

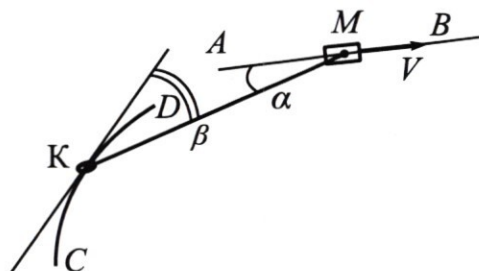
Олимпиада «Физтех» по физике, ф

Класс 11

Вариант 11-04

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

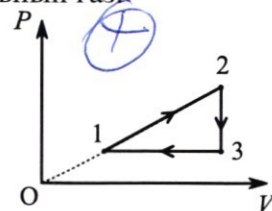
1. Муфту М двигают со скоростью $V = 2$ м/с по горизонтальной направляющей АВ (см. рис.). Кольцо К массой $m = 0,4$ кг может двигаться без трения по проволоке CD в виде дуги окружности радиусом $R = 1,9$ м. Кольцо и муфта связаны легким тросом длиной $l = 17R/15$. Система находится в одной горизонтальной плоскости. В некоторый момент трос составляет угол α ($\cos \alpha = 4/5$) 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 изменения внутренней энергии газа 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. Напряжение на конденсаторе U . Отрицательно заряженная частица движется на большом расстоянии к конденсатору по оси симметрии, перпендикулярно обкладкам, влетает в него со скоростью V_1 и останавливается на расстоянии $0,2d$ от отрицательно заряженной обкладки.

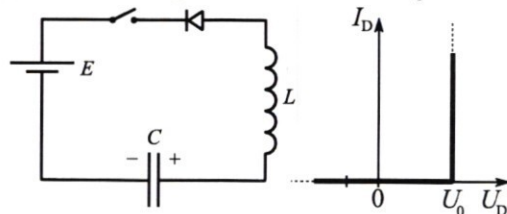
- 1) Найдите удельный заряд частицы $\gamma = \frac{|q|}{m}$.
- 2) Через какое время T после влета в конденсатор частица вылетит из него?
- 3) Найдите скорость V_0 частицы на бесконечно большом расстоянии от конденсатора.

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 $E = 6$ В, конденсатор емкостью $C = 10$ мкФ заряжен до напряжения $U_1 = 9$ В, индуктивность идеальной катушки $L = 0,4$ Гн. Вольтамперная характеристика диода дана на рисунке, пороговое напряжение диода $U_0 = 1$ В.

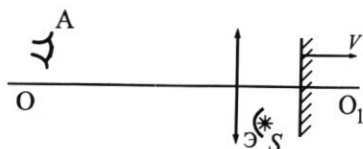
Ключ замыкают.

- 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 $3F/5$ от плоскости линзы. Линза и источник неподвижны, а зеркало движется со скоростью V вдоль оси OO_1 . В некоторый момент зеркало оказалось на расстоянии $6F/5$ 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

Дано:

$$E = 6 \text{ В}$$

$$C = 10 \text{ мкФ}$$

$$U_1 = 9 \text{ В}$$

$$L = 0,4 \text{ Гн}$$

$$U_0 = 1 \text{ В}$$

⊕ 1) $i(0) = ?$

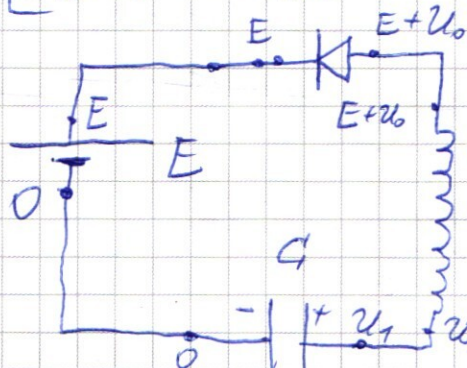
⊕ 2) $I_{\text{max}} = ?$

⊕ 3) $U_2 = ?$
уст. нап.

1) Рассмотрим момент сразу после замыкания ключа. Напряжение на конденсаторе скачком не поменялось и ток в катушке скачком не поменялся.

$$\begin{cases} U_c(0) = U_1 \\ I_L(0) = 0 \end{cases} \quad \left[V(0) = \frac{CU_c^2(0)}{2} + \frac{LI_L^2(0)}{2} = \frac{CU_1^2}{2} \right]$$

$$U_L(0) = L \frac{di(0)}{dt} = LI(0)$$



Используем
метод узловых
потенциалов

Т. к. ток начал расти, то пороговое напряжение на К.

$$U_L = E - U_C - U_0$$

$$U_K = U_0$$

Т. к. через К ток начал идти вверх.

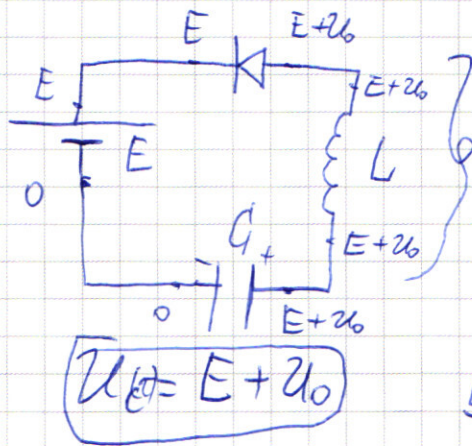
$$i(0) = \frac{U_L(0)}{L} = \frac{E - U_0 - U_1}{L} = \frac{6 - 1 - 9}{0,4} = -\frac{4}{0,4} = -10 \text{ А}$$

$t = \tau$

2) Рассмотрим цепь, когда ток в ней максимален. $\Rightarrow$

$U_L = LI = L \cdot 0 = 0$ (если ток через L максимален, то напряжение на ней равно 0); Ток на К есть $\Rightarrow$

$$U_C = U_0$$



Используем метод ~~уравнения~~ потенциалов

$$W(\tau) = \frac{U_C^2(\tau)}{2} + \frac{LI_{\max}^2}{2} = W(0) = \frac{CU_1^2}{2}$$

$$\frac{LI_{\max}^2}{2} = \frac{CU_1^2}{2} - \frac{CU_C^2(\tau)}{2}$$

$$L \cdot I_{\max}^2 = C \cdot U_1^2 - C(E+U_0)^2$$

$$I_{\max} = \frac{\sqrt{C(U_1 + E + U_0)(U_1 - E - U_0)}}{L} = \frac{\sqrt{10 \cdot 10^{-6} (16 \cdot 2)}}{0,4} = \frac{4 \cdot 2 \sqrt{5}}{0,4 \cdot 10^3} = \frac{\sqrt{5}}{50} \text{ A}$$

$t = t_{\text{уст}}$

3) Рассмотрим цепь в установившемся состоянии. $U_C(t_{\text{уст}}) = L \dot{I}(t_{\text{уст}}) = 0$
~~Ток~~ ток через $\vdash$ не течёт; $I_D(t_{\text{уст}}) = 0$; $U_L(t_{\text{уст}}) = L \dot{I}(t_{\text{уст}}) = 0$
 $\rightarrow I_U(t_{\text{уст}}) = 0$. ~~Но ток течёт~~

~~$$W(t_{\text{уст}}) = \frac{CU_2^2}{2} + \frac{LI_L^2(t_{\text{уст}})}{2}$$~~

$$W(t_{\text{уст}}) = \frac{CU_2^2}{2} + \frac{LI_L^2(t_{\text{уст}})}{2} = \frac{CU_2^2}{2}$$

$$W(t_{\text{уст}}) = W(0)$$

$$\frac{CU_1^2}{2} = \frac{CU_2^2}{2}$$

$$U_2 = U_1 = 9 \text{ В}$$

Ответ: 1) $\frac{U_1 E - U_0}{L} = 5 \frac{\text{A}}{\text{C}}$

2) $\frac{\sqrt{C \cdot (U_1 + U_0 + E)(U_1 - E - U_0)}}{L} = \frac{\sqrt{5}}{50 \text{ A}}$

3) $U_1 = 9 \text{ В}$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№ 5

1) В.К. ~~Зеркала~~ ~~Аппараты~~;

$v_{отн} = v$

Дано:

①

$$h = \frac{8F}{15}$$

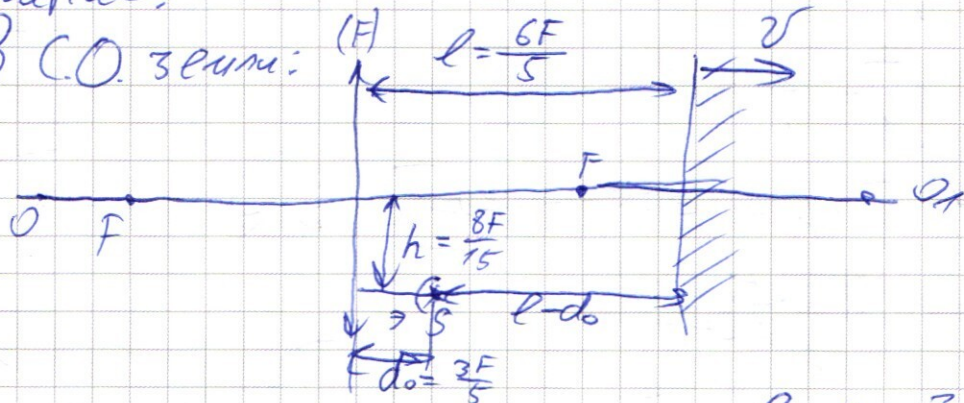
$$d_0 = \frac{3F}{5}$$

②

$$l = \frac{6F}{5}$$

Решение:

1) В.К. земли:



2) $h = ?$

3) $l = ?$

4) $u = ?$

• Расстояние от зеркала до S равно $l - d_0 = \frac{3F}{5}$.

2) В.К. зеркала:

Расстояния сохраняются
такие же, как и в В.К. земли

По закону сложения
скоростей:

$$\Gamma = 1$$

$$\vec{v}_{абс} = \vec{v}_{отн} + \vec{v}_{пер}$$

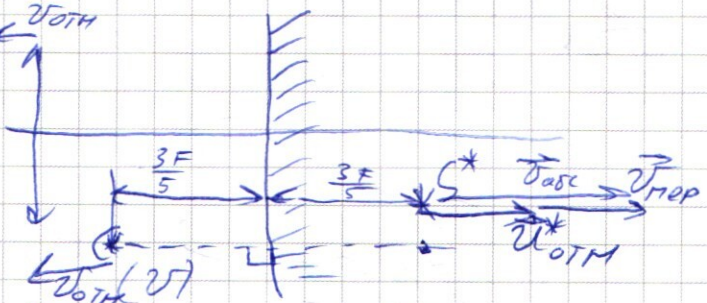
$$\vec{v}_{отн} = -\vec{v}_{пер} \Rightarrow \boxed{v_{отн} = v_{пер} = v}$$

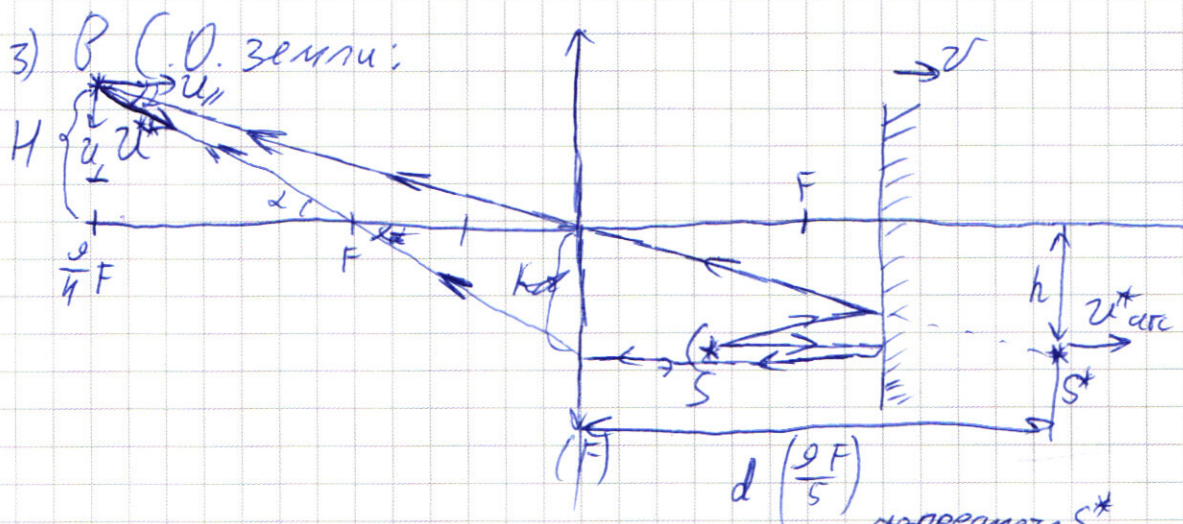
В зеркале S^* — изображение предмета S в зеркале

движется ВПРАВО со скоростью $u_{отн} = v$

от S^* до линзы равно $l + l - d_0 = \frac{9F}{5}$.

$$u_{абс}^* = v_{пер} + u_{отн}^* ; \boxed{u_{абс}^* = 2v}$$





• $d = \frac{9F}{5} > F \Rightarrow$ изображение S^* ~~от предмета S^*~~ вблизи будет действительным.

$$+\frac{1}{d} + \frac{1}{F} = +\frac{1}{F} \Rightarrow \frac{1}{F} = \frac{1}{F} - \frac{5}{9F} = \frac{4}{9F} \Rightarrow \boxed{F = \frac{9}{4} F}$$

$$\boxed{\frac{1}{d} = \frac{1}{F} - \frac{5}{9F} = \frac{4}{9F}}$$

$$\boxed{H = \frac{1}{d} \cdot h = \frac{5}{4} \cdot \frac{2F}{5} = \frac{3}{4} F} = \frac{5}{4} \cdot \frac{8}{3} F = \frac{2}{3} F$$

$$\boxed{\frac{H}{F} = \frac{2}{3}}$$

$$\boxed{\tan \alpha = \frac{H}{F-F} = \frac{\frac{2}{3} F}{\frac{5}{4} F} = \frac{2 \cdot 4}{3 \cdot 5} = \frac{8}{15}} \Rightarrow \cos \alpha = \frac{15}{17}$$

$$U_{\parallel} = U_{\text{абс}} \cdot \frac{1}{\cos \alpha} = 8V \cdot \frac{17}{15} = \frac{25}{8} V$$

$$\boxed{U^{**} = \frac{U_{\parallel}}{\cos \alpha} = \frac{25}{8} \cdot \frac{17}{15} \cdot V = \frac{85}{24} V}$$

Ответ:

- 1) $\frac{2}{3} F$
- 2) $\tan \alpha = \frac{8}{15}$
- 3) $\frac{85}{24} V$.

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Дано:

$$v = 2 \text{ m/c}$$

$$m = 0,4 \text{ kg}$$

$$R = 1,9 \text{ m}$$

$$\rho = \frac{13}{15} \text{ kg}$$

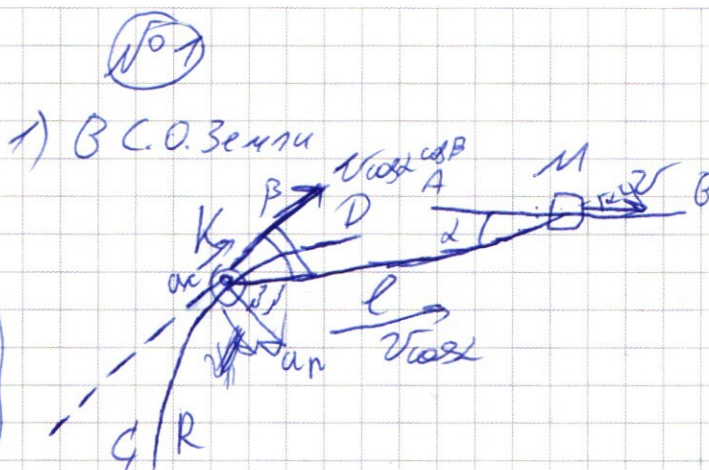
$$\cos \alpha = \frac{4}{5}$$

$$\cos \beta = \frac{8}{14}$$

④ $\rightarrow \sqrt{\quad} = ?$

⊕ 2) $V_{\text{с отн}} = ?$

3) $\Gamma = ?$



Муфта М движется за собой тросом со скоростью $v_{\text{сбл}}$, а трос в свою очередь тянет кольцо К по ЦД со скоростью $v = v_{\text{сбл}} \cdot \cos \beta$ по касательной к ЦД.

$$v_c = 2 \cdot \frac{4}{5} \cdot \frac{8}{14} = \frac{64}{85} \text{ м/с}$$

2) В с.о. муфты: $v_{пер} = v$

По закону сложения скоростей:

$$\vec{V}_L = \vec{V}_{\text{сотн}} + \vec{V}_{\text{пер.}}$$

~~З вращающийся угол~~
~~З вращающийся угол~~

$$\gamma = 180^\circ - 2\beta$$

Чел. Пот. косинусов:

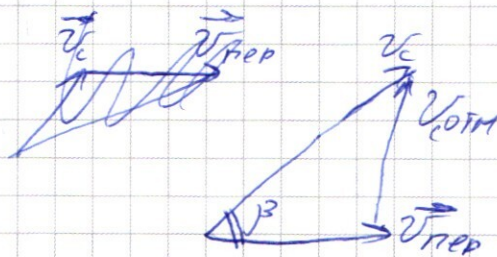
$$V_{\text{сотн}}^2 = V_c^2 + V_{\text{пер}}^2 - 2 V_c \cdot V_{\text{пер}} \cos \beta$$

$$V_{\text{COM}}^2 = V^2 (\cos^2 \alpha + \cos^2 \beta + 1 - 2 \cdot \cos \alpha \cos \beta) = V^2$$

$$V_{\text{COM}} = \sqrt{2 \cos^2 \alpha \cdot \cos^2 \beta + 1 - 2 \cos \alpha \cdot \cos^2 \beta} =$$

$$= 2 \cdot \sqrt{\cos^2 \beta \cos^2 \left(\cos \beta - 2 \right) + 1} = 2 \cdot \sqrt{\left(\frac{64}{882} \right) \cdot \frac{4}{5} \left(-\frac{26}{14} \right) + 1} =$$

$$= 2 \cdot 20$$



$$3) a_n = \frac{v_c^2}{R} = \frac{v^2 \cos^2 \alpha \cos^2 \beta}{R}$$

график

$$2.3. \text{М.} \left[T = m a_n = m \frac{v^2 \cos^2 \alpha \cos^2 \beta}{R} \right] = \frac{m v^2 \cos^2 \alpha \cos^2 \beta}{R} = \frac{0,4 \cdot 4 \cdot \frac{1}{10} \cdot \frac{1}{10}}{10/10^2}$$

Дано:
i=3

(102)

Ответ: 1) $v \cos \alpha \cos \beta = 0,5 \text{ м/с}$

$$2) \sqrt{v^2 \cos^2 \beta \cos^2 \alpha (\cos^2 \beta - 2) + 1} \approx 1,3 \text{ м/с}$$

$$3) \frac{m v^2 \cos^2 \alpha \cos^2 \beta}{R} \approx 0,14$$

$$\oplus 1) \frac{C_{23}}{C_{31}}$$

$$\oplus 2) 1-2: \frac{\Delta U_{12}}{Q_{12}}?$$

$$\oplus 3) \eta_{\max}$$

1) Процесс 1-2:

$$P = \frac{1}{\lambda} V, \text{ где } \lambda = \text{const}$$

пусть в 1 $P = P_0$
 $V = V_0$

в 2 $P = k P_0$
 $V = k V_0$, тогда

$$\oplus P_0 \cdot V_0 = \nu R T_1$$

$$k P_0 \cdot k V_0 = \nu R T_2 \Rightarrow T_2 = k^2 T_1$$

$$[A_{12} = + S_{12} = \frac{P_0 (k+1) V_0 (k-1)}{2} = P_0 V_0 \frac{k^2 - 1}{2}]$$

$$\Delta U_{12} = \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_1) = \frac{3}{2} \nu R T_1 (k^2 - 1) = \frac{3}{2} P_0 V_0 (k^2 - 1)$$

$$Q_{12} = \Delta U_{12} + A_{12}$$

$$Q_{12} = \frac{3}{2} P_0 V_0 (k^2 - 1) + \frac{1}{2} P_0 V_0 (k^2 - 1) = 2 P_0 V_0 (k^2 - 1) > 0$$

2) Процесс 2-3:

$$V = \text{const} \Rightarrow A_{23} = 0; \frac{P}{T} = \text{const} \Rightarrow \left[T_3 = \frac{k \cdot k^2 T_1}{k} = k T_1 \right]$$

$$\Delta U_{23} = \frac{3}{2} \nu R (T_3 - T_2) = \frac{3}{2} \nu R T_1 (k - k^2)$$

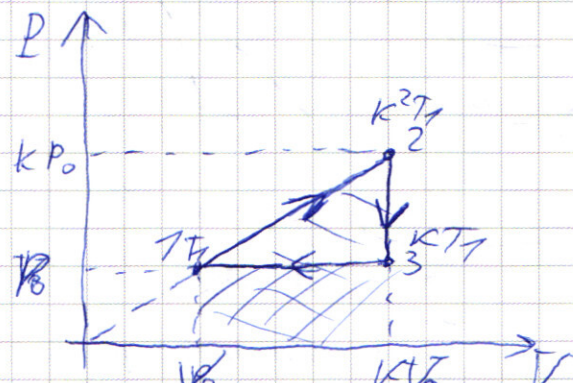
$$Q_{23} = \Delta U_{23} + A_{23} = \Delta U_{23} = \frac{3}{2} \nu R T_1 (k - k^2) < 0$$

$$\left[C_{23} = \frac{\partial Q}{\partial T} = \frac{3}{2} R \right] \quad T \text{ — падает!}$$

$$3) \text{ Процесс 3-1: } P = \text{const}; A_{31} = S_{31} = -P_0 \cdot V_0 (k-1)$$

$$\Delta U_{31} = \frac{3}{2} \nu R (T_1 - T_3) = \frac{3}{2} \nu R T_1 (1 - k)$$

см. продолжение на стр 4!



ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$Q_{31} = \delta U_{31} + A_{31} = \frac{3}{2} \nu R T_1 (\tau - k) + P_0 V_0 (\tau - k) =$$

T-падает!

$$= \frac{3}{2} \nu R T_1 (\tau - k) + \nu R T_1 (\tau - k) = \frac{5}{2} \nu R T_1 (\tau - k)$$

$$C_{31} = \frac{Q_{31}}{\Delta T} = \frac{5}{2} R$$

4) $\left[\frac{C_{23}}{C_{31}} = \frac{\frac{3}{2} R}{\frac{5}{2} R} = \frac{3}{5} = 0,6 \right]$ P.S.: $\frac{C_{31}}{C_{23}} = \frac{\frac{5}{2} R}{\frac{3}{2} R} = \frac{5}{3}$

$$\left[\frac{\delta U_{12}}{A_{12}} = \frac{\frac{3}{2} P_0 V_0 (k^2 - 1)}{P_0 V_0 (k^2 - 1) \cdot \frac{1}{2}} = 3 \right]$$

5) $\eta = \frac{A_{\Sigma}}{Q_H} = \frac{Q_H - Q_X}{Q_H}$, где

$$Q_H = Q_{12} = 2 P_0 V_0 (k^2 - 1)$$

$$Q_X = - (Q_{23} + Q_{31}) = - \left(\frac{3}{2} \nu R T_1 (k^2 - k) + \frac{5}{2} \nu R T_1 (\tau - k) \right) =$$

$$= \frac{P_0 V_0 (k^2 - 1)}{2} (3(k + 5)) = P_0 V_0 \cdot \frac{1}{2} (3k^2 - 3k + 5k - 5) = P_0 V_0 (k^2 + k - 5)$$

$$\eta = \frac{P_0 V_0 (2k^2 - 2) - P_0 V_0 \cdot \frac{1}{2} (3k^2 + 2k - 5)}{P_0 V_0 (2k^2 - 2)} = k - 1 + 0$$

$$= \frac{4k^2 - 4 - 3k^2 - 2k + 5}{4k^2 - 4} = \frac{k^2 - 2k + 1}{4(k^2 - 1)} = \frac{(k-1)^2}{4(k-1)(k+1)} =$$

$$= \frac{1}{4} \frac{k-1}{k+1} \cdot \frac{k+1}{k+1} = \frac{1}{4} \frac{k-1}{k+1}, \quad k > 1$$

$$\Rightarrow \frac{1}{4} \left(1 - \frac{2}{k+1} \right)$$

Ответ: 1) $\frac{3}{5} = 0,6$

2) 3

4) $\frac{1}{4} = 25\%$

$$\eta = \eta_{\max} \text{ при } k \rightarrow \infty \Rightarrow \eta_{\max} = \frac{1}{4}$$

№3

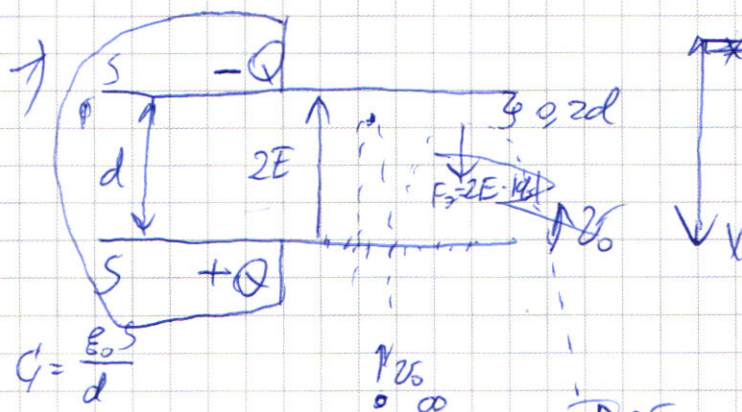
№3

Дано: $s \gg d$

U_{ac}

V_1

$l = 0,2d$



1) $\gamma = \frac{|q|}{m}$

2) $T = ?$

3) $V_0 = ?$

$q = \frac{\epsilon_0 s}{d}$

$E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$

$2E = \frac{\sigma}{\epsilon_0} = \frac{q/s}{\epsilon_0} = \frac{qQ}{\epsilon_0 s} = \frac{CU}{\epsilon_0 s}$

$\frac{U}{d}$

$E = \frac{U}{2d}$

$F = 2E \cdot |q| = \frac{U}{d} \cdot |q|$

2) По второму закону Ньютона:

$\vec{F} = m \vec{a}$; $0x \equiv \frac{U}{d} |q| = ma \Rightarrow \gamma = \frac{|q|}{m} = \frac{ad}{U}$

Из кинематики уравнение $|q|$ от $t=0$ входу до остановки

Ох: $S_x = \frac{v_x(t_1) - v_x(0)}{2a} = -\frac{V_1^2}{2a} \Rightarrow 0 = -V_1 + at_1 \Rightarrow t_1 = \frac{5V_1}{8d}$

$\frac{4}{5}d = \frac{V_1^2}{2a} \Rightarrow a = \frac{5V_1^2}{8d} \Rightarrow \gamma = \frac{5V_1^2}{8U}$

2 от остановки до выхода

$a = \frac{5V_1^2}{8d}$ $\frac{4}{5}d = \frac{V_1^2}{2a} \Rightarrow a = \frac{5V_1^2}{8d} \Rightarrow \gamma = \frac{5V_1^2}{8U}$

$\Rightarrow (T - t_1)^2 = \frac{8d}{5a} = \frac{8d}{5 \cdot \frac{5V_1^2}{8d}} = \frac{64d^2}{25V_1^2}$

от входа до выхода

$a = \frac{5V_1^2}{8d}$

$0 = -V_1 T + \frac{aT^2}{2} \Rightarrow T^2 \left(T - \frac{2V_1}{a} \right) = 0$

$T = \frac{2V_1}{a} = \frac{16d}{5V_1}$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1 \quad | : \sin^2 \alpha \cos^2 \alpha$$

$$\tan^2 \alpha + 1 = \frac{1}{\cos^2 \alpha}$$

$$\frac{64 + 225}{225} = \frac{1}{\cos^2 \alpha}$$

$$\cos^2 \alpha = \frac{225}{289}$$

$$\begin{array}{r} 24 \\ \times 14 \\ \hline 96 \\ 180 \\ \hline 336 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 14 \\ \times 14 \\ \hline 56 \\ 140 \\ \hline 196 \end{array}$$

$$\frac{1}{4} \cdot \frac{k-1}{k+1} = \frac{1}{4} \cdot \frac{k+1-2}{k+1} = \frac{1}{4} \left(1 - \frac{2}{k+1} \right)$$

$$v_x(t) = v_{0x} + a_x t \Rightarrow v_{0x} = v_x(t) - a_x t$$

$$s_x = v_{0x} t + \frac{a_x t^2}{2}$$

$$s_x = \frac{v_x^2(t) - v_{0x}^2}{2a} = - \frac{v_{0x}^2}{2a}$$

$$\begin{array}{r} 289 \\ \times 14 \\ \hline 1156 \\ 2023 \\ \hline 4046 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 5000 \\ \times 5 \\ \hline 25000 \end{array}$$

100

$$\begin{array}{r} 64 \\ \times 4 \\ \hline 256 \\ + 256 \\ \hline 512 \\ + 512 \\ \hline 1024 \end{array}$$

$$\frac{656}{5000} = \frac{1}{4}$$

$$\frac{1}{8}$$

$$\frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{1}{\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{2}}} = \frac{\sqrt{2}}{2}$$

3) ~~З. (2) для частицы~~: Закон изменения механической энергии для частицы: от 0 до $t = t_1$ (остановка)

$$A_{\text{мехомс}} = \frac{mv_1^2}{2} - \frac{mv_0^2}{2}$$

$$A_{\text{мехомс}} = -E|q| = -\frac{U|q|}{2d}$$

$$\frac{mv_0^2}{2} = \frac{mv_1^2}{2} + \frac{U|q|}{2d} \cdot \frac{2}{m}$$

$$v_0^2 = v_1^2 + \frac{U|q|}{dm}$$

$$v_0^2 = v_1^2 + \frac{U \cdot 5 \cdot v_1^2}{d \cdot 84}$$

$$A_{\text{мехомс}} = \frac{mv_1^2}{2} - \frac{mv_0^2}{2} = 0 - \frac{mv_0^2}{2}$$

$$A_{\text{мехомс}} = -F_3 \cdot 0,8d$$

$$+ \frac{U}{d} \cdot |q| \cdot \frac{4}{5}d = + \frac{mv_0^2}{2}$$

$$\frac{8U|q|}{5m} = v_0^2$$

$$v_0^2 = \frac{8}{5} \gamma = \frac{v_1^2}{4}$$

$$v_0 = v_1$$

Ответ: 1) $\frac{5v_1^2}{8U}$

2) $\frac{16d}{5v_1}$

3) v_1 .