



# Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2022

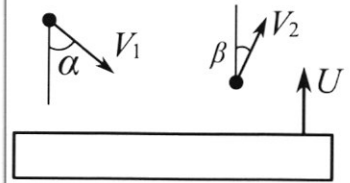
Класс 11

Вариант 11-01

Шифр

(заполняется секретарем)

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.

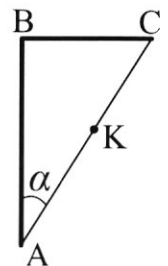


1) Найти скорость  $V_2$ .  
2) Найти возможные значения скорости плиты  $U$  при таком неупругом ударе. Действие силы тяжести за малое время удара не учитывать. Ответы допустимы через радикалы из целых чисел.

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?

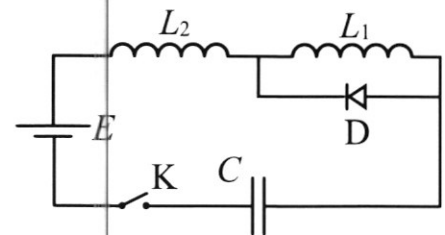
3. Две бесконечные плоские прямоугольные пластины АВ и ВС перпендикулярны друг к другу и образуют двугранный угол с ребром В. На рисунке показано сечение угла плоскостью, перпендикулярной ребру В.



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?

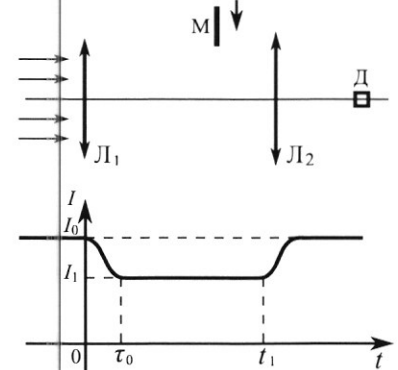
2) Пластины ВС и АВ заряжены положительно с поверхностной плотностью заряда  $\sigma_1 = 2\sigma$ ,  $\sigma_2 = \sigma$ , соответственно. Угол  $\alpha = \pi/7$ . Найти напряженность электрического поля в точке К на середине отрезка АС.

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).  $I_1 = 3I_0/4$ .

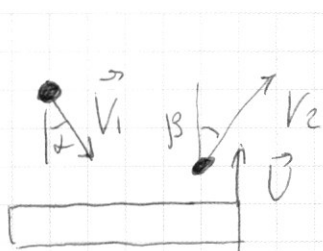


- 1) Найти расстояние между линзой  $L_2$  и фотодетектором.
- 2) Определить скорость  $V$  движения мишени. 3) Определить  $t_1$ .

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



## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



№1  
1) Силы реакции действуют  
только по вертикали  
=> 3.C.U. выполняется по  
горизонтали

горизонтали

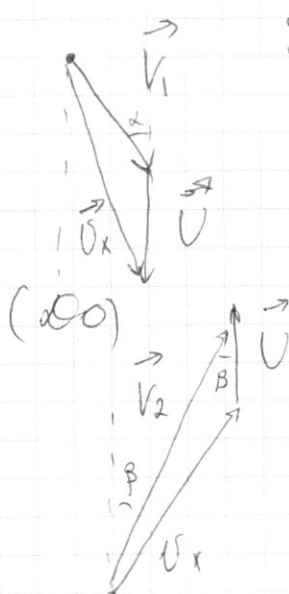
По 3.C.U.

$$mV_1 \sin \alpha = mV_2 \sin \beta \Rightarrow V_2 = \frac{V_1 \sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{8 \text{ м/с} \cdot 3 \cdot 2}{4} =$$

$$= 12 \text{ м/с} \quad \text{Ответ: } 12 \text{ м/с}$$

2) Постройте относительные скорости шариков до  
столкновения и после разлета.

По закону о сложении скоростей  $\vec{v}_{\text{лп}} + \vec{v}_{\text{отн}} = \vec{v}_{\text{абс}}$



По т. косинусов

$$v_x^2 = V_1^2 + U^2 + 2V_1U \cos \alpha \quad (\text{до})$$

$$v_x^2 = V_2^2 + U^2 - 2V_2U \cos \beta \quad (\text{после})$$

$$V_1^2 + U^2 + 2V_1U \cos \alpha = V_2^2 + U^2 - 2V_2U \cos \beta$$

$$2U(V_1 \cos \alpha + V_2 \cos \beta) = V_2^2 - V_1^2$$

$$U = \frac{V_2^2 - V_1^2}{2(V_1 \cos \alpha + V_2 \cos \beta)}$$

$$U = 2 \left( \frac{80}{8 \cdot \frac{3}{4}} + 12 \cdot \frac{5}{2} \right) \text{ м/с} = \frac{20}{\sqrt{4+3\sqrt{3}}} \text{ м/с}$$

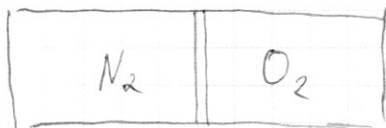
(После)

$\sin \alpha = \frac{3}{4}$	$\cos \alpha = \frac{4}{5}$
$\sin \beta = \frac{1}{2}$	$\cos \beta = \frac{\sqrt{3}}{2}$

Ответ:  $3\sqrt{3} - 5 \text{ м/с}$

(Если преобразовать)

№ 2



(поочередно  
сжимают)

Ответ:  $\frac{3}{5}$

1)  $P_1 = P_2$

$$\frac{\partial RT_1}{V_1} = \frac{\partial RT_2}{V_2}$$

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{3}{5}$$

2) П.к. сосуд герметизирован, то суммарная подводимая теплота  $Q = 0$

П.к. сосуд не совершает работу, то по I з термодинамики изменение его внутренней энергии равно нулю  $\Rightarrow$

$$\Delta U_{O_2} = -\Delta U_{N_2} \quad \frac{5}{2} \partial R(T_2 - T) = \frac{5}{2} \partial R(T - T_1)$$

$$T = \frac{T_1 + T_2}{2} = \underline{400 \text{ K}} \quad \text{Ответ: } 400 \text{ K}$$

3)  $\Delta U_{O_2} = -\Delta U_{N_2}$

$$P_2 (V_2 - dV) - P_1 V_{O_2} = - (P_2 (V - V_{O_2} + dV) - P_1 (V - V_{O_2}))$$

Элементарный процесс ~~рас~~, происходящий в цилиндре  
 $V$  - объем газа.

$$P_2 V_{O_2} - P_2 dV - P_1 V_{O_2} = -P_2 V + P_2 V_{O_2} - P_2 dV + P_1 V - P_1 V_{O_2}$$

$$P_2 V = P_1 V$$

$$P_2 = P_1$$

В любой момент времени давление одинаково

$\Rightarrow$  Внутри газа ~~идет~~ изобарный процесс.

$V_{O_2}$  - объем кислорода

$dV$  - изменение объема

$$Q_{O_2} = A_{O_2} + \Delta U_{O_2}$$

$$Q_{O_2} = \frac{5}{2} \partial R \Delta T + \frac{5}{2} \partial R \Delta T = \frac{5}{2} \partial R (T - T_2)$$

$$Q_{O_2} = -\frac{5}{2} \cdot \frac{3}{5} \cdot 8,31 \cdot 100 \text{ Дж} = -1246,5 \text{ Дж}$$

Ответ:  $\underline{-1246,5 \text{ Дж}}$

По 3С.Э

$$-Eq = \frac{q^2}{2C} - \frac{4CF^2}{2} + \frac{LI_{M2}^2}{2}$$

$$-E^2C = \frac{CE^2}{2} - \frac{4CE^2}{2} + \frac{LI_{M2}^2}{2} \quad \text{максимальный заряд конденсатора}$$

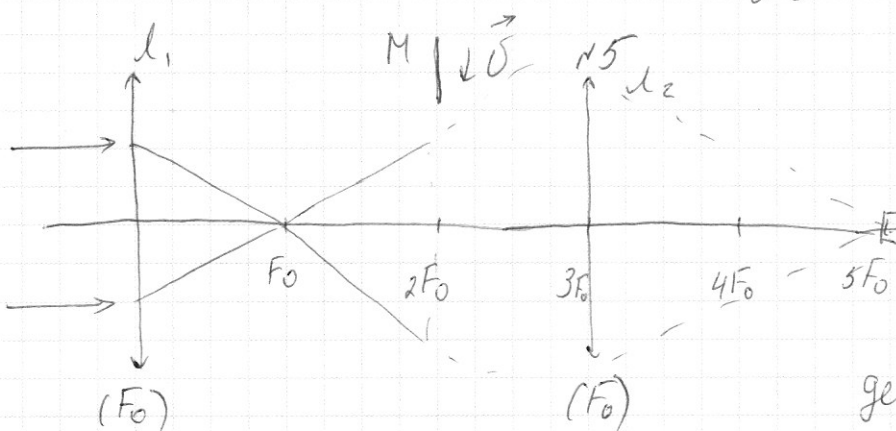
$$q = 2EC$$

2CE

$$\frac{CE^2}{2} = \frac{LI_{M2}^2}{2}$$

$$I_{M2} = E \sqrt{\frac{C}{L}}$$

Ответ:  $E \sqrt{\frac{C}{L}}$



1) От  $\lambda_1$  параллельный пучок сфокусируется в  $F_0$

Эта точка станет действительным предметом для  $\lambda_2$

$$\frac{1}{F_0} = \frac{1}{2F_0} + \frac{1}{f} \quad f - \text{расстояние от } \lambda_2 \text{ до } A$$

$$f = 2F_0$$

Ответ:  $2F_0$

2) Минимум освещенности будет тогда, когда  $M$  полностью входит в светлый пучок на расстоянии  $2F_0$ . При этом ток =  $I_1 = \frac{3}{4} I_0$ . Диаметр пучка (диаметр) =  $D$  ( $h_2 = \Delta$ )

$$\Rightarrow \frac{D^2}{D - D_M} \rightarrow \frac{I_0}{\frac{3}{4} I_0} \Rightarrow D_M = \frac{1}{2} D$$

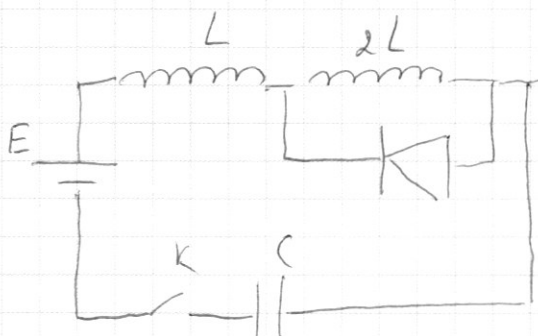
( $D_M$  - диаметр мишени)

За  $t_0$  мишень полностью "погрузилась" в светлый пучок  $\Rightarrow V = \frac{D_M}{t_0} = \frac{1}{2} \frac{D_M}{t_0}$

Ответ:  $V = \frac{1}{2} \frac{D_M}{t_0}$

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№4



1) Периад колебаний тока в катушке  $L_1$  будет состоять из суммы полупериодов двух колебательных контуров

Первый - с индуктивностью  $3L$ , второй - с  $L$   
Первый контур возникает, когда ток течёт по часовой стрелке, второй - когда ток течёт против часовой.

$$T = \frac{1}{2} 2\pi \sqrt{3LC} + \frac{1}{2} 2\pi \sqrt{LC} = \pi \sqrt{LC} (\sqrt{3} + 1)$$

Ответ:  $\pi \sqrt{LC} (\sqrt{3} + 1)$

2) Данная ситуация соответствует 1-ому контуру.  
При макс. токе напряжение на концах катушки = 0.

$$\Rightarrow q = CE$$

По 3.С.Э

$$Eq = \frac{q^2}{2C} + \frac{3L I_{M1}^2}{2}$$

$$CE^2 = \frac{CE^2}{2} + \frac{3L I_{M1}^2}{2}$$

$$\frac{CE^2}{2} = \frac{3L I_{M1}^2}{2} \quad I_{M1} = \sqrt{\frac{CE^2}{3L}} = E \sqrt{\frac{C}{3L}}$$

Ответ:  $E \sqrt{\frac{C}{3L}}$

3) Максимальный ток на катушке  $L_2$  будет во второй катушке. Напряжение на концах катушки = 0  $\Rightarrow q = CE$

№ 5 (продолжение)

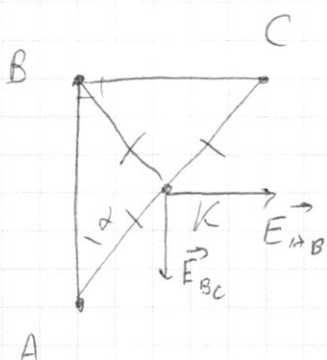
3) За  $t_0$  ~~шлях~~ <sup>линия</sup> прошла весь проем и начала выходить штилем из щели.

Путь, который прошла штилем  $l_{\text{ш}} = D$

$$\Rightarrow t_0 = \frac{D}{v} = \frac{D \cdot 2t_0}{D} = 2t_0$$

$$t_0 = 2t_0$$

Ответ:  $2t_0$



1) Напряженность от пластины BC направлена строго вертикально из-за симметрии.

Напряженность от AB - горизонтально

$$E_{AB} = E_{BC}, \text{ т.к. } AB = BC \text{ и } b_1 = b_2$$

$$\Rightarrow E_K = S_2 E_{BC}$$

$$\Rightarrow E_K \text{ в } S_2 \text{ раз.}$$

Ответ:  $S_2$

(Если AB - ширина пластины)

2) ~~Напряженность в точке K~~ ~~и~~ ~~на~~ ~~пластине~~

$$E_{AB} \perp AB \quad E_{BC} \perp BC$$

Напряженность от AB  $\sim \frac{1}{r}$ , где по сообр. симметрии

$r$  - расстояние от пластины (Если пластины бесконечны в 2 измерения, то ответ очевиден)

$$E_{AB} = \frac{b}{2\epsilon_0}, \quad E_{BC} = \frac{2b}{2\epsilon_0}$$

Предположим, что  $E_{AB} \sim \cos \alpha$

$$\text{Тогда } E_{AB} = \frac{b}{2\epsilon_0} \cdot \cos \alpha$$

$$E = \frac{5b}{2\epsilon_0}$$



### ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$E_{нв}(0) = \frac{\beta}{2\epsilon_0}$

$\frac{\beta}{2} \Delta R \Delta T = \frac{\beta}{2} \Delta R \Delta T \cdot n_1$

$p_2(V - V_1 + dV) - p_2(V - V_1) = p_2(V_1 - dV) - p_1 V_1$

$p_2 V - p_2 V_1 + p_2 dV - p_1 V_1 + p_1 V_1 = p_2 V_1 - p_2 dV - p_1 V_1$

$p_2 V - 2p_2 V_1 + 2p_2 dV + p_1 V_1 = 0$

$p_2(V - 2V_1 + 2dV) = -p_1 V_1$

$p_2(V - V_1 + dV) - p_1(V - V_1) = p_2(dV - V_1) + p_1 V_1$

$p_2 V - p_2 V_1 + p_2 dV - p_1 V + p_1 V_1 = p_2 dV - p_2 V_1 + p_1 V_1$

$831 - 1,5 \quad 1 - \cos^2 \alpha \quad D \quad \frac{I_0}{4}$

$831 \quad 15 \quad D - D_m \quad \frac{3}{4} I_0$

$41 \quad 55 \quad D - D_m = \frac{3}{4} \frac{I_0 D}{I_0}$

$831 \quad 1 \quad D_m = \frac{1}{4} D$

$1246,5 \quad D^2 \quad I_0$

$D^2 - D_m^2 = \frac{3}{4} D^2 \quad (D - D_m)^2 = \frac{3}{4} I_0$

$D_m^2 = \frac{1}{4} D^2 \quad (D - D_m)^2 = \frac{3}{4} D^2 \quad D_m = D(1 - \frac{\sqrt{3}}{2})$

$D_m = \frac{1}{2} D \quad D - D_m = \frac{\sqrt{3}}{2} D$

d3 (продолжение)

$$E_{AB} = \frac{\beta}{2\epsilon_0} \cos \alpha \quad E_{BC} = \frac{\beta}{\epsilon_0} \sin \alpha$$

$$E_k = \sqrt{\frac{\beta^2}{4\epsilon_0^2} \cos^2 \alpha + \frac{\beta^2}{\epsilon_0^2} \sin^2 \alpha}$$

$$E_k = \frac{\beta}{\epsilon_0} \sqrt{\frac{\cos^2 \alpha}{4} + \sin^2 \alpha}$$

$$E_k = \frac{\beta}{\epsilon_0} \sqrt{1 - \frac{3\cos^2 \alpha}{4}} \quad \alpha = \frac{\pi}{4}$$

Ответ:  $\frac{\beta}{\epsilon_0} \sqrt{1 - \frac{3\cos^2 \frac{\pi}{4}}{4}}$

(или  $E = \frac{5\beta}{2\epsilon_0}$  в зависимости от того, что имеется в виду в условии)

(Бесполезность в 2 измерения)



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ

«МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ)»

ШИФР

(заполняется секретарём)

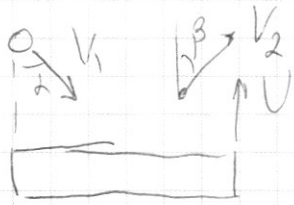
## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Large grid area for writing the answer.

черновик     чистовик  
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №\_\_  
(Нумеровать только чистовики)

### ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$$v_{\text{нел}} + v_{\text{отл}} = v_{\text{обс}} \cdot \vec{a}_{\text{нел}} + a_{\text{отл}}$$

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

$$V_2 = \frac{V_1 \sin \alpha}{\sin \beta}$$

$$\rho = \frac{\Delta RT}{V}$$

$$\frac{\Delta RT_1}{V_1} = \frac{\Delta RT_2}{V_2}$$



$$X^2 = V_1^2 + U^2 + 2UV \cos \alpha$$

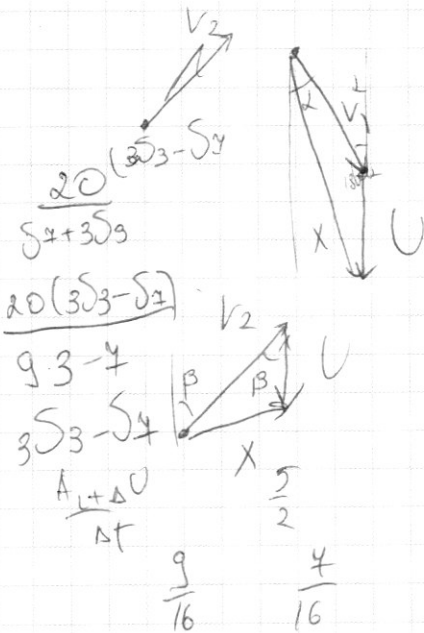
$$V_2 = \frac{V_1 \sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{8 \cdot 3 \cdot 2}{4} = 12 \text{ м/с}$$

$$X^2 = V_1^2 + U^2 + 2UV \cos \alpha$$

$$v_{\text{отл}} = v_{\text{обс}} - v_{\text{нел}}$$

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

$$\frac{3}{5} = \frac{V_1}{V_2}$$



$$X^2 = V_2^2 + U^2 - 2UV_2 \cos \beta$$

$$V_1^2 + U^2 + 2UV_1 \cos \alpha = V_2^2 + U^2 - 2UV_2 \cos \beta$$

$$2UV(\cos \alpha + \cos \beta) = V_2^2 - V_1^2$$

$$2U(V_1 \cos \alpha + V_2 \cos \beta) = V_2^2 - V_1^2 = 144 - 64 = 80$$

$$U = \frac{V_2^2 - V_1^2}{2(V_1 \cos \alpha + V_2 \cos \beta)} = \frac{80}{2(8 \cdot \frac{3}{4} + 12 \cdot \frac{3}{5})}$$

$$\frac{5}{4} = \cos \alpha \quad (T = 400 \text{ нс})$$

$$\cos \beta = \frac{3}{5}$$

$$\frac{1}{2} \rho (T - T_1) = \frac{1}{2} \rho (T_2 - T)$$

$$2T = T_2 + T_1$$

$$U = \frac{20}{5 \cdot 4 + 3 \cdot 5} \cdot \frac{20(5 \cdot 4 - 3 \cdot 5)}{4 - 9 \cdot 3}$$

$$2 \left( 8 \cdot \frac{5}{4} + 12 \cdot \frac{3}{5} \right) = \frac{80}{5 \cdot 4 + 3 \cdot 5}$$

$$P_2(V+dV) - P_1V = P_2(V-dV) - P_1V$$

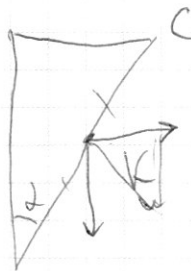
$$P_2V_2 - P_1V_1$$

DR DT

$$P_2V_2 - P_1V_1 = P_2V_2 - P_1V_1$$

$$P_2V + P_2dV - P_1V = B$$

$$= P_2V - P_2dV - P_1V$$



$$\frac{b^2}{4\epsilon_0^2} + \frac{b^2}{4\epsilon_0^2} = \frac{5b^2}{4\epsilon_0^2} = \frac{5b^2}{2\epsilon_0^2}$$

Угол в S2 пруго.

$$LI = 0$$

$$\frac{b^2}{\epsilon_0^2} + \frac{b^2}{4\epsilon_0^2} = \frac{5b^2}{4\epsilon_0^2} = \frac{5b^2}{2\epsilon_0^2}$$

$$\frac{4CE^2}{2} = \frac{CE^2}{2}$$

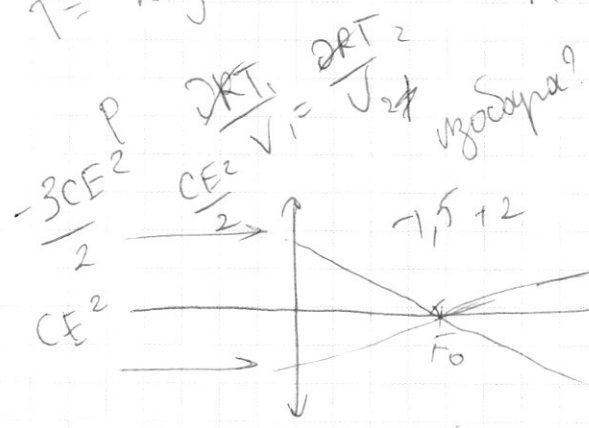
$$T = \frac{3L}{2\sqrt{3}C3L}$$

$$D = \frac{T_0}{4}$$

$$M = \frac{3}{4}T_0$$

$$\mu = \frac{3}{4} \frac{F_0 \cdot D}{F_0} = \frac{3}{4} D \frac{F_0}{F_0}$$

$$V = \frac{3D}{4T_0}$$



$$-E^2C = \frac{CE^2}{2} + \frac{2LI^2}{2}$$

$$V_1 = \frac{3}{8}V$$

$$Q_{O_2} = A_{O_2} + \Delta U_{O_2}$$

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

$$\frac{1}{2F_0} = \frac{1}{F_0} \Rightarrow f = 2F_0$$

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

$$A_{N_2} = -A_{O_2}$$

$$\frac{3}{5} = \frac{V_1}{V_2} \Rightarrow V(t_1 - t_0) = D$$

$$V_2 = \frac{5V_1}{3}$$

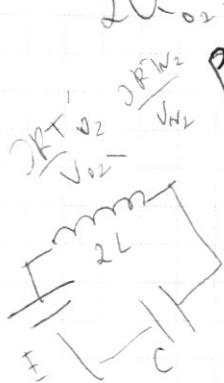
$$\frac{8V_1}{3} = V$$

$$2Q_{O_2} = 2$$

$$\frac{3D}{4t_0}(t_1 - t_0) = D$$

$$\frac{3t_1}{4t_0} = \frac{4}{3}$$

$$t_1 = \frac{4}{3}t_0$$



$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{8T_1}{2 \cdot 1.5}$$

$$\frac{3t_1}{4t_0} - \frac{3}{4} = 1$$

$$q = C\epsilon$$

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$$

$$Eq = \frac{q}{2C}$$

$$q = 2EC$$

$$Eq = \frac{CE^2}{2} +$$

$$CE^2 = \frac{CE^2}{2} + \frac{3LI^2}{2}$$