

Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2022

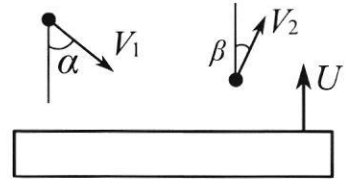
Класс 11

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.

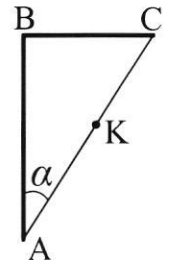


- 1) Найти скорость V_2 .
 - 2) Найти возможные значения скорости плиты U при таком неупругом ударе.
- Действие силы тяжести за малое время удара не учитывать. Ответы допустимы через радикалы из целых чисел.

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).

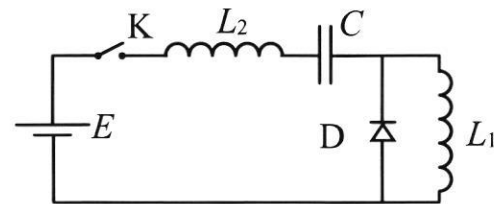
- 1) Найти отношение начальных объемов аргона и криптона.
- 2) Найти установившуюся температуру в сосуде.
- 3) Какое количество теплоты передал криптон аргону?

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.



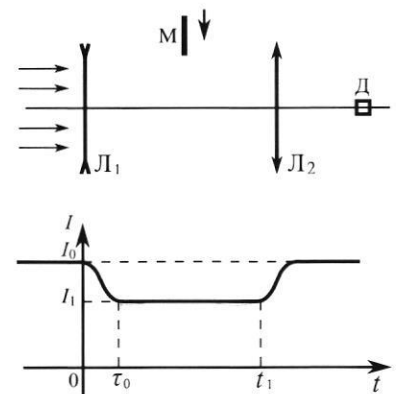
- 1) Пластина ВС заряжена с постоянной поверхностной плотностью заряда. Угол $\alpha = \pi/4$. Во сколько раз увеличится напряженность электрического поля в точке К на середине отрезка АС, если пластину АВ тоже зарядить с такой же поверхностной плотностью заряда?
- 2) Пластины ВС и АВ заряжены положительно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

№1

Дано:

$$v_1 = 18 \frac{m}{c}$$

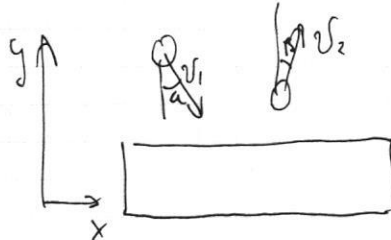
$$\sin \alpha = \frac{2}{3}$$

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

$$v_2 = ?$$

$$u = ?$$

Решение:



Пусть Q - кол-во теплоты выделившееся
при ударе:

З.С.Э: С.О. нмта:

$$E_{k1} - E_{k2} = Q$$

m - масса шарика

З.С.Ч на ось OX :

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

$$v_2 = \frac{v_1 \sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{18 \cdot 2 \cdot 5}{3 \cdot 3} = 20 \frac{m}{c}$$

$$m \frac{(v_1 \sin \alpha)^2 + (v_1 \cos \alpha + u)^2}{2} - \frac{m ((v_2 \sin \beta)^2 + (v_2 \cos \beta - u)^2)}{2} = Q$$

$$\frac{2Q}{m} = v_1^2 \sin^2 \alpha + v_1^2 \cos^2 \alpha + 2v_1 \cos \alpha u + u^2 - v_2^2 \sin^2 \beta - v_2^2 \cos^2 \beta + 2v_2 \cos \beta u + u^2$$

$$\frac{2Q}{m} = v_1^2 \cos^2 \alpha - v_2^2 \cos^2 \beta + 2u(v_1 \cos \alpha + v_2 \cos \beta)$$

$$u = \frac{\left(\frac{2Q}{m}\right) + v_2^2 \cos^2 \beta - v_1^2 \cos^2 \alpha}{2(v_1 \cos \alpha + v_2 \cos \beta)}$$

$$\frac{2Q}{m} \geq 0 \quad \text{т.к. удар неупругий}$$

$$u_{\min} \approx \frac{v_2^2 \cos^2 \beta - v_1^2 \cos^2 \alpha}{2(v_1 \cos \alpha + v_2 \cos \beta)} \approx 3 \frac{m}{c}$$

2) Примем за это почти момент, когда почти все кинетическое движение уйдет в тепло.

Пусть в тепло уйдет $\frac{3}{5}$ энергии шарика, тогда:

Ответ: 1) $v_2 = 20 \frac{m}{c}$
2) $u > 3 \frac{m}{c}$

№ 2

Дано:

$$V = \frac{3}{5} \text{ моль}$$

$$T_1 = 320 \text{ K}$$

$$T_2 = 400 \text{ K}$$

$$R = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{K}}$$

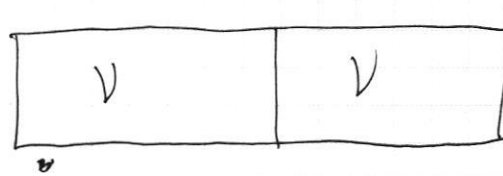
$$\frac{V_a}{V_k} = ?$$

$$T' = ?$$

$$Q = ?$$

Решение:

P-давление в сосуде



(процесс можно считать изобарным)

$$1) \begin{cases} P V_a = \nu R T_1 \\ P V_k = \nu R T_2 \end{cases} \Rightarrow \frac{V_a}{V_k} = \frac{T_1}{T_2} = \frac{320}{400} = \frac{4}{5} = 0,8$$

$$2) \frac{3}{2} \nu R T' + \frac{3}{2} \nu R T' = \frac{3}{2} \nu R T_1 + \frac{3}{2} \nu R T_2$$

$$6 \nu R T' = 3 \nu R (T_1 + T_2)$$

$$T' = \frac{3(T_1 + T_2)}{6} = \frac{T_1 + T_2}{2} = \frac{320 \text{ K} + 400 \text{ K}}{2} = 360 \text{ K}$$

$$3) \begin{cases} P V_a = \nu R T_1 \\ P \cdot V_a' = \nu R T' \end{cases} \Rightarrow \Delta V = \frac{\nu R (T' - T_1)}{P}$$

$$Q = \Delta U_a + A_a = \frac{3}{2} \nu R (T' - T_1) + P \cdot V =$$

$$= \frac{3}{2} \nu R (T' - T_1) + \nu R (T' - T_1) = \frac{5}{2} \nu R (T' - T_1) =$$

$$= \frac{5 \cdot 3 \cdot 8,31 \cdot (360 - 320)}{2 \cdot 5} = 3 \cdot 20 \cdot 8,31 = 498,6 \text{ Дж}$$

$$\approx 500 \text{ Дж}$$

Ответ: 1) $\frac{V_a}{V_k} = 0,8$ 2) $T' = 360 \text{ K}$ 3) $Q = 500 \text{ Дж}$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№3

Дано:

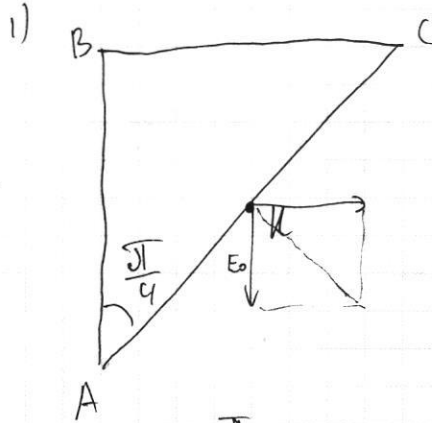
1) $a = \frac{\pi}{4}$

2) $\sigma_1 = \sigma$
 $\sigma_2 = \frac{2\sigma}{7}$

$\alpha = \frac{\pi}{9}$

$E_n = ?$

Решение:

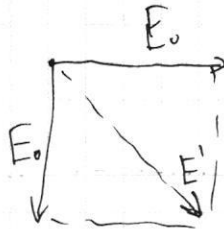


$E_0 = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$ - начальная поле:

$\triangle ABC$ - р/б $AB = BC \Rightarrow$
т.к. $\angle BCA = \angle BAC = \frac{\pi}{4}$
 \Rightarrow ~~равносторонний~~ от AB

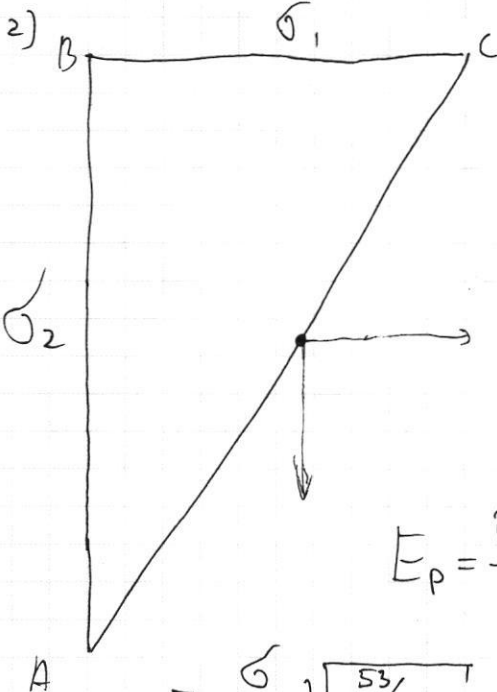
поле создаваемое
сторонами BA также же

Тригонометрия вектор позиции:



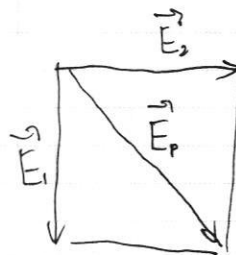
$E' = \sqrt{2} E_0$

$\frac{E'}{E_0} = \sqrt{2}$



$E_1 = \frac{\sigma_1}{2\epsilon_0}$

$E_2 = \frac{\sigma_2}{2\epsilon_0}$



$E_p = \sqrt{E_1^2 + E_2^2}$

$E_p = \sqrt{\frac{\sigma_1^2}{4\epsilon_0^2} + \frac{\sigma_2^2}{4\epsilon_0^2}} =$

$= \frac{\sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}}{2\epsilon_0}$

$E_p = \frac{\sqrt{\sigma^2 + \frac{4}{49}\sigma^2}}{2\epsilon_0} =$

$= \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \sqrt{\frac{53}{49}} = \frac{\sqrt{53}\sigma}{14\epsilon_0}$

Ответ: 1) $\sqrt{2}$ раз; 2) $\frac{\sqrt{53}\sigma}{14\epsilon_0}$

№4

Дано:

$$L_1 = 5L$$

$$L_2 = 4L$$

C

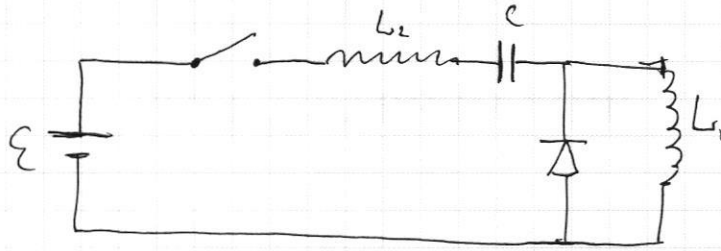
E

$$T = ?$$

$$I_{01} = ?$$

$$I_{02} = ?$$

Решение:



- 1) Колебания в этой цепи будут происходить следующим образом:
- полупериода ток будет течь "по часовой стрелке" $\frac{1}{3}$ конденсатор и 2 катушки.
 - ~~еще~~ ^{и еще} полупериода ток будет течь "против часовой стрелки" по $\frac{1}{3}$ конденсатор и 1 катушке (т.к. диод идеальны)
- Ток пойдет $\frac{1}{3}$ конденсатор

$$T = \frac{T_1}{2} + \frac{T_2}{2} = 2\pi \sqrt{C \cdot L_2} + 2\pi \sqrt{C \cdot (L_2 + L_1)} = 2\pi \sqrt{C L_2} =$$

$$= 2\pi (\sqrt{C \cdot 9L} + \sqrt{C \cdot 4L}) = 5\pi \sqrt{CL}$$

$$2) W_{\max} = \frac{C E^2}{2} \quad \frac{C E^2}{2} = \frac{(L_1 + L_2) I_{01}^2}{2} \Rightarrow I_{01} = E \sqrt{\frac{C}{L_1 + L_2}} =$$

$$= E \cdot \sqrt{\frac{C}{9L}} = \left(\frac{E}{3} \cdot \sqrt{\frac{C}{L}} \right)$$

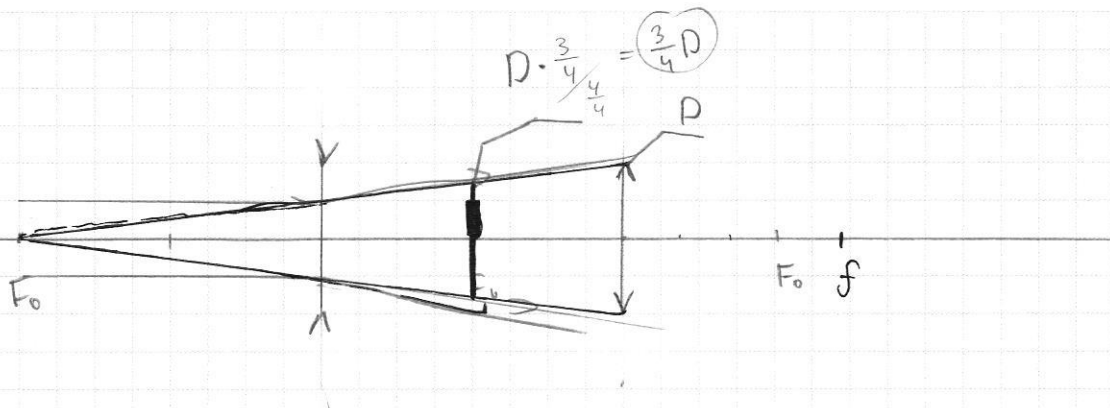
$$3) \frac{C E^2}{2} = \frac{L_2 I_{02}^2}{2} \quad I_{02} = \sqrt{\frac{C E^2}{L_2}} = \left(\frac{E}{2} \sqrt{\frac{C}{L}} \right)$$

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

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№5

Дано:
 $2F_0$
 F_0
 D
 I_0



1) Параллельный пучок света преломится ч/з рассеивающую линзу. на $2F_0$ лучи будут падать, так; как будто на расстоянии $4F_0$ расколо жем линзы: \Rightarrow запишем формулу тонкой линзы:

$$\frac{1}{4F_0} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F_0} \Rightarrow f = \frac{1}{\frac{1}{4F_0} - \frac{1}{4F_0}} = \frac{4}{3} F_0$$

~~Т.н. в к-во Т.н. до линзы и Т.н. исконое расстояние~~

$f = \frac{4}{3} F_0$ Т.н. пучок фокусируется на детектере.

2) $I_1 = \frac{7I_0}{16}$ - ток; когда линзы как количество находится в пучке. \Rightarrow

S_n - площадь линзы $\left[D_n \right]$ - диаметр пучка на рас. F_0 от L_1

$S_n = \left(\frac{3}{4} \frac{D}{2}\right)^2 \pi = \frac{9}{64} D^2 \pi$ - площадь пучка света на расстоянии F_0 от L_1

$$\frac{I_0}{I_1} = \frac{S_n}{S_n} \Rightarrow S_n = \frac{S_n \cdot I_1}{I_0} = \frac{\frac{9}{64} D^2 \pi \cdot \frac{7 \cdot I_0}{16}}{I_0} = \frac{63 D^2 \pi}{45}$$

$$S_m = \frac{G_3 D^2 \pi}{4^5} \Rightarrow D_H = 2 \cdot \sqrt{\frac{G_3 \cdot D^2}{4^5}} = \frac{2 \cdot 3}{2 \cdot 4^2} \cdot D \cdot \sqrt{\frac{7}{4}} = \frac{3\sqrt{7}}{16} \cdot D$$

$$v = \frac{D_H}{T_0} = \text{т.н. } (T_0 - \text{время за которое мешеря проходит границу лучка})$$

$$= \frac{3\sqrt{7} \cdot D}{16 \cdot T_0}$$

$$3) \Delta T_* = \frac{(D_H - D_H)}{v} = \frac{D \left(\frac{3}{4} - \frac{3\sqrt{7}}{16} \right)}{v} =$$

$$= \frac{D \left(\frac{3(4 - \sqrt{7})}{16} \right) \cdot 16 \cdot T_0}{3 \cdot \sqrt{7} \cdot D} =$$

$$= \frac{12 - 3\sqrt{7}}{3 \cdot \sqrt{7}} \cdot T_0 = \left(\frac{4}{\sqrt{7}} - 1 \right) T_0 =$$

$$= \left(\frac{4\sqrt{7}}{7} - 1 \right) T_0 \approx 0,7 T_0$$

$$T_1 = T_0 + \Delta t \approx 1,7 T_0$$

Ответ: 1) $\frac{4}{3} F_0$

2) $v = \frac{3\sqrt{7} D}{16 T_0} \approx \frac{D}{2 T_0}$

3) ~~$T_1 = 1,7 T_0$~~
 $T_1 = 1,7 T_0$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$u = ? \quad \sqrt{1 - \frac{4}{9}} = \frac{\sqrt{5}}{3} \quad v_1 \sin \alpha = v_2 \sin \beta$$

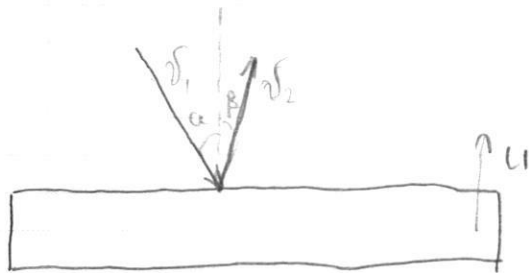
$$v_1 = 18 \frac{m}{c}$$

$$\sin \alpha = \frac{2}{3} \quad \cos \alpha = \frac{\sqrt{5}}{3}$$

$$v_2 = ?$$

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

$$\cos \beta = \frac{4}{5}$$



$$v_2 = \frac{v_1 \sin \alpha}{\sin \beta}$$

$$v_2 = \frac{18 \cdot \frac{2}{3}}{\frac{3}{5}} = \frac{18 \cdot 2 \cdot 5}{3 \cdot 3} = 20 \frac{m}{c}$$

с.о. плиты:

$$\frac{m((v_1 \cos \alpha + u)^2 + (v_1 \sin \alpha)^2)}{2} - \frac{m((v_2 \cos \beta - u)^2 + (v_2 \sin \beta)^2)}{2} = Q$$

$$\frac{m((v_1 \cos \alpha + u)^2 - (v_2 \cos \beta - u)^2)}{2} = Q \quad E_{k1} - E_{k2} = \frac{E_{k1}}{2}$$

$$E_{k2} = \frac{E_{k1}}{2}$$

$$v_1^2 \cos^2 \alpha + 2v_1 \cos \alpha u + u^2 - v_2^2 \cos^2 \beta + 2v_2 \cos \beta u - u^2 = \frac{2Q}{m}$$

$$0 \leq \left(\frac{2Q}{m} \right) - v_1^2 \cos^2 \alpha + v_2^2 \cos^2 \beta$$

$$u = \frac{\left(\frac{2Q}{m} \right) - v_1^2 \cos^2 \alpha + v_2^2 \cos^2 \beta}{2(v_1 \cos \alpha + v_2 \cos \beta)}$$

$$= \frac{\frac{2Q}{m} + 20^2 \cdot \frac{4}{5^2} - 18^2 \cdot \frac{5}{3^2}}{2(18 \cdot \frac{\sqrt{5}}{3} + 20 \cdot \frac{4}{5})} = \frac{\left(\frac{2Q}{m} \right) + 4^2 - 2^2 \cdot 5}{2(6 \cdot \sqrt{5} + 16)}$$

$$\frac{236}{58,4} \approx 4 \frac{m}{c}$$

$u > 4 \frac{m}{c} \approx$

№ 2

ар T_1	$\frac{3}{4} V$	критич T_2	V
-------------	-----------------	-----------------	-----

$$V = \frac{3}{5} \text{ мОмк}$$

$$R = 8,31 \text{ Омк} / \text{мОмк к}$$

$$T_1 = 320 \text{ к}$$

$$T_2 = 400 \text{ к}$$

$$P_1 V_a = \nu R T_1$$

$$P_1 V_n = \nu R T_2$$

$$\left(\frac{V_a}{V_n} = \frac{T_1}{T_2} = \frac{32}{40} = \frac{8}{10} = \frac{4}{5} \right) \text{ (0,8)}$$

$$P_2 V_a = \nu R T_0$$

$$P_2 V_n = \nu R T_0$$

№ 3

ϵ

$$L_1 = 5L$$

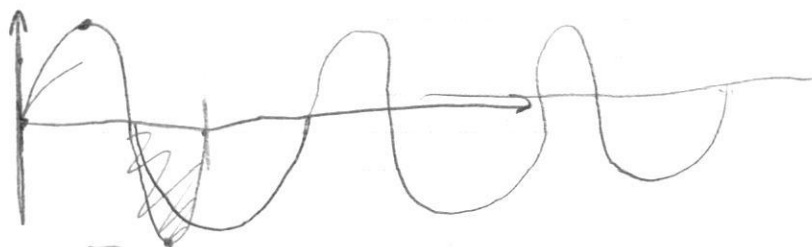
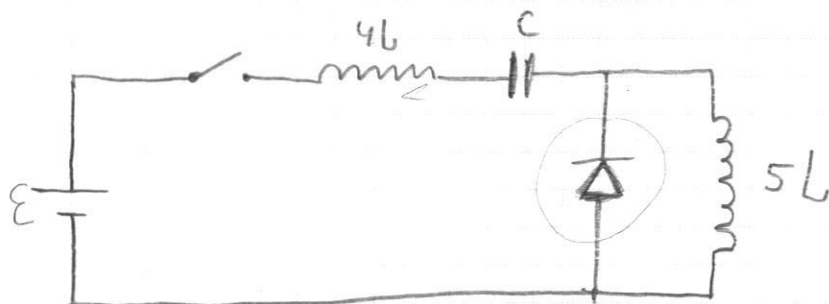
$$L_2 = 4L$$

C

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

$$L_{\text{общ}} = 9L$$

\checkmark



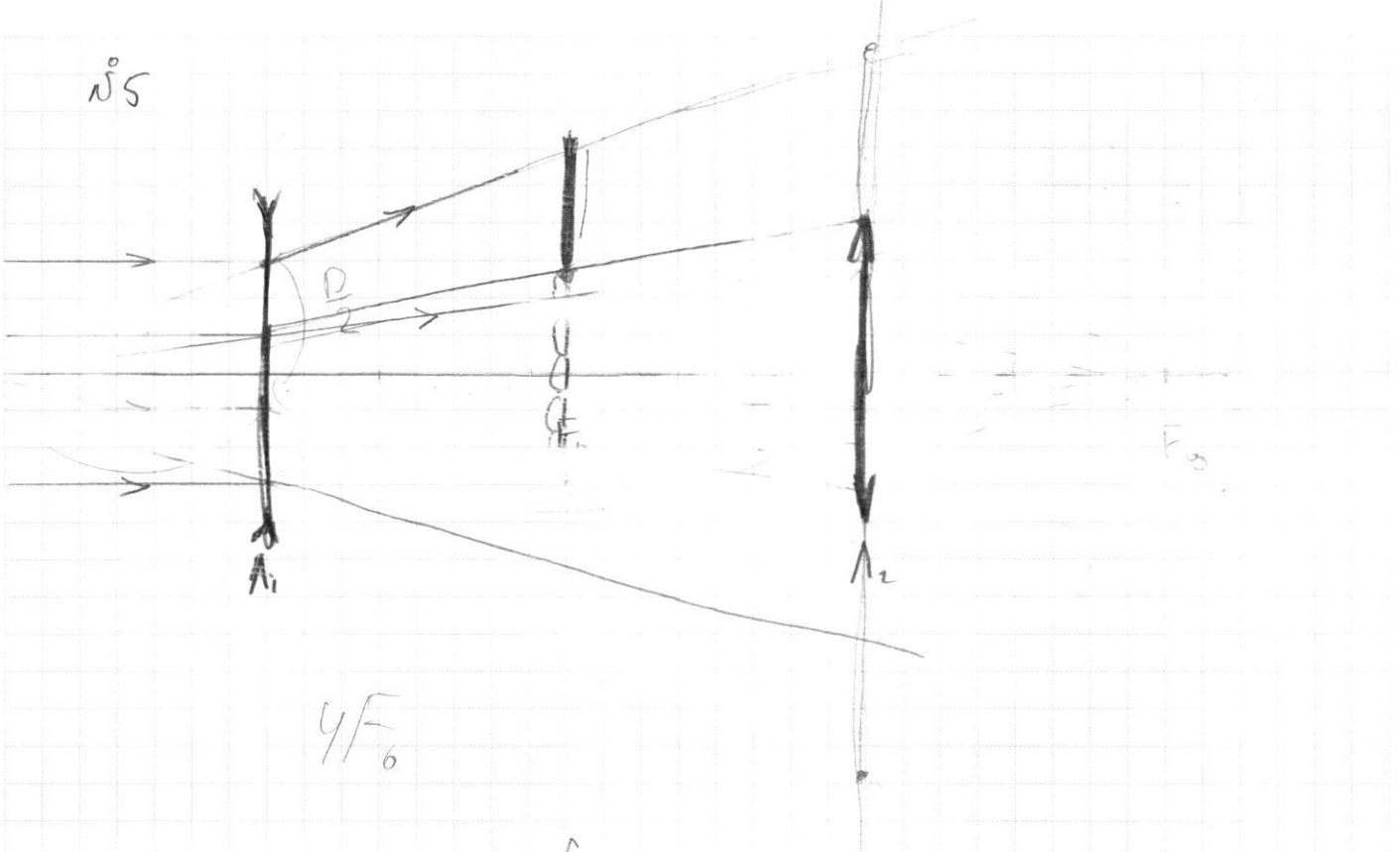
$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi \sqrt{LC} = 6\pi \sqrt{LC}$$

пол периода $\frac{4}{3}$ 2 катушки и конденсатор

пол периода $\frac{4}{3}$ 1 катушки 1 конденсатор
Т.к. диод идеален и ток будет идти

$\frac{4}{3}$ периода.

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



4F₀

2F

д. пучка

Можно считать, что луч
2 линзу падает на параллельный
пучок т.к. $D \ll F_0$.

$$\frac{4}{2,5} \cdot 4 = \frac{16}{1,25}$$

$$4 \cdot 2,61$$

$$\frac{80}{16} = \frac{1}{2}$$

0,4

$$3 \cdot 2,6 =$$

$$6 + 1,8 = \frac{7,8}{16}$$

$$\begin{array}{r} 8,8 \\ \times 83,1 \\ \hline 831 \\ 880 \\ 704 \\ \hline 498,6 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 2,6 \\ + 2,6 \\ \hline 5,2 \\ + 15,6 \\ \hline 6,76 \end{array}$$

$$E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$$

$$E_k =$$

№3

$$E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$$

$$= 2v_2^2 \sin^2 \beta + 2v_2^2 \cos^2 \beta - 4v_2^2 \cos \beta \sin \beta + 2u^2$$

$$= v_2^2 \sin^2 \alpha + v_2^2 \cos^2 \alpha + 2v_1 \cos \alpha u + u^2 =$$

$$\frac{2 \cdot \cancel{v_2} (v_2 \sin \beta)^2 + (v_2 \cos \beta - u)^2}{\cancel{v_2} (v_2 \sin \alpha)^2 + (v_2 \cos \alpha + u)^2} =$$