



# Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2022

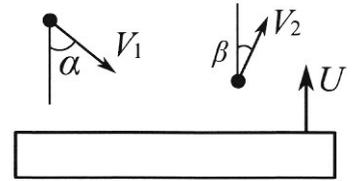
Класс 11

Вариант 11-02

Шифр

(заполняется секретарём)

1. Массивная плита движется с постоянной скоростью  $U$  вертикально вверх. К плите подлетает шарик, имеющий перед ударом скорость  $V_1 = 6$  м/с, направленную под углом  $\alpha$  ( $\sin \alpha = \frac{2}{3}$ ) 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.

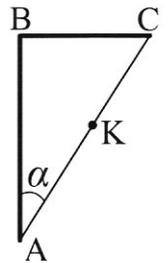
2. Цилиндрический теплоизолированный горизонтально расположенный сосуд разделен на два отсека теплопроводящим поршнем, который может перемещаться горизонтально без трения. В первом отсеке находится гелий, во втором – неон, каждый газ в количестве  $\nu = 6/25$  моль. Начальная температура гелия  $T_1 = 330$  К, а неона  $T_2 = 440$  К. Температуры газов начинают медленно выравниваться, а поршень начинает медленно двигаться. Оба газа одноатомные, газы считать идеальными.  $R = 8,31$  Дж/(моль·К).

1) Найти отношение начальных объемов гелия и неона.

2) Найти установившуюся температуру в сосуде.

3) Какое количество теплоты передал неон гелию?

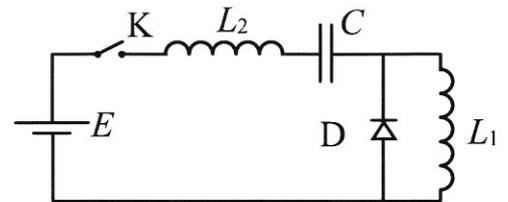
3. Две бесконечные плоские прямоугольные пластины АВ и ВС перпендикулярны друг к другу и образуют двугранный угол с ребром В. На рисунке показано сечение угла плоскостью, перпендикулярной ребру В.



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  $\sigma_1 = 4\sigma$ ,  $\sigma_2 = \sigma$ , соответственно. Угол  $\alpha = \pi/8$ . 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  $L_1 = 3L$ ,  $L_2 = 2L$ , конденсатора емкостью  $C$ , диода  $D$  (см. рис.). Ключ  $K$  разомкнут, конденсатор не заряжен, тока в цепи нет. После замыкания ключа возникают колебания тока в  $L_2$ .

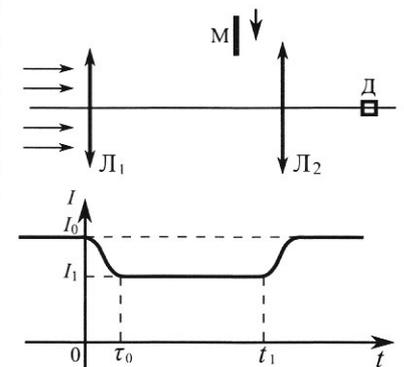


1) Найти период  $T$  этих колебаний.

2) Найти максимальный ток  $I_{01}$ , текущий через катушку  $L_1$ .

3) Найти максимальный ток  $I_{02}$ , текущий через катушку  $L_2$ .

5. Оптическая система состоит из двух соосных тонких линз  $L_1$  и  $L_2$  (см. рис.) с фокусными расстояниями  $F_0$  и  $F_0/3$ , соответственно. Расстояние между линзами  $1,5F_0$ . 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  $D$ , на выходе которого сила тока пропорциональна мощности падающего на него света. Круглая непрозрачная мишень  $M$ , плоскость которой перпендикулярна оси системы, движется с постоянной скоростью перпендикулярно оси системы, так, что центр мишени пересекает ось на расстоянии  $5F_0/4$  от  $L_1$ . На рисунке показана зависимость тока  $I$  фотодетектора от времени  $t$  (секундомер включен в момент начала уменьшения тока).  $I_1 = 8I_0/9$ .



1) Найти расстояние между линзой  $L_2$  и фотодетектором.

2) Определить скорость  $V$  движения мишени. 3) Определить  $t_1$ .

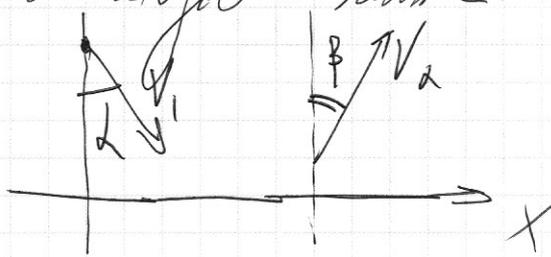
Известными считать величины  $F_0$ ,  $D$ ,  $\tau_0$ .



### ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

1.

1) Тезисом в со ~~плите~~. ~~Плита массивная,~~  
~~знают~~ ~~со~~ ~~—~~ ~~шариковая~~, ~~три~~ ~~взаимодействием~~  
плиты и шарика ~~или~~ ~~реакции~~ ~~отбрасывания~~  
~~лена~~ ~~перпендикулярно~~ ~~плите~~.  $\rightarrow$  ~~Выполняется~~  
~~зонам~~ ~~свержения~~ ~~импульсов~~ ~~на~~ ~~ось~~ ~~кари-~~  
~~Альберто~~ ~~плите~~.

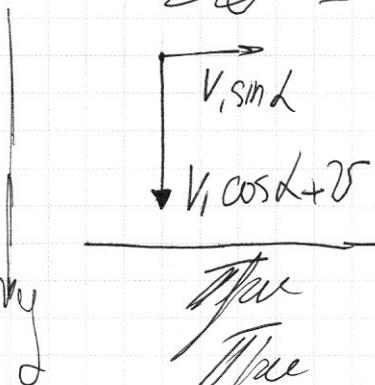


ЗСН на ось x:

$$mV_1 \sin \alpha = mV_2 \sin \beta$$

$$V_2 = V_1 \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = 6 \cdot \frac{2}{3} \cdot 3 = 12 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

2) Тезисом в со ~~плите~~. ( $M \gg m \rightarrow$   
~~со~~ ~~—~~ ~~шариковая~~). ~~До~~ ~~столкновения~~  
~~или~~ ~~рассеяния~~ ~~шарика~~ ~~на~~  
~~ось~~ ~~y~~  $\rightarrow$   $V_2 \cos \beta + U$   
Тогда ~~угада~~  $\rightarrow V_2 \cos \beta - U$   
Тогда ~~угада~~  $\rightarrow V_2 \cos \beta - U = 0$   
Тогда ~~угада~~  $\rightarrow V_1 \cos \alpha + U = V_2 \cos \beta - U$



Тогда ~~угада~~  $\rightarrow V_2 \cos \beta - U = 0$   
Тогда ~~угада~~  $\rightarrow V_1 \cos \alpha + U = V_2 \cos \beta - U$   
Тогда ~~угада~~  $\rightarrow V_2 \cos \beta - U = 0$   
Тогда ~~угада~~  $\rightarrow V_1 \cos \alpha + U = V_2 \cos \beta - U$   
Тогда ~~угада~~  $\rightarrow V_2 \cos \beta - U = 0$   
Тогда ~~угада~~  $\rightarrow V_1 \cos \alpha + U = V_2 \cos \beta - U$   
Тогда ~~угада~~  $\rightarrow V_2 \cos \beta - U = 0$   
Тогда ~~угада~~  $\rightarrow V_1 \cos \alpha + U = V_2 \cos \beta - U$

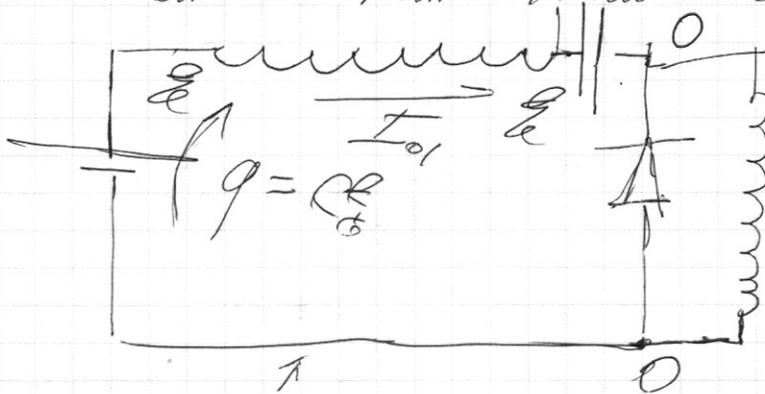
$$U \in (8\sqrt{2}; 4\sqrt{2} - \sqrt{5})$$

Ответ: 1)  $V_2 = 12 \frac{V}{C}$

2)  $U \in (4\sqrt{2} - \sqrt{5}; 8\sqrt{2})$

4.

При замыкании ключа конденсатор разряжается, а ток на катушке растет. На диоде тока нет. Когда ток достигнет максимального значения диод открывается, а ток в катушке  $L_1$  становится постоянным и равным  $I_{01}$ .



Трансформаторная цепь  $L_2 - C - D$

$$T = 2\pi \sqrt{L_2 C} = 2\pi \sqrt{2LC}$$

2)  $I_{01}$  — значение тока в катушке в установившемся состоянии. Возьмем ЗСЭ:

$$C_1 \cdot E = \frac{5L I_{01}^2}{2} + \frac{C E^2}{2}$$

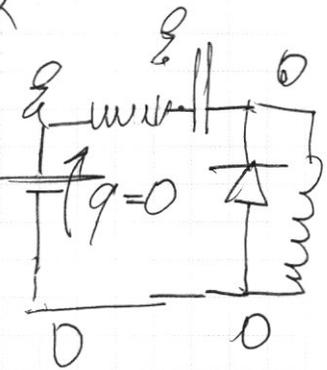
$$I_{01} = \sqrt{\frac{C}{5L}} \cdot E$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

3) ~~Максимальный ток на  $L_2$  достигается~~  
~~в моменты  $I_D = 0$  и  $I_2 = I_{max}$~~   
 Запишем ЗСЭ для моментов начала  
 колебаний и момента, когда  $I_2 = I_{max}$ .

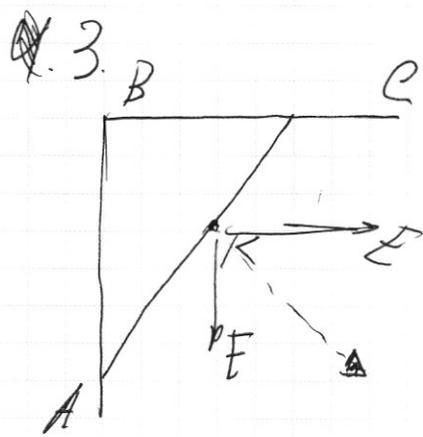
$$W_0 = \frac{2LI_1^2}{2} + \frac{3LI_1^2}{2} + \frac{C\varepsilon^2}{2}$$

$$W_1 = \frac{2LI_2^2}{2} + \frac{3LI_1^2}{2} + \frac{C\varepsilon^2}{2}$$



$$\Delta W = L(I_2^2 - I_1^2) = 0$$

$$I_2 = I_1 = \sqrt{\frac{C}{5L}} \varepsilon$$

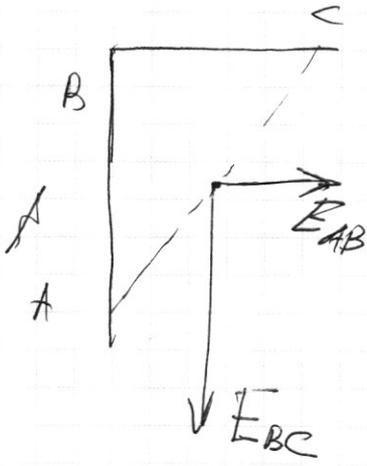


4) если  $L = \frac{\pi}{4}$  то конструкция  
 симметрична, если  
 если обе пластины создают  
 направленные  $E$ , то  
 результирующая  $E_{рез}$  и  $E_{св}$   
 $E_{рез} = \sqrt{2}E$ , тогда  
 $E_{св} = \sqrt{2}E$

2)  $E$  - результирующее поле

~~$E = K \cdot Q$~~ , где  $Q$  - заряд

т.к.  $K$  - середина, то напряженность каждой из плоскостей перпендикулярна плоскости.

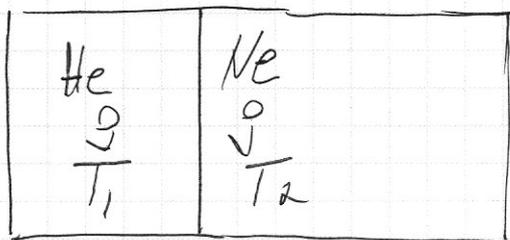


$$E_{AB} = \frac{\sigma}{\epsilon_0}, \quad E_{BC} = \frac{4\sigma}{\epsilon_0}$$

$$E_{\text{об}} = \sqrt{E_{AB}^2 + E_{BC}^2} = \sqrt{\left(\frac{\sigma}{\epsilon_0}\right)^2 + \left(\frac{4\sigma}{\epsilon_0}\right)^2} = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \sqrt{17}$$

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

2.



$P_1 = P_2$  (тренирующая,  
попробуйте не забыть)

\*) Запишем уравнение Менделеева + Клапейрона

$$\begin{cases} P_1 V_1 = \nu R T_1 \\ P_2 V_2 = \nu R T_2 \end{cases}$$

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2} = \frac{3}{4}$$

$$2) Q_{\text{внеш}} = 0 = A_{\text{He}} + A_{\text{Ne}} + \Delta U_{\text{He}} + \Delta U_{\text{Ne}}$$

$$A_{\text{He}} = -A_{\text{Ne}} \Rightarrow \Delta U_{\text{He}} + \Delta U_{\text{Ne}} = 0$$

$$T - T_1 + T - T_2 = 0$$

$$\Delta T_{\text{He}} + \Delta T_{\text{Ne}} = 0$$

$$T = \frac{T_1 + T_2}{2} = 385 \text{ K}$$

3) так как все процессы медленные, то ~~процессы~~

$$P = \text{const}, \quad A_{\text{He}} = P \Delta V_{\text{He}}$$

Пустить весь объем  $V$ , тогда  $V_1 + V_2 = V$

$$V_1 = \frac{3}{7} V, \quad V_2 = \frac{4}{7} V, \quad \Delta V_1 = \frac{V}{14}, \quad \Delta V_2 = -\frac{V}{14}$$

$$A_{\text{He}} = \frac{\nu R T_1}{V_1} \Delta V = \frac{\nu R T_1 \cdot 7}{3V} \cdot \frac{V}{14} = \frac{\nu R T_1}{6}$$

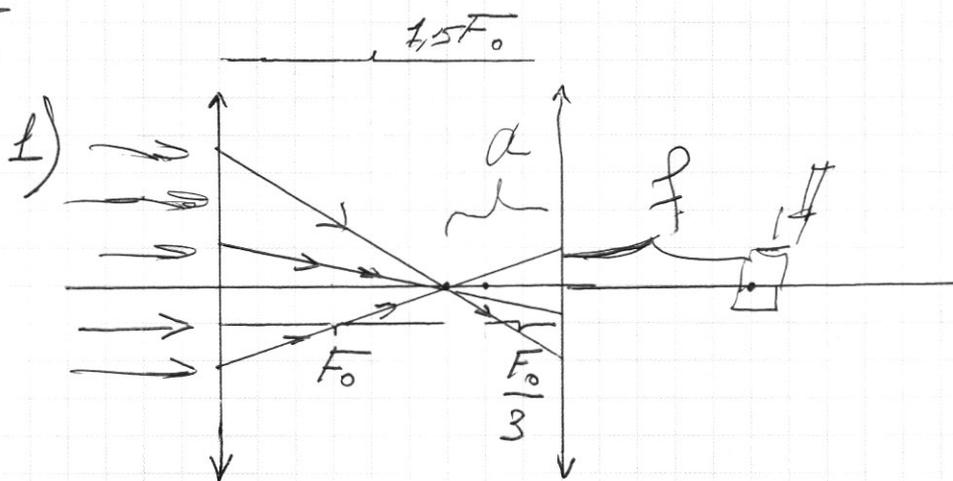
$$\Delta U_{He} = \frac{3}{2} \nu R \Delta T_{He} = \frac{3}{2} \nu R \left( \frac{T_1 + T_2}{2} - T_1 \right) = \frac{3}{2} \nu R \frac{(T_2 - T_1)}{2}$$

4)  $\alpha_{He} + \beta_{He} = 0$ , температура которую передает HeOx  
равна температуре которую получает газы.

$$\alpha_{He} = \beta_{He} + \Delta U_{He} = \frac{\nu R T_1}{6} + \frac{3}{4} \nu R (T_2 - T_1)$$

$$-3\nu R = 274,23 \text{ Дж.}$$

5.

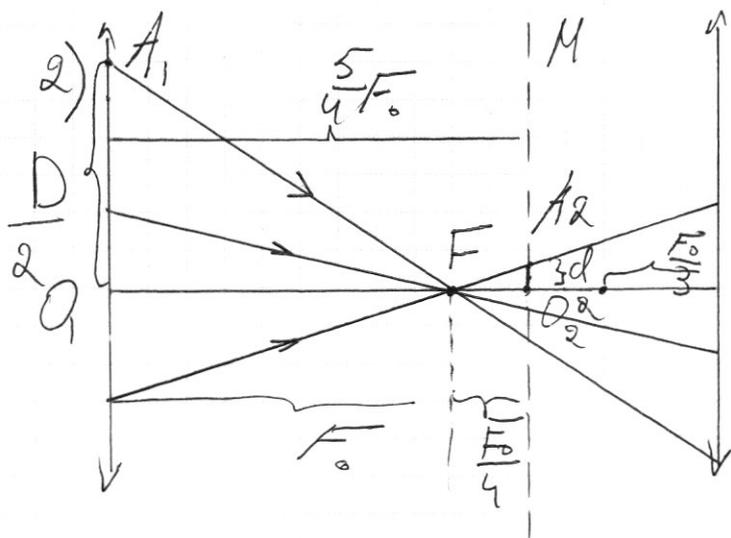


Лучи, падающие на линзу  $L_1$ , собираются в ~~определённой~~ ~~определённой~~ ~~определённой~~ точке. Эта точка становится ~~предметом~~ предметом для линзы  $L_2$  и ее изображение лежит в фокусе. Заменим  $\emptyset$  формулу тонкой линзы для линзы  $L_2$ :

$$\frac{3}{F_0} = \frac{1}{a} + \frac{1}{f}, \quad a = 1,5F_0 - F_0 = \frac{F_0}{2}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{3}{F_0} - \frac{2}{F_0} = \frac{1}{F_0} \rightarrow f = F_0$$

### ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



Диаметр круга, через который проходят лучи равен  $D$   
Диаметр круга, через который проходят лучи равен  $d$ .

$$\triangle F O_1 A_1 \sim \triangle F O_2 A_2$$

$$\frac{D}{2F_0} = \frac{d}{2 \frac{F_0}{4}} \Rightarrow d = \frac{D}{4}$$

За время  $T_0$  мименз радиусом вводят в камеру круг и закрывают часть сужий.



$r$  - радиус мимензи

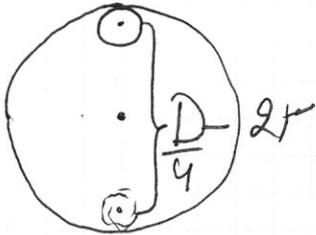
$$3) I \sim P \sim S \Rightarrow \frac{I_0}{I_1} = \frac{\pi \left(\frac{d}{2}\right)^2}{\pi \left(\frac{d}{2}\right)^2 - \pi r^2}$$

$$= \frac{8}{8} \Rightarrow 8\pi r^2 = \pi \left(\frac{d}{2}\right)^2$$

$$r = \frac{d}{6}, T_0 = \frac{2r}{v}$$

$$v = \frac{2r}{t_0} = \frac{d}{3t_0} = \frac{D}{12t_0}$$

5)



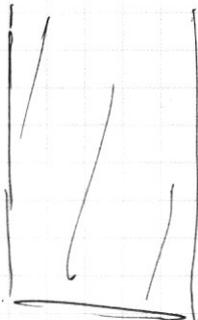
$$t_1 - t_0 = \frac{\frac{D}{4} - 2r}{v} = \left( \frac{D}{4} - \frac{D}{12} \right) \frac{12t_0}{D}$$

$$= \frac{12}{4} \left( 1 - \frac{1}{3} \right) t_0 = 2t_0, t_1 = 3t_0$$

Ответ: 1)  $t_0$       3)  $3t_0$

2)  $\frac{D}{12t_0}$

### ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



He	Ne
3	
T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>

$$pV_1 = \nu RT_1 \quad (V)$$

$$pV_2 = \nu RT_2$$

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2} = \frac{330}{440} = \frac{3}{4}$$

$$Q = 0$$

$$\Delta S_{He} + \Delta S_{Ne} = 0$$

$$\frac{3}{2} \nu R \ln T_1 + \frac{3}{2} \nu R \ln T_2 = 0 \quad (5)$$

$$T = T_1 + T_2 = 0$$

$$T = T_1 + T_2 = 820$$

$$330/4 = 82,5$$

$$p = \frac{\nu RT}{V}$$

$$\frac{330/5}{35} = 77$$

~~$$p = \frac{\nu RT}{V}$$~~

$$\frac{\nu RT_1}{V_1} \Delta V$$

$$\frac{330/5}{30} = 66$$

$$V_1 + \frac{4}{3} V_1 = V = \frac{7}{3} V_1$$

$$V_1 = \frac{3}{7} V$$

$$V_1' = \frac{V}{2}$$

$$\frac{7-6}{14} = \frac{1}{14}$$

$$\frac{82}{55} = 137$$

$$\frac{3}{4} \cdot 110 = \frac{\nu RT_1}{3V} \cdot \frac{1}{14}$$

$$= \frac{\nu RT_1}{6}$$

$$\frac{330/6}{155} = \frac{4}{7} V$$

$$137,5$$

$$\frac{T_1}{6} = 30$$

$$\frac{\nu RT_2}{8}$$

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{3}{4}$$

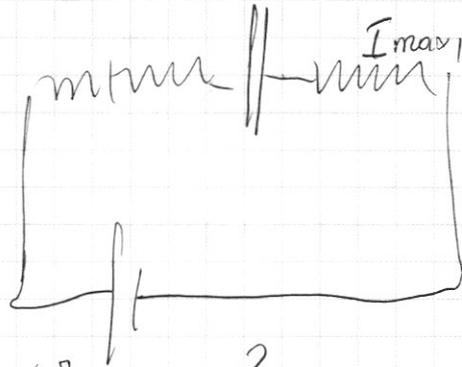
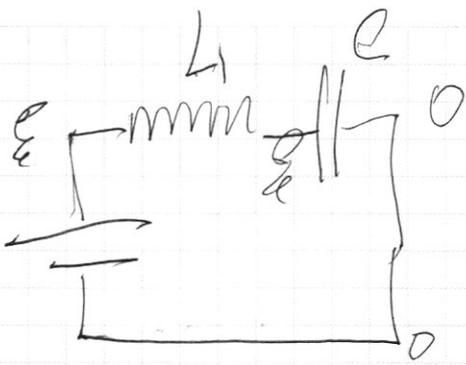
$$\frac{385}{330}$$

$$\Delta V = \frac{4}{7} - \frac{1}{14} = \frac{8-1}{14}$$

$$\frac{p_1 V_1}{p V_1} = \frac{T_1}{T_2} = \frac{1}{2} \cdot \frac{7}{3} = \frac{7}{6}$$

$$\frac{25}{11} = \frac{220}{385}$$

$$R \frac{275}{25} = 274$$



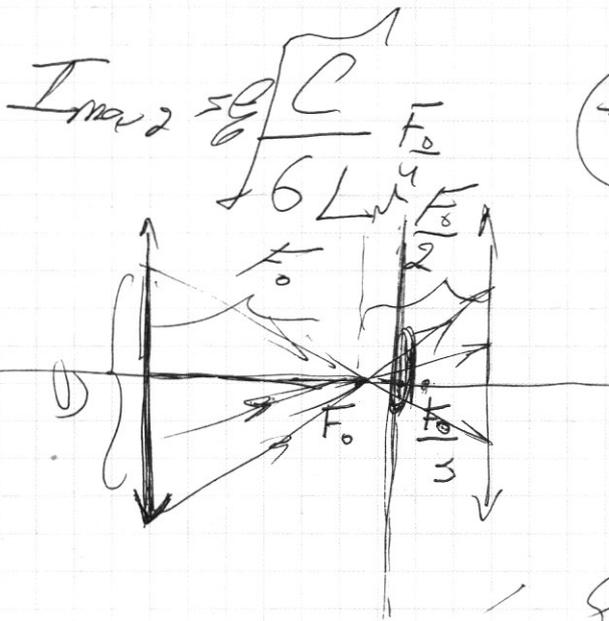
$$\frac{CE}{\#} = q$$

$$\frac{D-d}{V} \approx 1$$

$$\frac{CE^2}{2} = 2L I_{max}^2 + \frac{CE^2}{2}$$

$$\frac{CE^2}{2} = 5L I_{max}^2 + \frac{CE^2}{2}$$

$$5L I_{max}^2 = \frac{CE^2}{2}$$



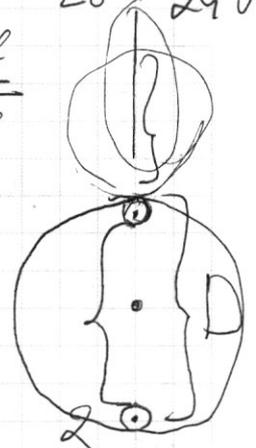
$$I_{max} = \frac{C}{10L}$$

$$\frac{I_0}{I_1} = \frac{S_1}{S_2} = \frac{D}{24V}$$

$$\frac{3}{F_0} = \frac{2}{F_0} + \frac{1}{d}$$

$$F_0 = d$$

$$\frac{5}{4} F_0$$



$$2F_0 = 3F_0$$

$$\frac{D}{2F_0} = \frac{4d}{F_0} \Rightarrow d = \frac{D}{8}$$

$$\frac{9}{8} = \frac{\pi r^2}{\pi R^2} = S$$

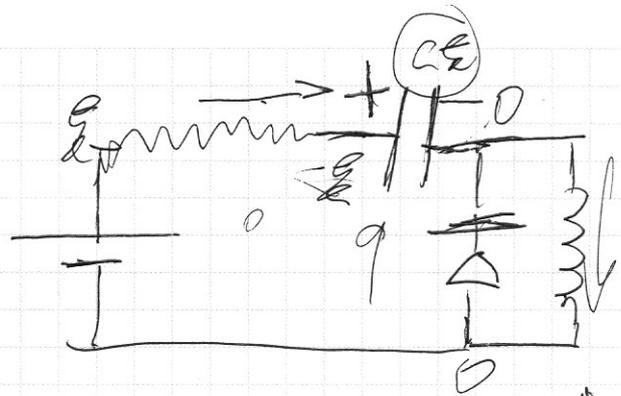
$$r = \frac{D}{8}$$

$$9\pi r^2 = 8\pi R^2$$

$$r = \frac{r}{3} = \frac{D}{48}$$

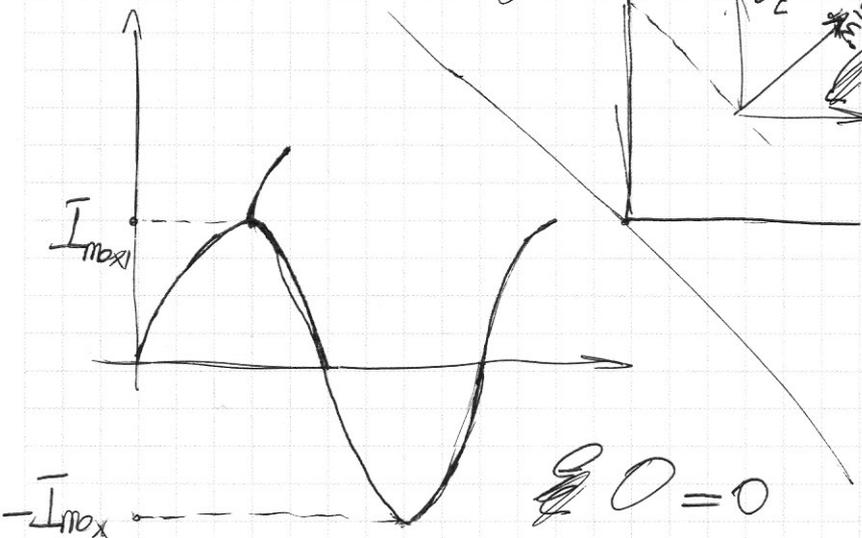
$$S = \frac{\pi r^2}{9} = \pi \left(\frac{r}{3}\right)^2$$





$$I_{max} = \frac{E}{\sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}}$$

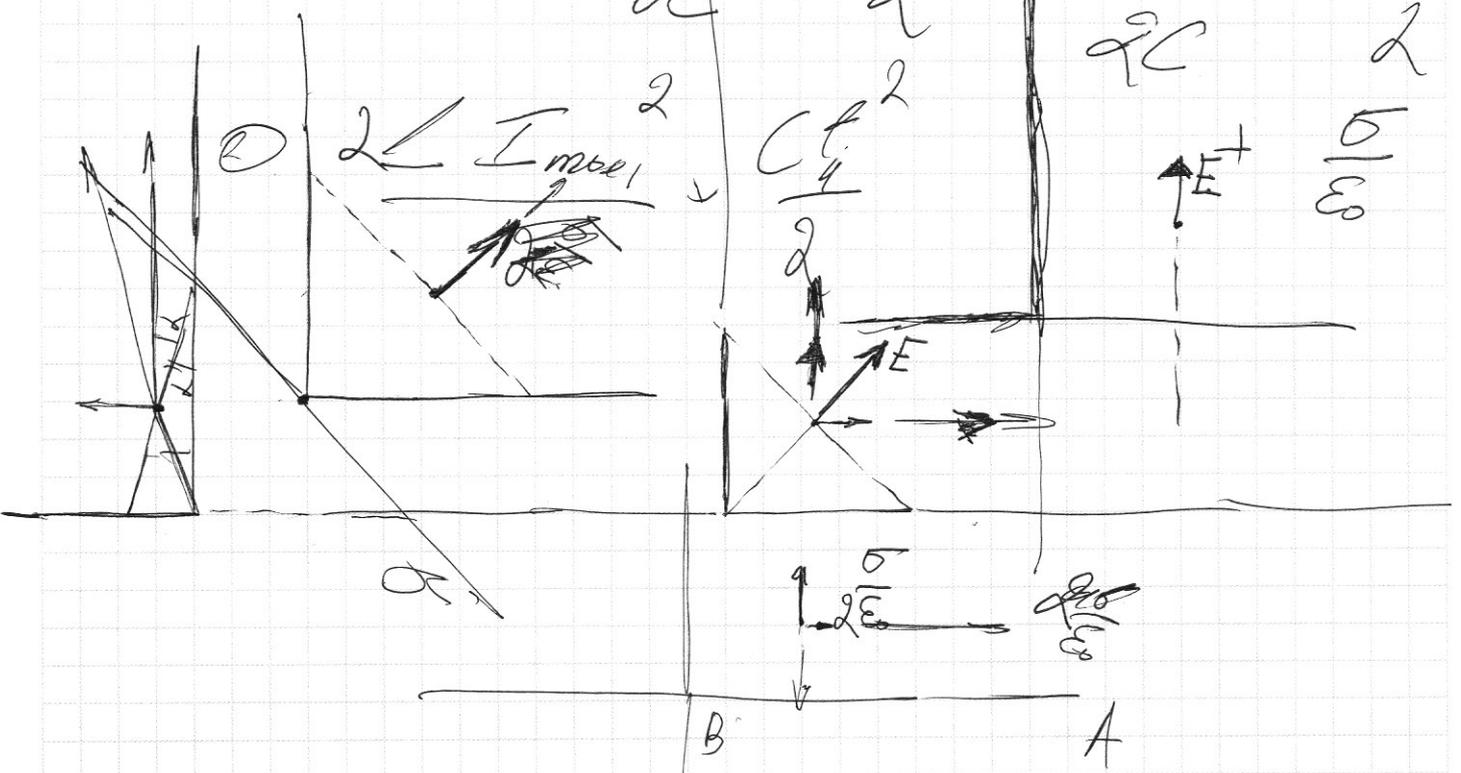
$$I_{max} \quad 0 = 0 + 0 = 0$$



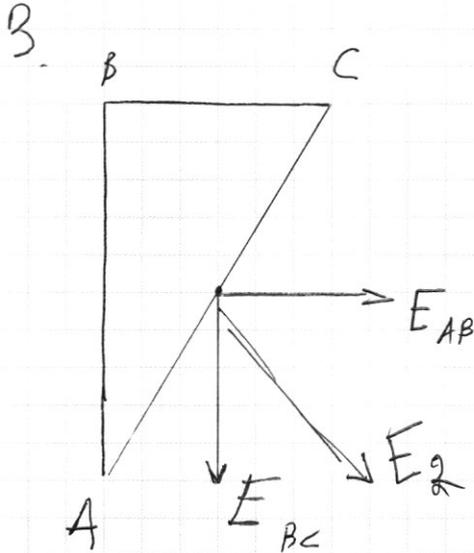
$$\cos^2 \alpha = \frac{\cos^2 \alpha}{2} + \frac{1 + \cos 2\alpha}{2}$$

$$\cos^2 \alpha = \frac{\cos^2 \alpha}{2} + \frac{1}{2} + \frac{\cos 2\alpha}{2}$$

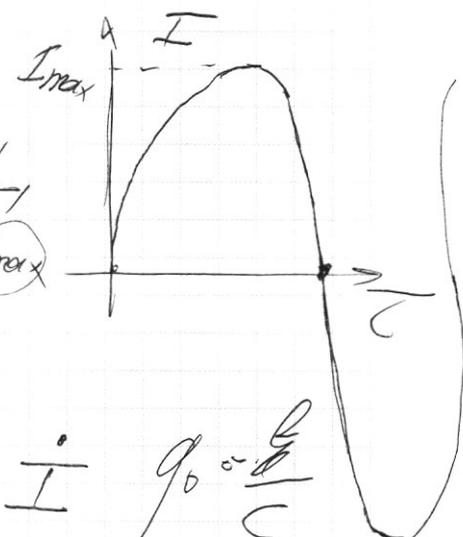
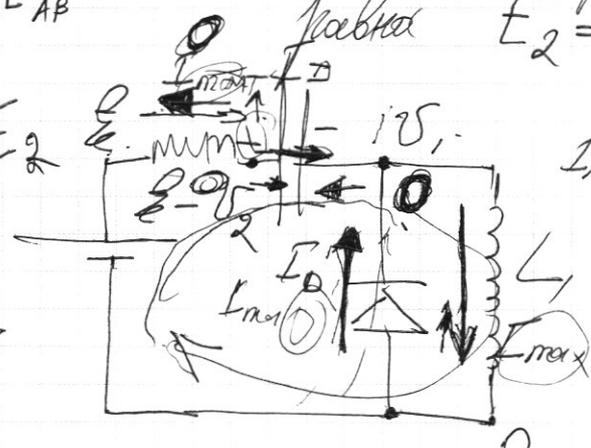
$$I_{max}^2 = \frac{E^2}{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}$$



ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



1) Когда уная напряженность  
равна  $E_1 = E_{BC}$   
Комплексная напряженность  
равна  $E_2 = \sqrt{E_{AB}^2 + E_{BC}^2}$



$$L_1 = \pi \sqrt{L_2 C}$$

$$t_2 = \pi \sqrt{(L_1 + L_2) C}$$

$$E = U_C + U_L$$

$$U_C = L_2 \dot{I} \quad q_0 = \frac{E}{C}$$

$$U_L = L_1 \dot{I}$$

$$\frac{E}{C} - \frac{1}{C} \int I dt = L_2 \dot{I} + L_1 \dot{I}$$

$$U_1 + \frac{q}{C} + U_2 = E$$

3-1

$$T = 2\pi \sqrt{L C} \quad L_1 \quad \frac{E}{C} \quad \frac{q}{C}$$

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{L C}}$$

$$\frac{q}{C} + L \dot{I} = 0$$

$$I = I_A \sin(\omega t)$$

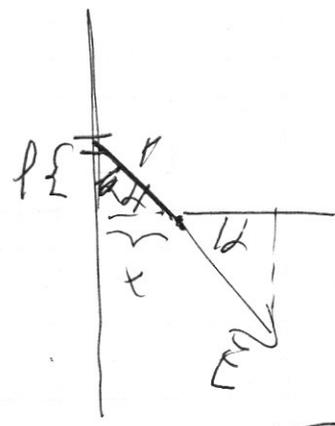
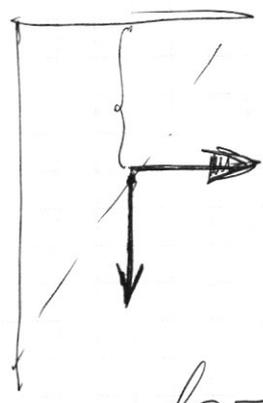
$$\frac{q}{C} + q'' = 0, \quad \omega = \frac{1}{\sqrt{L C}}$$



черновик     чистовик  
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №\_\_  
(Нумеровать только чистовики)

$$E = \frac{k dq}{r^2} = k \sigma \frac{dS}{r^2} = k \sigma d\Omega \quad r^{-3}$$



$$dE_x = \frac{k q}{r^2} \cos \alpha$$

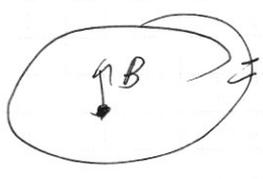
$$= \frac{k \rho}{r^3} x$$

$$E_{\text{full}} = \frac{k \rho x}{r^2}$$

$$dq = \rho dl$$

$$dE = \frac{k \rho \cos \alpha}{r^2 + x^2} = \frac{k \rho dl x}{(r^2 + x^2)^{3/2}}$$

$$-2r^{-2} \cdot \frac{1}{2} = -\frac{3}{2}$$

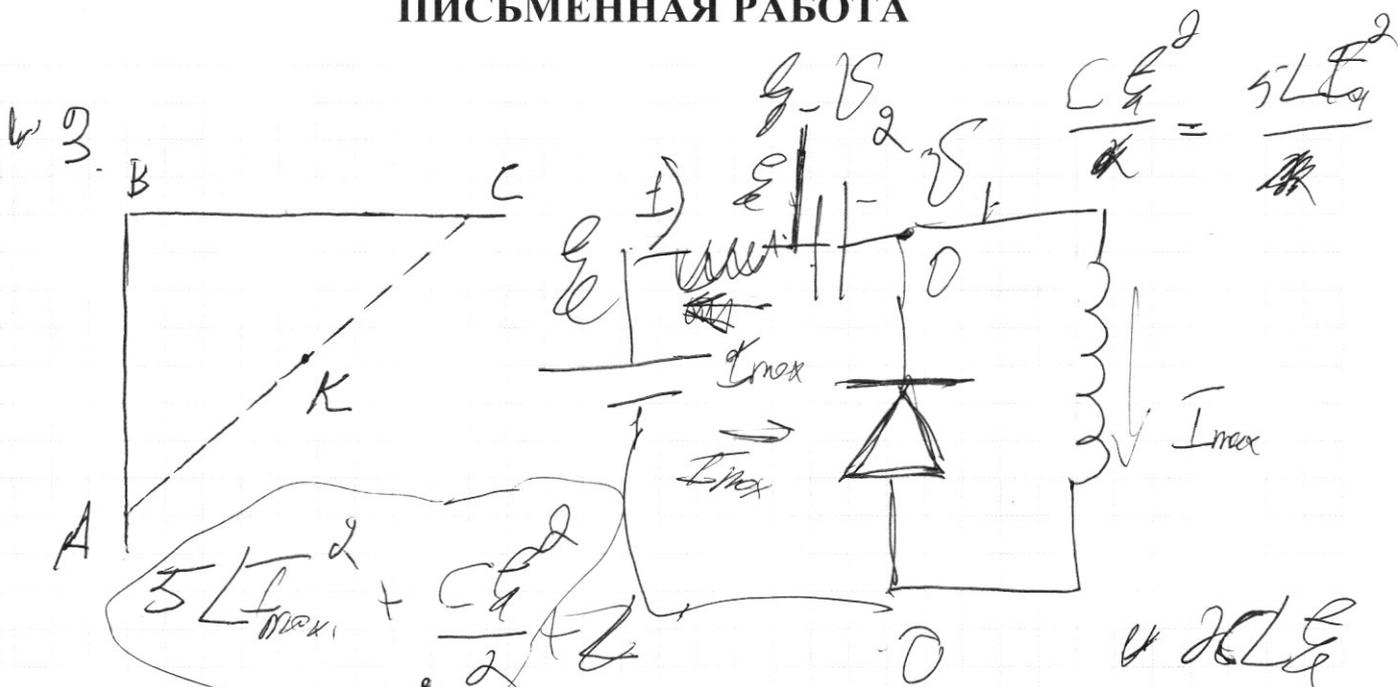


$$E = \rho k \pi$$

~~2/2~~

$$\int dl \cdot (r^2 + x^2)^{-3/2} = \frac{2}{x} \dots$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$q = q_0 \cos(\omega t) + A$   
 $q = -q_0 \cos(\omega t)$   
 $\omega^2 q_0 \cos(\omega t) + A \omega^2 - q_0 \omega^2 \cos(\omega t) = \frac{\varepsilon}{C}$   
 $q = q_0 \left( q_0 \cos(\omega t) + \frac{\varepsilon}{\omega^2} \right)$   
 $A \cdot 2C = \frac{\varepsilon}{\omega^2}, A = \frac{\varepsilon}{\omega^2}$