

Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2022

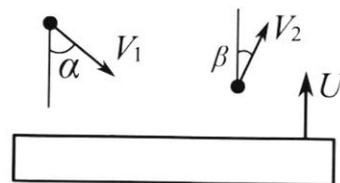
Класс 11

Вариант 11-03

Шифр

(заполняется секретарём)

1. Массивная плита движется с постоянной скоростью U вертикально вверх. К плите подлетает шарик, имеющий перед ударом скорость $V_1 = 12$ м/с, направленную под углом α ($\sin \alpha = \frac{1}{2}$) к вертикали (см. рис.). После неупругого удара о гладкую горизонтальную поверхность плиты шарик отскакивает со скоростью V_2 , составляющей угол β ($\sin \beta = \frac{1}{3}$) с вертикалью.

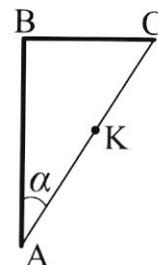


- 1) Найти скорость V_2 .
 - 2) Найти возможные значения скорости плиты U при таком неупругом ударе.
- Действие силы тяжести за малое время удара не учитывать. Ответы допустимы через радикалы из целых чисел.

2. Цилиндрический теплоизолированный горизонтально расположенный сосуд разделен на два отсека теплопроводящим поршнем, который может перемещаться горизонтально без трения. В первом отсеке находится водород, во втором – азот, каждый газ в количестве $\nu = 6/7$ моль. Начальная температура водорода $T_1 = 350$ К, а азота $T_2 = 550$ К. Температуры газов начинают медленно выравниваться, а поршень начинает медленно двигаться. Газы считать идеальными с молярной теплоемкостью при постоянном объеме $C_V = 5R/2$. $R = 8,31$ Дж/(моль·К).

- 1) Найти отношение начальных объемов водорода и азота.
- 2) Найти установившуюся температуру в сосуде.
- 3) Какое количество теплоты передал азот водороду?

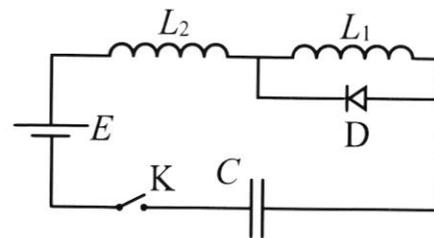
3. Две бесконечные плоские прямоугольные пластины АВ и ВС перпендикулярны друг к другу и образуют двугранный угол с ребром В. На рисунке показано сечение угла плоскостью, перпендикулярной ребру В.



1) Пластина ВС заряжена с постоянной поверхностной плотностью заряда. Угол $\alpha = \pi/4$. Во сколько раз увеличится напряженность электрического поля в точке К на середине отрезка АС, если пластину АВ тоже зарядить с такой же поверхностной плотностью заряда?

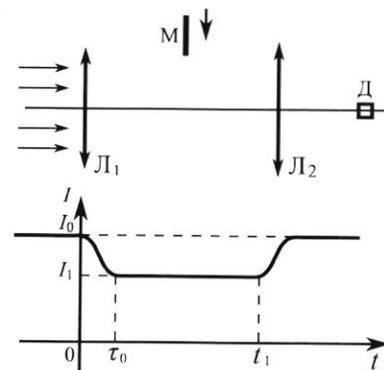
2) Пластины ВС и АВ заряжены положительно с поверхностной плотностью заряда $\sigma_1 = 3\sigma$, $\sigma_2 = \sigma$, соответственно. Угол $\alpha = \pi/5$. Найти напряженность электрического поля в точке К на середине отрезка АС.

4. Электрическая цепь собрана из идеальных элементов: источника с ЭДС E , катушек с индуктивностями $L_1 = 4L$, $L_2 = 3L$, конденсатора емкостью C , диода D (см. рис.). Ключ K разомкнут, конденсатор не заряжен, тока в цепи нет. После замыкания ключа возникают колебания тока в L_1 .



- 1) Найти период T этих колебаний.
- 2) Найти максимальный ток I_{M1} , текущий через катушку L_1 .
- 3) Найти максимальный ток I_{M2} , текущий через катушку L_2 .

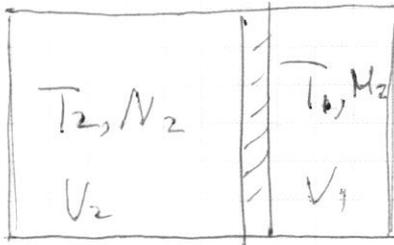
5. Оптическая система состоит из двух соосных тонких линз L_1 и L_2 (см. рис.) с фокусными расстояниями $3F_0$ и F_0 , соответственно. Расстояние между линзами $2F_0$. Диаметры линз одинаковы и равны D , причем D значительно меньше F_0 . На линзу L_1 падает параллельно оси системы пучок света с одинаковой интенсивностью в сечении пучка. Прошедший через обе линзы свет фокусируется на фотодетекторе Д, на выходе которого сила тока пропорциональна мощности падающего на него света. Круглая непрозрачная мишень М, плоскость которой перпендикулярна оси системы, движется с постоянной скоростью перпендикулярно оси системы так, что центр мишени пересекает ось на расстоянии F_0 от L_1 . На рисунке показана зависимость тока I фотодетектора от времени t (секундомер включен в момент начала уменьшения тока). $I_1 = 5I_0/9$.



- 1) Найти расстояние между линзой L_2 и фотодетектором.
- 2) Определить скорость V движения мишени. 3) Определить t_1 .

Известными считать величины F_0 , D , τ_0 .

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



WZ

1) в начальный момент можно считать, что давление газов равно, т.к. термобомбам помещены тогда из уравнения Менделеева-Клапейрона:

$$p_1 V_1 = \nu_1 R T_1 \quad p_1 = p_2 = p \quad \nu_2 = \nu_1 = \frac{m}{M} \text{ моль} \Rightarrow$$

$$p_2 V_2 = \nu_2 R T_2 \Rightarrow \frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2} \quad \frac{V_1}{V_2} = \frac{350}{550} = \frac{7}{11}$$

2) термобомбы закончили \Rightarrow температуры газов и их давления равны. Обозн. их T' , p' соотв. тогда

$$p' V_1 = \nu_1 R T' \quad \nu_1 = \nu_2 \Rightarrow V_1' = V_2'$$

$$p' V_2 = \nu_2 R T'$$

3) Система термостатирована \Rightarrow полная энергия системы сохр.

$U_1 + U_2 = U_1' + U_2'$, где U_1, U_2, U_1', U_2' - внутр. энергии водорода и азота до и после уст. равновесия

$$\frac{1}{2} \nu_1 R T_1 + \frac{1}{2} \nu_2 R T_2 = \frac{1}{2} (\nu_1 + \nu_2) R T'$$

$$U_1 = U_2 \Rightarrow T' = \frac{T_1 + T_2}{2}$$

$$T' = 450 \text{ K}$$

3) ~~Результат~~ Тепло, отд. газам, равно приращению внутр. энергии водорода.

$$\Delta U_1 = \frac{i}{2} \nu_1 R T' - \frac{i}{2} \nu_1 R T_1 = |Q|_{N_2}$$

$$|Q|_{N_2} = \frac{i}{2} \nu_1 R \left(\frac{T_2 + T_1}{2} - T_1 \right) = \frac{i}{2} \nu_1 R \left(\frac{T_2 - T_1}{2} \right) =$$

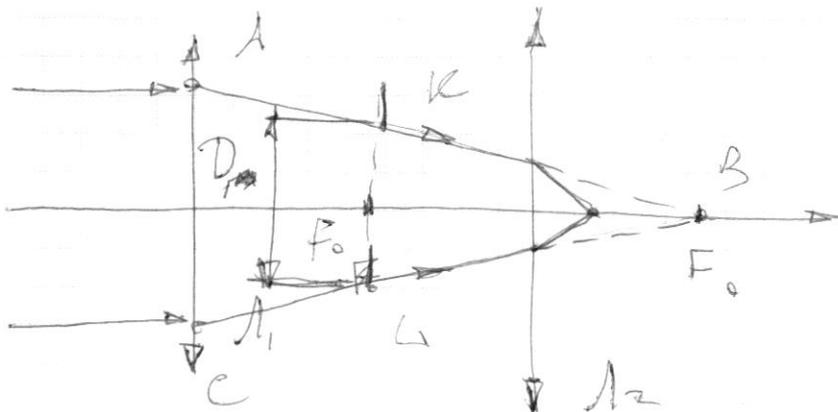
$$\frac{5}{2} \nu_1 R \left(\frac{T_2 - T_1}{2} \right) = \frac{5 R (T_2 - T_1)}{4} \cdot \frac{8^3}{8}$$

$$|Q|_{N_2} = \frac{5}{4} \cdot 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot 200 = \frac{1500 \cdot 8,31}{4} \approx 1789 \text{ Дж}$$

Ответ: а) $\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2} = \frac{7}{11}$ б) $T' = \frac{T_2 + T_1}{2} = 450 \text{ K}$

в) $|Q|_{N_2} = \frac{15}{4} R (T_2 - T_1) = 20715 \text{ Дж} \approx 1789 \text{ Дж}$

W5



1) Заметим, что фокусы линз L_1 и L_2 совпадают

т.к. лучок света, вход. в L_1 параллелен,
то он ~~создаст~~ создает мнимое изображение
в фокусе линзы L_2

т.к. изображение мнимое, то ~~то же изображение~~
~~изображение~~ ~~то же изображение~~ то же изображение
его мнимым предметом для L_2 ,
отсюда $\frac{1}{F_0} = -\frac{1}{d} + \frac{1}{f}$

$$\frac{1}{F_0} = -\frac{1}{F_0} + \frac{1}{f} \quad \boxed{f = \frac{F_0}{2}}$$

2) время t_1 на участке ~~состав.~~
время ~~от~~, прошедшему от начала
вхождения луча в с. лучок до
начала ее выхода. Т.к. лучи

за t_1 прошли $D_{\text{пл}} \Rightarrow v = \frac{D_{\text{пл}}}{t_1}$

из подобия тр-ков ABC и KLB

$$D_{\text{пл}} = \frac{2}{3} D \quad \boxed{v = \frac{2D}{3t_1}}$$

3) $J \sim \mathcal{E}P$ $P \sim S$, где S - источник
света помещен в $\Gamma O O$, на кот.
падает свет.

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$\gamma \sim S \quad \gamma = kS$$

масса S_m - масса мембраны, тогда

$$\gamma_1 = k(S - S_m)$$

$$\gamma_0 = kS$$

$$\frac{\gamma_1}{\gamma_0} = \frac{S - S_m}{S}$$

$$\gamma_1 = \frac{5\gamma_0}{9} \Rightarrow \frac{\gamma_1}{\gamma_0} = \frac{5}{9}$$

$$\frac{5}{9} = \frac{S - S_m}{S}$$

$$5S = 9S - 9S_m \quad 9S_m = 4S$$

$$S_m = \frac{4}{9}S \quad \text{т.к. мембрана имеет осевую}$$

симметрию, то мембрана S - круг.

$$S = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi}{4} D^2 \cdot \frac{4}{9} = \frac{\pi D^2}{9}$$

$$S_m = \frac{4\pi D^2}{81}$$

$$S_m = \pi D_m^2, \text{ где } D_m - \text{ диаметр мембраны}$$

$$\pi D_m^2 = \frac{4\pi}{81} D^2$$

$$D_m = \frac{2}{9} D$$

$$\omega = \frac{D_m}{\tau_0} = \frac{2}{9} \frac{D}{\tau_0}$$

$$\omega = n(2)$$

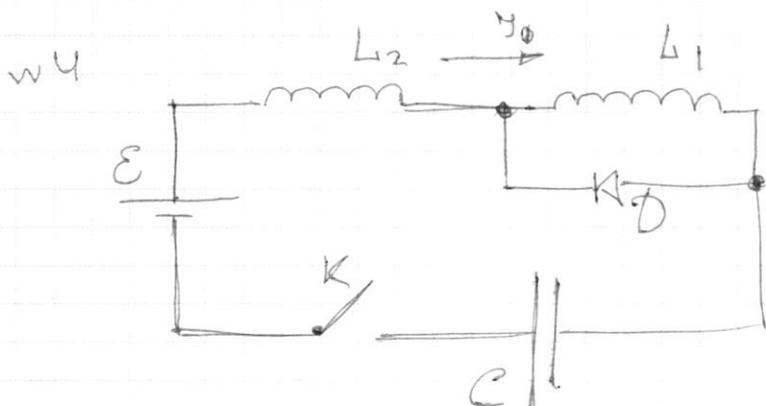
$$\omega = \frac{2D}{3t_1}$$

$$\frac{2D}{3t_1} = \frac{2D}{9\tau_0}$$

$$t_1 = \frac{\tau_0}{3}$$

Ответ: 1) $\frac{F_0}{2}$ 2) $\frac{2D}{3t_1}$ 3) $\frac{\tau_0}{3}$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



1) Заметим, что i_D когда замыкается
кнопку, ток ^{в цепи} резко возрастает, но это не
дано для этой катушки индуктивности.

ток возрастает в направлении y_0 , показанном
на рисунке \Rightarrow напряжение на катушке
 L_1 , а с.ч. и на диоде ~~на~~ ^{против}
направленности диода, \Rightarrow ток через
диод не течет, течет ток через L_1

$$E = E_1 + E_2 + U_C$$

$$E = i(L_1 + L_2) + \frac{q}{C}$$

$$E = \ddot{q}(L_1 + L_2) + \frac{q}{C}$$

$$\ddot{q} + \frac{q}{LC} - \frac{E}{L} = 0$$

$$\text{пусть } y = q - EC, \text{ тогда } \ddot{y} + \frac{y}{LC} = 0$$

периода $T = 2\pi \sqrt{LC}$

2) ток через L равен, когда ток через C равен U_0 и возрастает, либо убывает и убывает

четыре процесса 1- ток через U_0 , возраст, 2- ток ~~убывает~~ U_0 , убыв, 3- ток ~~убывает~~ U_0 , убыв, 3- ток ~~убывает~~ U_0 , убыв, 4- ток ~~убывает~~ U_0 , убыв.

• процесс 1: $q_1 = q_0 \cos \omega t + \frac{1}{\omega} \varepsilon C$

$q(0) = 0 \Rightarrow q_0 = -\varepsilon C$ $q = \varepsilon C (1 - \cos \omega_{13} t)$

• процесс 2: ток через U_0 возрастает, а не

\Rightarrow через $L_1 \Rightarrow \omega_3 = \frac{1}{\sqrt{3LC}}$

$q_2 = q_0 \cos \omega_{23} t + \varepsilon C$

$q(0) = q_1(\frac{\pi}{4}) = \varepsilon C (1 - \frac{\sqrt{2}}{2}) = \varepsilon C \frac{2 - \sqrt{2}}{2}$

$q_0 = -\frac{\sqrt{2}}{2} \varepsilon C$

$q_2 = (-\frac{\sqrt{2}}{2} \cos \omega_{23} t + 1) \varepsilon C$

• процесс 3: ток ~~убывает~~ ток через U_0 убывает

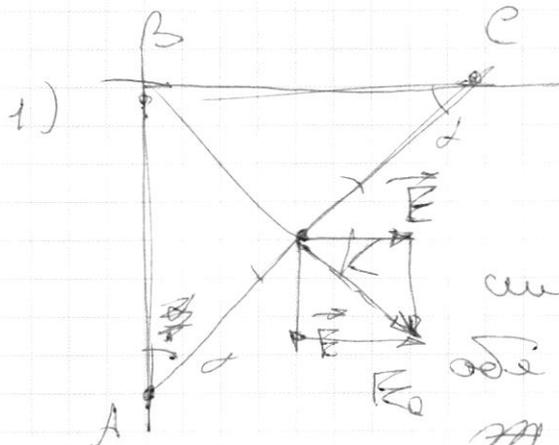
$\omega_3 = \frac{1}{\sqrt{3LC}}$

$q_3 = q_0 \cos \omega t + \varepsilon C$

$q_0 = q_2(\frac{\pi}{2})$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

W3



$\alpha = \frac{\pi}{4} \Rightarrow \triangle ABC - \text{равностор.}$

Знает две машины
симметричны ам. К,

обе создают одинаковую

напряженность E , тогда $E_0 = \sqrt{2} E$

$$\frac{E_0}{E} = \sqrt{2}$$

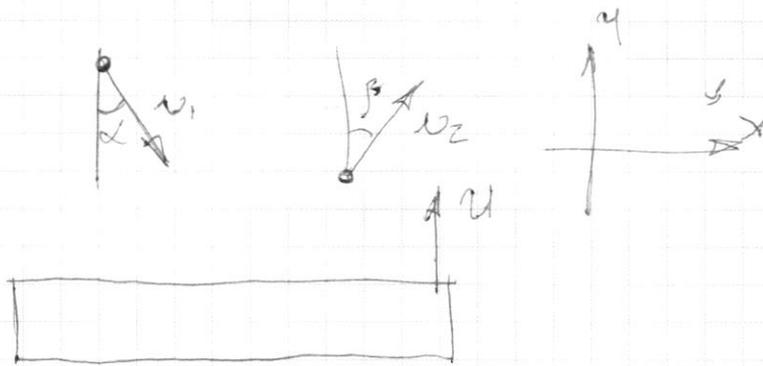
2) т.к. машины бесконечные, то

можно считать, что каждая машина
создает напряженность: $E_1 = \frac{\sigma_1}{\epsilon_0}$ $E_2 = \frac{\sigma_2}{\epsilon_0}$

$$E_0 = \sqrt{E_1^2 + E_2^2} = \sqrt{\left(\frac{\sigma}{\epsilon_0}\right)^2 + \left(\frac{3\sigma}{\epsilon_0}\right)^2} = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \sqrt{10}$$

Ответ: 1) $\sqrt{2}$ 2) $\frac{\sigma}{\epsilon_0} \sqrt{10}$

v_1



1) поверхность гладкая \Rightarrow на шарик не действует горизонтальная сила, следовательно скорость $v_x = \text{const}$

$$v_1 \sin \alpha = v_2 \sin \beta \quad v_2 = v_1 \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}$$

$$v_2 = 12 \frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot \frac{1}{\frac{\sqrt{3}}{2}} = 18 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

2) при соударении на шарик со стороны поверхности действует вертикальная сила

после удара вверх $v_{2y} = v_2 \cos \beta = v_1 \frac{\sin \alpha \cos \beta}{\sin \beta}$

~~до~~ до удара $v_1 = v_2 \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}$

после удара вниз $v_{2y} = v_{1y} + 2U$

$$2U = v_{2y} - v_{1y} = v_1 \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} - v_1 \cos \alpha$$

$$U = \frac{1}{2} v_1 \left(\frac{2\sqrt{2}}{2} - \frac{\sqrt{3}}{2} \right) = \frac{v_1}{4} (2\sqrt{2} - \sqrt{3})$$

т.к. удар упругий, то $U > \frac{v_1}{4} (2\sqrt{2} - \sqrt{3}) \frac{\text{м}}{\text{с}}$

(т.к. шарик жерни ударит в келью), то $U < v_{2y} = 12\sqrt{2} \frac{\text{м}}{\text{с}}$

Отв: а) $18 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ б) $U \in \left(\frac{v_1}{4} (2\sqrt{2} - \sqrt{3}), 12\sqrt{2} \frac{\text{м}}{\text{с}} \right)$

$$3(2\sqrt{2} - \sqrt{3}) \frac{\text{м}}{\text{с}} < U < 12\sqrt{2} \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

2) Когда ток начнет убывать, диод
начнет его пропускать, и за него
в L_1 ~~будет~~ ток начнет возрастать и
в L_1 возникнет \mathcal{E} , кот. мешает
ему возрасти т.о. ток в катушке
 L_1 не превысит \mathcal{E} / R и когда
ток начнет убывать

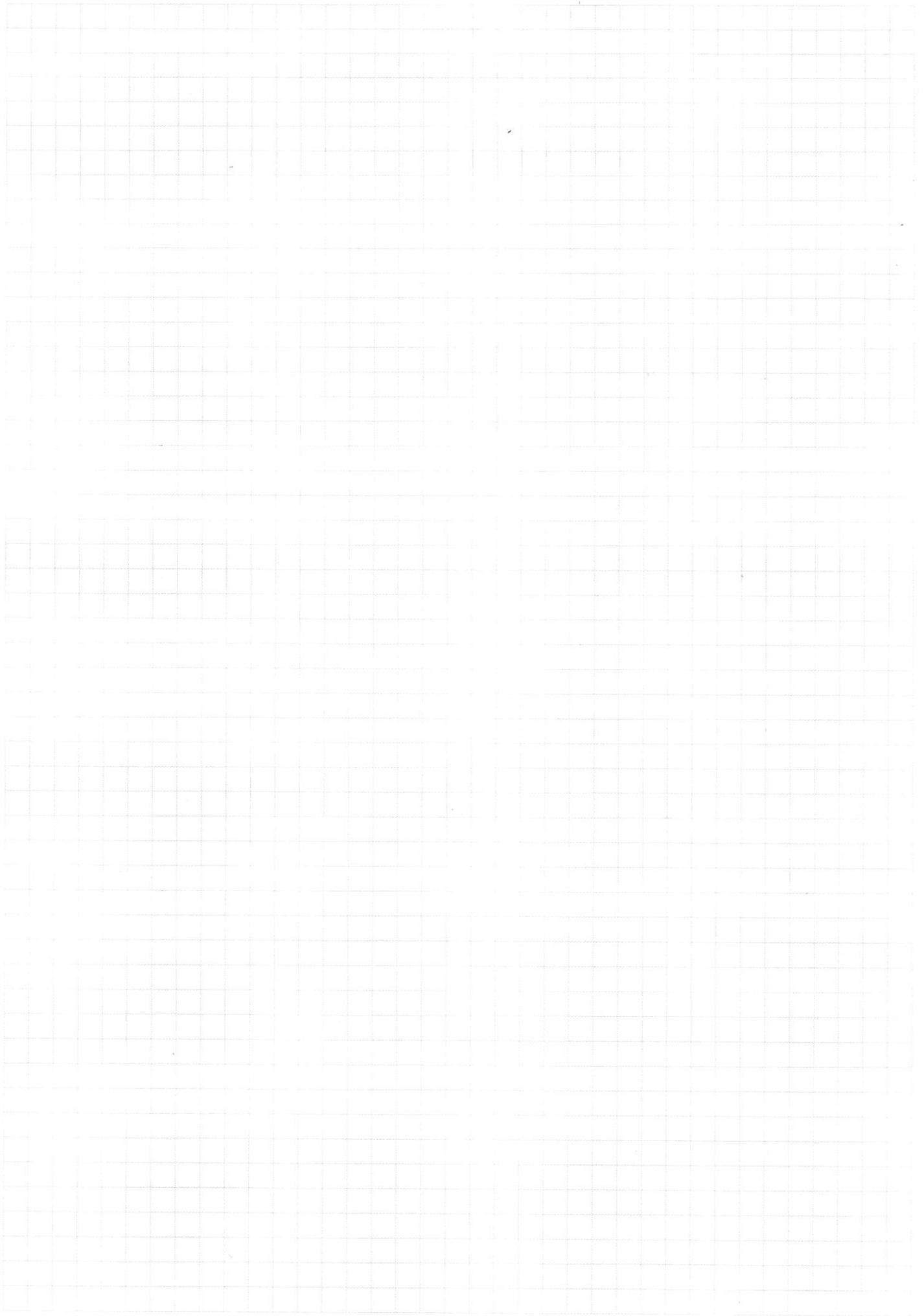
$$q = q_0 \cos \omega t + \mathcal{E} C \quad q(0) = 0 \Rightarrow q = \mathcal{E} C - \mathcal{E} C \cos \omega t$$

$$q = \mathcal{E} C (1 - \cos \omega t) \quad \dot{q} = \mathcal{E} C \omega \sin \omega t$$

$$\dot{q} \text{ при } \omega t = \frac{\pi}{4} : \quad y = \mathcal{E} C \cdot \frac{1}{\sqrt{2} R C} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2}$$

$$y = \mathcal{E} \sqrt{\frac{2 \mathcal{E}}{2 R C}} \cdot \frac{1}{2} \quad y = \mathcal{E} \sqrt{\frac{\mathcal{E}}{4 R C}}$$

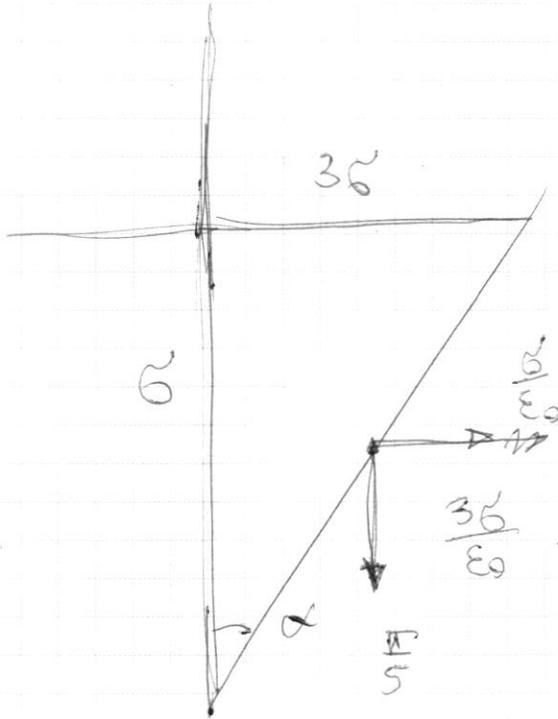
Ответ: 1) $2\pi \sqrt{2 R C}$ 2) $\mathcal{E} \sqrt{\frac{\mathcal{E}}{4 R C}}$



черновик чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №
(Нумеровать только чистовики)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$$E_{\Delta q} = \frac{4q^2}{2C} + \frac{(L_1 + L_2)q^2}{2}$$

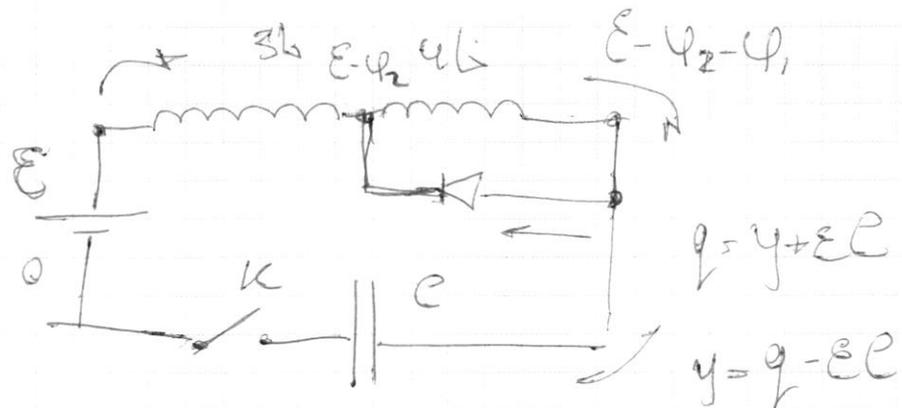
$$\delta E_{\Delta q} = U_0 \delta q +$$

$$\frac{6}{5} \frac{5}{2} U_0 R \left(\frac{T_2 - T_1}{2} \right)$$

$$\frac{15}{14} T_2 - T_1$$

$$\left(\frac{L_1 + L_2}{2} \right)' \frac{2L_1 q}{2} = L_1 q$$

ay



$$E = j(3L + L) \dot{q} + \frac{q}{C}$$

$$E = 5jL \dot{q} + \frac{q}{C}$$

$$5L \ddot{q} + \frac{q}{5LC} - E = 0$$

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{5LC}}$$

$$y = q_0 \cos \omega t + \varphi$$

$$\dot{\varphi} = \frac{q}{5LC} = 0 \quad y = q_0 \cos \omega t +$$

$$T = 2\pi \sqrt{5LC} \quad \begin{matrix} q_0 + \epsilon C \\ q = -\epsilon C \cos \omega t + \epsilon C \end{matrix}$$

так бер:

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad T = 2\pi\sqrt{LC}$$

так же:

$$T = 2\pi\sqrt{3LC}$$

так бер:

$$T = 2\pi\sqrt{5LC}$$

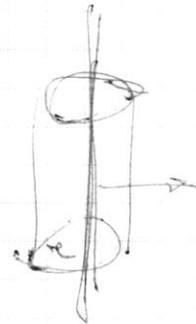
так же:

$$T = 2\pi\sqrt{3LC}$$

$$\Phi_m = \frac{q_m}{\epsilon_0}$$

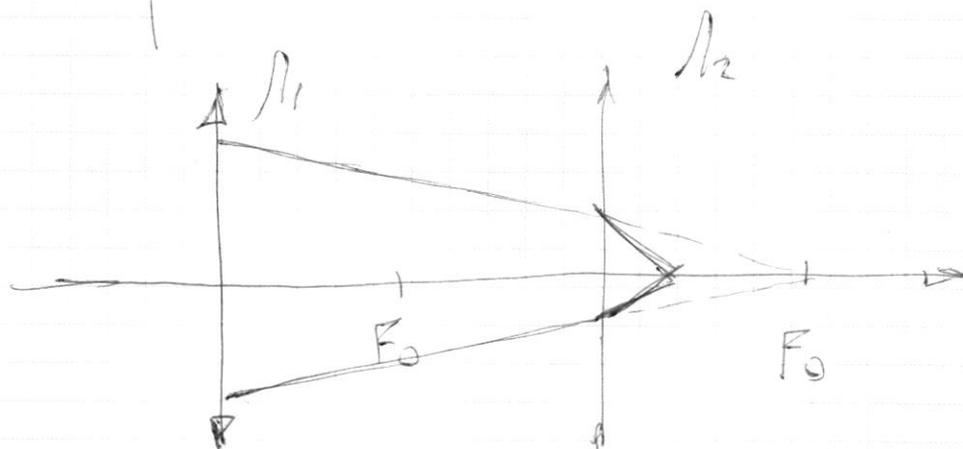
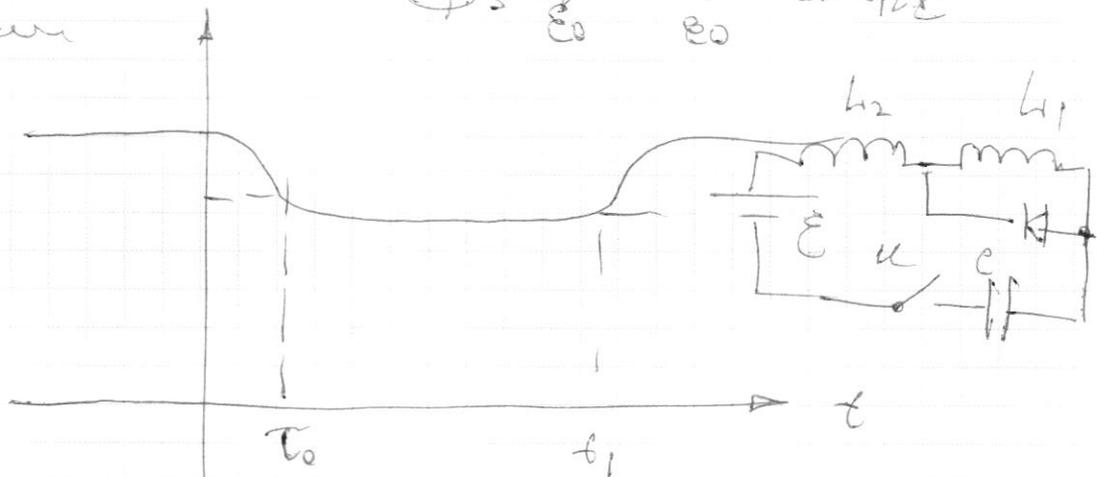
$$\frac{2}{Z} \cdot \frac{2VE}{Z} = 2\pi chE$$

$$\frac{h\lambda}{\epsilon_0} = 2\pi chE$$



$-\cos$
 \sin

$$\Phi = \frac{q}{\epsilon_0} \quad \frac{q}{\epsilon_0} = 2\pi chE$$



~~Q_{N_2} =~~

$$|Q_{N_2}^-| = \Delta U_{N_2} = \frac{i}{2} OR T_2^3 - \frac{i}{2} OR T_1^3 =$$

$$= \frac{i}{2} OR \left(T_2 - \frac{T_2 + T_1}{2} \right) = \frac{i}{2} OR \left(\frac{T_2 - T_1}{2} \right)$$

$$\frac{i}{2} OR = C_V \left(\frac{T_2 - T_1}{2} \right) = \frac{5R(T_2 - T_1)}{4}$$

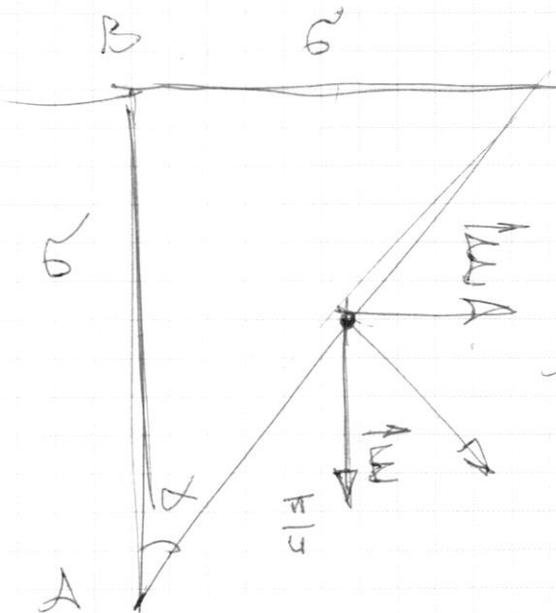
$$Q = \Delta U$$

$$Q = \frac{i}{2} OR T$$

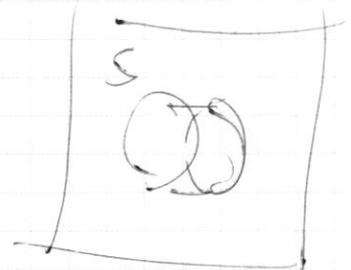
$$C_V = \frac{Q}{\Delta T} \quad 15.8$$

$$C_V = \frac{i}{2} R$$

w3



$\times 1500$
 $\frac{831}{1500} = 12465$
 $\frac{12000}{1246500} = \frac{54}{49} = \frac{1.1}{0.5}$
 $\frac{6}{\epsilon_0} = \frac{58}{0.5}$

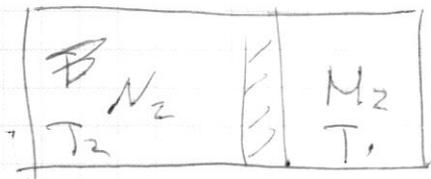


$$\begin{aligned}
 & 8,31 \cdot 200 \cdot \frac{15}{100} = 248.7 \\
 & = \frac{1500 \cdot 8,31}{8}
 \end{aligned}$$

$$\Phi = \frac{q}{\epsilon_0} \quad E = \frac{\Phi}{S}$$

$$E = \frac{q}{\epsilon_0 S} = \frac{6}{\epsilon_0 S}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$$1) \quad pV_1 = \nu RT_1$$

$$pV_2 = \nu RT_2$$

$$\left(\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2} \right) = \alpha$$

$$V_1 = \alpha V_2$$

$$V_0 = (1 + \alpha) V_2$$

$$Q_1 + Q_2 = 0$$

$$Q_1 = 0$$

$$u_1 = \frac{1}{2} \nu R T_1$$

$$u_2 = \frac{1}{2} \nu R T_2$$

$$\frac{1}{2} \nu R (T_1 + T_2) = \frac{1}{2} \nu R T'$$

$$2) \quad T'_1 = T'_2 = T'$$

$$p'_1 = p'_2 = p'$$

$$p'_1 V'_1 = \nu R T'$$

$$p'_2 V'_2 = \nu R T'$$

$$V'_1 = V'_2 = \frac{(1 + \alpha) V_2}{2}$$

$$pV_2 = \nu R T_2$$

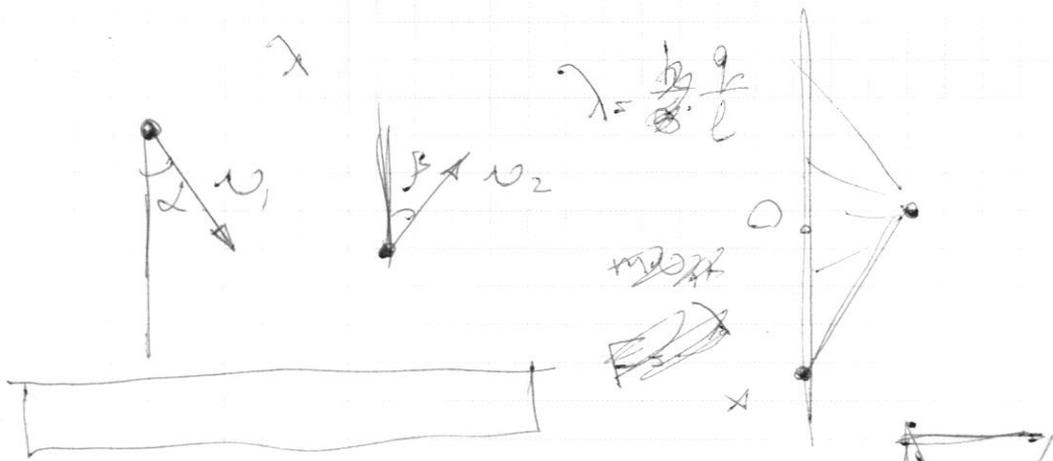
$$p' \frac{(1 + \alpha) V_2}{2} = \nu R T'$$

$$pV_1 = \nu R T_1$$

$$u'_1 = \frac{1}{2} \nu R T'$$

$$u'_2 = \frac{1}{2} \nu R T'$$

$$T' = \frac{T_1 + T_2}{2}$$



ЗУМ: $E = \int \frac{1}{r^2}$ $r = x + u$

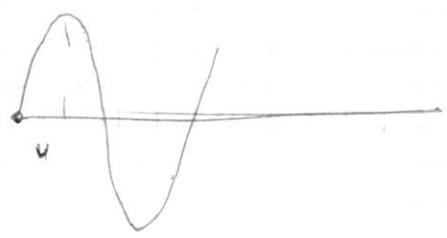
~~$u_2 = 2u$~~ $u_2 \cos \beta = u_1 + 2u$

$u_2 = \frac{u_1 + 2u}{\cos \beta}$ $F = \int \frac{1}{\sqrt{x^2 + u^2}}$

$u_2 = \frac{q(u_1 + 2u)}{2\sqrt{2}}$ $\frac{2\sqrt{2}}{9}$ $u_2 = k \omega / c \cdot \frac{B}{2} = 1.5 u_1$

~~$u_1 \cos \alpha$~~ $u_1 \cos \alpha + 2u = u_2 \cos \beta$

$E = \int b_2 + \frac{q}{c}$ $\ddot{q} + \frac{q}{L^2 C} - \frac{E}{L^2} = 0$ $u_2 = u_1 \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}$



~~$u_1 \sin \alpha$~~ $u_1 \sin \alpha = u_2 \sin \beta$

$\int E \Delta q = \frac{1 \cdot 0^2}{2C} + \frac{4^2 \cdot 6}{2}$

~~$E \Delta q = \frac{1 \cdot 0^2}{2C}$~~ $E =$

$u_1 \sin \alpha = u_2 \cos \beta$

$u_2 = u_1 \frac{\sin \alpha}{\cos \beta}$

$u_2 = 12 \text{ см} \cdot \frac{B}{2 \cdot 2\sqrt{2}} = \frac{k \omega c}{4\sqrt{2}} \cdot 3$

$\frac{q}{\sqrt{2}} \omega / c$

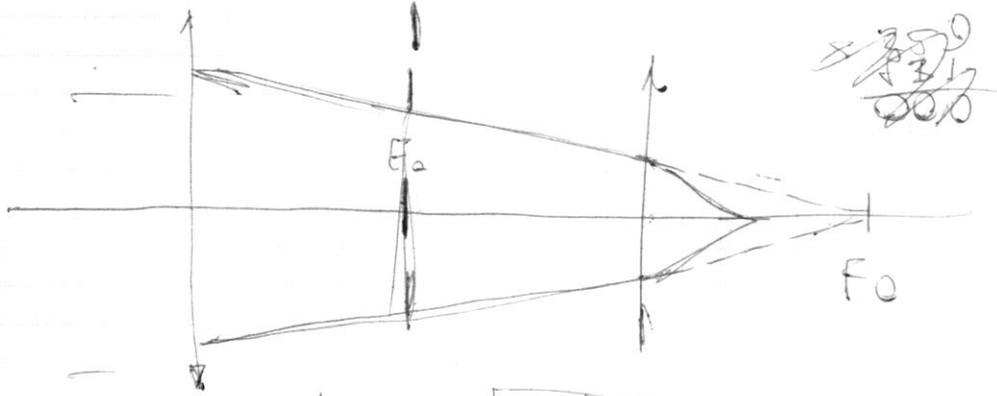
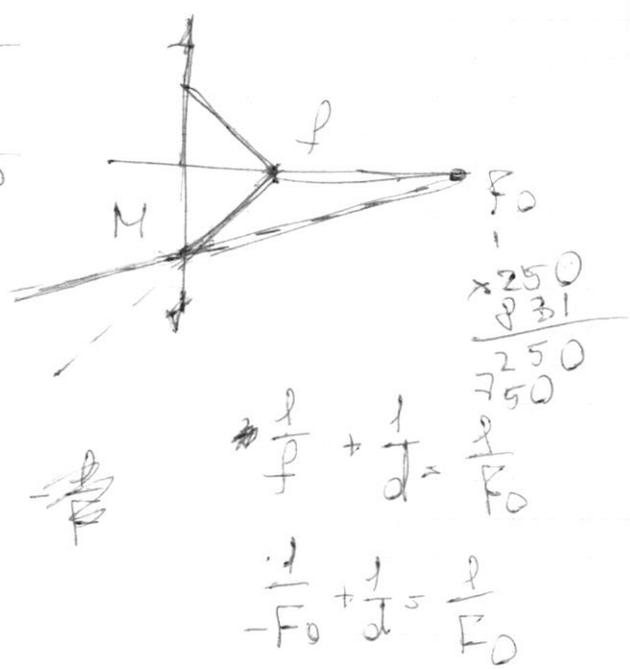
ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

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

$$\frac{1}{F_0} = \frac{1}{f} - \frac{1}{F_0} + \frac{1}{f}$$

$$f = \frac{F_0}{2}$$

Handwritten calculations for focal length f and object distance d using the lens formula. Includes numerical values like 250, 831, 750, 2000, and 207750.



$$d = \frac{2}{3} \left(\frac{2D}{3+1} \right)$$

$\gamma \sim P$ $P \sim N_{\text{эл}}$ $N_{\text{эл}} \sim S_{\text{эл}}$

$$S_{\text{эл}} = \frac{4}{9} \pi D^2$$

$$y_m = k \frac{\pi D^2}{9} \quad y_1 = k \left(\frac{\pi D^2}{9} - S \right) \quad \frac{y_m}{y_1} = \frac{\frac{\pi D^2}{9}}{\frac{\pi D^2}{9} - S} = \frac{5}{9}$$

$$\frac{x}{x-9S} = \frac{5}{9} \quad \Rightarrow \quad 9x = 5x - 45S \quad 4x = 45S \quad \Rightarrow \quad S = \frac{4}{45}$$