



# Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2022

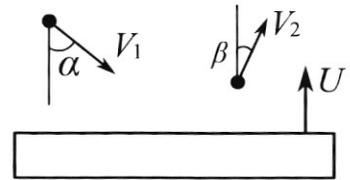
Класс 11

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.

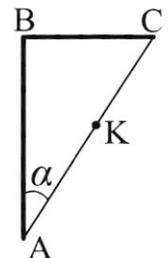


- 1) Найти скорость  $V_2$ .
  - 2) Найти возможные значения скорости плиты  $U$  при таком неупругом ударе.
- Действие силы тяжести за малое время удара не учитывать. Ответы допустимы через радикалы из целых чисел.

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?

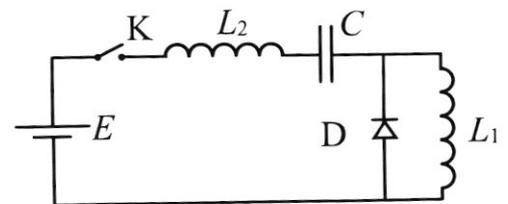
3. Две бесконечные плоские прямоугольные пластины АВ и ВС перпендикулярны друг к другу и образуют двугранный угол с ребром В. На рисунке показано сечение угла плоскостью, перпендикулярной ребру В.



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?

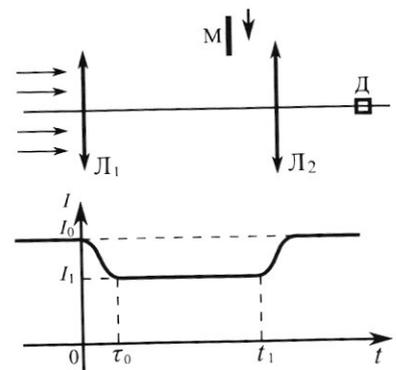
2) Пластины ВС и АВ заряжены положительно с поверхностной плотностью заряда  $\sigma_1 = 4\sigma$ ,  $\sigma_2 = \sigma$ , соответственно. Угол  $\alpha = \pi/8$ . Найти напряженность электрического поля в точке К на середине отрезка АС.

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 К 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 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  $5F_0/4$  от  $L_1$ . На рисунке показана зависимость тока  $I$  фотодетектора от времени  $t$  (секундомер включен в момент начала уменьшения тока).  $I_1 = 8I_0/9$ .

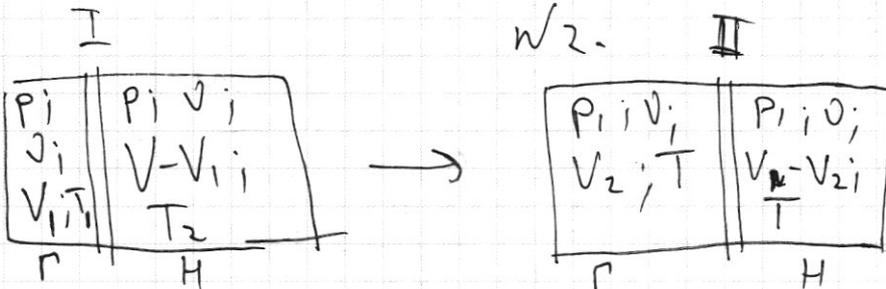


- 1) Найти расстояние между линзой  $L_2$  и фотодетектором.
- 2) Определить скорость  $V$  движения мишени. 3) Определить  $t_1$ .

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



## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



Объемные поршни медленные  $\Rightarrow a_H = 0 \Rightarrow$   
процесс равновесный; давления газов всегда  
равны из II з.Н.

1) Закон М-К для I:  $\begin{cases} p V_1 = \nu R T_1 \\ p(V - V_1) = \nu R T_2 \end{cases}$   $V$  - объем всего сосуда.  
 $V_1$  - объем левой части;  $p$  давление левой и правой  
части.  $\Rightarrow \frac{V_1}{V - V_1} = \frac{T_1}{T_2} = \frac{330}{440} = 0,75$ .

2) Закон М-К для II:  $\begin{cases} p_1 V_2 = \nu R T \\ p_1(V - V_2) = \nu R T \end{cases} \Rightarrow V_2 = V - V_2 \Rightarrow$   
 $\Rightarrow$  объем пополам.  $T$  - уст. темп.

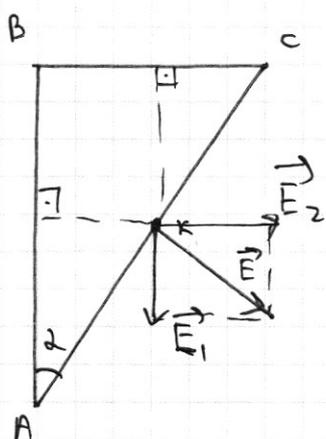
Давления всегда одинаковы, система тепло-  
изолирована  $\Rightarrow Q_1 + Q_2 = 0$  (полученные газа-  
ми теплоты)  $\Rightarrow A_1 + dU_1 = -A_2 - dU_2$  (из I. м.ч. Терм.)  
 $\delta A_1 = p dV_1 = \delta A_2 \Rightarrow A_1 + A_2 = 0$   $dV_1 = -dV_2 \Rightarrow A_1 + A_2 = 0 \Rightarrow$   
 $\Rightarrow dU_1 = -dU_2 \Rightarrow \frac{3}{2} \nu R (T - T_1) = \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T) \Rightarrow$   
 $\Rightarrow T = \frac{1}{2} (T_1 + T_2) = \frac{1}{2} (330 + 440) = 385 \text{ K}$

3) Спрашивается  $(-Q)$  меока.

$$Q_{\text{меока}} = \Delta U_{\text{меока}} = \frac{3}{2} \nu R (T - T_2) \Rightarrow -Q = \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T) =$$

$$= \frac{3}{2} \cdot \frac{\epsilon}{25} \cdot 8,31 (440 - 385) = 164,538 \text{ А м.}$$

Ответ: 1) 0,75; 2) 385 К; 3) 164,538 А м.



N3.

1) Пусть BC заряжена с  $+\sigma$

$$E_1 = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}; E_2 = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}. \text{ Попримем супер-}$$

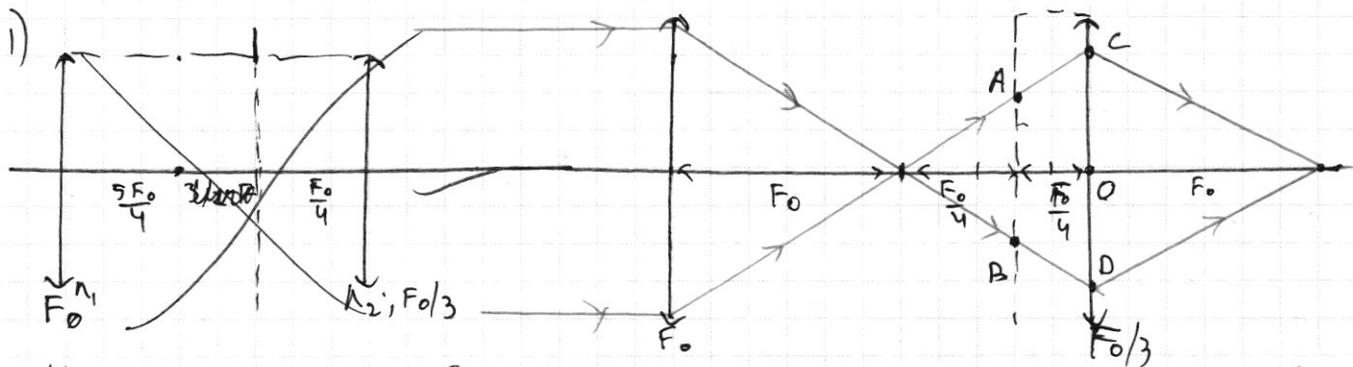
$$\text{поз., } \vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 \Rightarrow E = \sqrt{E_1^2 + E_2^2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow E = \sqrt{2} \cdot E_1. \quad \frac{E}{E_1} = \frac{\sqrt{2} E_1}{E_1} = \underline{1,41}$$

$$2) E_1 = \frac{\sigma_1}{2\epsilon_0} = \frac{2\sigma}{\epsilon_0}; E_2 = \frac{\sigma_2}{2\epsilon_0} = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}. E = \sqrt{E_1^2 + E_2^2} =$$

$$= \frac{\sqrt{17}\sigma}{2\epsilon_0}. \text{ Ответ: 1) 1,41; 2) } \frac{\sqrt{17}}{2} \cdot \frac{\sigma}{\epsilon_0}.$$

N4

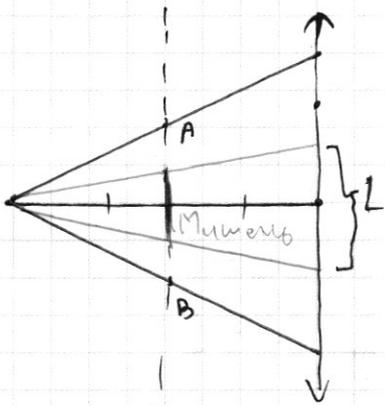


11-ый лучок содерётся в фокусе. От фокус  $N_1$  на расстоянии  $\frac{F_0}{2}$  от  $N_2$ . По обе точки миска  $\frac{3}{F_0} = \frac{2}{F_0} + f \Rightarrow f = F_0$ . После  $N_2$  лучи собираются

в  $f = F_0 \Rightarrow$  там фокус-ектор  $\Rightarrow f = F_0$

2)  $t \in (0; t_0]$ : М попадает на А. <sup>Зашла</sup>  
 $t \in [t_0; t_1]$ : М полностью ~~заходит~~ <sup>заходит</sup> за А,  
 идёт до В пока не коснётся нижней части.  
 $t \in t \geq t_1$ , М проходит через В.

Если  $\frac{I_1}{I_0} = \frac{8}{9}$ , то высота мшени  $h$ :  
 Пусть высота мшени  $h$ .



$$\frac{h}{L} = \frac{1}{2} \Rightarrow h = \frac{L}{2}$$

$$\frac{I_1}{I_0} = \frac{D-L}{D} \left( \frac{I_1}{I_0} \right) = \left( \frac{D-L}{D} \right) = \left( 1 - \frac{L}{D} \right)$$

$$\Rightarrow L = D \left( 1 - \left( \frac{I_1}{I_0} \right) \right) = \frac{1}{9} D \Rightarrow h = \frac{1}{18} D$$

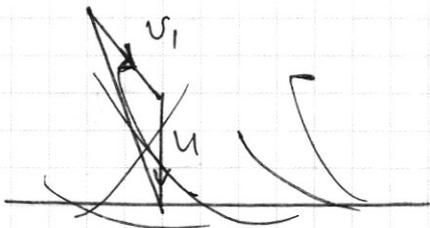
$$h = V \tau_0 \Rightarrow V = \frac{h}{\tau_0} = \frac{D}{18 \tau_0}$$

3)  $t_1 = \tau_0 + \frac{AB - 2h}{V}$ . АБ  $\frac{AB}{F_0/4} = \frac{D}{F_0} \Rightarrow AB = \frac{D}{4}$ .

$$t_1 = \tau_0 + \frac{\frac{D}{4} - \frac{1}{9} D}{\frac{D}{18 \tau_0}} \cdot 18 \tau_0 = 3,5 \tau_0$$

Н1.

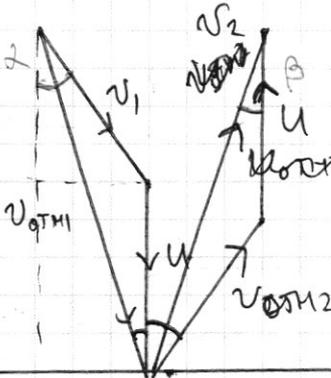
1) Плита массивная  $\Rightarrow U = \text{const} \Rightarrow$  С0 плиты является ИСО. перейдем в ИСО плиты.



По ЗСС  $\vec{v}_{отпл} = \vec{v}_1 - \vec{u}$

$v_{отпл1}$  и  $v_{отпл2}$  под одинаковым углом к вертикали.

$$\vec{v}_2 = \vec{u} + \vec{v}_{отпл2}$$



$v_1 \sin \alpha = v_2 \sin \beta$ , т.к. меняется только  $\perp$  сост. скорости

при ударе; сил & не гор.

оси мет. (не учитывать из условия)

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

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$\sqrt{(4x)^2 + (x)^2} = x\sqrt{16+1} = \sqrt{7}x$$

$$\frac{3}{2} - \frac{5}{4} = \frac{6}{4} - \frac{5}{4} = \frac{1}{4}$$

$$\frac{18}{4} = \frac{9}{2}$$

$$\frac{h}{L} = \frac{I_1}{I_0}$$

$$\frac{9-4}{9 \cdot 2} = \frac{5}{2} \frac{I_1}{I_0} = 1 - \frac{L}{D}$$

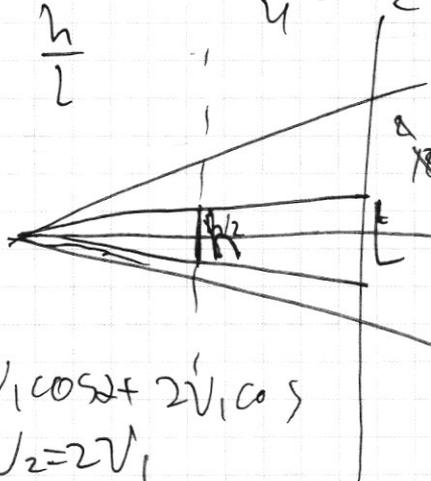
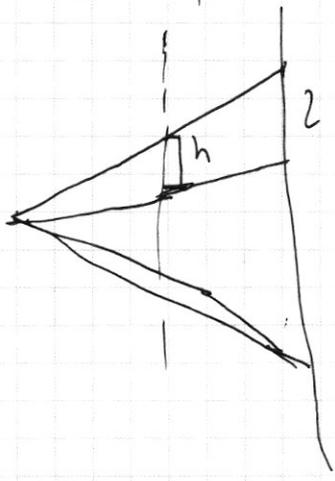
$$1 = \frac{I_1}{I_0} + \frac{L}{D}$$

$$D \left(1 - \frac{I_1}{I_0}\right) = \frac{L}{D}$$

$$L_0 + L_0 \cdot \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{9}\right) \cdot 18 = L_0 + L_0 \left(\frac{9}{2} - 2\right) = L_0 + L_0 \cdot \left(\frac{9-4}{2}\right) = 5L_0$$

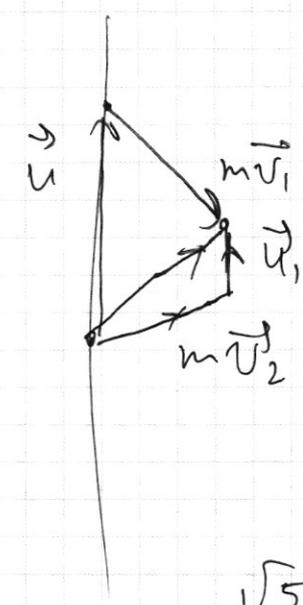
$$= L_0 + L_0 \cdot 2,5 = 3,5L_0$$

$$9 \cdot 6 = 54$$



$$v_1 \cos 52 + 2v_1 \cos \beta$$

$$v_2 = 2v_1$$



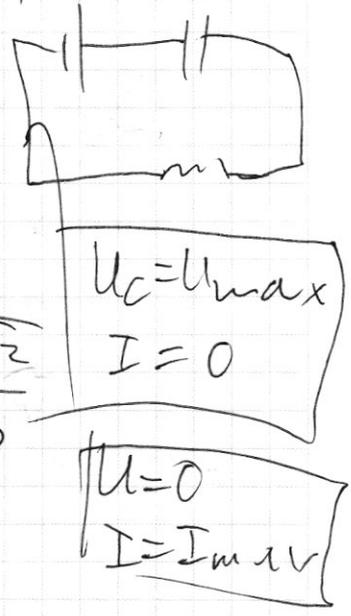
$$m(v_1 \cos 52 + 2v_1 \cos \beta)$$

$$4v_1^2$$

$$\cos 52 = \sqrt{1 - \frac{4}{9}} = \frac{\sqrt{5}}{3}$$

$$\cos \beta = \sqrt{1 - \frac{1}{9}} = \frac{\sqrt{8}}{3} = \frac{2\sqrt{2}}{3}$$

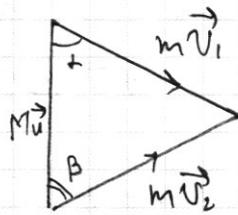
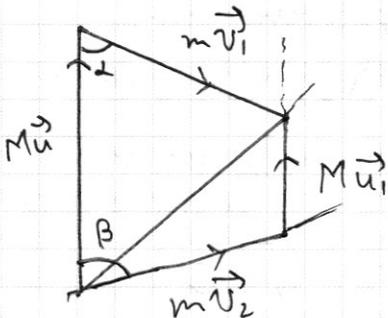
$$\frac{\sqrt{5}}{3} + \frac{2 \cdot 2\sqrt{2}}{3} = \frac{\sqrt{5} + 4\sqrt{2}}{3}$$



## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

По верт. оси выталкивается ЗСИ, т.к.  
по уал. за  $t \ll 1/g$  не учитываем.  $\Rightarrow$   
 $\Rightarrow m\vec{v}_1 + M\vec{u} = m\vec{v}_2 + M\vec{u}_1$

$u_1 \geq 0 \Rightarrow$  смотрим когда  $u_1 = 0$



$$Mu = m(v_1 \cos \alpha + v_2 \cos \beta)$$

$$Mu = m \frac{v_1}{\cos \alpha} (\cos \alpha + 2 \cos \beta)$$

$$u = \frac{m}{M} v_1 (\cos \alpha + 2 \cos \beta)$$

ЗУМЭ:  $\frac{mv_1^2}{2} + \frac{Mu^2}{2} = \frac{mv_2^2}{2} \Rightarrow v_1^2 + \frac{M}{m} \cdot u^2 = v_2^2$   
для системы

$$v_1^2 + \frac{M}{m} v_1^2 (\cos \alpha + 2 \cos \beta)^2 = v_2^2 = 4v_1^2$$

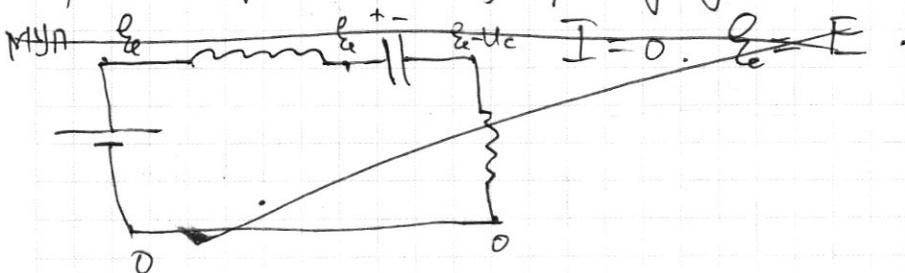
$$v_1^2 + \frac{m}{M} v_1^2 (\cos \alpha + 2 \cos \beta)^2 = v_2^2 \Rightarrow \frac{m}{M} = (v_2^2 - v_1^2) \cdot \frac{1}{v_1^2 (\cos \alpha + 2 \cos \beta)^2}$$

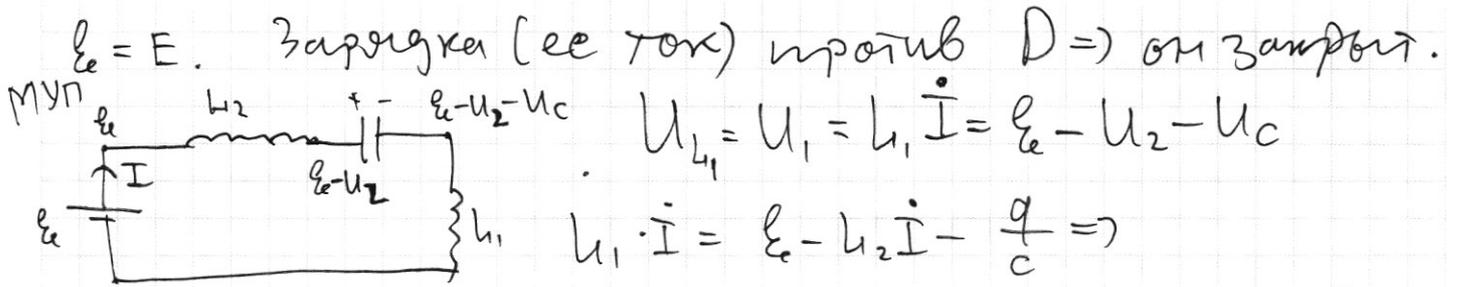
$$\frac{m}{M} = \frac{3v_1^2}{v_1^2 (\cos \alpha + 2 \cos \beta)^2} \Rightarrow u = \frac{3}{(\cos \alpha + 2 \cos \beta)^2} \cdot (\cos \alpha + 2 \cos \beta) \cdot v_1$$

$$u \geq \frac{3v_1}{\cos \alpha + 2 \cos \beta} \Rightarrow u \geq \frac{3 \cdot 6 \cdot 3}{\sqrt{5} + 4\sqrt{2}} \Rightarrow u \geq \frac{54}{\sqrt{5} + 4\sqrt{2}}$$

Ответ: 1) 12 м/с; 2)  $u \geq \frac{54}{\sqrt{5} + 4\sqrt{2}}$  м/с  
лч.

1) Смотрим зарядку конденсатора (конец)

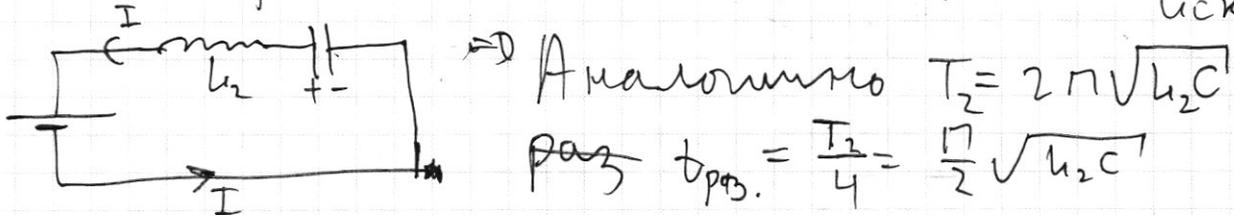




$\Rightarrow (L_1 + L_2) \ddot{I} + \frac{q}{C} = \mathcal{E} \Rightarrow \ddot{q} + \frac{1}{(L_1 + L_2)C} \cdot q = \frac{\mathcal{E}}{C} \Rightarrow$  по ур-ю гармон. колеб.  $\omega^2 = \left(\frac{1}{(L_1 + L_2)C}\right) \Rightarrow T_1 = 2\pi \sqrt{(L_1 + L_2)C}$ .

Зарядка прекращается в течение  $t_{\text{зар}} = \frac{T_1}{4} = \frac{\pi}{2} \sqrt{(L_1 + L_2)C}$

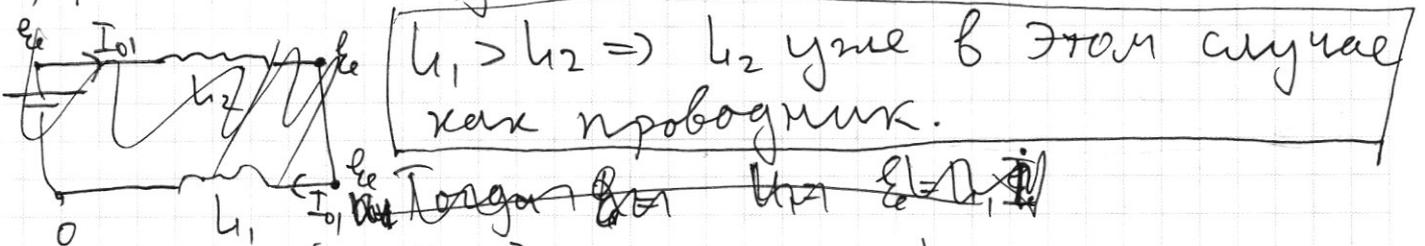
~~Разрядка.~~ Как только  $C$  зарядится,  $I = 0$ . Во время разрядки  $I$  против  $D$  течет в направлении  $D \Rightarrow$  он открыт.  $\Rightarrow L_1$  можно исключить



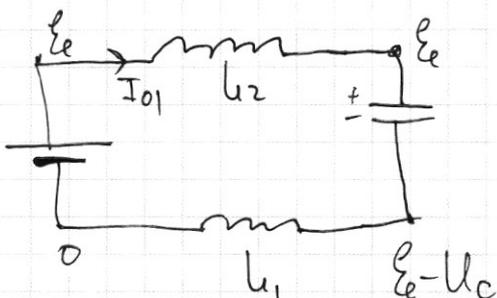
$T = 2(t_{\text{раз}} + t_{\text{зар}}) = \pi(\sqrt{L_2 C} + \sqrt{(L_1 + L_2)C})$

$T = \pi(\sqrt{2L_2 C} + \sqrt{5L_2 C}) = \pi(\sqrt{2} + \sqrt{5}) \cdot \sqrt{L_2 C}$

2) Макс ток когда  $U_C = 0$  и зарядки



ЗСЭ:  $A_{\mathcal{E}} = \frac{(L_2 + L_1) I_{01}^2}{2} \Rightarrow I_{01} = \left(\frac{2A_{\mathcal{E}}}{L_2 + L_1}\right)^{1/2}$ .  $A_{\mathcal{E}} = q_c \mathcal{E}$



$\mathcal{E} - U_C = L_1 \dot{I}_{01} \rightarrow 0 \Rightarrow \mathcal{E} = U_C$ .

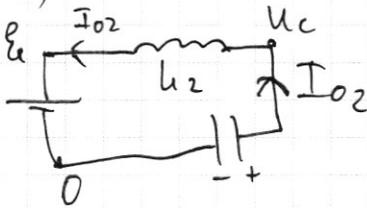
ЗСЭ:  $A_{\mathcal{E}} = \frac{(L_2 + L_1) I_{01}^2}{2} + \frac{C \mathcal{E}^2}{2}$ .

$A_{\mathcal{E}} = q_c \mathcal{E} = C \mathcal{E}^2 \Rightarrow \frac{C \mathcal{E}^2}{2} = \frac{(L_2 + L_1) I_{01}^2}{2}$

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$\Rightarrow I_{01}^2 = \frac{C \mathcal{E}^2}{L_1 + L_2} \Rightarrow I_{01} = \mathcal{E} \sqrt{\frac{C}{5L_4}} = E \cdot \sqrt{\frac{C}{5L_4}}$$

3)  $\dot{U}_C = 0$  и разрядки:



$$U_C - \mathcal{E} = L_2 \dot{I} \Rightarrow U_C = \mathcal{E}$$

$$A_{\mathcal{E}} = \frac{L_2 I_{02}^2}{2} + \frac{C \mathcal{E}^2}{2}; \quad A_{\mathcal{E}} = C \mathcal{E}^2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{C \mathcal{E}^2}{2} = \frac{L_2 I_{02}^2}{2} \Rightarrow I_{02} = \mathcal{E} \sqrt{\frac{C}{L_2}} = E \sqrt{\frac{C}{2L_4}}$$

Ответ: 1)  $\pi(\sqrt{2} + \sqrt{5}) \sqrt{L_4 C}$ ; 2)  $E \sqrt{\frac{C}{5L_4}}$ ; 3)  $E \sqrt{\frac{C}{2L_4}}$ .

1	2
P	P
T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>

$$\delta Q = p dV$$

$$V = V_1 + S \cdot x$$

$$p = \frac{\partial RT_1}{V}$$

$$\left( \frac{\partial x}{\partial V} \right)^T = S$$

$$\delta Q = \frac{5}{2} p dV + \frac{3}{2} V dp = \frac{5}{2} \cdot \frac{\partial RT_1}{V} \cdot S dV + \frac{3}{2} \frac{V \cdot dT_1}{dT_1} \cdot \frac{\partial RT_1}{V}$$

$$dT_1 = -dT_2$$

~~$$U_1 + U_2 =$$~~ 
$$\frac{3}{2} UR (T_1 + T_2) =$$

$$T_1 + T_2 = T_1' + T_2' \quad \approx 11$$

$$\frac{3}{2} \cdot \frac{6}{25} \cdot 8,31 \cdot (330 \cdot 385 - 330)$$

$$\frac{3 \cdot 6 \cdot 831 \cdot 11}{10 \cdot 100} = \frac{198 \cdot 831}{1000}$$

```

  8
 11
 18
 18
 198
  2
 831
x 198
 6648
 7479
 831
 164538

```

$$\boxed{dT_1 = -dT_2}$$

$$p dV + V dp = \nu R dT$$

$$\delta Q_{\mu} = p dV_2 + \frac{3}{2} \nu R dT_2 \quad p = \frac{\nu R T}{S \cdot x}$$

$$\delta Q_{\mu} =$$

$$\delta Q_p = p dV_1 + \frac{3}{2} \nu R dT_1 = \nu R \cdot T_1 \cdot \frac{dV_1}{V} + \frac{3}{2} \nu R T_1$$

$$\frac{3}{2} \cdot \frac{8^3}{5^{25}} \cdot \frac{831}{100} \cdot 55 \cdot 11 - \frac{2 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 831 \cdot 11}{5 \cdot 1000} = \frac{9141 \cdot 18}{1000}$$

$$\begin{array}{r} 831 \\ \times 11 \\ \hline 831 \\ 831 \\ \hline 9141 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 9141 \\ \times 18 \\ \hline 73128 \\ 9141 \\ \hline 164538 \end{array}$$

$$E = \sqrt{x^2 + x^2} = \sqrt{2}x$$

$$\boxed{I \sim S}$$

$$\frac{I_1}{I_2} \sim \frac{S_1}{S_2} \sim \frac{r_1^2}{r_2^2}$$

$$\left(\frac{I_1}{I_0}\right)^{\frac{1}{2}} = \frac{D-L}{D}$$

$$\frac{I_1}{I_0} = \left(\frac{D-L}{D}\right)^2$$

$$\frac{I_1}{I_0} = \left(1 - \frac{L}{D}\right)^2 \Rightarrow \left(\frac{I_1}{I_0}\right)^{\frac{1}{2}} = 1 - \frac{L}{D}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

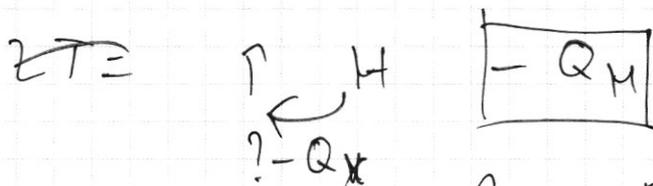
$$\frac{V_1}{V-V_1} = \frac{T_1}{T_2} = \frac{33}{44} = \frac{3 \cdot 11}{4 \cdot 11}$$

$$\frac{33}{44} = \frac{3}{4}$$

$$\begin{array}{r} 770 \overline{) 2} \\ 385 \\ \hline 677 \\ \hline 16 \end{array}$$

$$Q = A_1 + dU_1 = -A_2 - dU_2 \Rightarrow \int R(-T + T_1) = \int R(T - T_2)$$

$$T - T_1 = -T + T_2 \quad | \quad 770/2 = 385$$



$$A_1 = -A_2$$

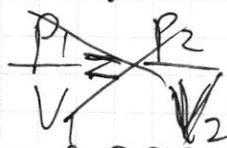
$$Q_H = \delta A_H + dU_H$$

$$Q_M = A_1 + dU_M$$

$$Q_2 = \delta A_2 + dU_2$$

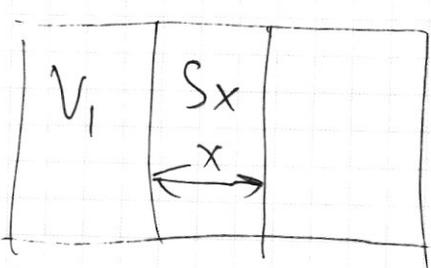
$$Q_R = -A_1 + dU_R$$

$$U_1 + U_2 = U_1' + U_2'$$



$$Q_M =$$

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



$$P_1 V_1 = \int R T_1$$

$$P_2 (V_1 + Sx) = \int R T_2$$

$$P_1 (V - V_1) = \int R T_3$$

ЛИТКО-ПИСЬМЕННИК