



Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2022

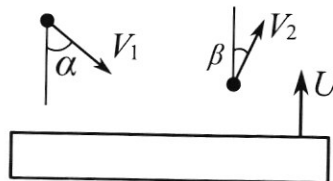
Класс 11

Вариант 11-01

Шифр

(заполняется секретарём)

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 α ($\sin \alpha = \frac{3}{4}$) к вертикали (см. рис.). После неупругого удара о гладкую горизонтальную поверхность плиты шарик отскакивает со скоростью V_2 , составляющей угол β ($\sin \beta = \frac{1}{2}$) с вертикалью.

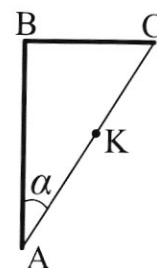


- 1) Найти скорость V_2 .
- 2) Найти возможные значения скорости плиты U при таком неупругом ударе. Действие силы тяжести за малое время удара не учитывать. Ответы допустимы через радикалы из целых чисел.

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?

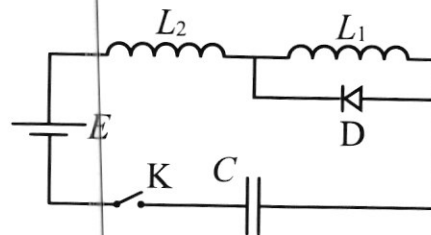
3. Две бесконечные плоские прямоугольные пластины АВ и ВС перпендикулярны друг к другу и образуют двугранный угол с ребром В. На рисунке показано сечение угла плоскостью, перпендикулярной ребру В.



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?

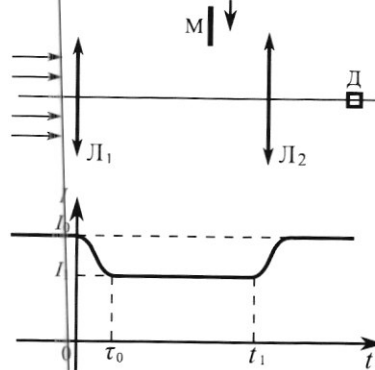
2) Пластины ВС и АВ заряжены положительно с поверхностной плотностью заряда $\sigma_1 = 2\sigma$, $\sigma_2 = \sigma$, соответственно. Угол $\alpha = \pi/7$. Найти напряженность электрического поля в точке К на середине отрезка АС.

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 , τ_0 .

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

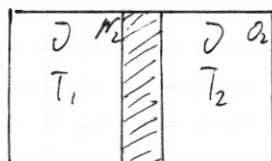
2. Ответ:

$$D = \frac{3}{7} \text{ мм}$$

$$T_1 = 300 \text{ K}$$

$$T_2 = 500 \text{ K}$$

$$C_v = \frac{5R}{2}$$



1) p_0 - начальное давление; V_0 - объем цилиндра; V_1 - начальный объем азота; V_2 - конечный объем цилиндра

$$p_0 V_1 = \nu R T_1$$

$$p_0 V_2 = \nu R T_2$$

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

$$p_0 (V_0 - V_1) = \nu R T_2$$

$$p_0 V_2 = \nu R T_2$$

2) ~~V_3 - установленный объем азота; p_1 - установленное давление; T_3 - установленная температура~~

~~$$p_1 V_3 = \nu R T_3$$~~

~~$$p_1 (V_0 - V_3) = \nu R T_3$$~~

III. К концу температурного цикла или при производстве работы, то считаем суммарную внутреннюю энергию неизменной:

$$\nu C_v \Delta T_1 + \nu C_v \Delta T_2 = 2 \nu C_v \Delta T_3 \quad T_3 = \frac{T_1 + T_2}{2} = \frac{800 \text{ K}}{2} = 400 \text{ K}$$

3) Для цилиндра:

$$Q = A + \Delta U$$

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

$$p_0 \frac{5}{8} V_0 = \nu R T_2$$

$$p_1 V_3$$

~~$$V_1 + V_2 = V_0$$~~

~~$$\frac{8}{5} V_2 = V_0$$~~

~~$$V_0 V_2 = \frac{5}{8} V_0$$~~

3) V_3 - конечный объем азота; V_4 - конечный объем кислорода

$$\begin{cases} p_1 V_3 = \nu R T_3 \\ p_1 V_4 = \nu R T_3 \\ V_3 + V_4 = V_0 \end{cases} \quad \begin{cases} V_3 = V_4 \\ V_3 + V_4 = V_0 \end{cases} \quad V_3 = V_4 = \frac{V_0}{2}$$

$$\begin{array}{r} 8,31 \\ \cdot 150 \\ \hline 1246,50 \end{array}$$

$$\begin{cases} \frac{V_1}{V_2} = \frac{3}{5} \\ V_1 + V_2 = V_0 \end{cases} \quad \frac{8}{5} V_2 = V_0 \quad V_2 = \frac{5}{8} V_0$$

Для кислорода и конечного состояния кислорода:

$$p_0 \frac{5}{8} V_0 = \nu R T_2$$

$$p_1 \frac{1}{2} V_0 = \nu R T_3$$

↑ конечное давление в кислороде

$$\frac{p_0}{p_1} \frac{5}{8} = \frac{500}{100} \quad \Rightarrow p_0 = p_1 \Rightarrow \text{процесс изобарный.}$$

Для кислорода:

$$Q = A + \Delta U$$

$$\Delta A = p dv$$

$$\Delta A = p_0 \Delta V = p_0 \left(\frac{1}{2} - \frac{5}{8} \right) V_0 = - \frac{p_0 V_0}{8} = - \frac{2 \nu R T_3}{8}$$

$$\Delta U = C_V \nu \Delta T = \frac{5}{2} \nu R (T_3 - T_2)$$

$$Q = - \frac{\nu R T_3}{4} + \frac{5}{2} \nu R (T_3 - T_2) = 8,31 \cdot \frac{3}{7} \left(- \frac{400}{4} + \frac{5}{2} (100 - 500) \right) =$$

$$= 8,31 \cdot \frac{3}{7} (-100 - 750) = 8,31 \cdot \frac{-3 \cdot 850}{7} = 8,31 \cdot (-150) = -1246,5 \text{ Дж}$$

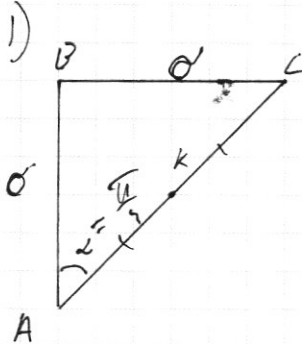
$$|Q| = 1246,5 \text{ Дж}$$

Ответ: 1) $\frac{V_1}{V_2} = \frac{3}{5}$; 2) $T_3 = 400 \text{ K}$; 3) $|Q| = 1246,5 \text{ Дж}$.

$$\begin{array}{r} 1 \\ - 8,31 \\ \cdot 150 \\ \hline 1246,50 \end{array}$$

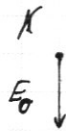
ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

3.

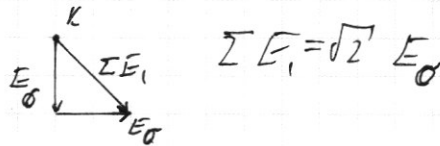


Пл.к. пластинки перпендикулярны, но электрическое поле от них будет равно $E_0 = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$

При одной заряженной пластине:

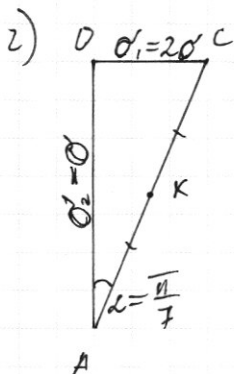


При двух заряженных пластинках:



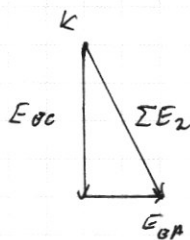
n - увеличенная модуль результирующего поля:

$$n = \frac{\Sigma E_1}{E_0} = \sqrt{2}$$



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

$$E_{BA} = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$$



$$\Sigma E_2 = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \sqrt{1 + \frac{1}{4}} = \frac{\sqrt{5}\sigma}{2\epsilon_0}$$

Ответ: 1) $n = \sqrt{2}$; 2) $\Sigma E_2 = \frac{\sqrt{5}\sigma}{2\epsilon_0}$

4.

Danns:

ξ, L_1, C

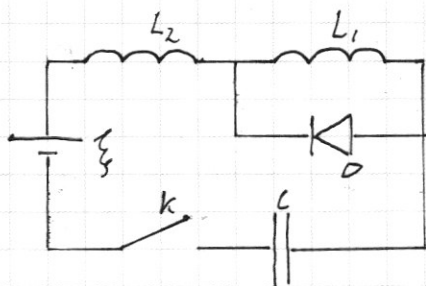
$L_1 = 2L$

$L_2 = L$

$T = ?$

$I_{m1} = ?$

$I_{m2} = ?$



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

$$\omega = \sqrt{C(L_1 + L_2)}$$

$$\omega_1 = \sqrt{\frac{1}{C(L_1 + L_2)}}$$

$$T = \frac{2\pi}{\omega_1} = 2\pi \sqrt{C(L_1 + L_2)} = 2\pi \sqrt{3cL}$$

2) ЗСЗ:

~~$$q_{\xi} = \frac{L_1 I}{2} + \frac{q}{2C}$$~~

$$\xi = \frac{q_{\max}}{C}$$

$$q_{\max} = C \xi$$

$$q(t) = q_{\max} \sin(\omega t)$$

$$I(t) = q_{\max} \omega \cos(\omega t)$$

$$I_{\max} = q_{\max} \omega = C \xi \sqrt{\frac{1}{3cL}} = \xi \sqrt{\frac{C}{3L}}$$

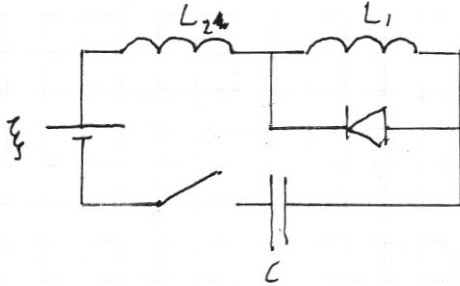
$$C \xi - q = C(L_1 + L_2) \ddot{q}$$

$$C \xi - q = -C(L_1 + L_2) \frac{d^2(-q)}{dt^2}$$

$$C \xi - q \cdot \frac{1}{C(L_1 + L_2)} = \frac{d^2(C \xi - q)}{dt^2}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

4. Дано:
 ξ, L, C
 $L_1 = 2L$
 $L_2 = L$



$T = ?$
 $I_{m1} = ?$
 $I_{m2} = ?$

$$1) \xi = (L_1 + L_2) \dot{q} + \frac{q}{C}$$

$$C\xi - q = C(L_1 + L_2) \frac{d^2 q}{dt^2}$$

$$C\xi - q = -C(L_1 + L_2) \frac{d^2 (C\xi - q)}{dt^2}$$

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

$$\omega_1 = \sqrt{\frac{1}{C(L_1 + L_2)}} \quad T = \frac{2\pi}{\omega_1} = 2\pi \sqrt{C(L_1 + L_2)} = 2\pi \sqrt{3CL}$$

~~$$2) C\xi - q = A \sin(\omega_1 t + \varphi)$$~~

~~$$C\xi - q = -q_{\max} \sin(\omega_1 t) + C\xi$$~~

З(с):

$$q\xi = \frac{q^2}{2C} + (L_1 + L_2) \frac{I^2}{2}$$

$$(q\xi - \frac{q^2}{2C}) = (L_1 + L_2) \frac{I^2}{2}$$

$$I\xi - \frac{qI}{C} = N_1$$

Условие максимальной мощности:

$$N_1 = 0 \quad C\xi^2 = \frac{C\xi^2}{2} + (L_1 + L_2) \frac{I_{m1}^2}{2}$$

$$I\xi - \frac{qI}{C} = 0$$

$$\frac{C}{L_1 + L_2} \xi^2 = I_{m1}^2$$

$$I_{m1} = \sqrt{\frac{C}{3L}} \xi$$

$$q = C\xi$$

3. При обратном направлении тока катушка L_1 перестает быть частью контура открываемся путь протеканию тока в направлении катушки L_1 , из-за чего она как бы отключается от основной цепи.

3C):

~~$$q \dot{\varphi} = \frac{q^2}{2C} + L_2 \frac{I_{m2}^2}{2} + L_1 \frac{I_{m1}^2}{2} \quad \frac{C \dot{\varphi}^2}{2} = L_2 \frac{I_{m2}^2}{2} + L_1 \frac{I_{m1}^2}{2}$$

$$(q \dot{\varphi} - \frac{q^2}{2C}) = W_2 + 0 \quad I_{m2}^2 = \frac{C}{L_2} \frac{\dot{\varphi}^2}{2}$$

$$I_{m2} = \sqrt{\frac{C}{L_2}} \frac{\dot{\varphi}}{\sqrt{2}}$$

$$\frac{C \dot{\varphi}^2}{2} = L_2 \frac{I_{m2}^2}{2} + \frac{L_1 \dot{\varphi}^2}{2} \cdot \frac{C}{3L}$$

$$\frac{C \dot{\varphi}^2}{2} - \frac{C \dot{\varphi}^2}{3} = L_2 \frac{I_{m2}^2}{2} \quad \frac{1}{6} C \dot{\varphi}^2 \cdot \frac{2}{L} = I_{m2m}^2$$

$$I_{2m} = \frac{1}{3} \sqrt{\frac{C}{L}}$$~~

~~Ответ: $T = 2\pi \sqrt{3LC}$; $I_{1m} = \frac{1}{3} \sqrt{\frac{C}{3L}}$; $I_{2m} = \frac{1}{3} \sqrt{\frac{C}{3L}}$~~

3C) при нулевом токе:

~~$$q \dot{\varphi} = \frac{q^2}{2C}$$

$$q_1 = 2C \dot{\varphi}$$~~

3C) для движения тока в обратном направлении:

~~$$(q - 2C \dot{\varphi}) \dot{\varphi} = -q$$~~

3C) для движения тока в обратном направлении

~~$$q \dot{\varphi} = \frac{q^2}{2C} + L_2 \frac{I_{2m}^2}{2}$$

$$(q \dot{\varphi} - \frac{q^2}{2C}) = W_2$$~~

~~$$\frac{C \dot{\varphi}^2}{2} = \frac{C \dot{\varphi}^2}{2} + L_2 \frac{I_{2m}^2}{2}$$

$$\frac{C \dot{\varphi}^2}{L_2} = I_{2m}^2 = \sqrt{\frac{C}{L}} \frac{\dot{\varphi}}{3}$$

$$I_{2m} = \frac{1}{3} \sqrt{\frac{C}{L}}$$~~

Условие минимального тока: $W_2 = 0$

~~$$(q \dot{\varphi} - \frac{q^2}{2C}) = 0$$

$$I \dot{\varphi} - \frac{q^2}{C} = 0 \quad q = C \dot{\varphi}$$~~

~~Ответ: 1) $T = 2\pi \sqrt{3LC}$; 2) $I_{1m} = \frac{1}{3} \sqrt{\frac{C}{3L}}$;
3) $I_{2m} = \frac{1}{3} \sqrt{\frac{C}{L}}$~~

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

1. Дано:

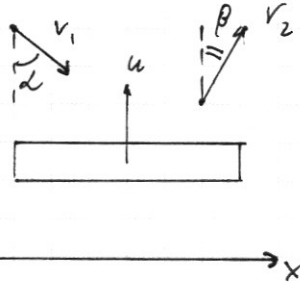
$$v_1 = 8 \text{ м/с}$$

$$\sin \alpha = \frac{3}{4}$$

$$\sin \beta = \frac{1}{2}$$

$$v_2 = ?$$

$$u = ?$$

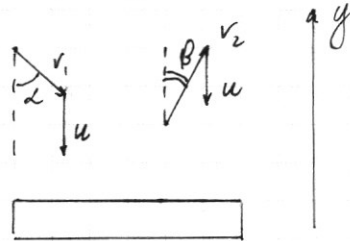


1) П.к. повернется плите гладкая, то проекция импульса шарика на ось Ox не меняется:

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

$$v_2 = v_1 \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = 8 \cdot \frac{3/4}{1/2} = 12 \text{ м/с}$$

2) Перейдем в С.О. плиты:



справа

Проекция импульса ^{или составляющая} шара на ось Oy не может быть отрицательной:

$$m(v_2 \cos \beta - u) \geq 0$$

$$v_2 \cos \beta \geq u$$

$$u \leq \frac{\sqrt{3}}{2} 12 \text{ м/с}$$

$$u \leq 6\sqrt{3} \text{ м/с}$$

$$\begin{cases} u \leq 6\sqrt{3} \text{ м/с} \\ u > 0 \text{ м/с} \end{cases}$$

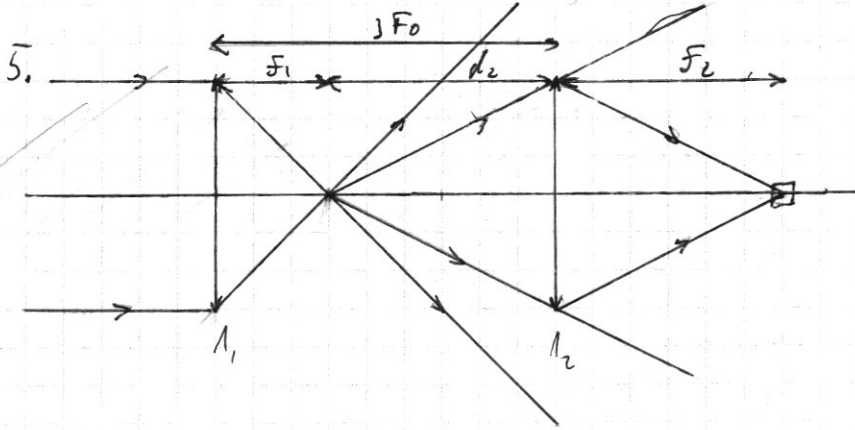
$$\begin{cases} u \leq 6\sqrt{3} \text{ м/с} \\ u > 0 \text{ м/с} \end{cases}$$



черновик чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



1) Для первой линзы: 2) Для второй линзы

$$\frac{1}{F_0} = \frac{1}{d_1} + \frac{1}{F_1}$$

П.к. углы лучи параллельны, то $\frac{1}{d_1} = 0$

$$\frac{1}{F_0} = \frac{1}{F_1} \Rightarrow F_1 = F_0$$

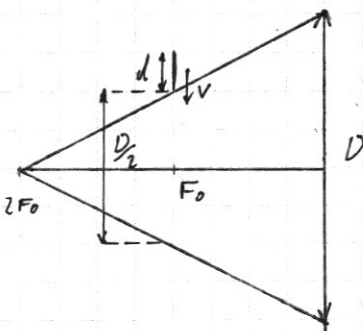
$$\frac{1}{F_0} = \frac{1}{2F_0 - F_1} + \frac{1}{F_2}$$

F_2 — расстояние между линзой L_2 и фотографической пленкой

$$\frac{1}{F_0} = \frac{1}{2F_0} + \frac{1}{F_2}$$

$$\frac{1}{2F_0} = \frac{1}{F_2}$$

$$\boxed{F_2 = 2F_0}$$



3) $I = I_0 \cdot \eta$, где η — процент падающих лучей фотопленки, а $\eta_{\text{кв}}$ следовательно процент незащитной площади от общего хода лучей.

т.к. тут $I = \frac{3}{4} I_0$ во всей площади пленки присутствует ход лучей, а значит

$$\frac{S_{\text{ок}} - S_{\text{м}}}{S_{\text{ок}}} = \frac{3}{4}, \text{ где } S_{\text{ок}} - \text{площадь объектива,}$$

$S_{\text{м}} - \text{площадь мишени.}$

$$\frac{\pi \left(\frac{D}{2}\right)^2 - \pi \frac{d^2}{4}}{\pi \left(\frac{D}{2}\right)^2} = \frac{3}{4}$$

$$\frac{\left(\frac{D}{2}\right)^2}{\frac{4}{4}} = d^2 \quad \frac{D^2}{16} = d^2 \quad d = \frac{D}{4}$$

4) За T_0 миметр полностью входит в сетку люктей, а значит:

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

5) За t_1 нижний край мимета проходит путь $\frac{D}{2}$

$$t_1 = \frac{\frac{D}{2}}{v} = 2 \frac{\frac{D}{2}}{\frac{D}{4T_0}} = 2T_0$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

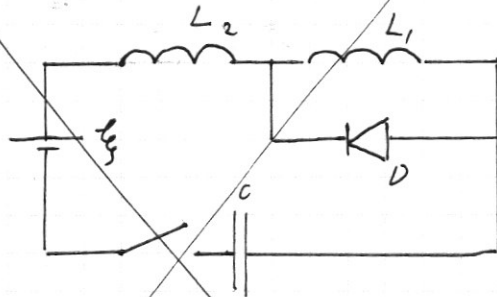
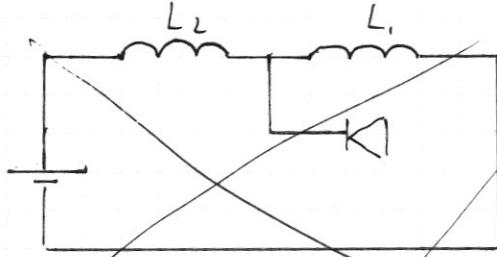
3. Ответ:

$$\xi_0 = \frac{q}{C}$$

$$L_1 = 2L$$

$$L_2 = L$$

C



1) После замыкания до открытия диода:

$$\xi_0 = (L_1 + L_2) \dot{q} + \frac{q}{C}$$

$$\omega_1 = \sqrt{C(L_1 + L_2)}$$

$$T_1 = \frac{2\pi}{\sqrt{C(L_1 + L_2)}}$$

