



# Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2022

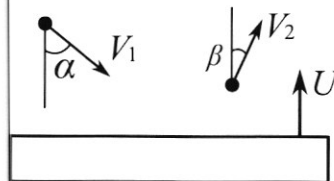
Класс 11

Вариант 11-01

Шифр

(заполняется секретарём)

1. Массивная плита движется с постоянной скоростью  $U$  вертикально вверх. К плите подлетает шарик, имеющий перед ударом скорость  $V_1 = 8$  м/с, направленную под углом  $\alpha$  ( $\sin \alpha = \frac{3}{4}$ ) к вертикали (см. рис.). После неупругого удара о гладкую горизонтальную поверхность плиты шарик отскакивает со скоростью  $V_2$ , составляющей угол  $\beta$  ( $\sin \beta = \frac{1}{2}$ ) с вертикалью.

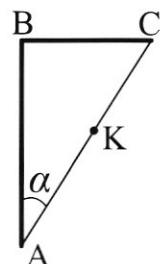


1) Найти скорость  $V_2$ .  
2) Найти возможные значения скорости плиты  $U$  при таком неупругом ударе.  
Действие силы тяжести за малое время удара не учитывать. Ответы допустимы через радикалы из целых чисел.

2. Цилиндрический теплоизолированный горизонтально расположенный сосуд разделен на два отсека теплопроводящим поршнем, который может перемещаться горизонтально без трения. В первом отсеке находится азот, во втором – кислород, каждый газ в количестве  $\nu = 3/7$  моль. Начальная температура азота  $T_1 = 300$  К, а кислорода  $T_2 = 500$  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 азота и кислорода.
- 2) Найти установившуюся температуру в сосуде.
- 3) Какое количество теплоты передал кислород азоту?

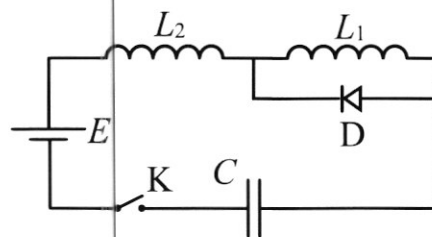
3. Две бесконечные плоские прямоугольные пластины АВ и ВС перпендикулярны друг к другу и образуют двугранный угол с ребром В. На рисунке показано сечение угла плоскостью, перпендикулярной ребру В.



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?

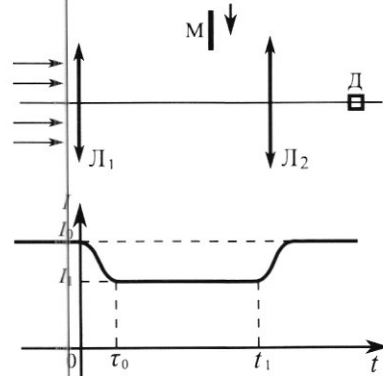
2) Пластины ВС и АВ заряжены положительно с поверхностной плотностью заряда  $\sigma_1 = 2\sigma, \sigma_2 = \sigma$ , соответственно. Угол  $\alpha = \pi/7$ . Найти напряженность электрического поля в точке К на середине отрезка АС.

4. Электрическая цепь собрана из идеальных элементов: источника с ЭДС  $E$ , катушек с индуктивностями  $L_1 = 2L, L_2 = L$ , конденсатора емкостью  $C$ , диода D (см. рис.). Ключ К 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 фокусным расстоянием  $F_0$  у каждой. Расстояние между линзами  $3F_0$ . 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  $2F_0$  от  $L_1$ . На рисунке показана зависимость тока  $I$  фотодетектора от времени  $t$  (секундомер включен в момент начала уменьшения тока).  $I_1 = 3I_0/4$ .



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

Известными считать величины  $F_0, D, \tau_0$ .



## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Задача I: 1) По З.С.У на ось  $OX$ :  
 $OX$ :  $mV_1 \cdot \sin \alpha = mV_2 \cdot \sin B \Rightarrow$  *m - масса шара*

$$\Rightarrow V_2 = V_1 \cdot \frac{\sin \alpha}{\sin B} = 1,5V_1 = 12 \text{ (м/с)}$$

1) Ответ:  $12 \text{ (м/с)}$

2) По З.С.У: на ось  $OY$ :

$$V_1 \cdot \cos \alpha + 2U = V_2 \cdot \cos B$$

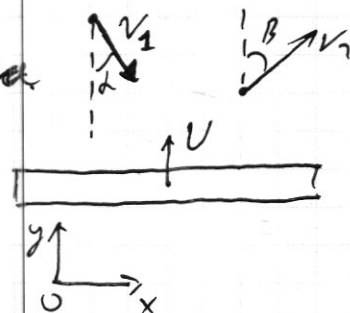
$$\Rightarrow 2U = V_1 (1,5 \cos B - \cos \alpha) \Rightarrow U = \frac{V_1}{2} (1,5 \cos B - \cos \alpha)$$

$$\sin \alpha = \frac{3}{4} \Rightarrow \cos \alpha = \frac{\sqrt{7}}{4} \quad \sin B = \frac{1}{2} \Rightarrow \cos B = \frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$\Rightarrow U = 4 \cdot \left( 1,5 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} - \frac{\sqrt{7}}{4} \right) = 3\sqrt{3} - \sqrt{7} \text{ (м/с)}$$

По так как удар неупругий, то мы не знаем  
какая часть энергии превратится в тепло,  
без потерь:  $U > 3\sqrt{3} - \sqrt{7}$ .

Ответ:  $U > 3\sqrt{3} - \sqrt{7}$



Учитывая 1.

# Домашнее задание № 2:

Дано:

$$V = \frac{3}{4} \text{ (моль)}$$

$$T_1 = 300 \text{ (K)}$$

$$T_2 = 500 \text{ (K)}$$

$$C_V = 5R$$

$$R = 8,31$$

$$\frac{V_{N_2}}{V_{O_2}} = ?$$

$$T_3 = ?$$

$$Q_{O_2 \rightarrow N_2} = ?$$

$$Q_{O_2 \rightarrow N_2}$$

$p_0$  - изначальное давление смеси.

$$\begin{cases} V_{N_2} \cdot p_0 = \nu R T_1 \\ V_{O_2} \cdot p_0 = \nu R T_2 \end{cases} \Rightarrow \frac{V_{N_2}}{V_{O_2}} = \frac{T_1}{T_2} = 0,6 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow V_{\text{общая}} = 1,6 V_{O_2} \text{ (объем смеси)}$$

По 3. С. 7: (max. как газу)  
(max. израсходовать)

$$\frac{5}{2} \nu R T_1 + \frac{5}{2} \nu R T_2 = \frac{5}{2} \nu R T_3, \text{ работа газа равна и пренебрежимо мала по сравнению с работой сжатия.}$$

$$\Rightarrow \frac{T_1}{2} + \frac{T_2}{2} = T_3 = \boxed{400 \text{ (K)}}$$

$$Q_{O_2 \rightarrow N_2} = \Delta U_{N_2} + A_{N_2}, \text{ где } A_{N_2} \text{ - работа газа по сжатию.}$$

$$\Delta U_{N_2} = \frac{5}{2} \nu R (T_3 - T_1) = 250 \nu R.$$

$$A_{N_2} = \bar{p} \cdot \Delta V, \text{ где } \Delta V = \frac{V_{\text{общая}}}{2} - 0,6 V_{O_2} = \frac{1,6 V_{O_2}}{2} - 0,6 V_{O_2} = 0,4 V_{O_2}.$$

$$-0,6 V_{O_2} = 0,4 V_{O_2}.$$

$$\bar{p} = \frac{p_0 + p_k}{2} \text{ max-как давление изменяется}$$

$$Q_{O_2 \rightarrow N_2} = \Delta U_{O_2} - A_{O_2}, \text{ где } A_{O_2} = A_{N_2}.$$

$$Q_{O_2 \rightarrow N_2} = \Delta U_{N_2} + A_{N_2} \Rightarrow \Delta U_{O_2} = \Delta U_{N_2} + A_{N_2} - A_{O_2} - A_{N_2} \Rightarrow \Delta U_{O_2} = \Delta U_{N_2} = \frac{5}{2} \nu R (400 \text{ K}) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow A_{N_2} = 0, \text{ следовательно:}$$

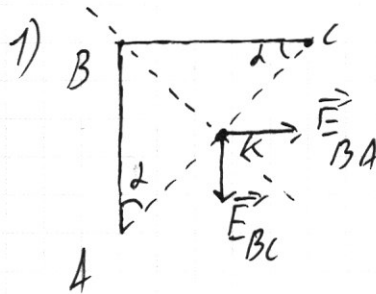
$$Q_{O_2 \rightarrow N_2} = \Delta U_{N_2} = \frac{5}{2} \nu R (T_3 - T_1) = 250 \cdot \frac{3}{4} \cdot 8,31 = 250 \cdot 1,875 \cdot 3 = 296,25 \cdot 3 = 890,25 \text{ (Дж)}$$

Ответ: 1) 0,6 2) 400K 3) 890,25 Дж

### ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Задача 3.

1) Дано:  $\alpha = \frac{\pi}{4} = 45^\circ$



Из соображений симметрии, при  $\alpha = 45^\circ$ , заметим, что

скаляр ~~равен~~  $|\vec{E}_{BC}| = |\vec{E}_{BA}|$ , поскольку линии напряжённости поле для бесконечной плоскости перпендикулярна самим пластинкам по теореме Гаусса:  $E_{K(A)} = \sqrt{E_{BA}^2 + E_{BC}^2} = \sqrt{2} \cdot E_{BC}$ ,

$$\frac{\sqrt{2} E_{BC}}{E_{BC}} = \sqrt{2}; \quad \text{1) Ответ: Отклонитесь в } \boxed{\sqrt{2} \text{ раз.}}$$

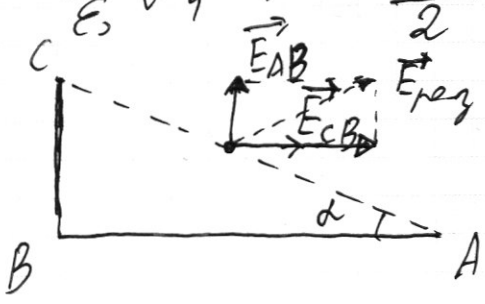
2)  $\sigma_1 = 26$ ,  $\sigma_2 = 6$ ,  $\alpha = \frac{\pi}{4}$ , Поскольку поля создаваемые бесконечными пластинками не складываются, как и напряжённость эл. поля:

$$E_{AB} = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}; \quad E_{BC} = \frac{26}{2\epsilon_0}, \quad \text{из соображений принципа суперпозиции для т. К:}$$

$$E_{\text{рез}} = \sqrt{E_{BC}^2 + E_{AB}^2} =$$

$$= \frac{6}{\epsilon_0} \sqrt{\frac{1}{4} + 1} = \frac{\sqrt{5}}{2} \frac{6}{\epsilon_0}$$

$$\text{Ответ: } \boxed{\frac{\sqrt{5}}{2} \frac{6}{\epsilon_0} .}$$







### ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

3) В какой время  $\tau$ , когда конденсатор находится  
разряженным:  $\omega_2 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$

$$q(t) = -CE \cos(\omega_2 t) + CE \Rightarrow q_{\max} = 2CE$$

$$q(t) = A_2 \cos(\omega_2 t) + B_2 \sin(\omega_2 t) + CE$$

$$t=0 \Rightarrow q = 2CE = A_2 + CE \Rightarrow A_2 = CE$$

$$q'(t) = \dot{q} = I(t) = -\omega_2 A_2 \sin(\omega_2 t) + B_2 \omega_2 \cos(\omega_2 t)$$

$$\text{при } t=0 \Rightarrow I(0) = 0 = -\omega_2 A_2 \sin(\omega_2 t) + \omega_2 B_2 \cos(\omega_2 t) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow B_2 = 0.$$

$$I(t) = -\omega_2 CE \sin(\omega_2 t) \Rightarrow I_{M_2} = \omega_2 CE = \frac{CE}{\sqrt{LC}} = E \sqrt{\frac{C}{L}}$$

~~$I_{M_2}$~~  Во втором процессе ток тоже должен,

$$I_{M_2} = E \sqrt{\frac{C}{L}}$$

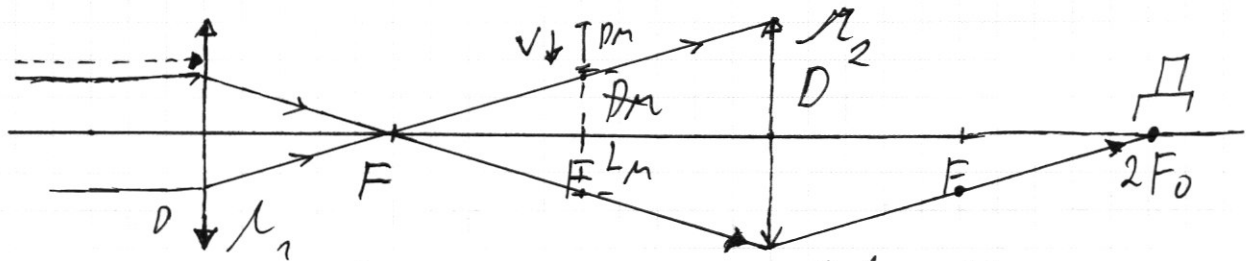
О ответе: 1)  $T = (\sqrt{3} + 1) \pi \sqrt{LC}$ ;

2)  $I_{M_1} = E \sqrt{\frac{C}{3L}}$

3)  $I_{M_3} = E \sqrt{\frac{C}{L}}$ .



# Задача 5.



~~$F_{\text{об}} = \frac{1}{\frac{1}{F_0} + \frac{1}{3F_0} + \frac{1}{F_0}} = \frac{F_0 \cdot 3F_0}{5F_0} = \frac{3F_0}{5}$~~

Поскольку лучи падают на систему параллельно, то все лучи сойдутся в фокусе системы, следовательно,  $L = \frac{4}{5} F_0$ . Следовательно для 2-ой линзы "изображение" находится на расстоянии в  $2F$ , а луч вышедший из 2-ой точки фокуса попадает в  $2F_0$ , следовательно, диаметр стержня в 2-ой точке фокуса  $\Delta L_2$ .

$L = 2F_0$

2)  $D_M$  - радиус линзы:  $D_M = \frac{1}{2} D$ , как средняя линия треугольника.  $v = \frac{D}{2t_1}$ ; Радиус и диаметр

линзы:  $D_M$ ; Мощность потока

прямо пропорциональна кол-ву ~~фотонов~~ фотонов, так как поток состоит из фотонов, сила тока пропорциональна открытой площади, радиус  $\propto$  диаметром  $L_M \Rightarrow \frac{I_0 - I_1}{I_0} = \left(\frac{D_M}{L_M}\right)^2 \Rightarrow P_M = \frac{1}{2} L_M$

$= \frac{1}{4} D \Rightarrow v = \frac{D_M}{t_0} = \frac{D}{4t_0} \Rightarrow v = \frac{D}{2t_1} = \frac{D}{4t_0} \Rightarrow t_1 = 2t_0$

Ответ: (1)  $2F_0$  (2)  $v = \frac{D}{4t_0}$  (3)  $t_1 = 2t_0$

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Задача 2 (п. 3) исправление:

$$Q = \Delta U_{N_2} + A_{N_2}$$

$$\Delta U_{N_2} = \frac{5}{2} \nu R (T_3 - T_1) = 250 \nu R, \text{ так как температура равна}$$

$$\text{газа } A: A = \bar{p} \cdot \Delta V$$

$$\Delta V = \frac{V_{\text{одн}} - V_{N_2}}{2} = \frac{0,8 V_{O_2} - 0,6 V_{O_2}}{2} = 0,2 V_{O_2}$$

$$\bar{p} = \frac{p_0 + p_k}{2}, \text{ так как газы имеют одинаковые}$$

$$\text{давления, поэтому } p_0 + \bar{p} = \frac{\nu R T_2}{V_{O_2}} + \frac{\nu R T_3}{0,8 V_{O_2}} =$$

$$= \frac{\nu R T_2}{V_{O_2}} \Rightarrow A = \bar{p} \cdot \Delta V = \frac{\nu R T_2}{V_{O_2}} \cdot 0,2 V_{O_2} = 0,2 \nu R T_2$$

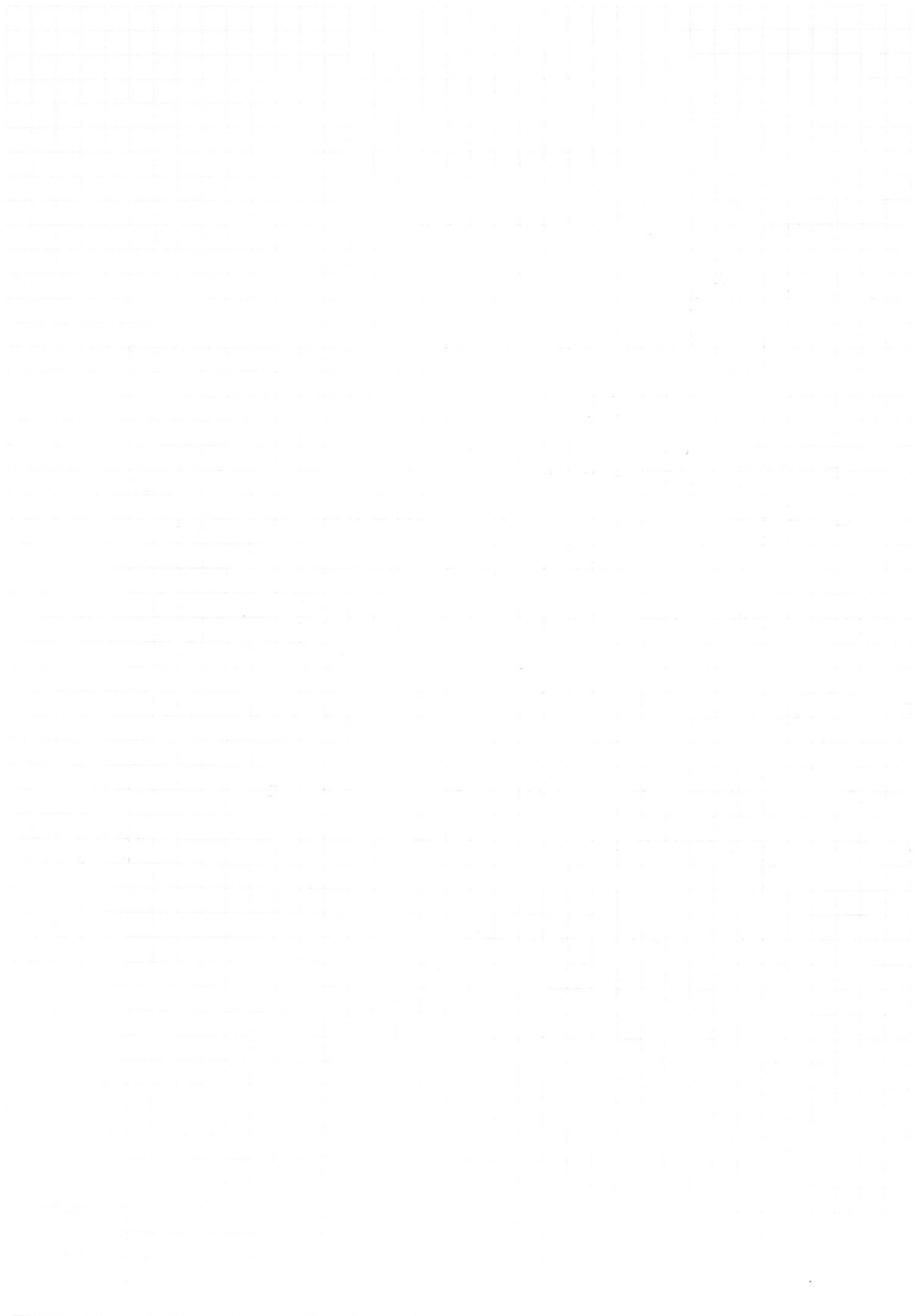
$$Q = \Delta U_{N_2} + A_{N_2} = 250 \nu R + 100 \nu R = 350 \nu R =$$

$$= 350 \cdot \frac{5}{2} \cdot 8,31 = 15 \cdot 831 = 831 + 415,5 = 1246,5 \text{ Дж}$$

Ответ: 3) 1246,5 (Дж)

$$1) 0,6 = \frac{V_{N_2}}{V_{O_2}}$$

$$2) T_3 = 400 \text{ (К)}$$



черновик     чистовик  
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №\_\_  
(Нумеровать только чистовики)

4. Колебания в конт.  $L_1$ , до

до точки зарядки конденсатора, ток через  
 груз не идёт, а индуктивно с ним связан  
 крайностью.

$$\begin{array}{r} -8,31 \sqrt{2} \\ \hline 2 \end{array} \quad \begin{array}{r} -6,1 \sqrt{2} \\ \hline 50 \end{array}$$

$$\omega = \sqrt{(L_1 + L_2)C} \Rightarrow T_{1/4} = \frac{1}{4} \cdot 2\pi \cdot \sqrt{(L_1 + L_2)C} = \frac{\pi}{2} \cdot \sqrt{3} \sqrt{LC}$$

$$= \frac{\sqrt{3}\pi\sqrt{LC}}{2} \quad \omega_1 = \frac{1}{\sqrt{(L_1 + L_2)C}} = \frac{2}{\sqrt{3}\sqrt{LC}}$$

$$T_{3/4} \rightarrow \frac{4}{4} = T_{1/4} \Rightarrow$$

$$T_{1/4} - \frac{3}{4} = \frac{2\pi}{2} \sqrt{L_2 C} = \pi \sqrt{L_2 C}$$

$$T = \sqrt{3}\pi\sqrt{LC} + \pi\sqrt{LC} = (\sqrt{3} + 1)\pi\sqrt{LC}$$

В момент, когда  $I$  между  $L_1$  максимален,  
 ток равен, что  $I' = 0, \Rightarrow U_{L_1} = 0,$   
 в первом проходе, когда между  $L_1$  течёт

ток: ~~...~~

$$q(t) = A \sin(\omega t) + B \cos(\omega t) + CE$$

890,25

$$t=0 \Rightarrow 0 = B + CE \Rightarrow B = -CE$$

$$q'(t) = I(t) = \omega A \cos(\omega t) - \omega B \sin(\omega t)$$

$$\frac{\pi R^2}{4\pi R^2}$$

$$t=0 \Rightarrow I = \omega A = 0, \text{ (ток можно считать}$$

$$\Rightarrow A = 0:$$

$$I(t) = +\omega CE \sin(\omega t) \Rightarrow I_{max} = \omega CE$$

$$= \frac{\sqrt{3}}{3} \sqrt{\frac{C}{L}} \cdot E = \sqrt{\frac{C}{3L}} \cdot E = I_{M1}$$

3] Если  $I_{M1} = I_{M2}$  где  $\omega$  есть  $\omega$  для того  
 момента в  $t=0$  - между и по цепи:

$$q(t) =$$

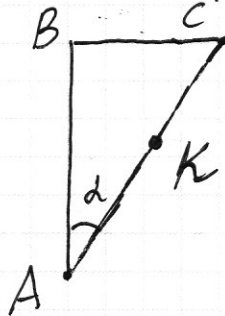
### ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

~~$tg^2 d$  - во столько раз~~

$tg^2 d \cdot \frac{\epsilon_2}{\epsilon_1}$  - соотношение напряжённости поля в м.кв

$$\frac{p_k + p_o}{v} = \frac{\sqrt{RT_2 + \sqrt{RT_2} \cdot \frac{5}{4}}}{v_o} = \sqrt{RT_2} \cdot \frac{v_o}{v_o}$$

$$\frac{E_{BA}}{E_{BC}} = tg^2 d \cdot \frac{\epsilon_2}{\epsilon_1}$$



$$\Delta V = 0,8 - 0,6 = 0,2 V_{02}$$

$$\bar{p} = p_o = \frac{\sqrt{RT_2}}{v_{02}} \quad p_k = \frac{\sqrt{RT_3}}{0,8 v_{02}}$$

$$E_{BA} = tg^2 d \cdot \frac{\epsilon_2}{\epsilon_1} E_{BC}$$

$$= 0,5 tg \quad \frac{E_{BC}}{E_{BA}} = 0,5 tg^2 d \cdot \frac{\epsilon_2}{\epsilon_1} \Rightarrow E_{BC} = tg^2 d \cdot \frac{\epsilon_2}{\epsilon_1} \cdot E_{BA}$$

$$E_{BC(\omega)} = \frac{2\sigma}{2\epsilon_0 \cdot \sin^2 d} \quad E_{AB} = \frac{\sigma}{2\epsilon_0 \cdot \cos^2 d} \Rightarrow E_k = \sqrt{\frac{\sigma^2}{\epsilon_0^2 \cos^4 d} + \frac{\sigma^2}{4\epsilon_0^2 \sin^4 d}}$$

4. В направлении  $t=0$ .

$$E_k = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \sqrt{\frac{1}{\cos^4 d} + \frac{1}{4\sin^4 d}}$$

$$E_k = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \sqrt{\frac{1}{\cos^4 d} + \frac{1}{4\sin^4 d}} = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \sqrt{\frac{4\sin^4 d + \cos^4 d}{4\sin^4 d \cos^4 d}} = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \sqrt{\frac{1+3\sin^2 d}{1+3\sin^2 d}}$$

$$\frac{\sigma}{0,5 \cdot 4 \sin^2 d \cos^2 d} \sqrt{1+3\sin^2 d} = \frac{\sigma \sqrt{1+3\sin^2 d}}{0,5 \cdot \sin^2 d}$$

$$q(t) = -LC \cos(\omega_1 t) + CE$$

$$t_1 = \frac{\pi C}{\omega_1} = \pi \Rightarrow t_2 = \pi \sqrt{3LC}$$

$$q(t) = +CE \cos(\omega_1 t) + CE$$

$$t = \frac{\pi}{\omega} \Rightarrow \pi \sqrt{LC}$$