

Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2022

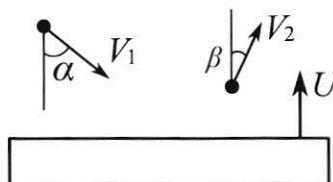
Класс 11

Вариант 11-04

Шифр

(заполняется секретарём)

1. Массивная плита движется с постоянной скоростью U вертикально вверх. К плите подлетает шарик, имеющий перед ударом скорость $V_1 = 18$ м/с, направленную под углом α ($\sin \alpha = \frac{2}{3}$) к вертикали (см. рис.). После неупругого удара о гладкую горизонтальную поверхность плиты шарик отскакивает со скоростью V_2 , составляющей угол β ($\sin \beta = \frac{3}{5}$) с вертикалью.

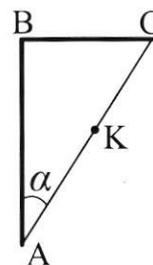


- 1) Найти скорость V_2 .
- 2) Найти возможные значения скорости плиты U при таком неупругом ударе. Действие силы тяжести за малое время удара не учитывать. Ответы допустимы через радикалы из целых чисел.

2. Цилиндрический теплоизолированный горизонтально расположенный сосуд разделен на два отсека теплопроводящим поршнем, который может перемещаться горизонтально без трения. В первом отсеке находится аргон, во втором – криптон, каждый газ в количестве $\nu = 3/5$ моль. Начальная температура аргона $T_1 = 320$ К, а криптона $T_2 = 400$ К. Температуры газов начинают медленно выравниваться, а поршень начинает медленно двигаться. Оба газа одноатомные, газы считать идеальными. $R = 8,31$ Дж/(моль К).

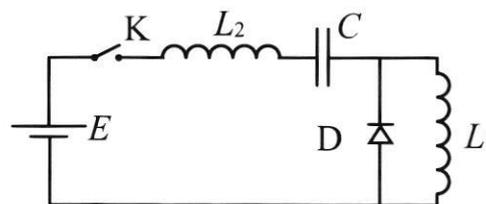
- 1) Найти отношение начальных объемов аргона и криптона.
- 2) Найти установившуюся температуру в сосуде.
- 3) Какое количество теплоты передал криптон аргону?

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.



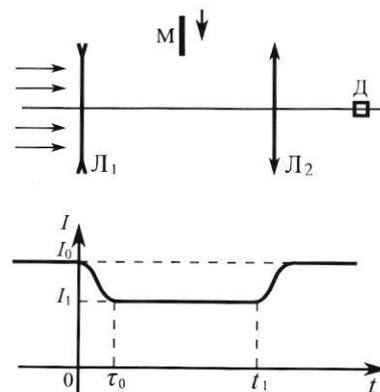
- 1) Пластина ВС заряжена с постоянной поверхностной плотностью заряда. Угол $\alpha = \pi/4$. Во сколько раз увеличится напряженность электрического поля в точке К на середине отрезка АС, если пластину АВ тоже зарядить с такой же поверхностной плотностью заряда?
- 2) Пластины ВС и АВ заряжены положительно с поверхностной плотностью заряда $\sigma_1 = \sigma$, $\sigma_2 = 2\sigma/7$, соответственно. Угол $\alpha = \pi/9$. 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 $L_1 = 5L$, $L_2 = 4L$, 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 $-2F_0$ 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 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 F_0 от L_1 . На рисунке показана зависимость тока I фотодетектора от времени t (секундомер включен в момент начала уменьшения тока). $I_1 = 7I_0/16$.



- 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

ЗАДАЧА № 2

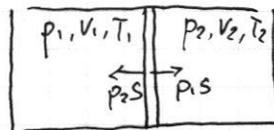
Дано:
 $\nu = \frac{3}{5}$ моль
 $T_1 = 320\text{K}$
 $T_2 = 400\text{K}$
 $R = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль}\cdot\text{К}}$

V_1 - начальный объем аргона; p_1 - его давление, а

V_2 и p_2 - начальные объем и давление криптона

Поршень изначально в равновесии

$\Rightarrow p_1 S = p_2 S$ (где S - пл. сеч. порш.)



$$\Rightarrow p_1 = p_2$$

Ур-ие Менделеева для уг. газа: $p_1 V_1 = \nu R T_1$ $p_2 V_2 = \nu R T_2$

$$\frac{p_1 V_1}{p_2 V_2} = \frac{\nu R T_1}{\nu R T_2} = \frac{V_1}{V_2} \Rightarrow \frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2} = \frac{320\text{K}}{400\text{K}} = \frac{4}{5}$$

Запишем I начало термодинамики для каж. газа:

*учтем, что
сосуда
теплоизолированы
(обмен Q только между
газами)*

аргон: $Q_{\text{кронт} \rightarrow \text{арг}} = \Delta U_{\text{арг}} + A_{\text{арг}}$, где $Q_{\text{кронт} \rightarrow \text{арг}}$ - количество

теплоты, полученное аргон от криптона, $\Delta U_{\text{арг}}$ - изм. вн. энергии арг,

а $A_{\text{арг}}$ - работа аргона.

криптон: $Q_{\text{арг} \rightarrow \text{кронт}} = \Delta U_{\text{кронт}} + A_{\text{кронт}}$. Обозначения аналогичны.

$$Q_{\text{кронт} \rightarrow \text{арг}} = -Q_{\text{арг} \rightarrow \text{кронт}}$$

$$A_{\text{арг}} = -A_{\text{кронт}} \quad \text{т.к. работа газа - это } p \Delta V, \text{ а}$$

когда объем аргона меняется на ΔV , то объем криптона меняется на $-\Delta V$
 а из-за медленного движ. поршня его ускор. = 0 $\Rightarrow p_1 = p_2$.

Система теплоизолирована $\Rightarrow \Delta U_{\text{арг}} + \Delta U_{\text{кронт}} = 0$

$$\Delta U_{\text{арг}} = \frac{3}{2} \nu R (T_k - T_1) \quad \Delta U_{\text{кронт}} = \frac{3}{2} \nu R (T_k - T_2), \text{ где } T_k - \text{конечн. темп.}$$

$$\Rightarrow \frac{3}{2} \nu R (T_k - T_1) + \frac{3}{2} \nu R (T_k - T_2) = 0 \Rightarrow 2T_k = T_1 + T_2 \quad T_k = \frac{T_1 + T_2}{2} = \frac{320 + 400}{2}$$

$$= 360\text{K}.$$

Медленное выправн. T и V : В итоге $V_{\text{ит}} = V_{2\text{ит}}$ т.к. $p_{\text{ит}} = p_{2\text{ит}}$ $\nu = \text{const}$ и T_k одинак

Изначально $\frac{v_1}{v_2} = \frac{4}{5} \Rightarrow v_1 = \frac{4}{5} v_2 \Rightarrow$ общий объем $V = v_2 + \frac{4}{5} v_2 = \frac{9}{5} v_2 =$

$= \frac{9}{4} v_1$. В конце объемам равнозначны и равны $\frac{V}{2} \Rightarrow v_{int} = \frac{9}{8} v_1$
 Изобарный процесс $\Rightarrow A_{изоб} = p \Delta V = p_1 \cdot (\frac{9}{8} v_1 - v_1) = \frac{1}{8} p_1 v_1 = \frac{1}{8} \nu R T_1$

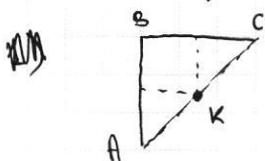
$$Q_{крит \rightarrow арт} = \Delta U_{арт} + A_{арт} = \frac{3}{2} (\nu R) (T_k - T_1) + \frac{1}{8} \nu R T_1 =$$

$$= \nu R \left(\frac{3}{2} (360K - 320K) + \frac{1}{8} 320K \right) = \frac{3}{5} \text{ моль} \cdot 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} (60K + 40K) =$$

$$= 0,6 \cdot 831 \text{ Дж} = 498,6 \text{ Дж} \approx 500 \text{ Дж}$$

Ответ: 1) $\frac{v_1}{v_2} = \frac{4}{5}$ 2) $T_k = 360K$ 3) $Q = 498,6 \text{ Дж} (\approx 500 \text{ Дж})$

ЗАДАЧА N 3



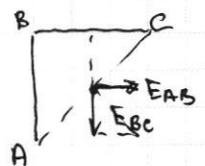
Заметим, что т.к. K - середина гипотенузы прямоугол. Дка и в 1), и в 2), то она лежит на сер. перпенд. и к АВ, и к ВС \Rightarrow в силу симметрии напряженность полей от ВС и АВ имеет только перпендик. к ВС и АВ составляющие.

$$E_{\perp} = k \sigma \Omega$$

перп. сост. напря. пл. к-то угон от зора

1) $\alpha = \frac{\pi}{4} \Rightarrow \Delta_k ABC \rightarrow$ пр. Дк и пластина АВ равна пластине ВС \Rightarrow в силу симметрии (и т.к. у них один кв. заряд) напряженность от АВ по модулю равна напряженности от ВС (E_{AB})

$\Rightarrow E_{BC} = E = E_{AB}$. Но они будут \perp км, т.к.



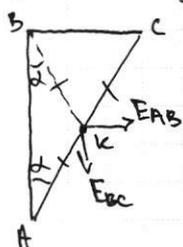
ВС \perp АВ. Суперпозиция напряженностей

$$\vec{E}_k = \vec{E}_{AB} + \vec{E}_{BC} \Rightarrow E_k = \sqrt{E_{BC}^2 + E_{AB}^2} = \sqrt{2} \cdot E = \sqrt{2} \cdot E_{BC}$$

(ис-за т.)

\Rightarrow напряженность поля увеличится в $\sqrt{2}$ раз.

2) $\alpha = \frac{\pi}{3} = \angle BAC$. $AK = KC = BK \Rightarrow \angle ABK = \alpha \Rightarrow \angle BKC = 2\alpha = \frac{2\pi}{3}$; $\angle BKA = \pi - 2\alpha = \frac{(\pi - 2)\pi}{3} = \frac{7\pi}{9}$



$$E_{AB} = k \sigma_2 \Omega_{AB} = k \cdot \frac{2}{7} \sigma \cdot 4\pi \frac{\sin \frac{\alpha}{2}}{2\pi} =$$

$$= k \frac{2}{7} \sigma \cdot 4\pi \cdot \frac{1}{8\sigma} = \frac{4}{9} \pi k \sigma$$

$$E_{BC} = k \sigma_1 \Omega_{BC} = k \sigma \cdot 4\pi \cdot \frac{2\pi}{9 \cdot 2\pi} = \frac{4}{9} \pi k \sigma$$

$$\Rightarrow E_k = \sqrt{E_{AB}^2 + E_{BC}^2} = \frac{4\sqrt{2}}{9} \pi k \sigma = \frac{4\sqrt{2}}{9} \pi k \sigma = \frac{\sqrt{2} \sigma}{9 \epsilon_0}$$

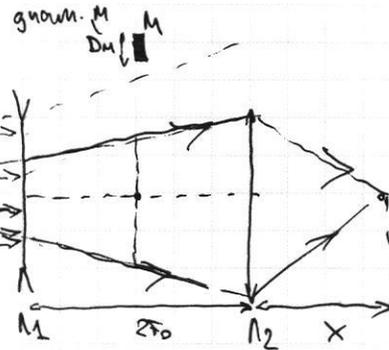
Ответ: 1) в $\sqrt{2}$ раз; 2) $E_k = \frac{\sqrt{2} \sigma}{9 \epsilon_0}$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

ЗАДАЧА №5

Рассмотрим ход лучей:

Паралл. оси системы лучок падает на рассл. линзу \Rightarrow из нее \Rightarrow выйдет расходящийся пучок, продолжения лучей которого сойдутся в фокусе F_0 слева от нее



\rightarrow это точка источника для 2 линз; расстояние $L_{до\ нел} = 2F_0 + 2F_0 = 4F_0$

Запишем ФТЛ для L_2 : x - расстояние между линзой 2 и фотодетектором: $\frac{1}{F_0} = \frac{1}{L} + \frac{1}{x} = \frac{1}{4F_0} + \frac{1}{x} \Rightarrow \frac{1}{x} = \frac{4}{4F_0} - \frac{1}{4F_0} = \frac{3}{4F_0}$
 $\Rightarrow \left| x = \frac{4F_0}{3} \right|$

Сила тока \sim мощности пучка \sim числу лучей (площади пучка)
 S_n - площадь пучка в том месте, где идет M :
она равна посередине от L_1 и L_2

к L_2 пучок приходит diam. D , а после diam. D_2 . Они относятся как расст. от этих оп-ей до ист $\Rightarrow \frac{D}{D_2} = \frac{4F_0}{3F_0} \Rightarrow D_2 = \frac{3}{4} D$

$S_M = \pi \left(\frac{D_2}{2}\right)^2 = \pi \frac{9}{64} D^2$ Площадь M : $S_M = \pi \left(\frac{D_M}{2}\right)^2 = \pi \frac{1}{4} D_M^2$

Площадь пучка, когда M зашла так $S_2 = S_n - S_M$

$$\Rightarrow \frac{I_1}{I_0} = \frac{S_2}{S_n} = \frac{7I_0}{16I_0} = \frac{7}{16} = \frac{S_n - S_M}{S_n} = 1 - \frac{S_M}{S_n} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{S_M}{S_n} = 1 - \frac{7}{16} = \frac{9}{16} = \frac{\pi \frac{1}{4} D_M^2}{\pi \frac{9}{64} D^2} \Rightarrow \frac{D_M^2}{D^2} = \frac{9 \cdot 9 \cdot 4}{16 \cdot 64} \Rightarrow \frac{D_M}{D} = \frac{9}{2 \cdot 8} = \frac{9}{16}$$

Мишень начинает заезжать в пучок при $t = 0$, а полностью заез. в нем в T_0 . За это время она смещается на D_M

$$\Rightarrow \text{ее скорость } \left| v_M = \frac{D_M}{T_0} = \frac{9D}{16T_0} \right|$$

t_1 - время, когда она попадает к концу пучка своим первым краем \Rightarrow за t_1 она проезжает $D_2 \Rightarrow t_1 = \frac{D_2}{v_M} = \frac{3 \cdot 9 \cdot 16 T_0}{16 \cdot 9} = \frac{3 \cdot 16 T_0}{16 \cdot 9} = \frac{4}{3} T_0$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

значения \rightarrow 3-й Кирхгофа: $\mathcal{E} - (L_1 + L_2) \dot{I}' = \frac{q}{C} \Rightarrow q = \mathcal{E}C$

3.С.Э. $A_{\text{дат}} = \Delta W$

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

$$\Rightarrow \mathcal{E}^2 C = \frac{\mathcal{E}^2 C}{2} + \frac{3L I_{01}^2}{2} \Rightarrow \frac{\mathcal{E}^2 C}{2} = \frac{3L I_{01}^2}{2} \quad \left(I_{01} = \frac{\mathcal{E}}{3} \sqrt{\frac{C}{L}} \right)$$

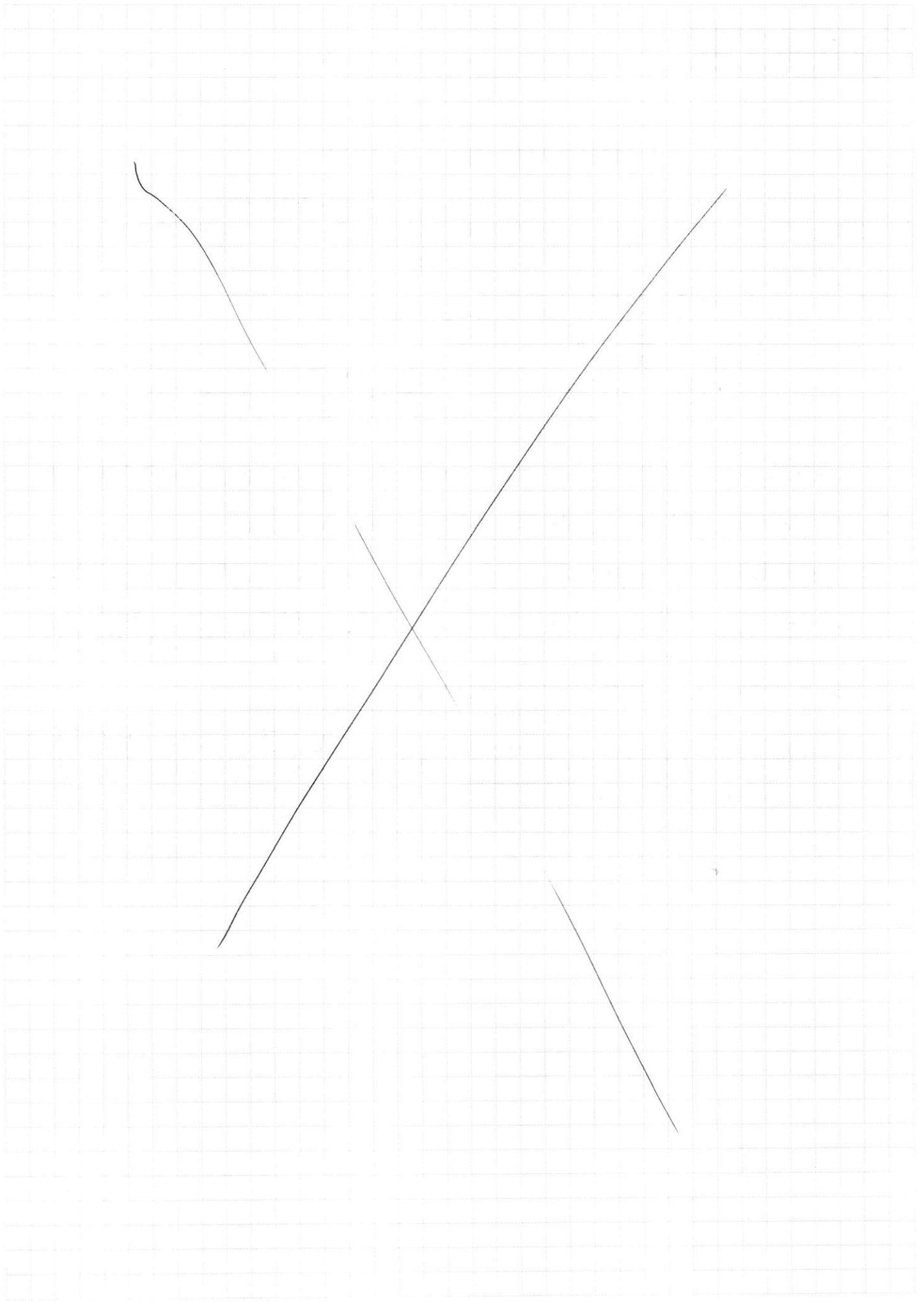
3) Через L_2 течёт макс. ток тогда в процессе с $L_1 \rightarrow$ тогда это I_{01} (т.к. они равны), тогда когда L_1 отключен.

По аналогии с пунктом 2) ток максимален при $q = \mathcal{E}C$

$$\Rightarrow \mathcal{E} \cdot q = \frac{q^2}{2C} + \frac{L_2 I_{02}^2}{2} \Rightarrow \frac{\mathcal{E}^2 C}{2} = \frac{4L I_{02}^2}{2} \Rightarrow I_{02} = \frac{\mathcal{E}}{2} \sqrt{\frac{C}{L}} > I_{01}$$

\Rightarrow это и есть максимум

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



черновик чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)

$$\frac{1 \cdot 831}{4986} \Omega$$

$$k = \frac{1}{\sqrt{\pi \epsilon_0}}$$

$$\frac{2}{2F_0} = k \cdot \Omega$$

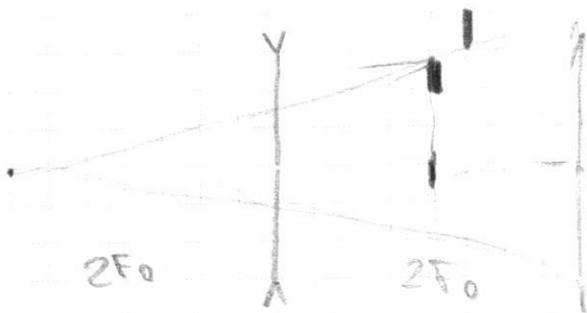
$$\frac{2}{2\epsilon_0} = \frac{2\pi}{4\pi\epsilon_0}$$

$$\frac{4\pi}{9} = \frac{2\pi}{3}$$

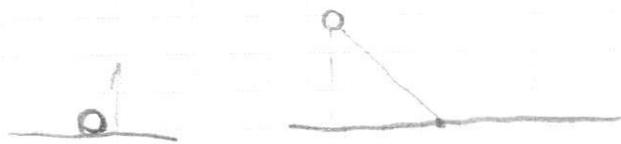
$$\frac{1}{2\epsilon_0} = \frac{\Omega}{4\pi\epsilon_0} \quad \Omega = 2\pi$$

$$\frac{q}{\epsilon_0}$$

$$\frac{2}{2\epsilon_0} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot 2\pi$$



$$\frac{1}{F_0} = \frac{1}{4F_0} + \frac{1}{x} \quad \frac{1}{x} = \frac{3}{4F_0} \quad \boxed{x = \frac{4}{3}F_0}$$



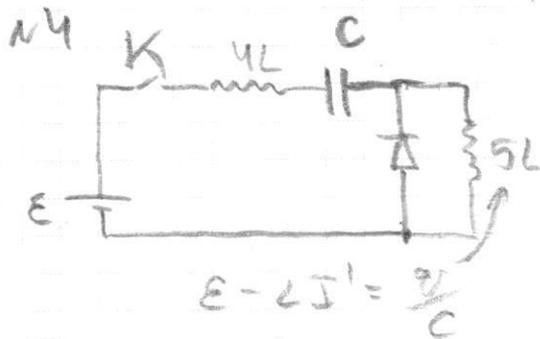
$$\frac{dp'}{dt} = F - Ma$$

$$V_1 \cos \alpha$$

$$V_1 \frac{\sqrt{5}}{3}$$

$$V_2 \cos \beta$$

$$\frac{10^2}{9} V_1 \frac{4}{5} = \frac{8}{9} V_1$$



$$E - L I' = \frac{q}{C}$$



$$E - L I' = \frac{q}{C}$$

$$\frac{E}{L} - q'' = \frac{q}{LC}$$

$$q_2 = q - \epsilon C$$

$$-q_2'' = \frac{q_2}{LC}$$

$$q_2 = A \cos \omega t$$

$$q = \epsilon C + q_2 = \epsilon C + A \cos \omega t = \epsilon C - \epsilon C \cos \omega t$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

по оси x з.с.и
з.с.и. по y

$$V_1 \sin \alpha = V_2 \sin \beta \quad V_2 = V_1 \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = V_1 \cdot \frac{4}{3} = \frac{16}{9}$$

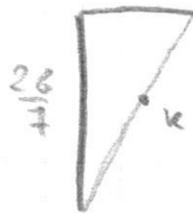
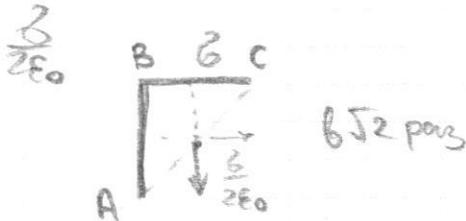
MV ?



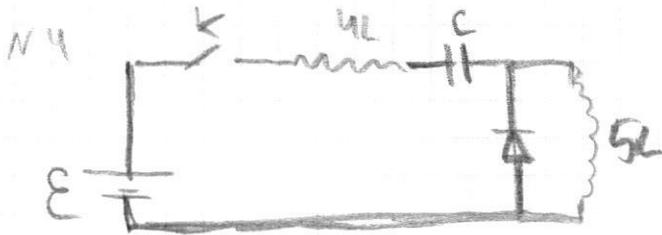
$$A_r = \int p dV = \int \frac{v^2 k T}{v} dV \quad E_I = k \theta \Omega$$

P

$$E_I = k \theta \Omega !!!$$



$$E = -L I'$$



$$T = \frac{1}{2} T_1 + \frac{1}{2} T_2$$

$$W_0 = \frac{1}{4LC} \quad \frac{1}{2\sqrt{LC}} = W$$

$$T_1 = \frac{2W}{\omega} = 4\pi \sqrt{LC} \quad E - L q'' = \frac{q}{C}$$

$$T_2 = \frac{6W}{\omega} = 6\pi \sqrt{LC} \quad EC - 4q'' = q$$

$$EC \quad q_2'' = q - EC$$

$$W_{02} = \frac{1}{9LC} \Rightarrow \frac{1}{3\sqrt{LC}}$$

$$\Rightarrow T = 5\pi \sqrt{LC}$$



$$E - L I' = \frac{q}{C}$$

$$E - 4q'' = \frac{q}{C}$$

$I_{01} \dots ?$
 $(R_1 + L) I_0$

$$CE^2 = 9L I_{01}^2$$

$$I_{01} = \frac{E}{3} \sqrt{\frac{C}{L}}$$

$A_{дат} = \Delta W$

$$E q_2 = \frac{q^2}{2C} + \frac{(R_1 + L) I_{01}^2 - 4L q_2''}{2} = q_2$$

$$q_2 = A \sin(\omega t)$$

$$E q_2 = \frac{q^2}{2C} = \frac{(R_1 + L) I_{01}^2}{2}$$

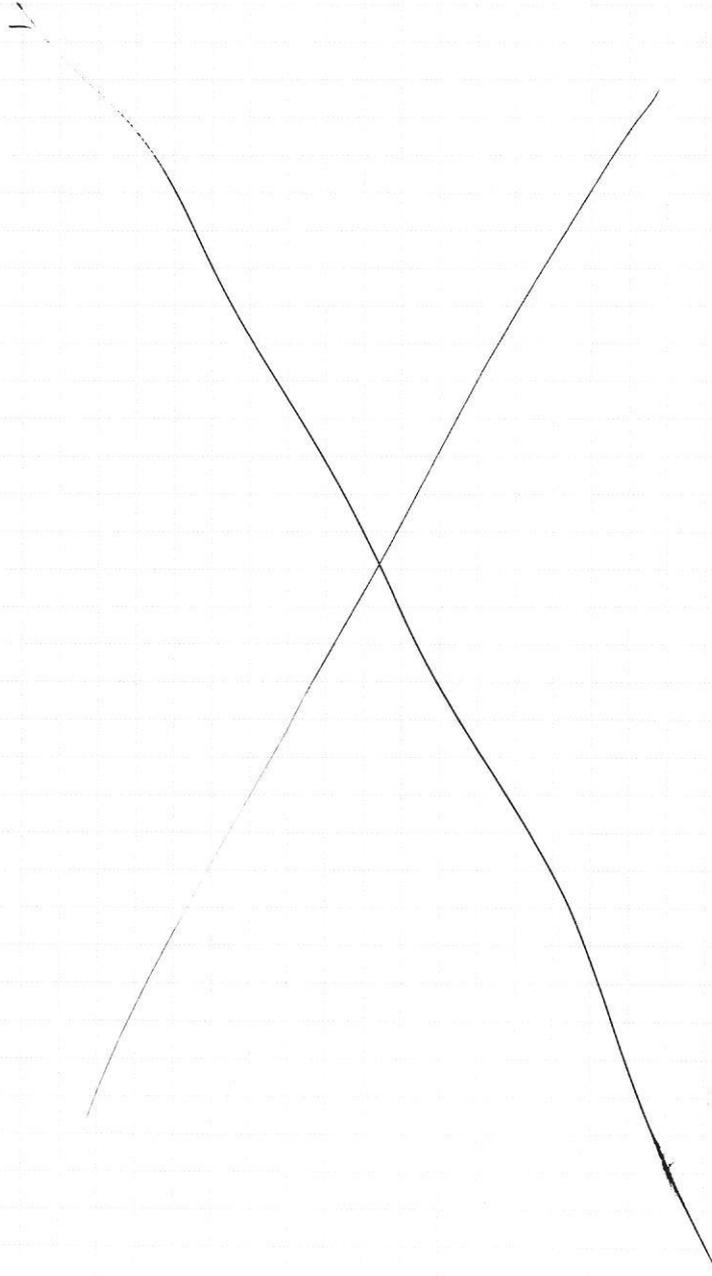
max

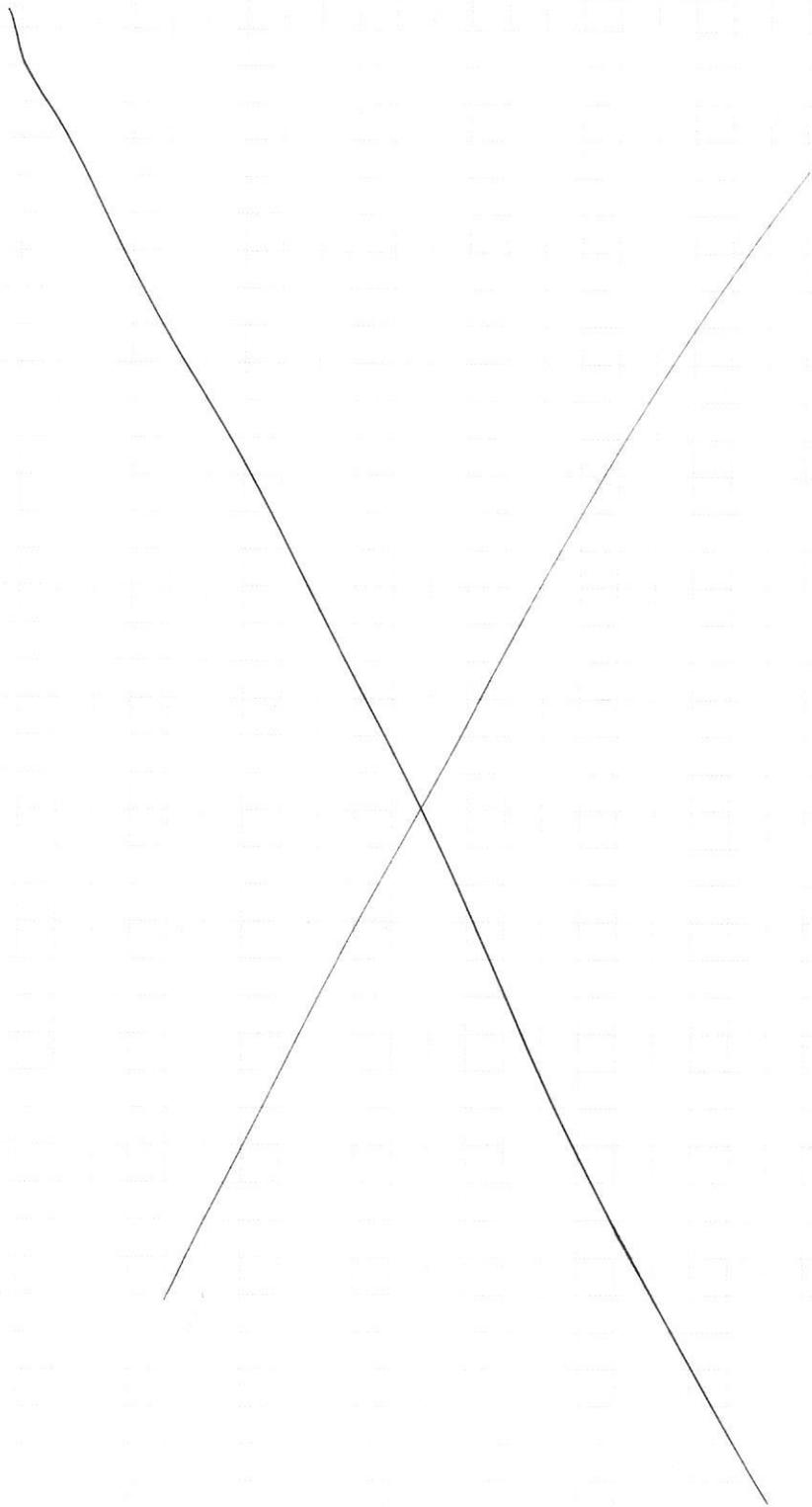
$$E^2 C = \frac{E^2 C}{2} + \frac{(R_1 + L) I_{01}^2}{2} \quad q_2 = A \omega \cos = 0$$

$$q_2 = \frac{E \omega C}{2} = \frac{E}{2} \omega C$$



ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА





черновик чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)