

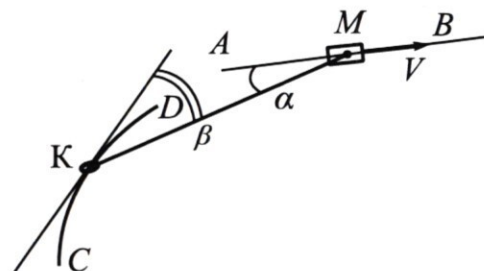
Олимпиада «Физтех» по физике, 11 класс

Вариант 11-04

Класс 11

Бланк задания обязательно должен быть вложен в работу. Работы без вложения бланка задания не принимаются.

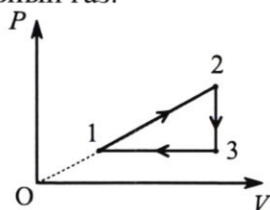
1. Муфту M двигают со скоростью $V = 2$ м/с по горизонтальной направляющей AB (см. рис.). Кольцо K массой $m = 0,4$ кг может двигаться без трения по проволоке CD в виде дуги окружности радиусом $R = 1,9$ м. Кольцо и муфта связаны легким тросом длиной $l = 17R/15$. Система находится в одной горизонтальной 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.



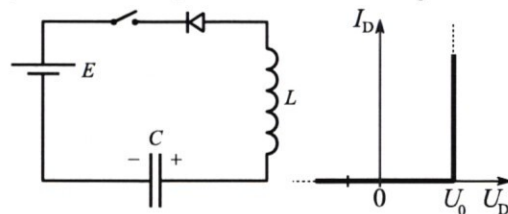
3. Обкладки конденсатора – квадратные металлические сетки, сторона квадрата во много раз больше расстояния d между обкладками. Напряжение на конденсаторе U . Отрицательно заряженная частица движется на большом расстоянии к конденсатору по оси симметрии, перпендикулярно обкладкам, влетает в него со скоростью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

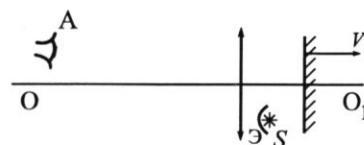


5. Оптическая система состоит из тонкой линзы с фокусным расстоянием F , плоского зеркала и небольшого экрана $\mathcal{E}$, расположенного так, что свет от источника S может попасть на линзу только после отражения от зеркала (см. рис.). Зеркало расположено перпендикулярно главной оптической оси OO_1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

Дано:

$$V = 2 \text{ м/с}, m = 0,4 \text{ кг.}$$

$$R = 2,9 \text{ м}, \cos \alpha = \frac{4}{5}$$

$$\cos \beta = \frac{8}{17}, l = \frac{17}{15} R.$$

$$v_k = ?, v_{\text{кты}} = ? \text{ м/с}$$

$$T = ? \text{ Н}$$

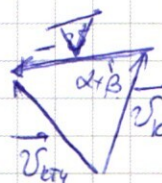
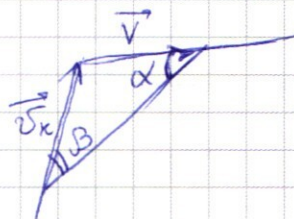
Решение:

$$\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1 \Rightarrow \sin \alpha = \sqrt{1 - \left(\frac{4}{5}\right)^2} = \frac{3}{5}$$

$$\sin^2 \beta + \cos^2 \beta = 1 \Rightarrow \sin \beta = \sqrt{1 - \left(\frac{8}{17}\right)^2} = \frac{15}{17}$$

$$\frac{V}{\sin \beta} = \frac{v_k}{\sin \alpha} \quad (T \cdot \sin \alpha \text{ — скорость})$$

$$v_k = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} V = \frac{3 \cdot 17}{5 \cdot 15} \cdot 2 = 1,36 \text{ (м/с)}$$



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

$$\vec{v}_{\text{кты}} = \vec{v}_k - \vec{V} \quad (3 \text{ сл. скорости})$$

$$v_{\text{кты}}^2 = v_k^2 + V^2 - 2v_k V \cos(\alpha + \beta) \quad (T \cdot \cos)$$

$$v_{\text{кты}} = \sqrt{v_k^2 + V^2 - 2v_k V \cos(\alpha + \beta)} = V \sqrt{\frac{\sin^2 \alpha}{\sin^2 \beta} + 1 - 2 \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} \cos(\alpha + \beta)} =$$

$$= 2 \cdot \sqrt{\left(\frac{17}{25}\right)^2 + 1 - 2 \cdot \frac{17}{25} \cdot \left(\frac{4}{5} \cdot \frac{8}{17} - \frac{3}{5} \cdot \frac{15}{17}\right)} = 2 \sqrt{\frac{17^2}{25^2} + 1 + 2 \frac{17 \cdot 13}{25 \cdot 5 \cdot 17}} =$$

$$= 2 \sqrt{0,4624 + 1 + 0,208} \approx 2 \sqrt{1,69} = 2,6 \text{ (м/с)}$$

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

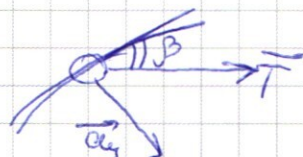
$$T = \frac{m}{R} \frac{v^2}{\sin \beta} = \frac{m}{R} V^2 \frac{\sin^2 \alpha}{\sin^3 \beta} = \frac{0,4}{2,9} \cdot 2^2 \cdot \frac{9 \cdot 17^3}{25 \cdot 15^3} =$$

$$= \frac{8 \cdot 9 \cdot 17^3}{19 \cdot 25 \cdot 8 \cdot 25 \cdot 15} = \frac{8 \cdot 17^3}{25^2 \cdot 15 \cdot 19} \approx 0,8 \text{ (Н)}$$

$$\text{Отверн: } v_k = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} V = 1,36 \text{ м/с}$$

$$v_{\text{кты}} = V \sqrt{\frac{\sin^2 \alpha}{\sin^2 \beta} + 1 - 2 \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} \cos(\alpha + \beta)} \approx 2,6 \text{ м/с}$$

$$T \approx \frac{m V^2}{R} \frac{\sin^2 \alpha}{\sin^3 \beta} \approx 1 \text{ Н}$$



№2.

Дано:

цикл.

$\frac{C_{m1}}{C_{m2}} = \frac{U_{12}}{A_{12}}$

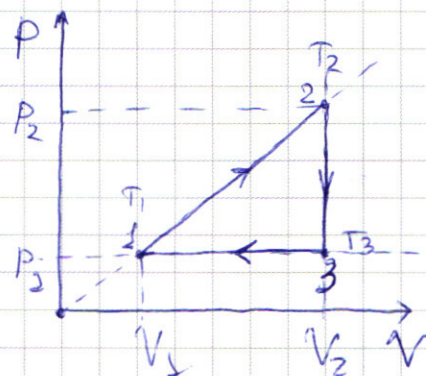
$\eta_{\max} = ?$

$$\frac{C_{m1}}{C_{m2}} = \frac{3.8}{2.5} = \frac{3}{5} = 0.6$$

Решение:

$$Q_{23} = \frac{3}{2} \nu R (T_3 - T_2)$$

$$Q_{31} = \frac{3}{2} \nu R (T_1 - T_3) + P_1 (V_1 - V_2) = \frac{3}{2} \nu R (T_1 - T_3) + \nu R (T_1 - T_3) = \frac{5}{2} \nu R (T_1 - T_3)$$



$$\Delta U_{12} = \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_1) = \frac{3}{2} (P_2 V_2 - P_1 V_1)$$

$$P_1 = \alpha V_1, P_2 = \alpha V_2 \Rightarrow \frac{P_1}{P_2} = \frac{V_1}{V_2} \Rightarrow P_1 V_2 = P_2 V_1$$

$$A_{12} = \frac{1}{2} (P_1 + P_2) (V_2 - V_1) = \frac{1}{2} (P_1 V_2 - P_1 V_1 + P_2 V_2 - P_2 V_1) = \frac{1}{2} (P_2 V_2 - P_1 V_1)$$

$$\frac{\Delta U_{12}}{A_{12}} = \frac{\frac{3}{2} (P_2 V_2 - P_1 V_1)}{\frac{1}{2} (P_2 V_2 - P_1 V_1)} = 3$$

$$\eta = \frac{A_n}{Q_n}, Q_n = A_{12} + \Delta U_{12} = \frac{3}{2} (P_2 V_2 - P_1 V_1) + \frac{1}{2} (P_2 V_2 - P_1 V_1) = 2 (P_2 V_2 - P_1 V_1)$$

$$A_n = A_{12} - |A_{31}| = \frac{1}{2} (P_2 V_2 - P_1 V_1) - |A_{31}|$$

$$\eta = \frac{\frac{1}{2} (P_2 V_2 - P_1 V_1) - |A_{31}|}{2 (P_2 V_2 - P_1 V_1)} = \frac{1}{4} - \frac{|A_{31}|}{2 Q_n}$$

$$\eta_{\max} \text{ при } |A_{31}| \rightarrow 0 \Rightarrow \eta_{\max} = \frac{1}{4} \cdot 100\% = 25\%$$

$$\text{Ответ: } \frac{C_{m1}}{C_{m2}} = 0.6; \frac{\Delta U_{12}}{A_{12}} = 3; \eta_{\max} = 25\%$$

№3

Дано, $q < 0$.

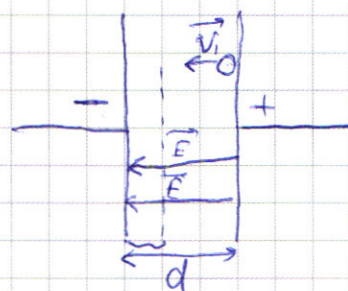
Решение:

$d, U, V_1, q, 2d$

т.к. $q < 0$, то частица пройдет от +

$\gamma = \frac{q_1}{m} = ?$, $T, V_0 = ?$

заряженной обкладки к той, что с - $\Rightarrow$ пройдет $q, 2d$.



$$F_A = Eq = \frac{U}{d} |q|$$

$$\frac{mv^2}{2} = F_A \cdot 2d = \frac{U}{d} |q| \cdot 2d$$

$$\gamma = \frac{|q|}{m} = \frac{v^2}{2U} \quad (\text{Кл/кг})$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$F_A = ma = Eq \Rightarrow a = \frac{q}{m} E = \text{const.}$$

$T = 2t$, где t - время, за которое остановится частица.

$$0,8d = \frac{V_1^2}{2a} \Rightarrow a = \frac{V_1^2}{1,6d}$$

$$v(t) = V_1 - at \Rightarrow 0 \Rightarrow t = \frac{V_1}{a} = \frac{1,6d}{V_1}$$

$$T = 3,2 \frac{d}{V_1} \text{ (с)}$$

$$Uq + \frac{mv_3^2}{2} = \frac{mv_0^2}{2} \quad (3C7)$$

$$V_0^2 = 2U \frac{q}{m} + V_3^2 = 2U \frac{q}{1,6d} + V_3^2 = \frac{q}{d} V_3^2$$

$$V_0 = \frac{3}{2} V_3 \text{ (м/с)}$$

Омберн: $\gamma = \frac{v_3^2}{1,6d} \text{ Кн/кг}$, $T = \frac{3,2d}{V_1}$, $V_0 = \frac{3}{2} V_3 \text{ м/с}$.

№4.

Дано:

$$C = 10 \text{ мкФ}, E = 6 \text{ В}, U_2 = 9 \text{ В}$$

$$L = 0,4 \text{ Гн}, U_0 = 1 \text{ В}$$

$$V_I = ? \text{ А/с}, I_{\text{max}} = ? \text{ А}$$

$$U_2 = ? \text{ В}$$

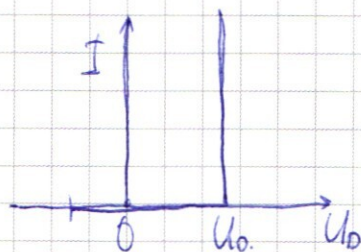
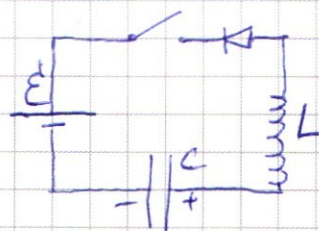
Решение:

$$q(t) = q_0 \cos \omega t$$

$$v_I(t) = q'_0 = -q_0 \omega^2 \cos \omega t$$

$$v_I(t=0) = -q_0 \omega^2$$

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}} \Rightarrow \omega^2 = \frac{1}{LC}$$



$$q_0 = -CU_2$$

$$V_I = CU_2 \frac{1}{LC} = \frac{U_2}{L} = \frac{9}{0,4} = 22,5 \text{ (А/с)}$$

$$W_1 + A_{\text{ист}} = \frac{LI_{\text{max}}^2}{2} + W_2 \quad (3C7)$$

$$W_1 = \frac{CU_2^2}{2}, W_2 = \frac{CE^2}{2}, A_{\text{ист}} = E(q_2 - q_1) = E(CE - CU_2)$$

$$LI_{\text{max}}^2 = 2(W_1 - W_2 + A_{\text{ист}}) = CU_2^2 - CE^2 + 2CE^2 - 2CU_2E = CU_2^2 + CE^2 - 2CU_2E = C(U_2 - E)^2$$

$$I = (U_2 - E) \sqrt{\frac{C}{L}} = 3 \cdot \sqrt{\frac{10^{-5}}{4 \cdot 10^{-1}}} = 3 \cdot \frac{10^{-2}}{2} = 1,5 \cdot 10^{-2} = 15 \text{ (мА)}$$

Отвечая: $v_I = \frac{U_s}{L} = 22,5 \text{ A/c}$, $I = (U_s - \mathcal{E}) \sqrt{\frac{C}{L}} = 15 \mu\text{A}$.

$S = 5$.

Дано:

$$F, H = 8 \frac{8}{15} F,$$

$$d_0 = \frac{3}{5} F, L = \frac{6}{5} F$$

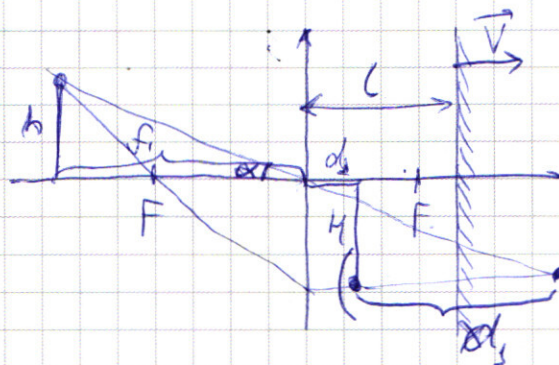
$$f_s, \alpha, \delta - ?$$

Решение:

$$\alpha = 2L - d_0 = 2 \cdot \frac{6}{5} F - \frac{3}{5} F = \frac{9}{5} F.$$

$$\frac{1}{d_1} + \frac{1}{f_s} = \frac{1}{F}$$

$$f_s = \frac{d_1 F}{d_1 - F} = \frac{\frac{9}{5} F^2}{\frac{4}{5} F} = \frac{9}{4} F.$$



$$\Gamma = \frac{h}{H} = \frac{f_s}{d_1} \Rightarrow \frac{h}{f_s} = \frac{H}{d_1}$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{h}{f_s} = \frac{H}{d_1} = \frac{8 \cdot 5^2}{15 \cdot 3} = \frac{8}{9} \Rightarrow \alpha = \operatorname{arctg} \frac{8}{9}$$

Отвечая: $\frac{9}{4} F$ и $\operatorname{arctg} \frac{8}{9}$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$\sqrt{1,6204}$

$\vec{v}$ будет направлена по касательной

$\frac{V}{\sin \beta} = \frac{v}{\sin \alpha} \Rightarrow v = V \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}$?

$R = l \sin \beta$

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

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

$32 - 45 = -13$

$v = \sqrt{v^2 + V^2 - 2vV \cos(\alpha + \beta)}$

$\frac{17^2 - 8^2}{17^2} = \frac{9 \cdot 25}{17} = \frac{15}{17}$

$\frac{0,68}{0,68} = \frac{544}{208}$

$\frac{0,68}{0,68} = \frac{544}{208}$

P_1, P_2

P_3

$0, V_1, V_2$

$\frac{C_{m1}}{C_{m2}} = \frac{3 \cdot 2}{2 \cdot 5} = \frac{3}{5}$

T пошла на 2-3 и 3-1.

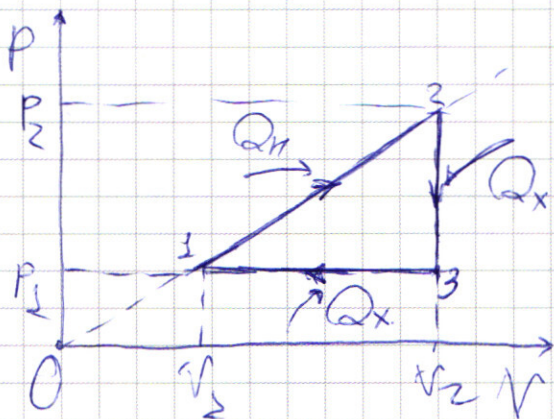
$\frac{3}{2} VR(T_3 - T_2) = C_m T = Q$

$C_m = \frac{3}{2} VR$

$\frac{C_{m1}}{C_{m2}} = \frac{3 \cdot 2}{2 \cdot 5} = \frac{3}{5}$

$Q_3 = \frac{3}{2} VR(T_3 - T_2) = U \Rightarrow C_m = \frac{3}{2} VR$

$Q_2 = \frac{3}{2} VR(T_3 - T_2) + P(V_1 - V_2) = \frac{3}{2} VR \Delta T + P \Delta V =$
 $= \frac{5}{2} C_m \Delta T$



Найти: $\frac{\Delta U}{A}$

$$P_1 = \alpha V_1, \quad P_2 = \alpha V_2 \Rightarrow \frac{P_1}{P_2} = \frac{V_1}{V_2}$$

$$\Delta U = \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_1) = \frac{3}{2} (P_2 V_2 - P_1 V_1)$$

$$A = \frac{1}{2} (V_2 - V_1) (P_1 + P_2) =$$

$$= \frac{1}{2} (P_2 V_2 - P_2 V_1 - P_1 V_1 + P_1 V_2) = \frac{1}{2} (P_2 V_2 - P_1 V_1)$$

$$\boxed{\frac{\Delta U}{A} = \frac{3/2}{1/2} = 3}$$

$$\eta = 1 - \frac{Q_{out}}{Q_{in}}$$

$$Q_{in} = \Delta U + A = \frac{1}{2} \nu R \Delta T + \frac{3}{2} \nu R \Delta T = 2 \nu R \Delta T = 2 (P_2 V_2 - P_1 V_1)$$

$$Q_{in} = Q_{12} + Q_{23}$$

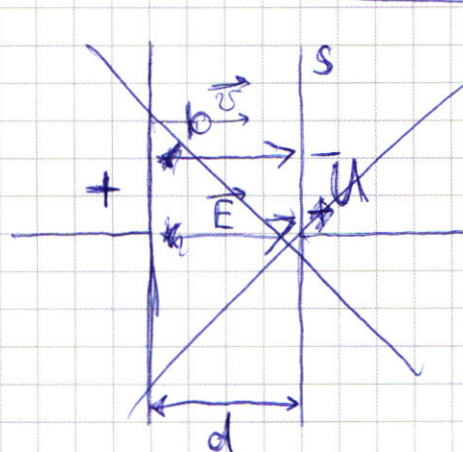
$$Q_{12} = \Delta U = \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_1) = \frac{3}{2} (P_2 V_2 - P_1 V_1)$$

$$Q_{23} = \Delta U + A = \frac{3}{2} \nu R (T_1 - T_2) + P_1 V_1 = \frac{5}{2} \nu R (T_1 - T_2) = \frac{5}{2} (P_1 V_1 - P_2 V_2)$$

$$Q_{12} + Q_{23} = \frac{3}{2} P_2 V_2 - \frac{3}{2} P_1 V_1 + \frac{5}{2} P_1 V_1 - \frac{5}{2} P_2 V_2 = \frac{5}{2} P_1 V_1 - \frac{3}{2} P_2 V_2 - P_1 V_2 \rightarrow \text{нужно}$$

$$\frac{P_1 V_1}{P_2 V_2} = \frac{V_1 T_1}{V_2 T_2} \Rightarrow \frac{P_1}{P_2} = \frac{T_2}{T_1}$$

$$\eta = 1 - \frac{\frac{5}{2} P_1 V_1 - \frac{3}{2} P_2 V_2 - P_1 V_2}{2 (P_2 V_2 - P_1 V_1)}$$



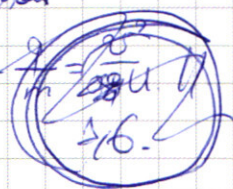
$$C = \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{d}$$

$$\frac{mv^2}{2} = E_{pot} = qU \Rightarrow E = U/d$$

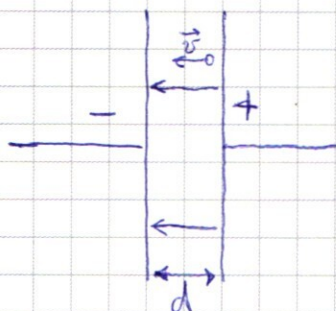
$$F_e = \frac{E}{q} \Rightarrow E = qF_e/q \Rightarrow F_e = Eq = U/d \Rightarrow F_e = Eq = \frac{q^2}{d}$$

$$\frac{mv^2}{2} = F_e \cdot d = U \cdot q$$

$$\frac{mv^2}{2} = \frac{q^2 U}{d} \Rightarrow \gamma = \frac{q^2 U}{mv^2 d}$$



ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$$S = \frac{v^2}{2a}$$

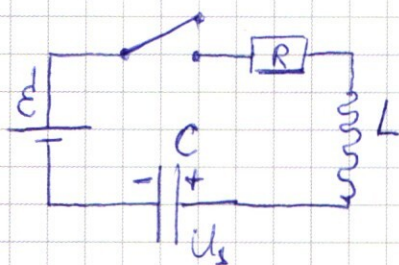
$$Eq = ma$$

$$0.8d = \frac{v^2}{2a} \Rightarrow a = \frac{v^2}{1.6d}$$

$$v(t) = v - \frac{v^2}{0.4d} t$$

$$t = \frac{v}{\frac{v^2}{0.4d}} = \frac{0.4d}{v}$$

$$Eq = ma \Rightarrow a = E \frac{q}{m} = \text{const.}$$



$$W_1 + A_{\text{out}} = \frac{LI_m^2}{2} + W_2 + \frac{Q^2}{2C}$$

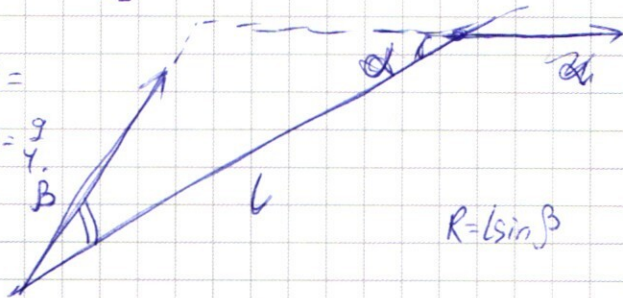
$$LI_m^2 = 2(W_1 - W_2) + A_{\text{out}}$$

$$\frac{1.36}{0.4} \approx 0.95$$

$$20/16 =$$

$$= \frac{5}{4} + 1 = \frac{9}{4}$$

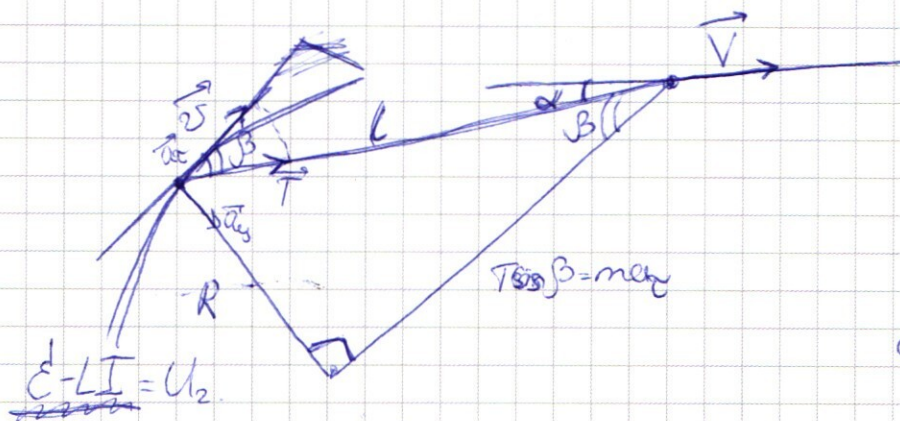
$$\frac{45}{2} =$$



$$R = l \sin \beta$$

$$\beta = \frac{A_n}{Q_n} = \frac{A_2 - A_1}{4A_{12}}$$

$$Uq + \frac{mv_2^2}{2} = \frac{mv_2^2}{2}$$



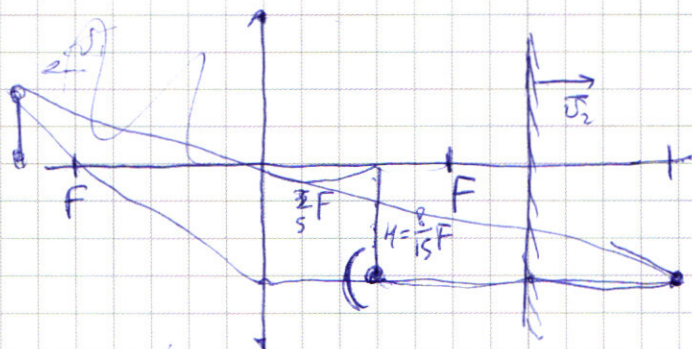
$$q = q_0 \sin \omega t$$

$$I = q_0 \omega \cos \omega t$$

$$v_z = -\frac{q_0}{m} \omega^2 \sin \omega t$$

$$v_z = -q_0 \omega^2 \sin \omega t$$

$$q_0 = C U_1$$



3a) $t \rightarrow 0$

$$\frac{1}{d+vt} + \frac{1}{f-vt} = \frac{1}{f}$$

$$\frac{f+d}{(d+vt)(f-vt)} = \frac{1}{f} = \frac{f+d}{d(f+vt)(f-d)}$$

$$f^2 = \frac{v_2}{v_1}$$



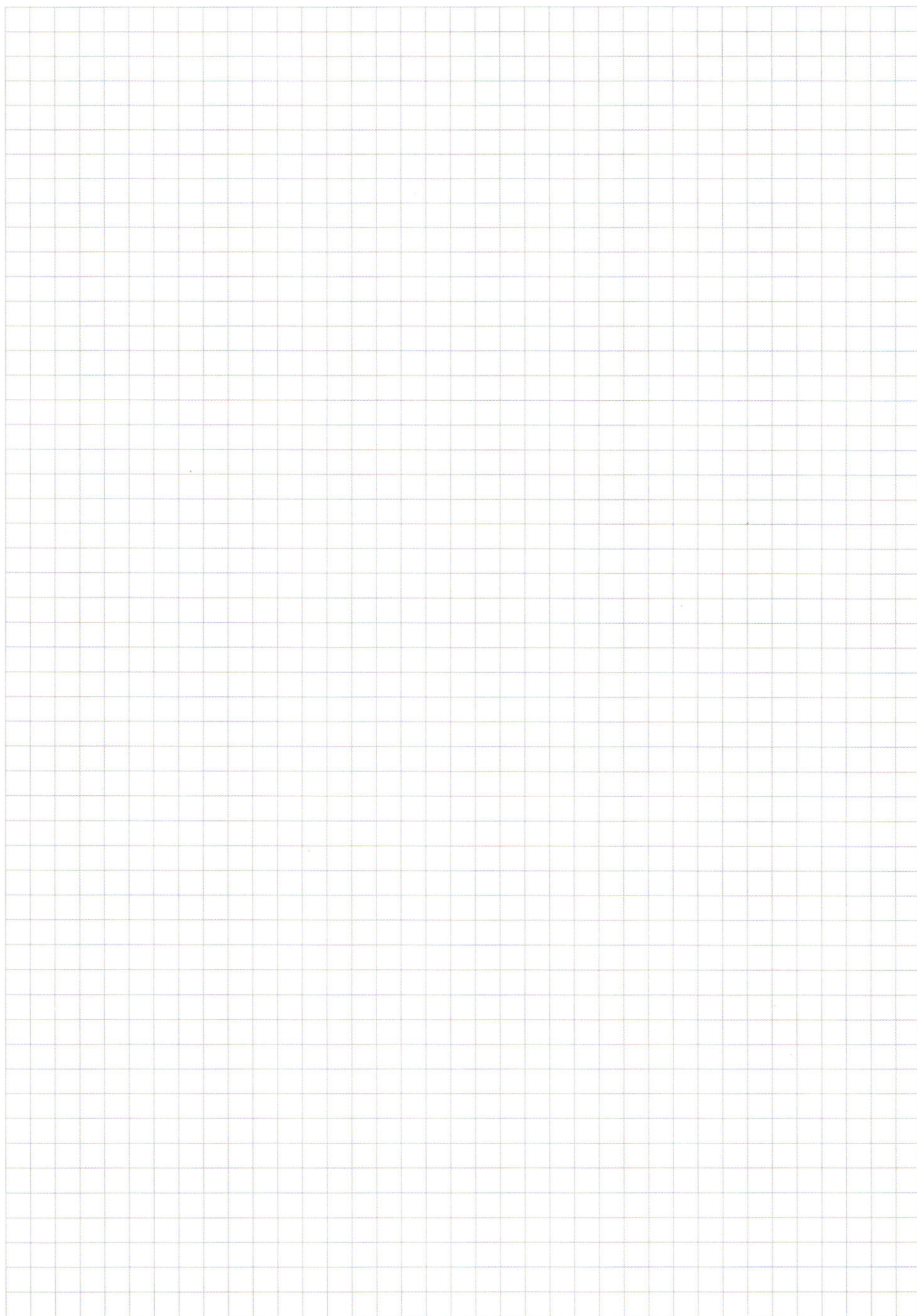
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ

«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)