



# Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2022

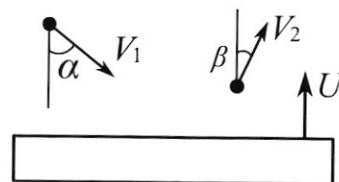
Класс 11

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.

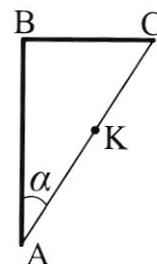


- 1) Найти скорость  $V_2$ .
  - 2) Найти возможные значения скорости плиты  $U$  при таком неупругом ударе.
- Действие силы тяжести за малое время удара не учитывать. Ответы допустимы через радикалы из целых чисел.

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).

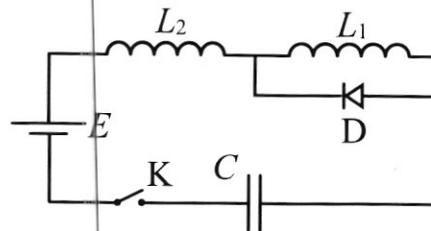
- 1) Найти отношение начальных объемов азота и кислорода.
- 2) Найти установившуюся температуру в сосуде.
- 3) Какое количество теплоты передал кислород азоту?

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.



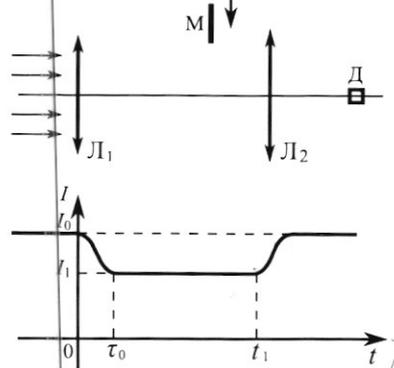
- 1) Пластина ВС заряжена с постоянной поверхностной плотностью заряда. Угол  $\alpha = \pi/4$ . Во сколько раз увеличится напряженность электрического поля в точке К на середине отрезка АС, если пластину АВ тоже зарядить с такой же поверхностной плотностью заряда?
- 2) Пластины ВС и АВ заряжены положительно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

№ 7

1) СО Земли

СО массивной плиты

Дано

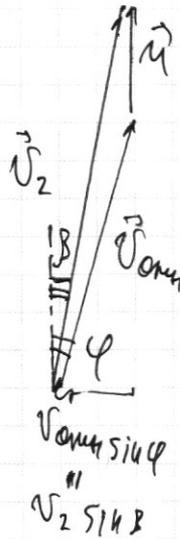
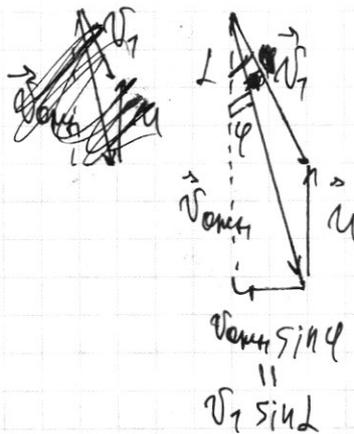
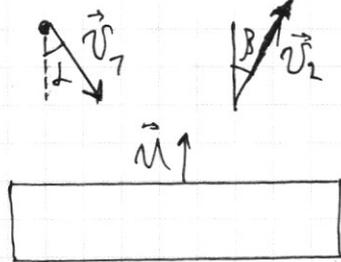
$$v_1 = 8 \frac{m}{c}$$

$$\sin \alpha = \frac{3}{4}$$

$$\sin \beta = \frac{1}{2}$$

Найти

- 1)  $v_2$
- 2) Векторные значения  $u$



- По закону сохранения скорости:

$$\vec{v}_1 = \vec{v}_{0\text{пл}} + \vec{u}$$

$$\vec{v}_2 = \vec{v}_{0\text{пл}} + \vec{u}$$

~~По закону сохранения энергии~~

- По теореме импульса удара в СО плиты скорость шарика не изменилась, а угол ее направления (вертикально к плите) изменился и равен  $\varphi$



- Из геометрии видно,

$$\text{что } v_{0\text{пл}} \sin \varphi = v_1 \sin \alpha$$

$$v_{0\text{пл}} \sin \varphi = v_2 \sin \beta$$

$$\Rightarrow v_2 = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} v_1 = 72 \frac{m}{c}$$

- 2) Также из геометрии:

$$v_{0\text{пл}} \cos \varphi = v_1 \cos \alpha + u \Rightarrow v_1 \cos \alpha + u = v_2 \cos \beta - u$$

$$v_{0\text{пл}} \cos \varphi = v_2 \cos \beta - u$$

$$\Rightarrow u = \frac{v_2 \cos \beta - v_1 \cos \alpha}{2} = \frac{v_1 \sin \alpha \cdot \cot \beta - v_1 \cos \alpha}{2}$$

СМ СТР 2

$$\sin \alpha = \frac{3}{4} \Rightarrow \cos \alpha = \sqrt{1 - \frac{9}{16}} = \frac{\sqrt{7}}{4} \Rightarrow u = \frac{v_1 \cdot \frac{3}{4} \cdot \sqrt{3} - v_1 \cdot \frac{\sqrt{7}}{4}}{2}$$

$$\sin \beta = \frac{7}{8} \Rightarrow \cos \beta = \frac{\sqrt{3}}{8}$$

$$u = 8 \cdot \frac{3}{4} \cdot \frac{\sqrt{3}}{8} - 8 \cdot \frac{\sqrt{7}}{8} \Rightarrow u = 3\sqrt{3} - \sqrt{7}$$

Откуда:  $v_2 = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} v_1 = 12 \frac{m}{c}$

$$2|u| = \frac{v_1}{2} (\sin \alpha \cdot \cos \beta - \cos \alpha) = 3\sqrt{3} - \sqrt{7} \frac{m}{c}$$

M2

Дано

$$v = \frac{3}{7} \text{ мкм}$$

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

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

$$C_v = \frac{5R}{2} (i=5)$$

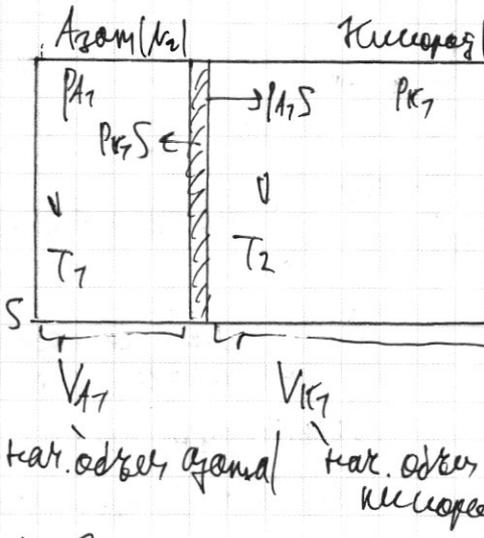
Найти

$$\frac{V_{A1}}{V_{K1}}$$

2)  $\theta$  - угол перен.

3)  $Q_{перен}$

1) Рассмотри какавый момент



• Горшечь находится в равновесии. Ставим

$$p_{A1} S = p_{K1} S \Rightarrow p_{A1} = p_{K1} = p_1$$

• Запишем уравнение Менделеева - Клапейрона:

$$p_1 V_{A1} = \nu R T_1$$

$$p_1 V_{K1} = \nu R T_2$$

$$\Rightarrow \frac{V_{A1}}{V_{K1}} = \frac{T_1}{T_2} = \frac{3}{5}$$

2) Рассмотри процесс от начала до установившейся диффузионной температуры:

Из 1-го закона термодинамики следует, что

$$Q_A = A_A + \Delta U_A \quad \bullet \text{ Если теплоизолирован } \Rightarrow Q_A + Q_K = 0$$

$$Q_K = A_K + \Delta U_K \quad \bullet \text{ Также } A_A = -A_K \text{ т.к. в каждом момент времени } \Delta n_{\text{кислорода}} = \Delta n_{\text{азота}}$$

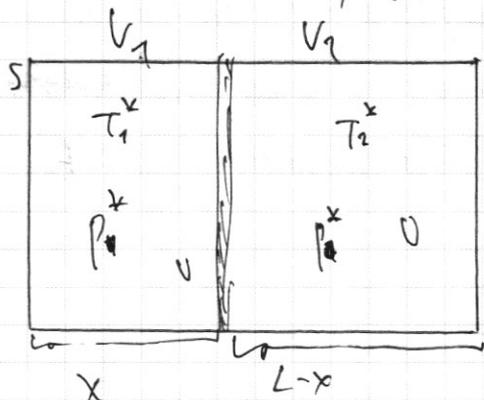
Из закона сохранения энергии  $A_K + A_A = 0$  (учитывая  $\nu$ )

(М СТР 3)

### ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

2) Тогда  $\delta Q_A + \delta Q_K = 0 \Rightarrow \frac{\dot{Q}}{2} R (\theta - T_1) + \frac{\dot{Q}}{2} R (\theta - T_2) = 0$   
 $\Rightarrow \theta = \frac{T_1 + T_2}{2} = 400 \text{ K}$

3) Пусть поршень сместился на некоторую расстояние  $x$  влево так, что  $V_1 = Sx$  и  $V_2 = S(L-x)$ , где  $L$  — длина цилиндра.  $L = \frac{V_{K1} + V_{K2}}{S}$



$p^* \cdot Sx = T_1^* \nu R$   
 $p^* \cdot S(L-x) = T_2^* \nu R$   
 Значит  $p^* = \frac{(T_1^* + T_2^*) \nu R}{V_{K1} + V_{K2}}$

По т.к.  $Q_A + Q_K = 0$  и  $A_A + A_K = 0$  и считать следует как же адиабатическое, но  $T_1^* + T_2^* = \text{const} = T_1 + T_2 \Rightarrow p^* = \text{const}$  — изобарный процесс

4)  $C_V = \frac{5}{2} R \Rightarrow \nu = 5$  (двухатомный газ)  
 Рассчитаем процесс, проинтегрируем с атомом.

$Q_A = C_p \cdot \nu \cdot (\theta - T_1)$   $C_p = C_V + R = \frac{7}{2} R$

Значит  $Q_A = \frac{7}{2} \nu R (\frac{T_2 - T_1}{2}) \Rightarrow Q_A = \frac{7}{4} \nu R (T_2 - T_1) = \frac{7}{4} \cdot \frac{3}{8} \cdot 8,31 \cdot 200 = \frac{3 \cdot 831}{2} = 1246,5 \text{ Дж}$

Ответ: 1)  $\frac{V_{K1}}{V_{K2}} = \frac{T_1}{T_2} = \frac{3}{5}$     2)  $\theta = \frac{T_1 + T_2}{2} = 400 \text{ K}$

3)  $Q_A = \frac{7}{4} \nu R (T_2 - T_1) = 1246,5 \text{ Дж}$

$Q_A$  — тепло, переданное передатчику от атом.

№3

Дано

1)  $d = \frac{\pi}{4}$

2)  $K = \frac{|E|}{E_0}$

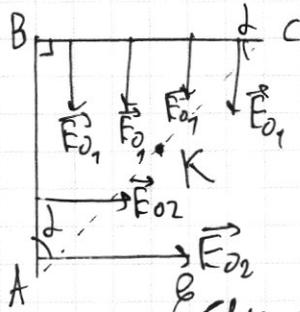
$\epsilon_1 = 2\epsilon_0$

$\epsilon_2 = \epsilon_0$

$d = \frac{\pi}{4}$

$E_{\Sigma}$

1) Рассмотрим напряженность в точке К при заряде  $\sigma_0$  на BC  $\sigma_0$  и  $d = \frac{\pi}{4}$



Пусть  $\sigma_0$  - поверхность. плотность заряда в 1-ом слое  $\sigma_0 > 0$

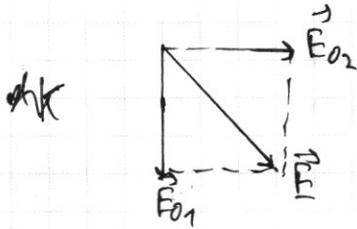
Следовательно  $E_{01} = \frac{|\sigma_0|}{2\epsilon_0} = \frac{\sigma_0}{2\epsilon_0}$

Если зарядить AB плотностью зарядов, то ~~он будет давать такую же напряженность~~

~~он будет давать такую же напряженность~~

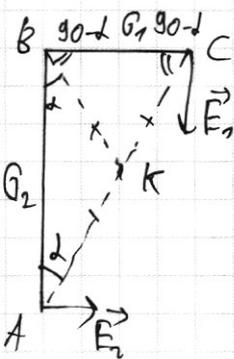
По принципу суперпозиции:  $\vec{E} = \vec{E}_{01} + \vec{E}_{02}$

Т.к. расстояние от К до АВ равно расстоянию от К до ВС, следовательно в точке К напряженность  $|\vec{E}_{01}| = |\vec{E}_{02}| = E_0$



Значит  $E = E_0\sqrt{2} \Rightarrow \frac{|E|}{E_0} = \sqrt{2}$

2) Рассмотрим напряженность в точке К при  $\sigma_1, \sigma_2$  и  $d = \frac{\pi}{4}$



прямоугола BC и AB напряженность равна:

$|\vec{E}_1| = \frac{\sigma_1}{2\epsilon_0} = \frac{2\sigma_1}{2\epsilon_0}$ ;  $|\vec{E}_2| = \frac{\sigma_2}{2\epsilon_0} = \frac{\sigma_2}{2\epsilon_0}$

Пусть  $BC = x \Rightarrow AC = \frac{x}{\sin \frac{\pi}{4}} \Rightarrow AB =$

$\Rightarrow AB = x \cot \frac{\pi}{4}$  Значит  $\frac{AB}{BC} = \cot \frac{\pi}{4}$

$\Rightarrow \frac{E_2}{E_1} = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} \cot \frac{\pi}{4} \Rightarrow E_2 = \frac{1}{2} E_1 \cot \frac{\pi}{4}$

$E_{\Sigma} = \frac{\sigma_1}{2\epsilon_0} \sqrt{4 \cot^2 \frac{\pi}{4} + 1}$

По принципу суперпозиции  $\vec{E}_{\Sigma} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 \Rightarrow E_{\Sigma} = \sqrt{E_1^2 + E_2^2}$

Ответ: 1)  $\frac{|E|}{E_0} = \sqrt{2}$

2)  $E_{\Sigma} = \frac{\sigma_1}{2\epsilon_0} \sqrt{4 \cot^2 \frac{\pi}{4} + 1}$

$E_{\Sigma} = \frac{\sigma_1}{2\epsilon_0} \sqrt{4 \cot^2 \frac{\pi}{4} + 1}$



№5

~~Ответ:~~

- ~~1)  $f_1 = 2f_0$~~
- ~~2)  $v = \frac{D}{8t_0}$~~
- ~~3)  $t_1 = 4t_0$~~

За время  $t_1$  диаметр круга  
расстояние  $\frac{D}{2} \Rightarrow t_1 = \frac{D}{2v} = \frac{D}{2 \cdot \frac{D}{8t_0}}$

$$t_1 = 4t_0$$

Ответ: 1)  $f_1 = 2f_0$

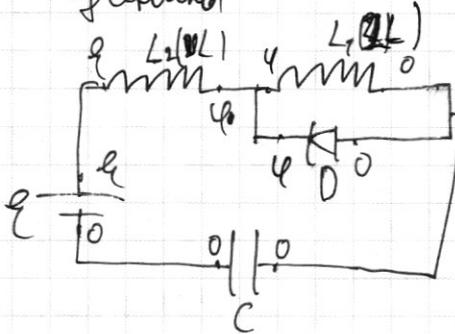
2)  $v = \frac{D}{8t_0}$

3)  $t_1 = 4t_0$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

- нч  
Дано  
 $L_1 = 2L$   
 $L_2 = L$   
ЭДС  
Индукция  
Т-перемычка  
ИИ1  
ИИ2

1) Рассмотрим цепь сразу после замыкания ключа К  
Ток через катушки и конденсатор на короткое время скачком увеличился



Между узлами конденсатора ток в последующие моменты (сразу после замыкания)

$U_{2L} = 2L \cdot I_{2L} = 2L \cdot I$   
 $U_L = L \cdot I_L = L \cdot I$

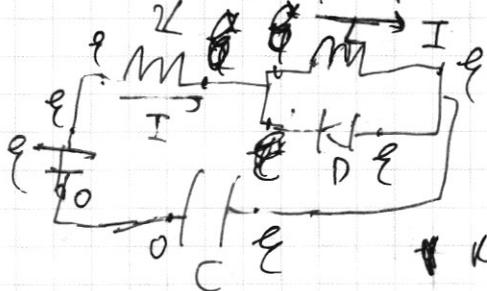
Т.е. до тех пор, пока  $U > 0$

Ток через диода тем м.д. иначе  $U < 0$ , а ток идет через  $L_1$  пока бы вправо ~~или~~ перевернулся.

$I_{2L} = I_L$  м.д. в скачок ~~и~~  $I_{2L} = I_L = 0$   
а пока они равны между собой.

~~В этот момент  $U_C = E \Rightarrow$  между пластинами заряд  $CE = q$~~   
 $\Rightarrow U_C = \frac{q}{C} = \frac{E}{3}$

2) Когда  $U_C = E$  ток в цепи отсутствует, когда  $U_{2L} = U_L = 0$



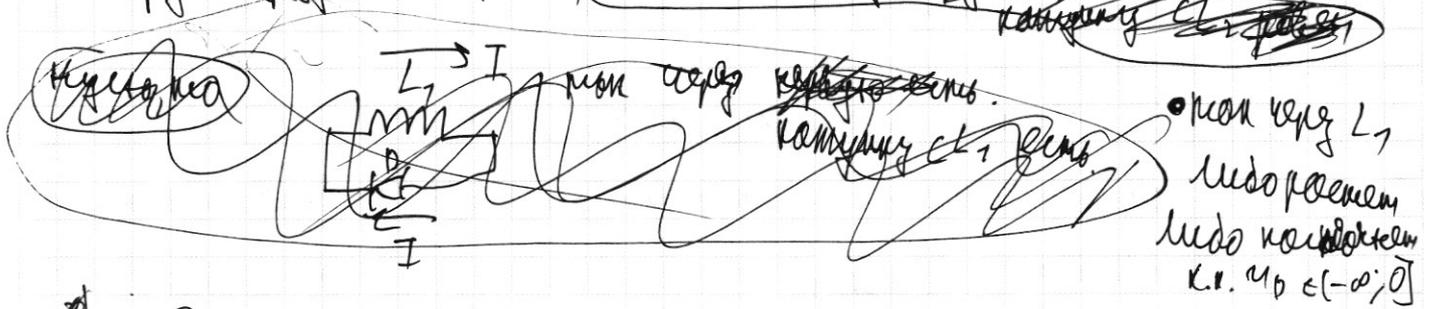
В этот момент  $U_C = E \Rightarrow$  между пластинами заряд  $CE = q$

В последующие моменты катушки и конденсатор скачком переключаются и ток будет левым. ~~Когда конденсатор будет~~

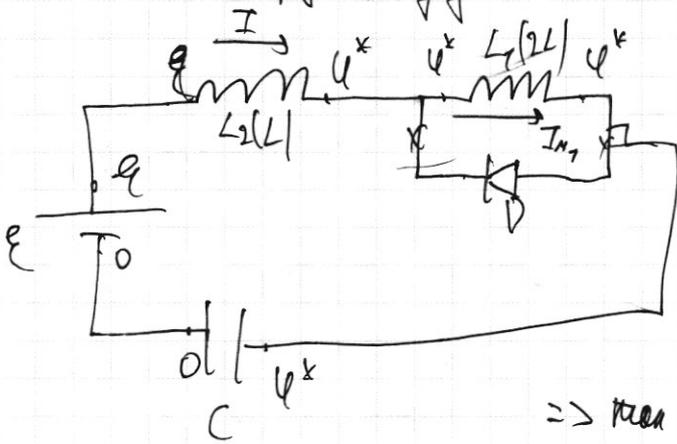
~~Напряжение на конденсаторе будет максимальным и после этого ток пойдет обратно  $\rightarrow$  через  $L_2$  пока не будет м.д. диод будет открыт до тех пор, пока  $U_C > 0 \Rightarrow$  ток через диод ~~и~~ конденсатор пока ~~он~~  $U_C > 0$  (м.д.)~~

см стр 8.

и ч) Напряжения на ~~второй~~ катушке будут равны нулю т.к.  $M_{12} = 0$  (также можно через ~~катушку~~ катушку рассмотреть закон индукции ~~каждой~~ катушки ~~с  $L_1$  и  $L_2$~~ )



3) Ток через  $L_1$  будет максимальным, когда  $M_{12} = 0$



Если  $I_{L1} \rightarrow \text{MAX}$ , то

$$I_{L2} = I_{L1} \text{ м.к. } \varnothing$$

меньше  
катушка  
предыдущее решение  
время на катушке  $L_2$  про

$\Rightarrow$  ток через конденсатор

$\Rightarrow$  ток через  $L_2$  равен току конденсатора

$$M_{12} = M_{21} = 0 \Rightarrow U^* = E$$

Конденсатор имеет заряд  $q = C U^* = C E$

$M_{12} = 0$  м.к. катушка  $L_2$  не  
соединена с  $L_1$  т.к.  $M_{12} = 0$

ЗСЭ:  $A\delta = \Delta W + Q$   $Q = 0$  м.к. пренебрегаем.

$A\delta = 0$  м.к. от индукции

$$W(t) = \frac{L}{2} \cdot I_{L1}^2 + \frac{2L}{2} \cdot I_{L1}^2 + \frac{C q^2}{2}$$

$$A\delta = +C E^2 \Rightarrow C E^2 = \frac{C E^2}{2} + \frac{3}{2} L \cdot I_{L1}^2 \Rightarrow I_{L1}^2 = \frac{C E^2}{3L} \Rightarrow I_{L1} = E \sqrt{\frac{C}{3L}}$$

4) Сериальная комбинация определяется формулой Томпсона:  $T = 2\pi \sqrt{L^* C}$

$L^*$  - общая индуктивность катушки  $L^* = L_1 + L_2 = 3L$

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

5) Если  $I_{L1} \rightarrow \text{MAX}$ , то  $I_{L2} \rightarrow \text{MAX}$

$$\Rightarrow I_{L2} = I_{L1}$$

Ответ: 1)  $T = 2\pi \sqrt{3LC}$   
2)  $I_{L1} = E \sqrt{\frac{C}{3L}}$

3)  $I_{L2} = E \sqrt{\frac{C}{3L}}$

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

5) По условию, как в  $L_1$  катушка тока, но будем считать с  $L_2$ -с.т.

из ЗСГ:  $A\delta^x = W_{L_2}(t_2) - W_{L_2}(t_1) + W_{C_2}(t_1) - W_{C_2}(t_2)$

Если  $I_{L_2} = I_{C_2}$ , то

$W_{L_2} = 0 \Rightarrow W_{C_2} = \mathcal{E}$

~~тогда  $A\delta^x =$~~

$A\delta^x = 0$  м.п. заряд распределён на конденсаторе и катушке

$\Rightarrow$



черновик     чистовик  
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №\_\_  
(Нумеровать только чистовики)