} = P(V_3 - V_2)$$

$$Q = \frac{3}{2} \nu R \Delta T + A_{\text{изобар}} \quad Q = \frac{3}{2} P(V_3 - V_2) + A_{\text{изобар}}$$

$$Q = \frac{5}{2} P(V_3 - V_2)$$

$$\frac{Q_{2-3}}{A_{\text{изобар} 2-3}} = \frac{P(V_3 - V_2)}{P(V_3 - V_2)} \cdot \frac{\frac{5}{2}}{\frac{3}{2}} = \frac{5}{3}$$

3) На участке 1-3: $P \sim V$



$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{V_2}{V_1} \quad P_2 = P_1 \cdot \frac{V_2}{V_1}$$

$$A_{\text{изобар}} = \frac{1}{2} (V_2 - V_1) (P_2 - P_1) = \frac{P_2}{2V_1} (V_2 - V_1)^2$$

$$Q_0 = Q_{1-2} + Q_{2-3}$$

$$Q_{1-2} = \frac{3}{2} \nu R \Delta T_{1-2} = \frac{3}{2} (P_2 - P_1) V_1$$

$$Q_{2-3} = \frac{5}{2} \nu R \Delta T_{2-3} = \frac{5}{2} (P_2 V_2 - P_2 V_1) = \frac{5}{2} P_2 (V_2 - V_1)$$

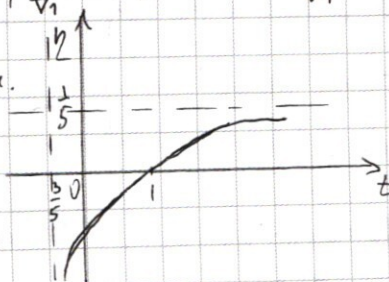
$$\eta = \frac{A_{\text{изобар}}}{Q_{1-2} + Q_{2-3}} \cdot 100\%$$

$$\eta = \frac{\frac{P_2}{2V_1} (V_2 - V_1)^2}{\frac{3}{2} (P_2 - P_1) V_1 + \frac{5}{2} P_2 (V_2 - V_1)} \cdot 100\% = \frac{\frac{P_2}{V_1} (V_2 - V_1)^2}{3P_1 \left(\frac{V_2}{V_1} - 1\right) V_1 + 5P_1 \frac{V_2}{V_1} (V_2 - V_1)} \cdot 100\% = \frac{\frac{1}{V_1} (V_2 - V_1)}{3 + 5 \frac{V_2}{V_1}} \cdot 100\% = \frac{t-1}{3+5t} \cdot 100\%, \text{ где } t = \frac{V_2}{V_1}$$

$t = -\frac{3}{5}$ уравнение вертикальной асимптоты.

$$\text{при } t \rightarrow \infty \quad \eta = \frac{1}{5} \quad \eta = 20\%$$

Ответ: 1) $\frac{C_{2-3}}{C_{1-2}} = \frac{5}{3}$ 2) $\frac{Q_{2-3}}{A_{\text{изобар} 2-3}} = \frac{5}{3}$ 3) $\eta = 20\%$



84.

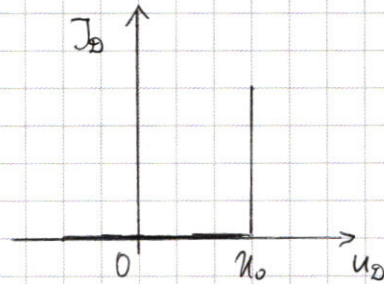
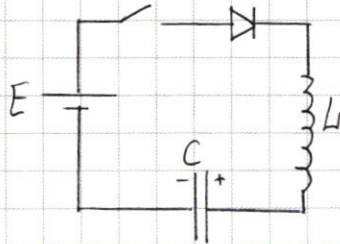
$$E = 9 \text{ В}$$

$$C = 40 \text{ мкФ} = 40 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}$$

$$U_1 = 5 \text{ В}$$

$$L = 0,1 \text{ Гн}$$

$$U_0 = 1 \text{ В}$$



1) Сразу после замыкания ключа $U_C = 0$.

Второй закон Кирхгофа: $E - L \frac{\Delta I}{\Delta t} = U_C + U_D$

Сразу после замыкания $I = 0$ в цепи $U_C = 0$, при возрастании тока $U_D = U_0$

$$E - U_0 = L \frac{\Delta I}{\Delta t} \quad \frac{\Delta I}{\Delta t} = \frac{E - U_0}{L} \quad \frac{\Delta I}{\Delta t} = \frac{9 \text{ В} - 1 \text{ В}}{0,1 \text{ Гн}} = 80 \frac{\text{А}}{\text{с}}$$

2)3) Максимальный ток $\frac{\Delta I}{\Delta t} = 0$ $U_D = U_0$

$E = U_C + U_D \Rightarrow U_C = 8 \text{ В}$, значит, после замыкания ток в цепи будет расти так в колебательной цепи. Затем ток упадет и режим установится из-за диода.

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t}, \text{ где } q - \text{заряд конденсатора.}$$

$$E - U_0 = \frac{q}{C} + L \frac{\Delta I}{\Delta t} \quad E - U_0 = \frac{q}{C} + L q'' \quad q'' + \frac{q}{LC} = \frac{E - U_0}{L}$$

$$q'' + \frac{q}{LC} = \frac{E - U_0}{L} \quad x = q - C(E - U_0) \quad \frac{x}{LC} = \frac{q}{LC} - \frac{E - U_0}{L} \quad \ddot{x} = \ddot{q}$$

$$\ddot{x} + \frac{1}{LC} x = 0 \quad \omega^2 = \frac{1}{LC} \quad x = A \sin \omega_0 t + B \cos \omega_0 t$$

$$q - C(E - U_0) = A \sin \omega_0 t + B \cos \omega_0 t$$

$$q = C(E - U_0) + A \sin \omega_0 t + B \cos \omega_0 t$$

$$\text{При } t=0 \quad q=0 \quad 0 = C(E - U_0) + B \quad B = -C(E - U_0) \quad U_2 = 2(9 \text{ В} - 1 \text{ В}) = 16 \text{ В}$$

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t} (\Delta t=0) = A \omega_0 \Rightarrow A=0$$

$$\text{Токи в начальный момент не было: } q = C(E - U_0)(1 - \cos \omega_0 t)$$

$$I = \dot{q} = C \omega_0 (E - U_0) \sin(\omega_0 t)$$

$$I_m = C \omega_0 (E - U_0) = \sqrt{\frac{C}{L}} (E - U_0) \neq 0$$

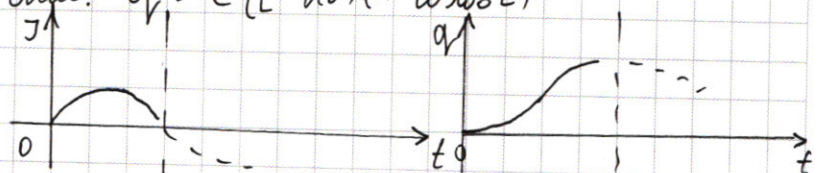
$$q_2 = 2C(E - U_0) \quad U_2 = 2(E - U_0)$$

Первая часть колебаний тока $I=0$, т.к. диод не пропускает обратный ток.

Ответ: 1) $\frac{\Delta I}{\Delta t} = 80 \frac{\text{А}}{\text{с}}$ 2) $I_m = 16 \cdot 10^{-3} \text{ А}$ 3) $U_2 = 16 \text{ В}$

Вычисления:

$$I_m = \sqrt{\frac{40 \cdot 10^{-6}}{0,1 \text{ Гн}}} \cdot (9 \text{ В} - 1 \text{ В}) = 16 \cdot 10^{-3}$$





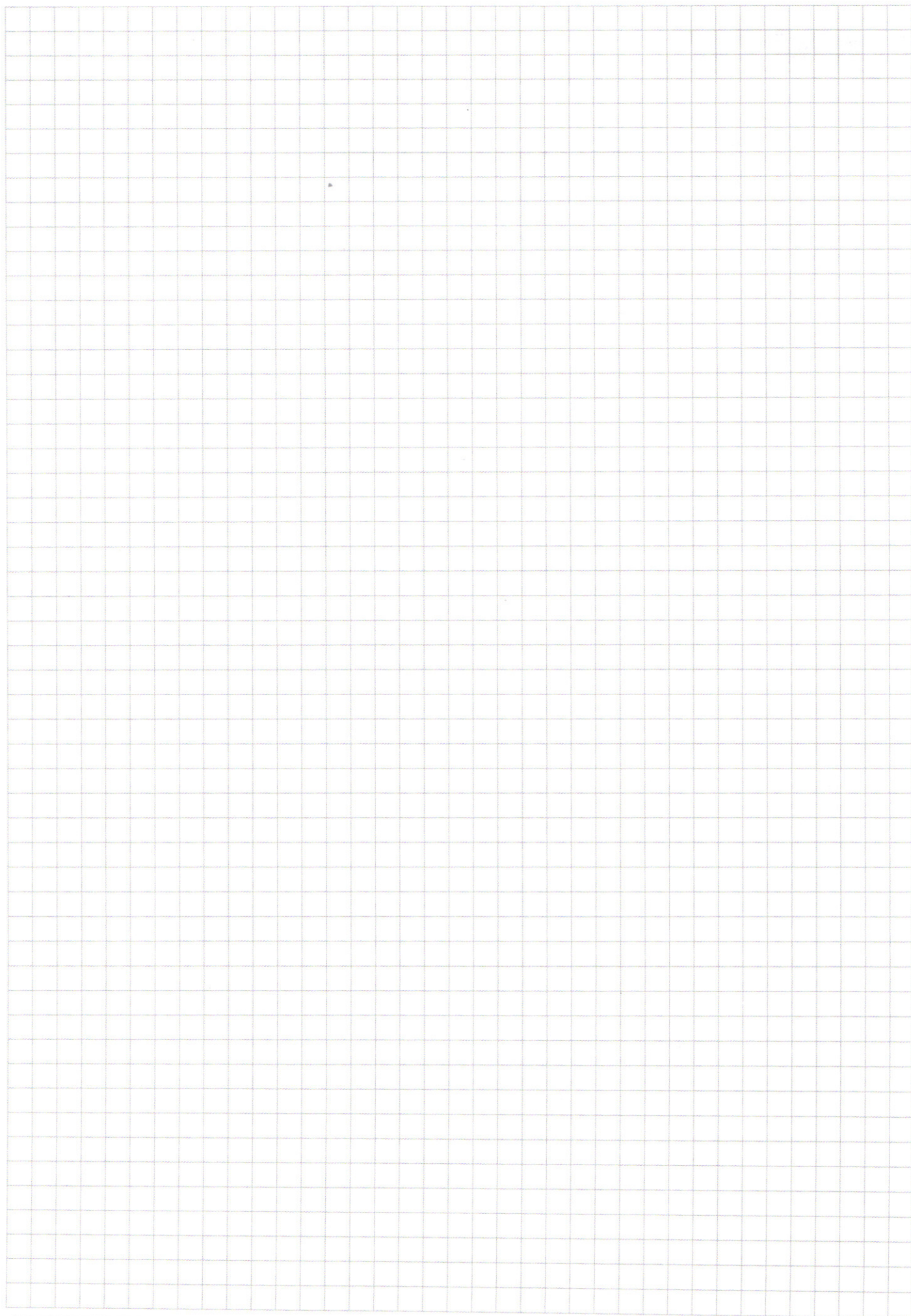
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ

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

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

☐ черновик ☐ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №
(Нумеровать только чистовики)



☐ черновик ☐ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)



☐ черновик ☐ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ

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

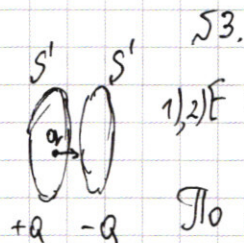
ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

☐ черновик ☐ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница № ____
(Нумеровать только чистовики)

$$S, d (d \ll \sqrt{S}), 0,25d$$

$$\frac{q}{m} = 8, T$$



$$1,2) E = \frac{Q}{\epsilon_0 S} \quad F = qE = \frac{qQ}{\epsilon_0 S}$$

По второму закону Ньютона: $F = ma$.

$$a = \frac{qQ}{m\epsilon_0 S}$$

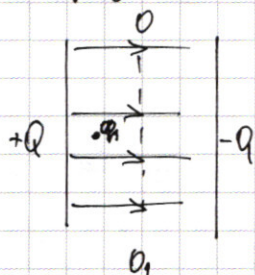
Расстояние до вылета $0,75d = \frac{aT^2}{2}$ $1,5d = T^2 a$ $1,5d = \frac{qQ}{m\epsilon_0 S} T^2 = \frac{8Q}{\epsilon_0 S} T^2$

$$Q = \frac{3d\epsilon_0 S}{28T^2}$$

$$\frac{dQ8}{S'\epsilon_0} = \frac{3d^2}{2T^2}$$

$$v_1 = aT = \frac{qQ}{m\epsilon_0 S} T = \frac{8Q}{S'\epsilon_0} T = \frac{3}{2} \frac{d}{T^2} T = \frac{3}{2} \frac{d}{T}$$

$$3) \vec{E} \perp OO_1$$



Закон сохранения энергии:

$$E_k + U_{\pi} = E_{k\infty} + U_{\pi\infty}$$

" (покоится) " (на бесконечности).

$$U_{\pi} = \frac{mv^2}{2} \quad U_{\pi} = q\varphi$$

Если мысленно переместить заряд вдоль OO_1 , то $A = 0$, так как $E \perp OO_1$.

$$\varphi_{\text{вылета}} = 0 \quad q_1 = E \cdot 0,25d = \frac{Q}{\epsilon_0 S} \frac{d}{4} \quad \frac{Q dq}{\epsilon_0 S} = \frac{mv^2}{2}$$

$$\frac{8Qd}{2\epsilon_0 S} = v_2^2 \quad v_2^2 = \frac{3}{4} \frac{d^2}{T^2}$$

$$v_2 = \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{d}{T}$$

Ответ: 1) $v_1 = \frac{3}{2} \frac{d}{T}$ 2) $Q = \frac{3d\epsilon_0 S}{28T^2}$ 3) $v_2 = \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{d}{T}$

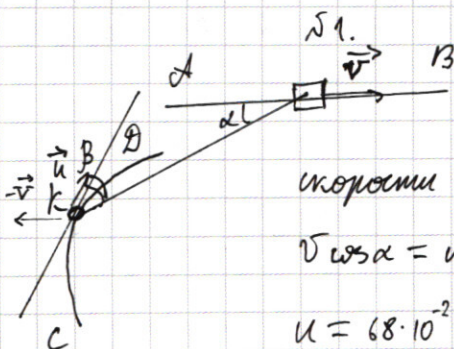
$$V = 68 \frac{\mu\text{m}}{\text{c}} = 68 \cdot 10^{-2} \frac{\mu\text{m}}{\text{c}}$$

$$m = 0,1 \text{ м}$$

$$R = 1,9 \mu$$

$$l = \frac{5R}{3}$$

$$\cos \alpha = \frac{15}{17} \quad \cos \beta = \frac{4}{5}$$



1) Пусть скорости, проекции скорости на ось пути одинаковы.

$$v \cos \alpha = u \cos \beta \quad u = v \frac{\cos \alpha}{\cos \beta}$$

$$u = 68 \cdot 10^{-2} \frac{\mu\text{m}}{\text{c}} \cdot \frac{15}{\frac{4}{5}} = 75 \cdot 10^{-2} \frac{\mu\text{m}}{\text{c}}$$

$$2) \text{ По теореме косинусов } v_{\text{итог}}^2 = v^2 + u^2 - 2 \cos(\alpha + \beta) vu$$

$$\sin \beta = \frac{3}{5} \quad \sin \alpha = \frac{8}{17} \quad (\text{по основному тригонометрическому тождеству}).$$

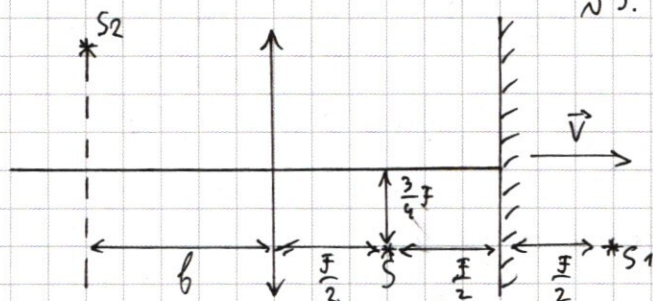
$$\cos(\alpha + \beta) = \cos \alpha \cos \beta - \sin \alpha \sin \beta = \frac{4}{5} \cdot \frac{15}{17} - \frac{3}{5} \cdot \frac{8}{17} = \frac{36}{5 \cdot 17}$$

$$v_{\text{итог}} = \sqrt{(68 \cdot 10^{-2})^2 + (75 \cdot 10^{-2})^2 - 2 \cdot 68 \cdot 75 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{36}{5 \cdot 17}} = 77 \cdot 10^{-2} \frac{\mu\text{m}}{\text{c}}$$

Ответ: 1) $u = 75 \cdot 10^{-2} \frac{\mu\text{m}}{\text{c}}$ 2) $v_{\text{итог}} = 77 \cdot 10^{-2} \frac{\mu\text{m}}{\text{c}}$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

5.



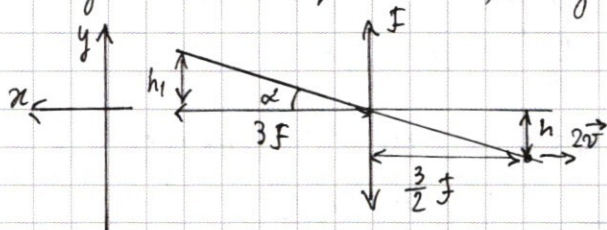
1) Источник в зеркале даёт S_1 .

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{\frac{f}{2}} + \frac{1}{b} \quad \frac{1}{f} = \frac{2}{\frac{f}{2}} + \frac{1}{b} \quad \frac{1}{b} = \frac{1}{3f}$$

$$b = 3f$$

2), 3) Зеркало движется со скоростью v , S_1 движется со скоростью $2v$.

$$v_x = \frac{db}{dt}$$



$$\frac{1}{f} = \frac{1}{f} + \frac{1}{b} \quad \frac{b}{f} = f = \frac{3f}{\frac{f}{2}} = 2$$

Дифференциал по t.

$$\frac{f}{f^2} + \frac{b}{b^2} = 0 \quad b' = -f \cdot \frac{b^2}{f^2}$$

$$v_x = 2v \cdot 2 = v_x = -8v \text{ — скорость вдоль оси } x.$$

Найдём скорость вдоль оси y : $\frac{h'}{b} = \tan \alpha = \frac{h}{f} \quad h' = h \cdot \frac{b}{f}$

$$h_1' = \frac{3f}{4} \cdot \frac{3f}{\frac{f}{2}} = \frac{3f}{4} \cdot 2 \quad h_2' = \frac{3f}{4} \cdot \frac{b}{\frac{3f}{2} + 2v \Delta t} \quad \frac{1}{f} = \frac{1}{b} + \frac{1}{f} \quad \frac{1}{f} = \frac{1}{b + \Delta b} + \frac{1}{f + \Delta f}$$

$$\frac{1}{b^2} = \frac{1}{f} - \frac{1}{\frac{3f}{2} + \Delta t} \quad \frac{1}{f} = \frac{1}{b_2} + \frac{1}{\frac{3f}{2} + \Delta f} \quad b^2 = \frac{f(\frac{3f}{2} + \Delta t)}{\frac{f}{2} + \Delta f} \quad \frac{1}{f}$$

$$h_2' = \frac{3f}{4} \cdot \frac{b_2}{\frac{3f}{2} + \Delta t} = \frac{3f}{4} \cdot \frac{f}{\frac{f}{2} + \Delta t} = \frac{3f}{4} \cdot \frac{1}{\frac{1}{2} + \frac{\Delta t}{f}} \quad h_2' - h_1' = \frac{3f}{4} \left(\frac{2}{1 + \frac{2\Delta t}{f}} - 2 \right) = -\frac{3f}{2} \left(\frac{2\Delta t}{f} \right) = -3f \frac{\Delta t}{f}$$

$$= -3f \frac{\Delta t}{f} \quad \text{при } \Delta t \rightarrow 0 \quad \frac{\Delta t}{f} \ll 1.$$

$$v_y = \frac{h_2' - h_1'}{\Delta t} = 3v \quad \tan \alpha = \frac{3}{8}$$

$$v_u = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{9 + 64} v = \sqrt{73} v$$

Ответ: 1) $b = 3f$ 2) $\alpha = \arctan \frac{3}{8}$ 3) $v_u = \sqrt{73} v$.

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

1-2 изохора, 2-3 изохора, 3-1 $P \propto V$, $\alpha = \text{const}$

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{T_2}{T_1} \quad T \uparrow \quad \frac{V_3}{V_2} = \frac{T_3}{T_2} \quad T \downarrow$$

$$Q = \Delta U + A \quad Q = P \Delta V + \frac{3}{2} JR \Delta T$$

1-2: $Q_1 = \frac{3}{2} JR \Delta T$, $Q_1 = C_{1,4} T$, $C_1 = \frac{3}{2} JR$ 2-3: $Q_2 = \frac{5}{2} JR \Delta T$, $Q_2 = C_{2,4} T$, $C_2 = \frac{5}{2} JR$

$$\frac{C_1}{C_2} = \frac{3}{5}$$

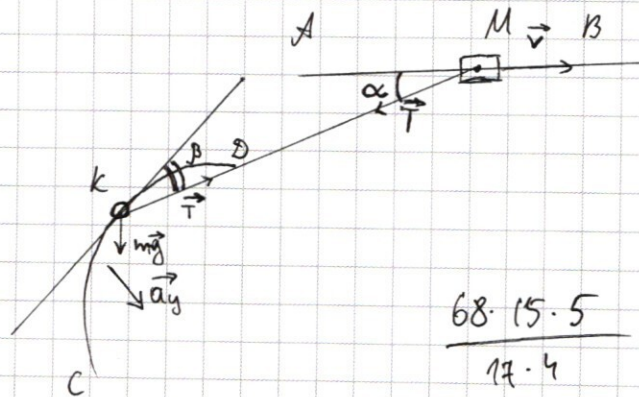
$$Q_{3-1} =$$

2-3: $Q = \frac{5}{2} JR T$, $A = JR T$, $\frac{Q}{A} = \frac{5}{2}$, $\frac{P_3 V_3}{P_1 V_1} = \frac{JR T_3}{JR T_1}$, $\frac{T_3}{T_1} = \alpha$

$$A_n = P_2 \Delta V_{2-3} \quad Q_3 = Q_{1-2} + Q_{3-1}$$

$$\sqrt{\frac{40 \text{ мкм}}{0,1 \text{ Дж}}} = 4 \cdot 10^6 = 2 \cdot 10^3 \cdot 8 = 16 \cdot 10^3$$

$$a_y = \frac{v_k^2}{R}$$



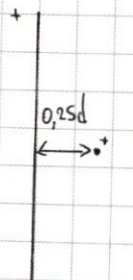
$$C = \frac{\epsilon \epsilon_0 S'}{d}$$

$$F_{k0} = \frac{k q Q}{(0,25d)^2}$$

$$F_k = ma$$

$$F_k = m \frac{v_1^2}{(d-0,25d)}$$

$$F_k = \frac{E}{d} \quad C = \frac{q}{u}$$



$$v_1 \rightarrow$$

$$\begin{array}{r} 68 \\ \times 68 \\ \hline 544 \\ + 4080 \\ \hline 5929 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 68 \\ \times 75 \\ \hline 345 \\ + 5250 \\ \hline 5625 \end{array}$$

$$\frac{68 \cdot 15 \cdot 5}{17 \cdot 4}$$

$$\frac{2 \cdot 68 \cdot 15 \cdot 36}{5 \cdot 17}$$

$$\begin{array}{r} 4624 \\ - 4320 \\ \hline 304 \\ + 5625 \\ + 304 \\ \hline 5929 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 15 \\ \times 5 \\ \hline 75 \\ \times 8 \\ \hline 68 \end{array}$$

$$\frac{60}{2} = 30$$

$$\begin{array}{r} 12 \\ \times 36 \\ \hline 72 \\ + 360 \\ \hline 432 \end{array}$$

$$3 \neq 5$$

$$\cancel{Q_L = \frac{\Delta Q}{\Delta t}} \quad Q_L = \frac{L J^2}{2} \quad Q_C = \frac{C U^2}{2}$$

$$C = \frac{q}{U} \quad q_i = C U_i \quad J = \frac{\Delta q}{\Delta t}$$