

# Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2022

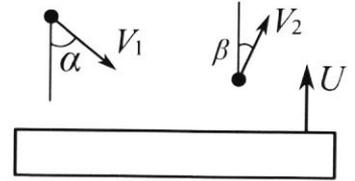
Класс 11

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  $\alpha$  ( $\sin \alpha = \frac{1}{2}$ ) к вертикали (см. рис.). После неупругого удара о гладкую горизонтальную поверхность плиты шарик отскакивает со скоростью  $V_2$ , составляющей угол  $\beta$  ( $\sin \beta = \frac{1}{3}$ ) с вертикалью.

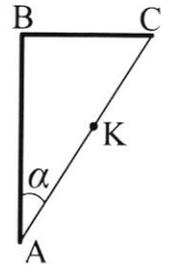


- 1) Найти скорость  $V_2$ .
  - 2) Найти возможные значения скорости плиты  $U$  при таком неупругом ударе.
- Действие силы тяжести за малое время удара не учитывать. Ответы допустимы через радикалы из целых чисел.

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).

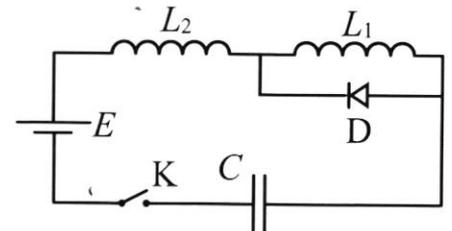
- 1) Найти отношение начальных объемов водорода и азота.
- 2) Найти установившуюся температуру в сосуде.
- 3) Какое количество теплоты передал азот водороду?

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.



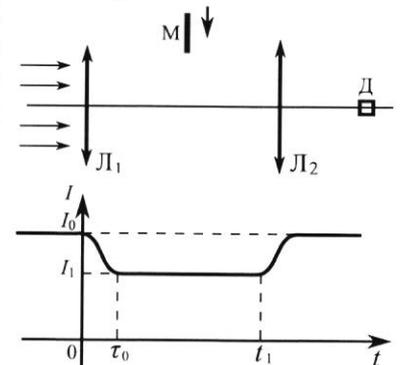
- 1) Пластина ВС заряжена с постоянной поверхностной плотностью заряда. Угол  $\alpha = \pi/4$ . Во сколько раз увеличится напряженность электрического поля в точке К на середине отрезка АС, если пластину АВ тоже зарядить с такой же поверхностной плотностью заряда?
- 2) Пластины ВС и АВ заряжены положительно 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).  $I_1 = 5I_0/9$ .

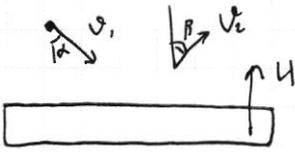


- 1) Найти расстояние между линзой  $L_2$  и фотодетектором.
- 2) Определить скорость  $V$  движения мишени. 3) Определить  $t_1$ .

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

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№ 1.



П.к. система шара + шарики

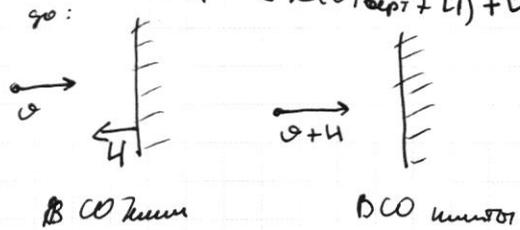
замкнута в горизонтальном направлении.

ЗСМ:  $m \cdot v_1 \sin \alpha = m v_2 \sin \beta$ , (где  $m$  - масса шарика)

$$v_2 = v_1 \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = 12 \cdot \frac{\frac{1}{2}}{\frac{1}{3}} = 18 \text{ (м/с)}$$

Из-за парадокса большого тела  $v_{\text{верт}} = k \cdot (v_{\text{верт}} + U) + U$  (где  $k$  - коэффициент упругости,  $U$  - скорость центра масс шарика)

(Выборится "персидской" в СО шара)

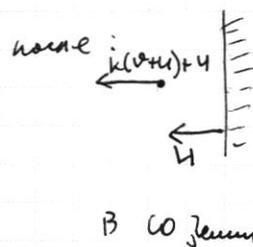


$$\cos \alpha = \frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$\cos \beta = \frac{\sqrt{8}}{2} = \frac{2\sqrt{2}}{3}$$

ЗСМ:

$$\begin{aligned} & k(U+U) \\ & \leftarrow U \\ & \leftarrow k(U+U)+U \end{aligned}$$



Значит, при абсолютно упругом ударе:  $k=0$   $v_{\text{верт}} = U \cos \beta = v_2 \cos \beta$

и при абс. упругом ударе:  $k=1$   $v_{\text{верт}} = v_{\text{верт}} + 2U$   
(или "полн." абс. упругом ударе, и.к. по условиям удар упругий)

$$U = \frac{v_2 \cos \beta - v_1 \cos \alpha}{2} = \frac{v_2 \cos \beta - v_1 \cos \alpha}{2}$$

Значит  $U \in \left[ \frac{v_2 \cos \beta - v_1 \cos \alpha}{2}; v_2 \cos \beta \right]$ ;

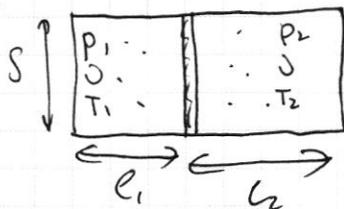
$$\frac{v_2 \cos \beta - v_1 \cos \alpha}{2} = \frac{18 \cdot \frac{2\sqrt{2}}{3} - 12 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}}{2} = 3(2\sqrt{2} - \sqrt{3}) \text{ (м/с)}$$

$$v_1 \cos \beta = 12\sqrt{2} \text{ (м/с)}$$

1)  $v_2 = 18 \text{ (м/с)}$   
Ответ: 2)  $U \in [3(2\sqrt{2} - \sqrt{3}); 12\sqrt{2}] \text{ (м/с)}$

№ 2.

До:



$$V_1 = l_1 S$$

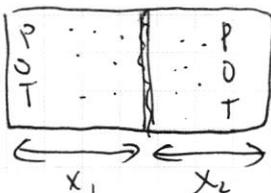
$$V_2 = l_2 S$$

Ур М-к:  $p_1 l_1 S = \nu R T_1$

$$p_2 l_2 S = \nu R T_2 \rightarrow \left( \frac{V_1}{V_2} = \frac{l_1}{l_2} = \frac{T_1}{T_2} = \frac{350}{11} \right)$$

$p_1 = p_2$ , т.к. процесс изотермический, процесс фазовый с постоянной температурой. ( $\alpha \approx 0$ ) ( $p_1 S = p_2 S$ )

После:



$$p x_1 S = \nu R T$$

$$p x_2 S = \nu R T$$

$$\frac{x_1}{x_2} = 1 \quad x_1 = x_2 = x$$

ЗСЗ для 2-ух газов:

$$\frac{\nu}{2} \nu R T_1 + \frac{\nu}{2} \nu R T_2 = \nu \cdot 2 \nu R T$$

$$T_1 + T_2 = 2T$$

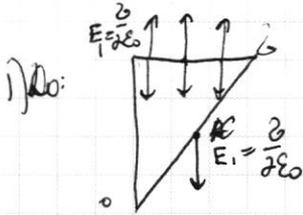
$$\left( T = \frac{T_1 + T_2}{2} = \frac{350 + 150}{2} = 450 \text{ (K)} \right)$$

?)  $Q = \Delta U$

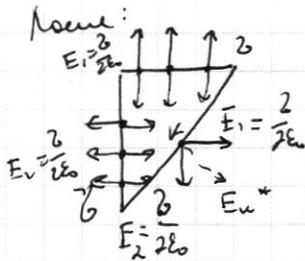
?)  
Ответ: а)

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№3.



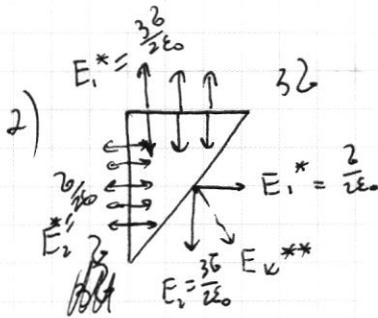
Попробуйте сформулировать для себя:

$$E_k = E_1 = \frac{3b}{2\epsilon_0}$$


Анализ:

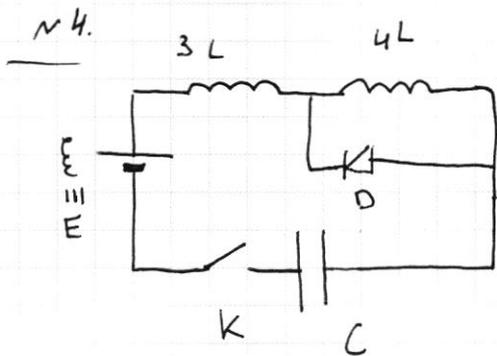
$$E_k^* = \sqrt{E_1^2 + E_2^2} = \sqrt{2} \frac{b}{2\epsilon_0}$$

$$\frac{E_k^*}{E_k} = \sqrt{2}$$



$$E_k^{**} = \sqrt{E_1^{*2} + E_2^{*2}} = \frac{b}{2\epsilon_0} \cdot \sqrt{10}$$

Ответ: 1)  $\uparrow$  в  $\sqrt{2}$  раз  
2)  $\frac{b}{2\epsilon_0} \sqrt{10}$



1) а) Рассмотрим фазу, когда ток идет по часовой стрелке, диод закрыт.

Период колебаний в этой фазе  $T_1 = 2\pi\sqrt{L_{\text{экв}}C}$

$$L_{\text{экв}_1} = L_1 + L_2 = 7L$$

$$T_1 = 2\pi\sqrt{7LC}$$

По ш.ч. время нахождения в

этой фазе ограничено, и сост. только

половину полного периода в этой фазе, то  $T_{ч1} = T_1/2 = \pi\sqrt{7LC}$

б) Теперь рассмотрим фазу, когда ток течет по часовой стрелке. Диод открыт, ток через  $L_1$  не идет.

Полное аналогично п.а:  $T_2 = 2\pi\sqrt{L_{\text{экв}_2}C}$

$$L_{\text{экв}_2} = 3L$$

$$T_{ч2} = T_2/2 = \pi\sqrt{3LC}$$

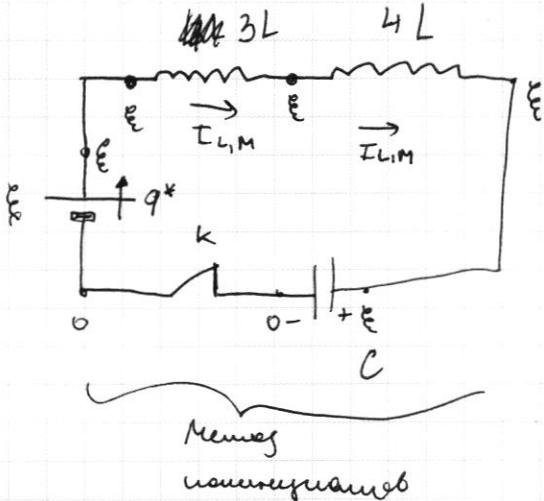
Период полных колебаний:

$$T = T_{ч1} + T_{ч2} = \pi\sqrt{7LC} + \pi\sqrt{3LC}$$

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

- 2) Очевидно, нужно рассмотреть ту разду, когда дуга амплит, и.к. в промежуток фазе тока через  $L_1$  не будет.

$I_{L1,MAX} = I_{L1,M}$  ; П.к. чью послед. ссуд, то в этой фазе максимальный ток будет и по  $L_2$



$$U_{L1} = U_{L2} = 0 !$$

( $I_{L1,M}$ ) ( $I_{L2,M}$ )

$$U_C = \varepsilon ;$$

( $I_{L1,M}$ )

На кон-торе был заряд : 0

стан :  $C\varepsilon$

$$q^* = C\varepsilon ; \text{ (Условно в числ пока не было, ток по } I(0)=0)$$

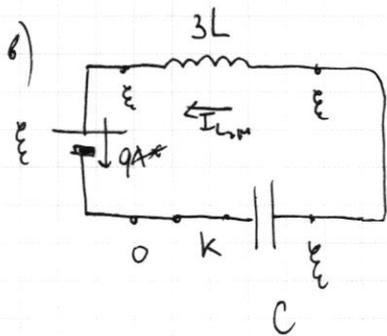
$$\text{ЗСЭ : } A_{\text{с}} = \Delta W_L + \Delta W_C$$

$$\varepsilon \cdot q^* = \frac{3L \cdot I_{L1,M}^2}{2} + \frac{4L \cdot I_{L1,M}^2}{2} + \frac{C\varepsilon^2}{2}$$

$$C\varepsilon^2 = \frac{1}{2} \cdot I_{L1,M}^2 (3+4) + \frac{C\varepsilon^2}{2}$$

$$\frac{C\varepsilon^2}{2} = \frac{7L}{2} I_{L1,M}^2$$

$$\sqrt{\frac{C\varepsilon^2}{7L}} = I_{L1,M} = \varepsilon \sqrt{\frac{C}{7L}}$$



M-г кондензаторов

Рассмотрим теперь форму колебаний  
~~колебаний~~ амплитуд,  
 $I_{L2MAX} = I_{L2M}$  пока на L, или

$$U_{L2}(I_{L2M}) = 0!$$

$$U_C(I_{L2M}) = \frac{\rho}{\epsilon}$$

Был заряд на C :  $c\epsilon$

теперь : 0

ЗСЭ:

$$q^{**} = c\epsilon$$

$$-\epsilon \cdot q^{**} = -\frac{c\epsilon^2}{2} - \frac{3LI_{L2M}^2}{2}$$

$$\epsilon \cdot q^{**} = \frac{c\epsilon^2}{2} + \frac{3LI_{L2M}^2}{2}$$

$$c\epsilon^2 = \frac{c\epsilon^2}{2} + \frac{3LI_{L2M}^2}{2}$$

$$\frac{c\epsilon^2}{2} = \frac{3LI_{L2M}^2}{2}$$

$$I_{L2M} = \epsilon \sqrt{c/3L} > I_{L1M}$$

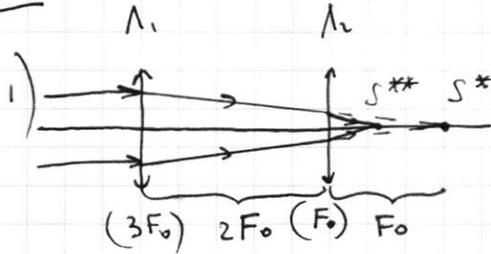
Амплитуды: а)  $T = \pi\sqrt{7LC} + \pi\sqrt{3LC}$

б)  $I_{L1M} = \epsilon \sqrt{\frac{c}{7L}}$

в)  $I_{L2M} = \epsilon \sqrt{\frac{c}{3L}}$

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№ 5.



$S^*$  - действ. изобр. для линзы  $L_1$   
 $S^*$  - мнимой (объект) для  
 $L_2$

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

$$f_0 = \frac{F_0}{2} \text{ - расстояние от } L_2$$

до действ. изобр  $S^{**}$  мнимой  
 объекта  $f_0$ .

Тогда  $S^{**}$  - на самом деле  
 промежуточный.

Ответ:  $\mathcal{P}(L_2; D_2) = f_0 = \frac{F_0}{2}$

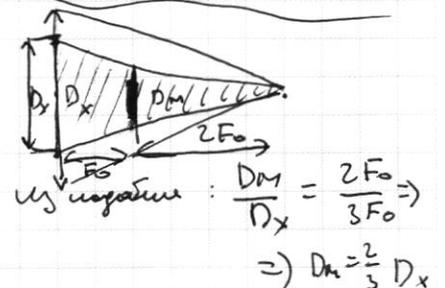
2) Оптика с невыпуклой линзой  $L_1$ , повернута осью, так  
 от  $\tau_0$  до  $\tau_1$ , но  $M$  это время закрываем невыпуклого  
 линзы.

$$k = \frac{I_1}{I_0} = \frac{5}{9}, \text{ значит, это время испускаем}$$

или как от выношенных лучей



$$\frac{S_{\Delta} - S_{\text{из}}}{S_0} = k$$



Рассмотрим  
 ситуацию, когда линзы  
 направлены на  $\tau_0$



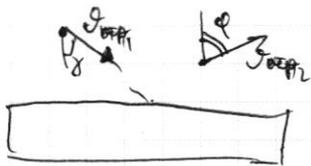
черновик     чистовик  
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №\_\_  
(Нумеровать только чистовики)

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№ 1.

Пар. б. тела: ВСО Плита



$v =$

$$v \sin \alpha = \sqrt{1 - \cos^2 \alpha} =$$

$$v \cos \beta = \sqrt{1 - \cos^2 \beta}$$

$$\cos \alpha = \sqrt{1 - (1/4)^2} = \sqrt{1 - 1/16} = \frac{\sqrt{15}}{4}$$

$$\cos \beta = \sqrt{1 - (1/3)^2} = \sqrt{1 - 1/9} = \frac{\sqrt{8}}{3}$$

$$= \frac{2\sqrt{2}}{3}$$

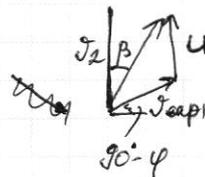
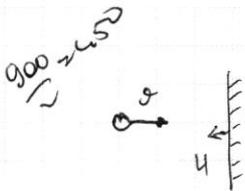
ЗСН на Ох:  $v_{\text{ср}1} \cos \alpha = v_{\text{ср}2} \cos \beta$

$$v_{\text{ср}1}^2 = v_1^2 + u^2 - 2v_1 u \cos \alpha$$

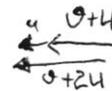
$$\cos \Delta = \frac{v_{\text{ср}1}^2 + v_1^2 - v_{\text{ср}2}^2}{2v_1 v_2}$$

$$\frac{350}{550} = \frac{35}{55} = \frac{7}{11}$$

ВСО земли:



В СО земли:  $v + u$   
Земли:



Формула косинусов:  $v_1 \cos \alpha = v_2 \sin \beta$

$$v = \frac{1}{2} (v_2 \cos \beta + u) + u$$

скор. кос

$$v_2 = \frac{v_1 \sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{12 \cdot \frac{1}{2}}{\frac{1}{3}} = 18 \text{ (м/с)}$$

При ударе мушкетёр, со скоростью вертикально вниз

попытался перевернуть при ударе, либо почти полностью сохранил

или  $v_{2y} = v_1 \cos \alpha + 2u$      $v_{2y} = 0 + 2u$

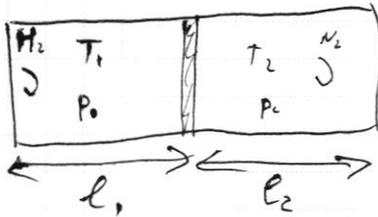
$v_2 \cos \beta = v_1 \cos \alpha + 2u$      $v_2 \cos \beta = 2u$   
 $= 3(2\sqrt{2} - \sqrt{3}) \text{ (м/с)}$

$$u \text{ или } \frac{v_2 \cos \beta}{2} = 90$$

$$\frac{v_2 \cos \beta - v_1 \cos \alpha}{2} = \frac{18 + \frac{\sqrt{3}}{3} - 12 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}}{2} =$$

$$= 9/3 \cdot 2\sqrt{2} - 6/2 \cdot \sqrt{3} = 3 \cdot 2\sqrt{2} - 3\sqrt{3}$$

реш.  
до:

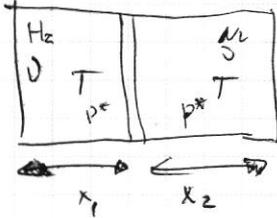


$$p_1 l_1 S = \nu R T_1$$

$$p_2 l_2 S = \nu R T_2$$

$$\frac{p_1 l_1}{p_2 l_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

решие:



$$\frac{p^* x_1 S}{p^* x_2 S} = \frac{\nu R T}{\nu R T}$$

$$\frac{x_1}{x_2} = 1$$

$$L = x_1 + x_2 = l_1 + l_2 = 2x \quad l_2 = \frac{2x - l_1}{1} \Rightarrow$$

$$\frac{l_1}{l_2} = \frac{l_1}{2x - l_1}$$

$$p_0 V^n = \text{const}$$

$$n = \frac{C_p}{C_v} \text{, м.н. процесс } \text{бы } \text{на } \text{вы } \text{го } \text{ло } \text{го}$$

миним

$$(p_1 + p_2)(l_1 + l_2) S =$$

$$= 2 p^* L S$$

$$C_p = \frac{i}{2} R + R = \frac{i+2}{2} R$$

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

$$(p_1 + p_2)(l_1 + l_2) = 2 p^* L$$

$$n = \frac{i+2}{i}$$

$$\frac{p_1 + p_2}{p^*} = \frac{4x}{l_1 + l_2}$$

$$\frac{\nu R T_1}{l_1 S} + \frac{\nu R T_2}{l_2 S}$$

$$\frac{p_1 + p_2}{\frac{\nu R T}{x S}} = \frac{4x}{l_1 + l_2}$$

БСВ: где оба разоб:

$$\frac{\nu}{2} \nu R T_1 + \frac{\nu}{2} \nu R T_2 = \frac{\nu}{2} \cdot 2 \nu R T$$

$$\frac{T_1}{l_1} + \frac{T_2}{l_2} = \frac{4x}{l_1 + l_2}$$

$$\frac{\nu}{2} \nu R (T_1 + T_2) = \frac{\nu}{2} \nu R (2T)$$

$$T_1 + T_2 = 2T$$

$$T = \frac{T_1 + T_2}{2}$$

$$\frac{p_1 + p_2}{p^*} = 2$$

$$p^* \cdot x \cdot S = \nu R T$$

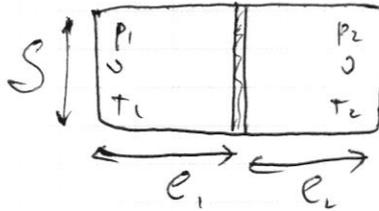
$$p^* = \frac{\nu R T}{x S}$$

$$x \frac{(T_1 l_2 + T_2 l_1)}{T \cdot l_1 l_2} = \frac{4x}{l_1 + l_2}$$

*(Handwritten signature)*

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Дано:



$$p_1 \nu_1 S = \nu R T_1$$

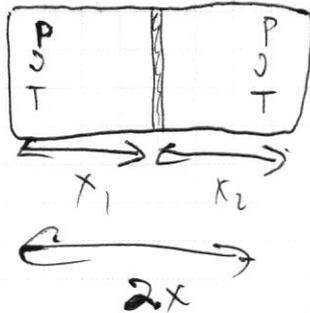
$$p_2 \nu_2 S = \nu R T_2$$

$$p_1 \nu_1 \quad \nu_1 = \frac{\nu R T_1}{p_1}$$

$$p_2 \nu_2 \quad \nu_2 = \frac{\nu R T_2}{p_2}$$

$$\frac{\nu_1}{\nu_2} = \frac{p_2}{p_1}$$

Решение:



$$p x_1 S = \nu R T$$

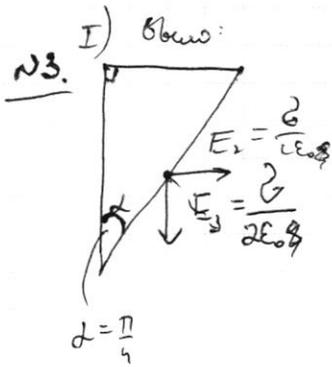
$$p x_2 S = \nu R T$$

$$\frac{x_1}{x_2} = 1$$

$$x_1 = x_2 = x$$

$$\frac{5}{2} \nu R T_1 + \frac{5}{2} \nu R T_2 = \frac{5}{2} \nu R T$$

$$T = \frac{T_1 + T_2}{2}$$

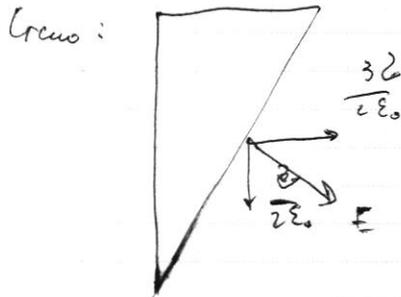


$$\frac{180^\circ}{\frac{15}{10}} \frac{5}{36}$$

Основ  $E_1$

Средо:  $E_3 = \sqrt{2} \frac{2}{2\epsilon_0}$

765c pay

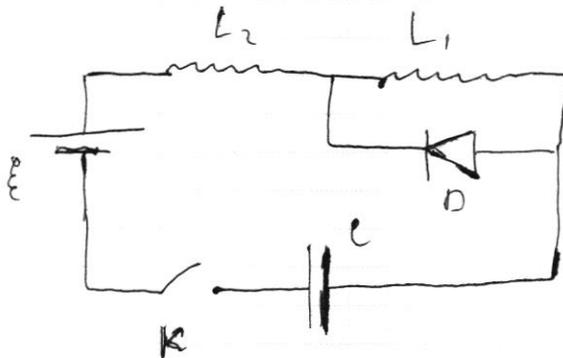


$$E_3 = \sqrt{\left(\frac{3 \cdot 2}{2\epsilon_0}\right)^2 + \left(\frac{2}{2\epsilon_0}\right)^2} = \frac{2}{2\epsilon_0} \sqrt{10} = \frac{2\sqrt{10}}{2\epsilon_0}$$



нужно все считать.

№4.



$$U_L = L \dot{I}$$

$$I_C \neq C \dot{U}'$$

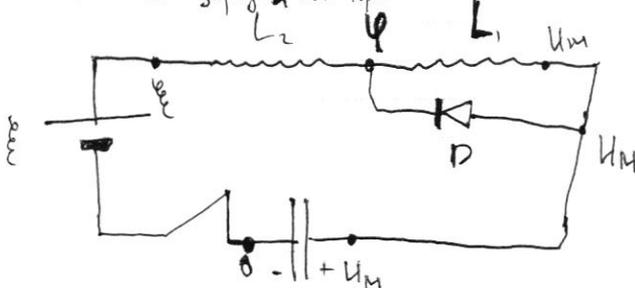
$$T_{L1} = \frac{T_1}{2} = \frac{1}{2} \sqrt{(L_1 + L_2)C}$$

$$T_{L2} = \frac{T_2}{2} = \frac{1}{2} \sqrt{L_2 C}$$

$$T = T_{L1} + T_{L2} = \frac{1}{2} \pi (\sqrt{(L_1 + L_2)C} + \sqrt{L_2 C})$$

После замык.

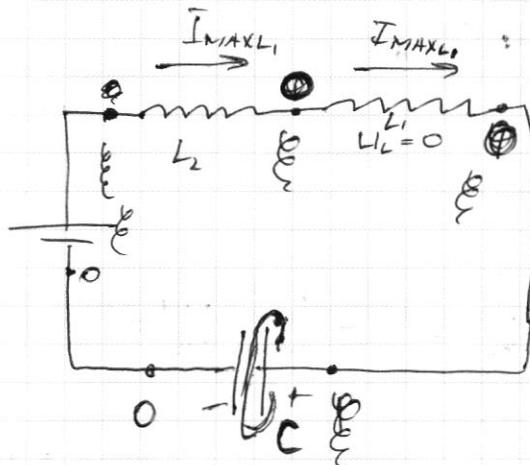
Момент зарядки индуктора:



## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$U_L(I_{MAX}) = 0!$$

$U_L$



$$U_{L_2}(I_{MAX_{L_1}}) = \mathcal{E} - \mathcal{U} = 0$$

$$\mathcal{U}_C(I_{MAX_{L_1}}) = \mathcal{U} = \mathcal{E}$$

$$I = \frac{\mathcal{E} - \mathcal{U}}{L_2}$$

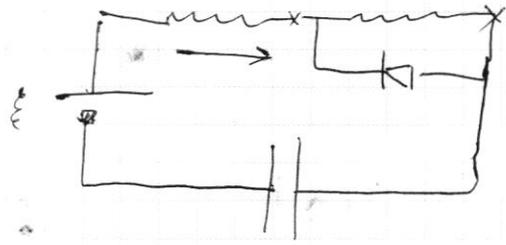
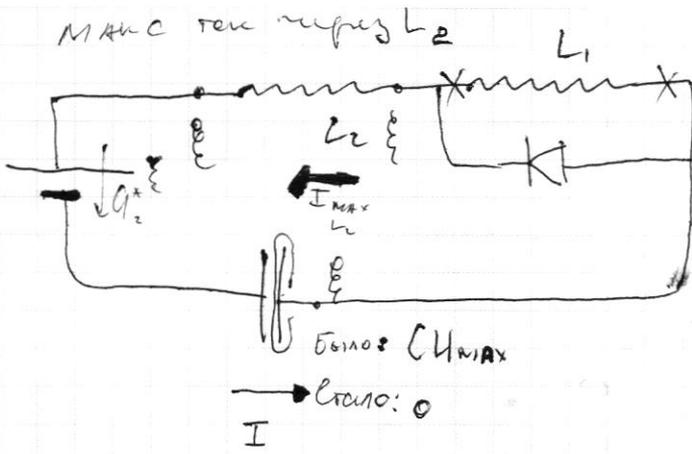
$$q_C(I_{MAX_{L_1}}) = \mathcal{U} \cdot C$$

$$\mathcal{E} \cdot \mathcal{U} C = \frac{C \mathcal{U}^2}{2} + \frac{L_1 I_{MAX_{L_1}}^2}{2} + \frac{L_2 I_{MAX_{L_2}}^2}{2}$$

$$\mathcal{E}^2 C = \frac{C \mathcal{E}^2}{2} + \frac{L_1 I_{MAX_{L_1}}^2}{2} + \frac{L_2 I_{MAX_{L_2}}^2}{2}$$

$$\frac{C \mathcal{E}^2}{2} = (L_1 + L_2) \frac{I_{MAX_{L_1}}^2}{2}$$

$$\sqrt{\frac{C \mathcal{E}^2}{L_1 + L_2}} = I_{MAX_{L_1}} = \mathcal{E} \sqrt{\frac{C}{L_1 + L_2}}$$



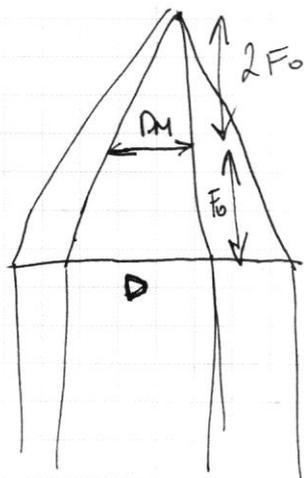
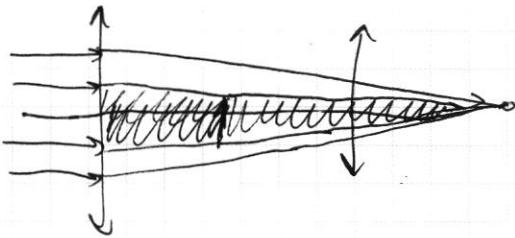
~~...~~

$$-\mathcal{E} \cdot C \mathcal{E}^2 = -\frac{C \mathcal{E}^2}{2} \neq \frac{I_{max}^2 L_2}{2} \Rightarrow \omega_L' = \frac{L}{2} \cdot 2 I I' = L I \cdot I'$$

$$= U_L \cdot I$$

$$U_L = L \dot{I}$$

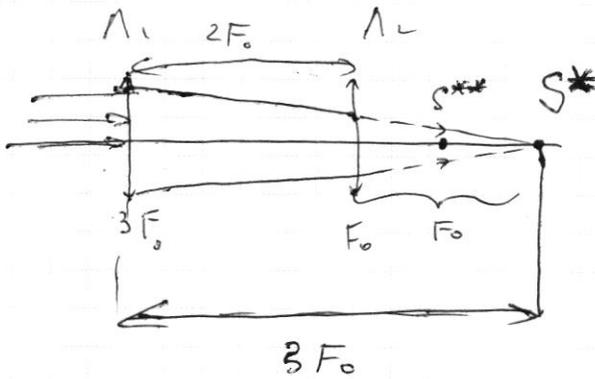
$$U_L \uparrow \Rightarrow I \uparrow$$



$$\frac{D_m}{D} = \frac{2}{3}$$

$$D_m = \frac{2}{3} D$$

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$S^*$  - мнимый предмет для

$L_2$

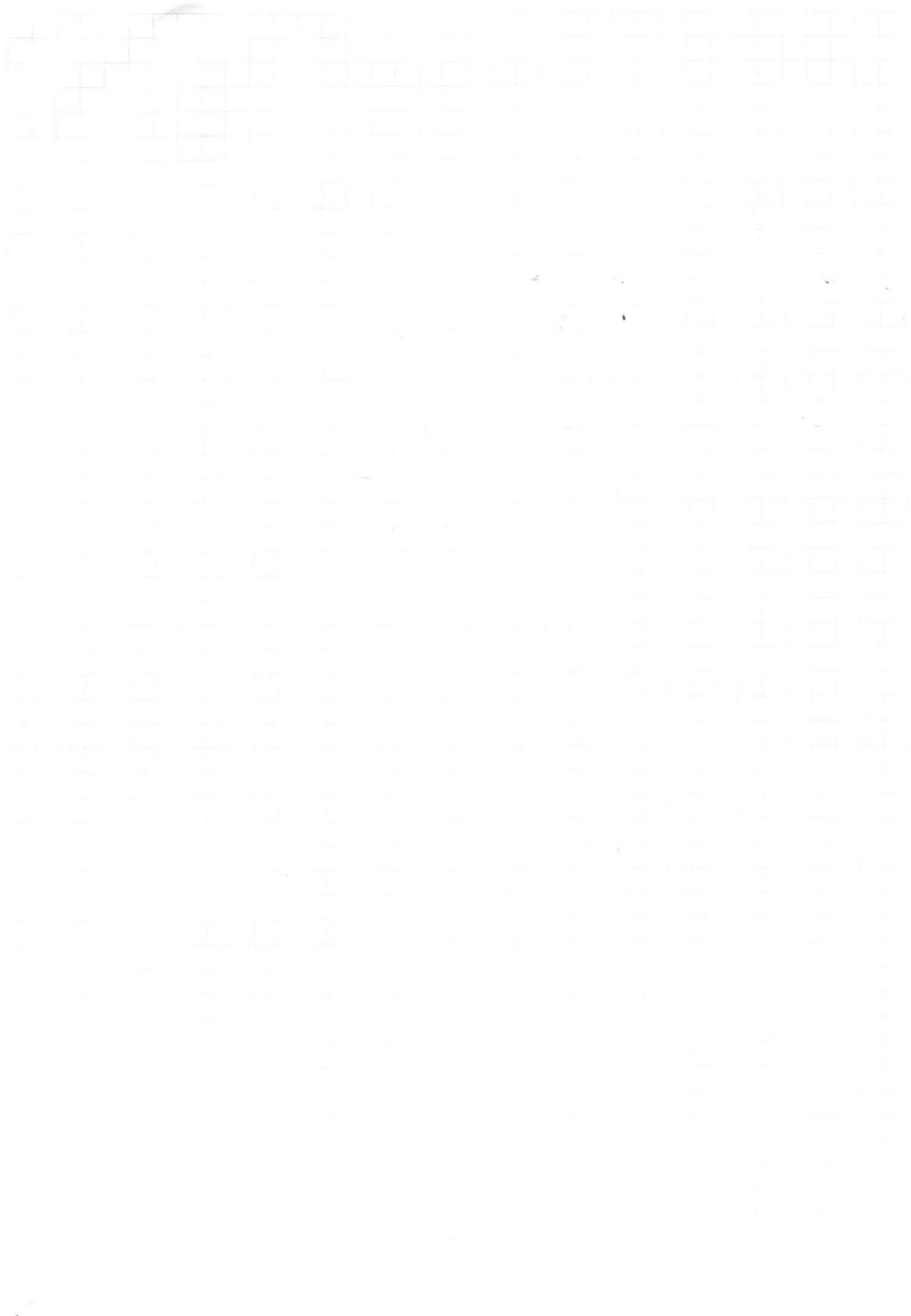
$$-\frac{1}{F_0} + \frac{1}{F} = \frac{1}{F_0}$$

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{F_0} + \frac{1}{F_0}$$

$$\text{Угол-рост} = f = \frac{F_0}{2}$$

$S^{**}$  - действ. предмет

мним. предмет  $S^*$  для  $L_2$



черновик     чистовик  
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №\_\_  
(Нумеровать только чистовики)