



# Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2022

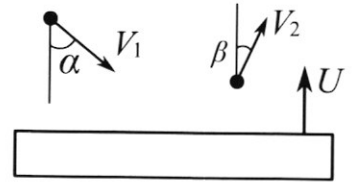
Класс 11

Вариант 11-02

Шифр

(заполняется секретарем)

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.

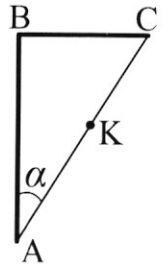
2. Цилиндрический теплоизолированный горизонтально расположенный сосуд разделен на два отсека теплопроводящим поршнем, который может перемещаться горизонтально без трения. В первом отсеке находится гелий, во втором – неон, каждый газ в количестве  $\nu = 6/25$  моль. Начальная температура гелия  $T_1 = 330$  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?

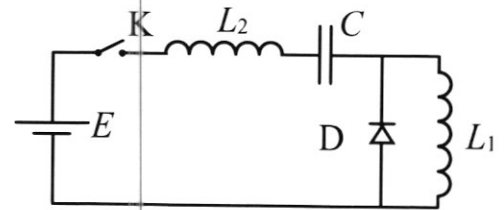
3. Две бесконечные плоские прямоугольные пластины АВ и ВС перпендикулярны друг к другу и образуют двугранный угол с ребром В. На рисунке показано сечение угла плоскостью, перпендикулярной ребру В.



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  $L_2$ .

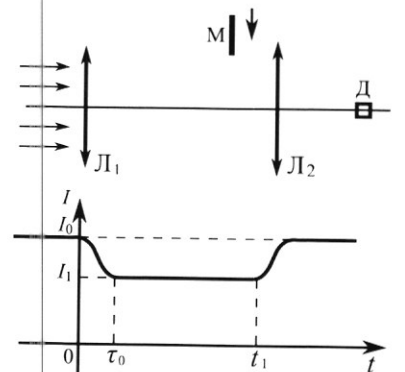


1) Найти период  $T$  этих колебаний.

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. Пройдящий 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.

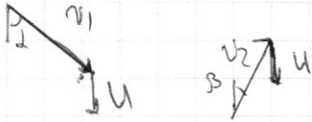
2) Определить скорость  $V$  движения мишени. 3) Определить  $t_1$ .

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



## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№ 1 в CO миллиметры:



$$\Rightarrow v_1 \sin \alpha = v_2 \sin \beta$$

Ответ 1)

$$\Rightarrow v_2 = v_1 \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = 12 \text{ мк}$$

$$v_{y2} \text{ в CO миллиметры } v_{y2} > 0 \Rightarrow v_2 \cos \beta > U$$

$$v_2 \cdot \sqrt{1 - \sin^2 \beta} > U$$

Ответ 2)

$$\Rightarrow U < 8\sqrt{2} \text{ мк}$$

≈ Ответ 2)

$$U < \begin{matrix} 22.4 \text{ мк} \\ 11.2 \text{ мк} \end{matrix}$$

Ответ: 1)  $v_2 = 12 \text{ мк}$ ; 2)  $U < 11.2 \text{ мк}$

№ 2

$$P V_1 = \nu R T_1$$

$$P V_2 = \nu R T_2$$

$$P V' = \nu R T'$$

Ответ 1)

$$\Rightarrow \frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2} = \frac{3}{4} = 0.75$$

Теплота:  $dQ_1 = d'A + \frac{3}{2} \nu R dT_1$

Холод:  $-dQ_1 = -d'A + \frac{3}{2} \nu R dT_2$  , м.к.  $Q_{\text{внеш}} = 0$ ,  
поршень без трения

$$\Rightarrow dT_1 = -dT_2$$

$$\Rightarrow T' - T_1 = T_2 - T'$$

Ответ 2)

$$\Rightarrow T' = \frac{T_1 + T_2}{2} = \frac{440 \text{ К}}{2} = 385 \text{ К}$$

$$V' = \frac{V_1 + V_2}{2} = \frac{4}{8} V_2$$

$P = \text{const}$  ( $P' = P \frac{V_1}{V_2} \cdot \frac{V_2}{V'} = P$ )

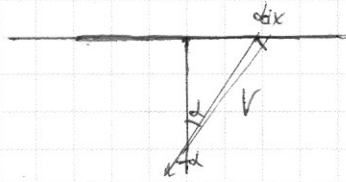
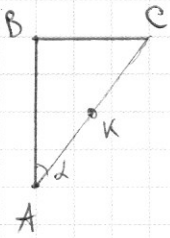
Ответ 3)

$$\Rightarrow Q = \frac{5}{2} \nu R (T - T_1) = \frac{5}{2} \nu R \frac{T_2 - T_1}{2} \approx 274 \text{ Дж}$$

$$Q = 274 \text{ Дж}$$

Ответ: 1)  $0.75 = \frac{V_1}{V_2}$ ;  $T' = \frac{T_1 + T_2}{2} = 385 \text{ К}$ ;  $Q = \frac{5}{2} \nu R (T_2 - T_1) = 274 \text{ Дж}$

N3



Плоскость  $\Rightarrow$  проводящая  
толщиной  $d$   
и  $\sigma = \frac{q}{d}$

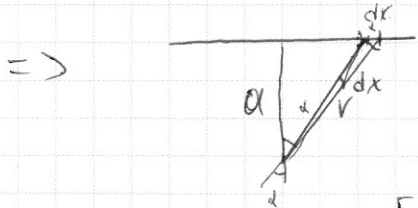
$$\sigma = \sigma \cdot dx$$



По Т. Гаусса

$$\frac{dQ}{\epsilon_0} = E_1 \cdot 2\pi r d$$

$$\Rightarrow E_1 = \frac{\sigma}{2\pi \epsilon_0 d} = \frac{\sigma dx}{2\pi \epsilon_0 d}$$



$$dx = \frac{r dd}{\cos \alpha}$$

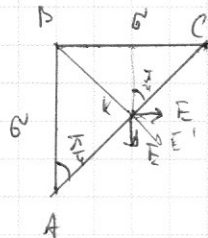
$$E = \int \frac{\sigma dx}{2\pi \epsilon_0 d} \cdot \cos \alpha$$

$$dE = \frac{\sigma r dd \cos \alpha}{2\pi \epsilon_0 d \cos \alpha} = \frac{\sigma}{2\pi \epsilon_0} dd$$

$$\Rightarrow E = \int_{-d}^d \frac{\sigma}{2\pi \epsilon_0} dd = \frac{\sigma}{\pi \epsilon_0} d$$

1)

$$d = \frac{A}{4} \Rightarrow$$

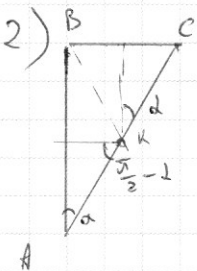


Симметрия:

$$\Rightarrow E' = \sqrt{2} E$$

ответ 1)

$$\Rightarrow \frac{E'}{E} = \sqrt{2}$$



$$d = \frac{\sqrt{2}}{8}$$

$$E_{BC} = \frac{4\sigma}{\pi \epsilon_0} \cdot \frac{\sqrt{2}}{8} = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$$

$$E_{AB} = \frac{\sigma}{\pi \epsilon_0} \left( \frac{\sqrt{2}}{2} - \frac{\sqrt{2}}{8} \right) = \frac{3\sigma}{8\epsilon_0}$$

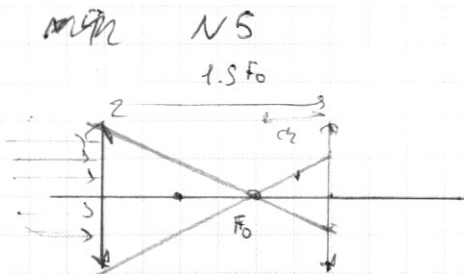
$$E' = \sqrt{E_{AB}^2 + E_{BC}^2} = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \sqrt{1 + \left(\frac{3}{4}\right)^2} = \frac{5\sigma}{8\epsilon_0}$$

ответ 2)

$$\frac{E'}{E} = \frac{5\sigma}{8\epsilon_0}$$

ответ: 1)  $\frac{E'}{E} = \sqrt{2}$  ; 2)  $E' = \frac{5\sigma}{8\epsilon_0}$

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



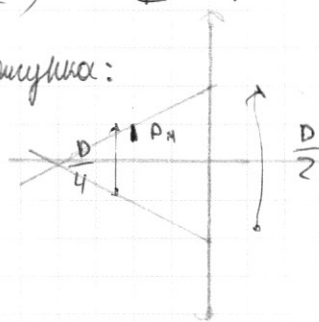
$$\frac{3}{f_0} = \frac{1}{d_2} + \frac{1}{f_2}$$

ответ 1)

$$f_2 = \frac{1}{\frac{3}{f_0} - \frac{1}{d_2}} = f_0$$

2)  $I \sim \Phi \sim S$

из рисунка:



$$I_1 = I_0 \left(1 - \frac{S_H}{S_0}\right) = \frac{8}{9} I_0$$

$$\Rightarrow \frac{1}{9} = \frac{\pi D_H^2 \cdot 4^2 \cdot 4}{4 \cdot \pi D^2}$$

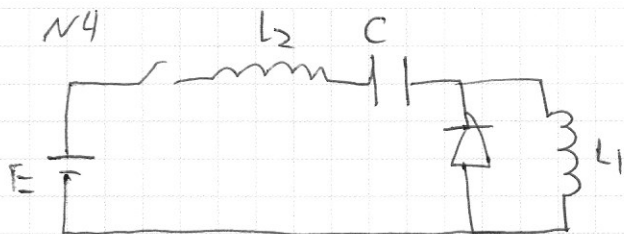
$$\Rightarrow D_H = \frac{D}{12}$$

$$t_0 = \frac{D_H}{V} \quad 2) \quad \Rightarrow \quad V = \frac{D}{12 t_0}$$

$$3) \quad t_1 = \frac{\frac{D}{4} - 2 D_H}{V} = \frac{\frac{D}{4} - \frac{2D}{12}}{V} = \frac{D}{12V} = t_0$$

$$t_1 = t_0$$

Ответ: 1)  $f_2 = f_0$ ; 2)  $V = \frac{D}{12 t_0}$ ; 3)  $t_1 = t_0$



$$E - L_2 \frac{dI}{dt} - L_1 \frac{dI}{dt} = \frac{q}{C}$$

$$\ddot{q} + \frac{1}{(L_1+L_2)C} q = \frac{E}{(L_1+L_2)}$$

$$\ddot{q} + \frac{1}{(L_1+L_2)C} (q - CE) = 0$$

$$q(0) = 0$$

$$\dot{q}(0) = 0$$

$$\Rightarrow q_1 = (CE)(1 - \cos \omega_1 t), \text{ где } \omega_1 = \sqrt{\frac{1}{(L_1+L_2)C}}$$

$$q = A \cos \omega t + B \sin \omega t$$

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

$$\Rightarrow I_{01} = \dot{q}_{\max} = CE \omega_1$$

$$\omega_1 = \frac{1}{\sqrt{(L_1+L_2)C}} \Rightarrow t_1 = \frac{T_1}{2} = \frac{\pi}{2} \sqrt{(L_1+L_2)C} = \frac{\pi}{2} \sqrt{5LC}$$

$$I_{01} = E \sqrt{\frac{C}{(L_1+L_2)}} = E \sqrt{\frac{C}{5L}}$$

на  $L_1$  ток не ущем:

$$E - L_2 \frac{dI}{dt} = \frac{q}{C}$$

$$\Rightarrow \ddot{q} + \frac{1}{L_2 C} q = \frac{E}{L_2}$$

$$\ddot{q} + \frac{1}{L_2 C} (q - CE) = 0$$

$$\Rightarrow q_2 = CE(1 - \cos \omega_2 t)$$

$$\Rightarrow I_{02} = E \sqrt{\frac{C}{L_2}} = E \sqrt{\frac{C}{2L}}$$

$$\omega_2 = \frac{1}{\sqrt{L_2 C}} \Rightarrow t_2 = \frac{T_2}{2} = \frac{\pi}{2} \sqrt{L_2 C} = \frac{\pi}{2} \sqrt{2LC}$$

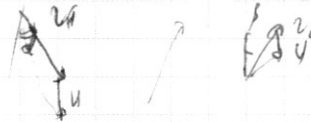
$$T = t_1 + t_2 = \frac{\pi}{2} \sqrt{LC} (\sqrt{5} + \sqrt{2})$$

Ответ: 1)  $T = \frac{\pi}{2} \sqrt{LC} (\sqrt{5} + \sqrt{2})$ ; 2)  $I_{01} = E \sqrt{\frac{C}{5L}}$ ; 3)  $I_{02} = E \sqrt{\frac{C}{2L}}$

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

~1

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

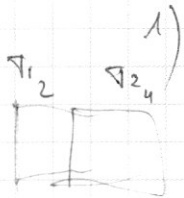


ay:  $\frac{N}{m} = v_1 \cos \alpha + v_2 \cos \beta - a$

ox:  $\frac{F_{\text{сп}}}{m} = -v_2 \sin \beta + v_1 \sin \alpha$

2)

~2



$P_{U1} = IR U_1 \Rightarrow \frac{U_1}{U_2} = \frac{I R_1}{I R_2} = \frac{3 \cdot 6}{4 \cdot 4} = \frac{3}{4} = 0.75$

2)

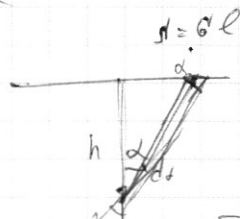
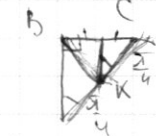
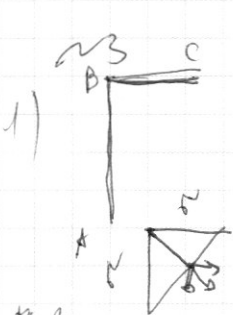
$P_{U1'} = IR U_1' \Rightarrow v_1' = v_2'$   
 $2v_1' = v_1 + v_2 = v_2 \cdot \frac{3}{4}$   
 $v_1' = \frac{3}{8} v_2$

$P_{U2'} = IR U_2'$   
 $P_{U2} = IR U_2 \Rightarrow U_2' = U_2 \cdot \frac{3}{8} = \frac{4}{8} \cdot 400 = 200 \text{ В}$

~3

$Q = A + \Delta U =$

3)  $Q = P$



$v = \frac{h}{4\pi e_0 k d \cos \alpha}$   
 $E = \frac{d k d d \cos \alpha}{4\pi e_0 k d \cos \alpha} = \frac{d d \cos \alpha}{4\pi e_0 h}$

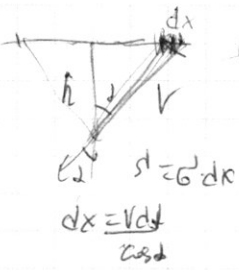
$E_1 = \frac{d}{4\pi e_0 h} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \cos \alpha d\alpha = \frac{d}{4\pi e_0 h} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot 2 = \frac{\sqrt{2} d}{4\pi e_0 h}$

$E' = E \cdot \sqrt{2} \Rightarrow \frac{E'}{E} = \sqrt{2}$

$E_1 = \frac{4e}{4\pi e_0 h} 2 \sin \alpha$   
 $E_2 = \frac{6e}{4\pi e_0 h} 2 \sin(\frac{\pi}{2} - \alpha)$

$E = \sqrt{E_1^2 + E_2^2} = \frac{6e}{4\pi e_0 h}$





$$\sigma = H \cdot \sigma \quad s = \sigma dx$$

$$F = \frac{\sigma}{\epsilon_0 2\sqrt{3} K}$$

$$d \cdot R = E \cdot 2\sqrt{3} K \sigma$$

1)

1)  $d = \frac{\sqrt{3}}{4}$

$$dE_1 = \frac{\sigma \cdot K dx}{\epsilon_0 2\sqrt{3} K} = \frac{\sigma dx}{2\sqrt{3} \epsilon_0}$$

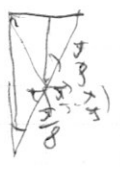
$$E_1 = \frac{\sigma \cdot \sqrt{3}}{2\sqrt{3} \epsilon_0 2} = \frac{\sigma}{4\epsilon_0}$$



$$\frac{E'}{E_1} = \sqrt{2}$$

2)  $d = \frac{\sqrt{3}}{8} \Rightarrow E_1 = \frac{\sigma}{2\sqrt{3}\epsilon_0} \cdot \frac{\sqrt{3}}{4} = \frac{\sigma}{8\epsilon_0}$

$$\frac{\sqrt{3}}{8} - \frac{\sqrt{3}}{8} = \frac{3}{8}\sqrt{3}$$



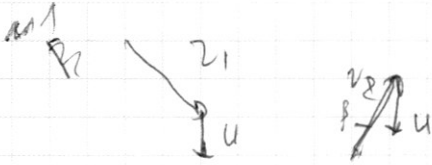
$$E_2 = \frac{4\sigma}{2\sqrt{3}\epsilon_0} \cdot \frac{\sqrt{3}}{4} = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$$

$$E_2 = \frac{\sigma}{2\sqrt{3}\epsilon_0} \cdot \frac{3}{4}\sqrt{3} = \frac{3\sigma}{8\epsilon_0} = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \cdot \frac{3}{4}$$

$$E' = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \sqrt{1 + \left(\frac{3}{4}\right)^2} = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \frac{5}{4} = \frac{5\sigma}{8\epsilon_0}$$

$$E' = \frac{5\sigma}{8\epsilon_0}$$

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$$1) \quad v_1 \sin \alpha = v_2 \sin \beta$$

$$v_2 = 2v_1 = 12 \text{ м/с}$$

$$2) \quad v_2 \cos \beta = u \Rightarrow u < 2v_1 \cdot \sqrt{1 - \frac{1}{9}} = 2v_1 \frac{\sqrt{2} \cdot 2}{3} = \frac{4\sqrt{2}}{3} v_1$$

$$u < \frac{4\sqrt{2}}{3} \cdot 12 \text{ м/с} = 16\sqrt{2} \text{ м/с} \approx 22.4 \text{ м/с}$$

$M_2$

$$pV_1 = \nu R T_1$$

$$pV_2 = \nu R T_2$$

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

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

$$V_1 V_2 = 2V' \Rightarrow V_2 \frac{3}{4} = 2V'$$

$$V' = \frac{3}{8} V_2$$

$$Q_{\text{вх}} = 0 \quad Q_1 = -Q_2$$

$$Q_2 = p dV_2 + \frac{3}{2} p dV_2$$

$$-Q_2 = -p dV_2 + \frac{3}{2} p dV_2$$

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

$$p \frac{3}{8} pV_2 = \nu R T_2$$

$$Q_2 = \frac{5}{2} p (T - T_1)$$

$$= \frac{5}{2} p (T_2 - T_1)$$

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

$$\Rightarrow p' = p \frac{T_1}{T_2} \frac{V_2}{V_1} = p \frac{(T_1 + T_2)}{T_2} \frac{V_2 \cdot 8^4}{8^4 \nu R} = p \frac{4(T_1 + T_2)}{T_2}$$

$$= \frac{4 \cdot 310}{310} = p$$

$$p' = p$$

$$= \frac{5}{4} \nu R (T_2 - T_1) = \frac{5}{4} \cdot 8 \cdot 310 \cdot \frac{3}{8} = 24.93$$

$$T - T_1 = T - T_2$$

$$24.93$$

$$+ 24.93$$

$$Q \approx 2 \cdot 49.86$$



черновик     чистовик  
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №\_\_  
(Нумеровать только чистовики)

### ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

14



$$1) \int E - L_2 \frac{dI}{dt} - L_1 \frac{dI}{dt} = \frac{Q}{C}$$

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

$$\ddot{Q} + Q \frac{1}{(L_1 + L_2)C} = \frac{E}{(L_1 + L_2)}$$

$$\omega_1 = \sqrt{\frac{1}{(L_1 + L_2)C}} \quad C \frac{1}{(L_1 + L_2)C} (Q - \frac{EC}{1})$$

$$Q = A \cos \omega t + B \sin \omega t$$

$$Q - EC = A \cos \omega t + B \sin \omega t$$

$$\omega t = \frac{\pi}{2}$$

$$Q(0) = 0 = A + B$$

$$Q = CE(1 - \cos \omega t)$$

$$\dot{Q}(0) = 0 \Rightarrow B = 0$$

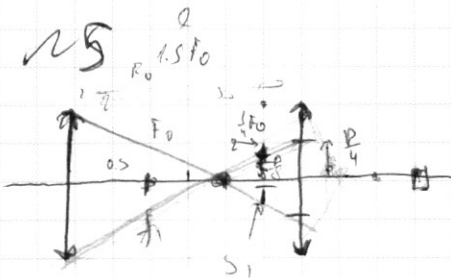
$$\dot{Q} = CE \omega \sin \omega t$$

$$I_{01} = \frac{CE \omega}{L_1 + L_2} = E \sqrt{\frac{C}{(L_1 + L_2)}}$$

$$\omega_2 = \sqrt{\frac{1}{L_2 C}}$$

$$I_{02} = CE \sqrt{\frac{C}{L_2}}$$

15



$$\frac{F}{F_0} = \frac{F_1}{F_0} + \frac{F_2}{F_0}$$

$$1) \quad F_2 = \frac{F_0}{\sqrt{2}} = \frac{F_0}{\sqrt{2}}$$

$$2) \quad I \sim \Phi \sim S$$

$$S_1 = \pi \left(\frac{D}{8}\right)^2 \quad S_M = \frac{1}{8} S_1 = \frac{\pi D^2}{8 \cdot 8} = \pi R_M^2$$

$$\Rightarrow R_M = \frac{D}{8 \cdot 3}$$

$$2) \quad t_0 = \frac{2R}{V} = \frac{D}{4 \cdot 3V}$$

$$V = \frac{D}{12 t_0}$$

3)

$$t_1 = \frac{(2 \cdot \frac{D}{8 \cdot 4} - 2 \cdot R_M)}{V} = \frac{\frac{D}{4} - \frac{D}{4 \cdot 3}}{\frac{D}{12 t_0}} = \frac{D}{6V}$$

$$t_1 = \frac{D}{6 \cdot \frac{D}{12 t_0}} = 2 t_0$$



черновик     чистовик  
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №\_\_  
(Нумеровать только чистовики)