

Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2022

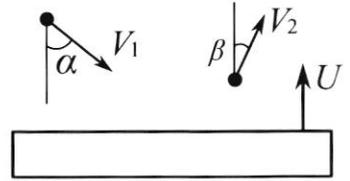
Класс 11

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

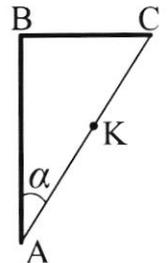


- 1) Найти скорость V_2 .
 - 2) Найти возможные значения скорости плиты U при таком неупругом ударе.
- Действие силы тяжести за малое время удара не учитывать. Ответы допустимы через радикалы из целых чисел.

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).

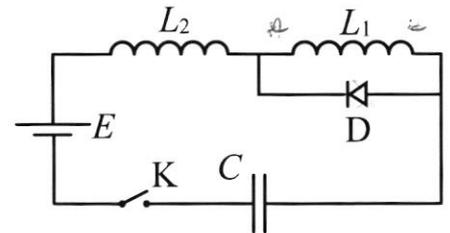
- 1) Найти отношение начальных объемов водорода и азота.
- 2) Найти установившуюся температуру в сосуде.
- 3) Какое количество теплоты передал азот водороду?

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.



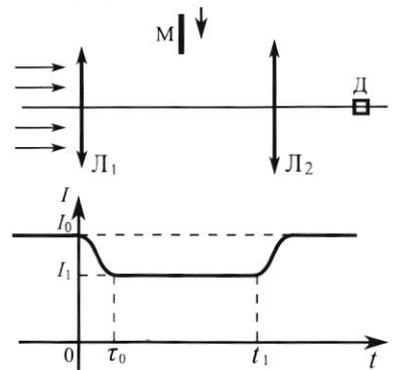
- 1) Пластина ВС заряжена с постоянной поверхностной плотностью заряда. Угол $\alpha = \pi/4$. Во сколько раз увеличится напряженность электрического поля в точке К на середине отрезка АС, если пластину АВ тоже зарядить с такой же поверхностной плотностью заряда?
- 2) Пластины ВС и АВ заряжены положительно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

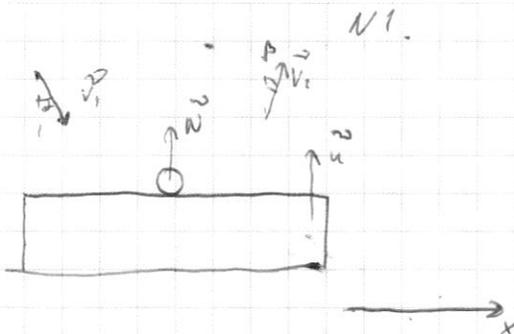
5. Оптическая система состоит из двух соосных тонких линз L_1 и L_2 (см. рис.) с фокусными расстояниями $3F_0$ и F_0 , соответственно. Расстояние между линзами $2F_0$. Диаметры линз одинаковы и равны D , причем D значительно меньше F_0 . На линзу L_1 падает параллельно оси системы пучок света с одинаковой 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 , τ_0 .

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



На ось x не действует внешних сил.

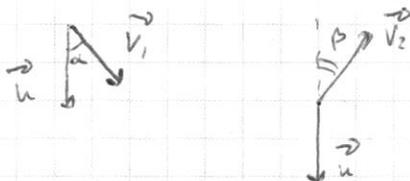
Затем закон сохранения импульса.

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

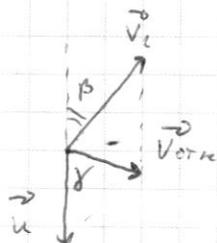
$$1) V_2 = \frac{V_1 \sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{20 \frac{1}{2}}{\frac{1}{3}} = 18 \text{ м/с}$$

2) Перейдем в СО шара.

$$\vec{V}_{отн} = \vec{V}_{обс} - \vec{u}$$



При ~~большой~~ скорости шара шарик может не отскочить от шара.



Относительная скорость должна быть под углом γ к вертикали, причем

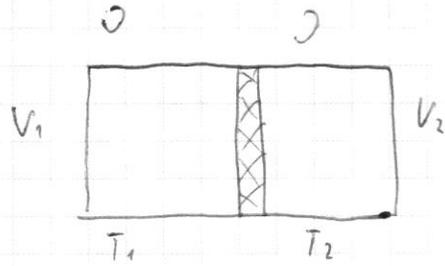
$$\gamma \in (90^\circ; 180^\circ)$$

$$\text{при } \gamma = 90^\circ \quad V_2 \cos \beta = u$$

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

$$u = \frac{2\sqrt{2}}{3} \cdot 18 = 12\sqrt{2} \text{ м/с}$$

Значит $u < 12\sqrt{2} \text{ м/с}$



1) $P_0 V_1 = \nu R T_1$

$P_0 V_2 = \nu R T_2$

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2} = \frac{350}{550} = \frac{7}{11}$$

2) $U_1 = \frac{i}{2} \nu R T_1$

$U_2 = \frac{i}{2} \nu R T_2$

$U_3 = \frac{i}{2} \nu R T_3 + \frac{i}{2} \nu R T_3$

$U_1 + U_2 = U_3$

↓

$T_1 + T_2 = 2T_3$

$$T_3 = \frac{T_1 + T_2}{2} = \frac{350 + 550}{2} = 450 \text{ K}$$

3) ~~Q = \nu R (T_3 - T_1)~~

~~$Q = \nu R (T_3 - T_1)$~~

~~$P_3 V_3 = \nu R T_3$~~

~~$V_1 + V_2 = 2V_3$~~

~~$V_1 = \frac{7}{11} V_2$~~

~~$\frac{18}{11} V_2 = 2V_3$~~

~~$V_3 = \frac{9}{11} V_2$~~

~~$V_2 = \frac{11}{9} V_3$~~

~~$V_1 = \frac{7}{9} V_3$~~

~~$$Q = \frac{5}{2} \nu R (T_3 - T_1) =$$

$$= \frac{5}{2} \cdot 3 \cdot 100 \cdot 8,31 =$$

$$= \frac{1500}{2} \cdot 8,31 = 1270 \text{ Дж}$$~~

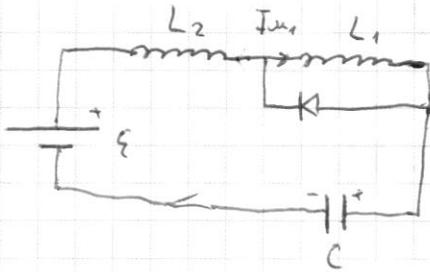
$$Q = \frac{5}{2} \nu R (T_3 - T_1) =$$

$$= 1270 \text{ Дж}$$

~~$$\begin{array}{r} 831 \cdot 1500 \\ 200 \quad 1,18 \\ 1370 \\ 200 \\ \hline 6100 \end{array}$$~~

~~$$\begin{array}{r} 1500 \cdot 8,31 \\ 1,18 \\ 15 \\ 590 \\ 1,18 \\ \hline 1270 \end{array}$$~~

N4.



$$L_1 = 4L$$

$$L_2 = 3L$$

1) $L_{\text{одн}} = L_1 + L_2 = 7L$

$$\omega^2 = \frac{1}{7LC}$$

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{7LC}}$$

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi\sqrt{7LC}$$

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi\sqrt{7LC}$$

2) $\mathcal{E}_{L2} = 0$
 $\mathcal{E}_{L1} = 0$, $m, u \quad I = 0$

$$U_C = \mathcal{E}$$

$$q = C\mathcal{E}$$

$$A_{\text{ист}} = \delta W_C + \delta W_L$$

$$A_{\text{ист}} = C\mathcal{E}^2$$

$$\delta W_C = \frac{C\mathcal{E}^2}{2}$$

$$\delta W_L = \frac{3LI_1^2}{2} + \frac{4LI_1^2}{2} = \frac{7LI_1^2}{2}$$

$$C\mathcal{E}^2 = \frac{C\mathcal{E}^2}{2} + \frac{7LI_1^2}{2}$$

$$\frac{C\mathcal{E}^2}{2} = \frac{7LI_1^2}{2}$$

$$C\mathcal{E}^2 = 7LI_1^2$$

$$I_1^2 = \frac{C\mathcal{E}^2}{7L}$$

$$I_1 = \mathcal{E} \sqrt{\frac{C}{7L}}$$

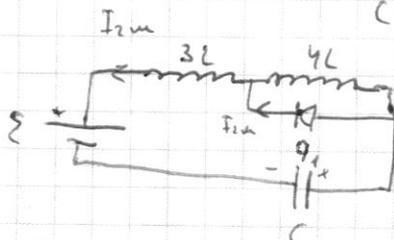
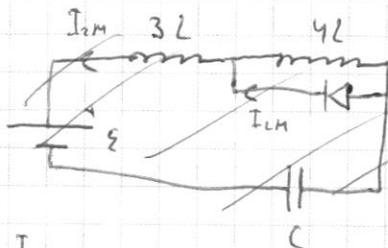
1) Когда ток уже по распада колебание происходит в L_2 и L_1 .
 $T_1 = 2\pi\sqrt{7LC}$

Когда ток уже прошел распада колебание происходит только в L_2 .
 $T_2 = 2\pi\sqrt{3LC}$

$$T_0 = \frac{T_1 + T_2}{2} =$$

$$1) = \frac{2\pi}{\sqrt{LC}} (\sqrt{7LC} + \sqrt{3LC})$$

3)



$$\mathcal{E}_{L2} = 0$$

$$\mathcal{E}q_1 = \frac{q_1^2}{2C}$$

$$2C\mathcal{E} = q_1$$

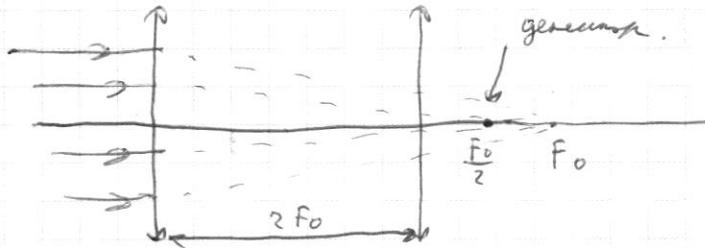
$U_{\text{стат}} = 2\mathcal{E}$ - амплитудное напряжение

$$\mathcal{E}_{3L} = 0$$

$$\mathcal{E}_{4L} = 0$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

N5.



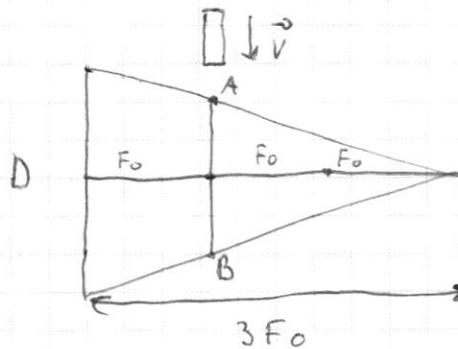
1) Параллельный луч идет в направлении
фокуса $3f_0$.

это можно использовать для линзы L_2 .

$$-\frac{1}{f_0} + \frac{1}{f} = \frac{1}{f_0}$$

$$f = \frac{f_0}{2}$$

2)



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

Если ток $I_1 = \frac{5}{9} I_0$, то зрени
линии зрени $\frac{4}{9} AB$.

Тогда за T_0 она зрени $\frac{4}{9} AB$

$$\frac{4}{9} AB = \frac{2 \cdot 4}{3 \cdot 9} D = \frac{8}{27} D$$

$$v = \frac{8D}{27T_0} \quad \boxed{v = \frac{8D}{27T_0}}$$

3) I_1 не изменился, когда

линии была количеством на отрезке AB

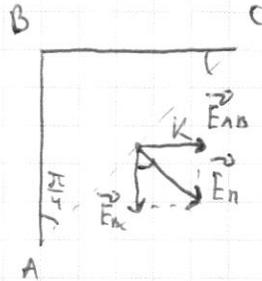
Тогда за t_1 линии зрени AB

$$t_1 = \frac{AB}{v} = \frac{2D \cdot 27T_0}{3 \cdot 8 \cdot D} = \frac{9}{4} T_0$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№3

1)



$$AB = BC$$

$$E_{BC} = \frac{q}{2\epsilon_0}$$

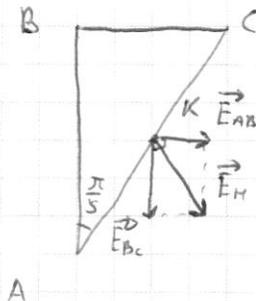
$$E_{AB} = \frac{q}{2\epsilon_0}$$

$$\vec{E}_H = \vec{E}_{AB} + \vec{E}_{BC}$$

$$E_H \cdot \cos \frac{\pi}{4} = E_{BC}$$

$$\boxed{\frac{E_H}{E_{BC}} = \frac{1}{\cos \frac{\pi}{4}} = \sqrt{2}}$$

2)



$$E_{BC} = \frac{3q}{2\epsilon_0}$$

$$E_{AB} = \frac{q}{2\epsilon_0}$$

$$\vec{E}_{AB} + \vec{E}_{BC} = \vec{E}_H$$

$$E_H = \sqrt{\frac{9q^2}{4\epsilon_0^2} + \frac{q^2}{4\epsilon_0^2}} =$$

$$= \boxed{\frac{q}{2\epsilon_0} \sqrt{10}}$$

3)

$$U_{C2} = \varepsilon$$

~~$$q_2 = C\varepsilon$$~~

~~$$A_{\text{ист}} = \delta W_C + \delta W_L$$~~

~~$$\varepsilon(q_2 - q_1) =$$~~

~~$$\delta W_C = \frac{C\varepsilon^2}{2} - \frac{Cq_1^2}{2}$$~~

~~$$U_{C2} = C\varepsilon \quad U_{C1} = \varepsilon \quad q_{C1} = C\varepsilon$$~~

~~$$A_{\text{ист}} = \delta W_C + \delta W_L$$~~

~~$$A_{\text{ист}} = C\varepsilon^2 \quad I_{L1} = 0$$~~

~~$$\delta W_C = \frac{C\varepsilon^2}{2}$$~~

~~$$\delta W_L = \frac{3LI_2^2}{2}$$~~

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

~~$$\frac{C\varepsilon^2}{2} = \frac{3LI_2^2}{2}$$~~

~~$$C\varepsilon^2 = 3LI_2^2$$~~

~~$$I_2^2 = \frac{C\varepsilon^2}{3L}$$~~

~~$$I_2 = \varepsilon \sqrt{\frac{C}{3L}}$$~~

1.)

~~Когда ток течет по катушке, то ток происходит~~

~~колебания с частотой $\omega_1 = \frac{1}{\sqrt{L+C}}$ $= \frac{1}{\sqrt{3LC}}$~~

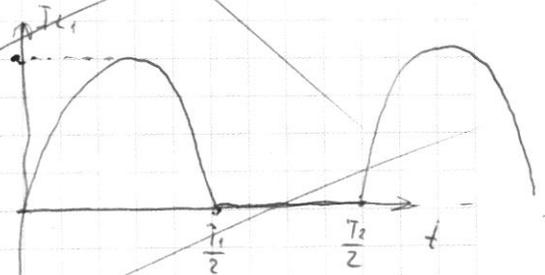
~~Когда ток течет по катушке и конденсатору~~

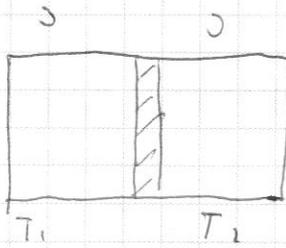
~~колебания будут в 2-х разов больше, поэтому $\omega_2 = \frac{1}{\sqrt{3LC}}$~~

~~$$T_1 = \frac{2\pi}{\omega_1} = 2\pi\sqrt{3LC}$$~~

~~$$T_2 = \frac{2\pi}{\omega_2} = 2\pi\sqrt{3LC}$$~~

~~$$\text{Погда } T_{\text{осл}} = \frac{T_1 + T_2}{2} = \pi(\sqrt{3LC} + \sqrt{3LC})$$~~





$$p_1 V_1 = \nu R T_1$$

$$p_1 V_2 = \nu R T_2$$

$$\text{r) } \frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

$$\text{r) } U_1 = \frac{5}{2} \nu R T_1$$

$$\nu R T_1 + \nu R T_2 = 2 \nu R T_3$$

$$U_2 = \frac{5}{2} \nu R T_2$$

$$T_3 = \frac{T_1 + T_2}{2}$$

$$U_3 = \frac{5}{2} \nu R T_3 + \frac{5}{2} \nu R T_3$$

s)

$$Q = \Delta U + A$$

$$\Delta U = \frac{5}{2} \nu R (T_3 - T_1)$$

$$A = p \Delta V$$

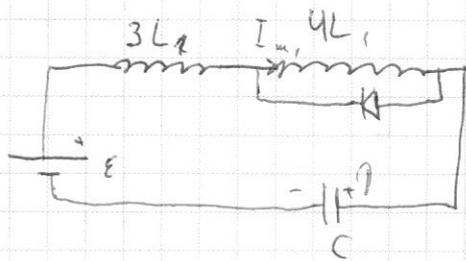
$$Q = C_{\Delta T} = \frac{5R}{2} \cdot (T_3 - T_1) \nu$$

$$\omega^2 = \frac{1}{LC}$$

$$L_0 = 3L$$

$$\omega^2 = \frac{1}{4LC}$$

$$\text{r) } \omega = \frac{1}{\sqrt{2LC}}$$



u)

$$\varphi_{L_1} = 0$$

$$\varphi_{L_2} = 0$$

$$U_C = \varepsilon$$

$$q = C\varepsilon$$

$$A_{\text{ист}} = \Delta W_L + \Delta W_C$$

$$C\varepsilon^2$$

$$\Delta W_C = \frac{1}{2} C\varepsilon^2$$

$$A_{\text{ист}} = C\varepsilon^2 - \frac{1}{2} C\varepsilon^2 = \frac{1}{2} C\varepsilon^2$$

$$C\varepsilon^2 = \frac{3L I^2}{2} + \frac{4L I^2}{2}$$

$$\frac{C\varepsilon^2}{2} = \frac{7L I^2}{2}$$

$$C\varepsilon^2 = 7L I^2$$

$$I^2 = \frac{C\varepsilon^2}{7L}$$

$$I = \varepsilon \sqrt{\frac{C}{7L}}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Handwritten solution for a physics problem involving momentum and energy.

Diagram 1: A rectangular block with a particle of mass m moving vertically downwards with velocity v . A coordinate system (x, y) is shown with x horizontal and y vertical. A velocity vector V_1 is shown at an angle α to the horizontal. A velocity vector V_2 is shown at an angle β to the horizontal. A graph shows pressure P versus velocity V with points P_0, P_1, P_2 and V_1, V_2, V_3 .

Equations:

$$-mV_1 \cos \alpha = mV_2 \cos \beta$$

$$|V_2| = V_1 \frac{\cos \alpha}{\cos \beta}$$

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

1) $V_2 = V_1 \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = V_1 \cdot \frac{1/2}{1/3} = V_1 \cdot \frac{3}{2} = 1.8 \text{ м/с}$

$P_{\text{из}} = 0$ (измеряется).

$$V_{\text{отн}} = \vec{V}_{\text{отн}} - \vec{V}_c = \vec{V}_1 - \vec{u}$$

Diagram 2: A particle of mass m moving with velocity u downwards. A velocity vector V_1 is shown at an angle α to the horizontal. A velocity vector V_2 is shown at an angle β to the horizontal. A graph shows pressure P versus velocity V .

Equations:

$$P_{1y} = m(u + V_1 \cos \alpha)$$

$$P_{2y} = m(V_2 \cos \beta - u)$$

$E_{\text{ис}} = \frac{G}{2\epsilon_0}$

$E_{\text{ис}} = E_k$

$$E_{\text{AB}} = \frac{G}{2\epsilon_0}$$

2) $E_{\text{ис}} = \frac{3G}{2\epsilon_0}$

$$E_{\text{AB}} = \frac{G}{2\epsilon_0}$$

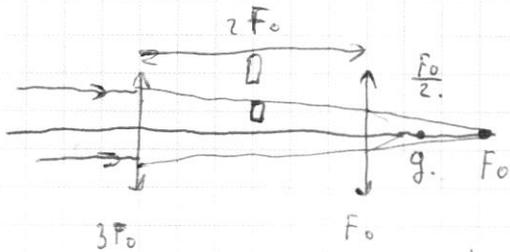
1) $E_{\text{полн}} = \sqrt{\frac{6^2}{4\epsilon_0^2} + \frac{6^2}{4\epsilon_0^2}}$

$$= \sqrt{\frac{2G^2}{4\epsilon_0^2}} = \frac{G}{2\epsilon_0} \sqrt{2}$$

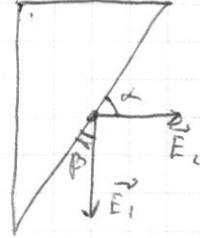
NS

$$3G = \frac{Q_1}{S}$$

$$G = \frac{Q_2}{S}$$



3G
Q₂



$$S_1 = AB \cdot x$$

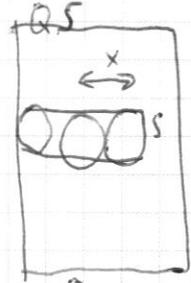
$$S_2 = ABC \cdot x$$

$$f_y \frac{x}{S} = \frac{BC}{AB}$$

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

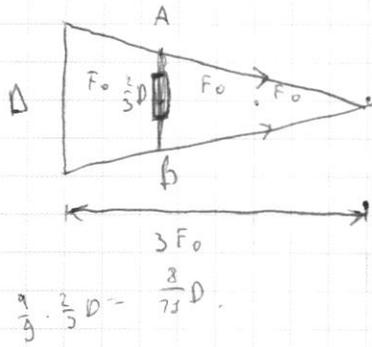
$$\frac{2}{F_0} = \frac{1}{F}$$

$$f) \quad \boxed{F = \frac{F_0}{2}}$$

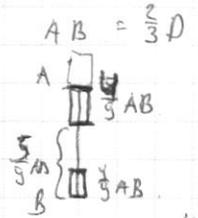


$$2ES = \frac{Q}{\epsilon_0}$$

$$E = \frac{Q}{2\epsilon S} = \frac{G}{2\epsilon S}$$



$$I_1 = \frac{5}{3} I_0$$



за τ₀ миссия
норма 1/3 AB

$$\frac{4}{9} AB = \frac{4 \cdot 2}{3 \cdot 3} D = \frac{8}{27} D$$

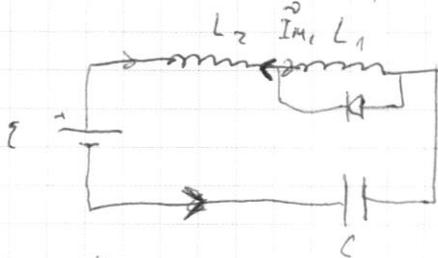
$$\boxed{V = \frac{\frac{4}{9} AB}{\tau_0} = \frac{8D}{27\tau_0}}$$

$$L \frac{dI}{dt} = 0$$

$$I = \text{const}$$

3L
" " 4L

NY



$$\omega^2 = \frac{1}{2LC}$$

за t₁ норма AB = 2/3 D

$$t_1 = \frac{2/3 D}{V} = \frac{8D}{27\tau_0} \cdot \frac{27\tau_0}{8D} = \frac{4}{9} \tau_0$$

$$\frac{4}{9} \tau_0 = 16 \text{ } \mu\text{s}$$

20

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

N1.

$Wu = v_1 \cos \alpha = Wu + v_2 \cos \beta$

$v_2 \cos \beta = u$
 $u < v_2 \cos \beta$
 $\cos \beta = \frac{2\sqrt{2}}{3}$
 $v_1 = 12 \text{ м/с}$
 $v_2 = 18 \text{ м/с}$
 $\frac{18 \cdot 2\sqrt{2}}{3} = 12\sqrt{2}$
 $u < 12\sqrt{2}$

$P_1 = v_1 \cos \alpha = u) m$
 $P_2 = (v_2 \cos \beta - u) m$

N3.

$v_1 \cos \alpha = 6 \text{ м/с} = v_2 \cos \beta$
 $\sin \alpha = \frac{\sqrt{3}}{2}$
 $\cos \beta = \frac{\sqrt{3}}{3} = \frac{2\sqrt{2}}{3}$
 $\frac{u}{v_1}$

?)