Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2022

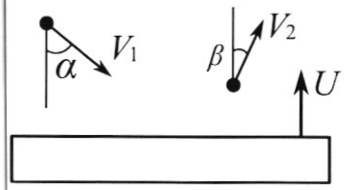
Класс 11

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

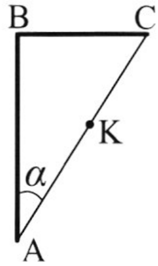
2. Цилиндрический теплоизолированный горизонтально расположенный сосуд разделен на два отсека теплопроводящим поршнем, который может перемещаться горизонтально без трения. В первом отсеке находится азот, во втором – кислород, каждый газ в количестве $\nu=3/7$ моль. Начальная температура азота T_1 = 300 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?

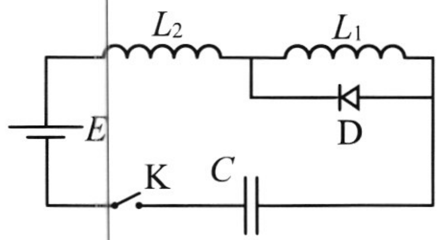
3. Две бесконечные плоские прямоугольные пластины AB и BC перпендикулярны друг к другу и образуют двугранный угол с ребром B. На рисунке показано сечение угла плоскостью, перпендикулярной ребру B.



1) Пластина BC заряжена с постоянной поверхностной плотностью заряда. Угол $\alpha=\pi/4$. Во сколько раз увеличится напряженность электрического поля в точке K на середине отрезка AC, если пластину AB тоже зарядить с такой же поверхностной плотностью заряда?

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

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 K разомкнут, конденсатор не заряжен, тока в цепи нет. После замыкания ключа возникают колебания тока в L_1.

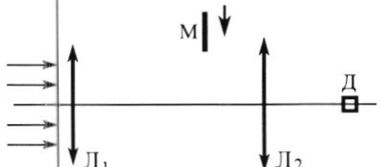


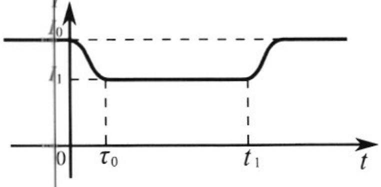
1) Найти период T этих колебаний.

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 Л$_1$ и Л$_2$ (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 Л$_1$ 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 Л$_1$. 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 Л$_2$ и фотодетектором.

2) Определить скорость V движения мишени. 3) Определить t_1.

Известными считать величины F_0, D, τ_0.

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№1

Дано:

$v_1 = 8$ м/с

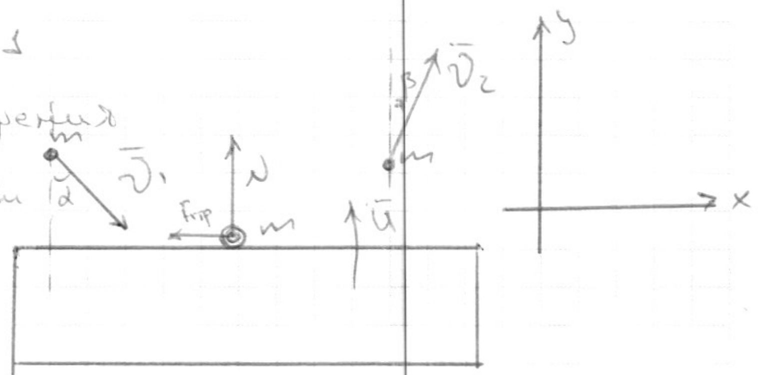
$\sin\alpha = \frac{3}{4}$

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

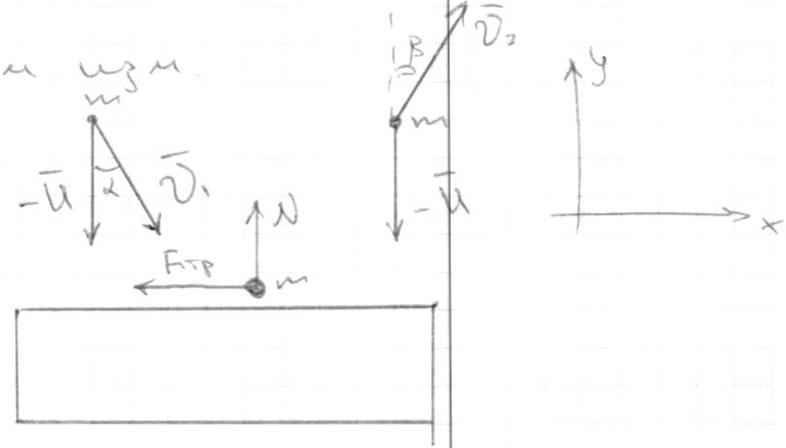
$v_2 = ?$

$u = ?$

Для рассмотрения удара перейдем в ИСО связ. с плитой.



Рассмотрим изм. импульса:



OX: ~~$\parallel$~~

$p_{1x} = (-u - v_1 \cdot \cos\alpha)m$

$p_{2x} = (v_2 \cos\beta - u)m$

$p_{2x} - p_{1x} = \sum N \cdot \Delta t$, $\Delta t \to 0$

↑ импульс силы N за время удара

OY: $p_{1y} = v_1 \cdot \sin\alpha$

$p_{2y} = v_2 \cdot \sin\beta$

~~$p_{2y} - p_{1y} = \sum F_{тр} \cdot \Delta t$~~ ← ~~импульс~~ силы трения

$p_{2y} - p_{1y} = 0$, $F_{тр} = 0$

$v_2 \cos\beta\, m + v_1 \cos\alpha\, m = \sum N \Delta t$

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

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

Найдем крайние значения для u:

1) ~~Шарик может „недогнать" плиту:~~

1) Такой отскок должен соглас. с ЗСЭ:

ЗСЭ в ИСО плиты:

$$\frac{m v_1'^2}{2} = Q + \frac{m v_2'^2}{2}$$

$$v_1'^2 = (v_1 \cos\alpha + u)^2 + (v_1 \sin\alpha)^2$$

$$v_2'^2 = (v_2 \cos\beta - u)^2 + (v_2 \sin\beta)^2$$

$Q \geq 0$ – неупр. удар.

$$\frac{m}{2}\left(v_1^2\cos^2\alpha + 2v_1\cos\alpha\, u + \cancel{u^2} + v_1^2\sin^2\alpha\right) = Q +$$

$$+ \frac{m}{2}\left(v_2^2\cos^2\beta - 2v_2\cos\beta\, u + \cancel{u^2} + v_2^2\sin^2\beta\right)$$

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

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

$$v_1^2 - v_2^2 + 2u\left(v_1\cos\alpha + v_2\cos\beta\right) > 0$$

$$64 - 144 + 2u\left(8\cdot\frac{\sqrt{7}}{4} + 12\cdot\frac{\sqrt{3}}{2}\right) > 0$$

$12 \cdot 12 = 144$; $144 - 64 = 80$

Осн. триг. тождество:

$$\sin^2\beta + \cos^2\beta = 1,\quad 0<\beta<\frac{\pi}{2} \Rightarrow \cos\beta = \sqrt{1-\sin^2\beta} = \sqrt{1-\frac{1}{4}} = \frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$\cos\alpha = \sqrt{1-\sin^2\alpha} = \sqrt{1-\frac{9}{16}} = \frac{\sqrt{7}}{4}$$

$$2u\left(2\sqrt{7} + 6\sqrt{3}\right) > 80$$

$$u > \frac{40}{2\sqrt{7}+6\sqrt{3}} \text{ м/с}$$

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

ШИФР

(заполняется секретарём)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

2) В СО пластины шарик после удара движется от пластины:

$v_2 \cos\beta - u \geq 0$

$u \leq v_2 \cos\beta \qquad u \leq 12 \frac{\sqrt{3}}{2} = 6\sqrt{3}$ м/с

Ответ: 12 м/с ; $\frac{40}{2\sqrt{7}+6\sqrt{3}}$ м/с $\leq u \leq 6\sqrt{3}$ м/с

$6\sqrt{3} \vee \frac{40}{2\sqrt{7}+6\sqrt{3}}$

$6\sqrt{3} \cdot 2\sqrt{7} + 36 \cdot 3 \vee 40 \qquad \begin{array}{r} 36 \\ \times\ 3 \\ \hline 108 \end{array}$

$12\sqrt{21} \vee \cancel{108}\ 40 - 108$

№2

Дано:

$i = 5$ ← двухат газы

$\nu = \frac{3}{7}$ моль

$T_1 = 300$ K

$T_2 = 500$ K

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

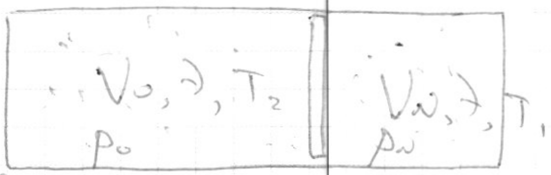
$R = 8{,}31 \frac{Дж}{моль \cdot K}$

$\frac{V_N}{V_0} = ?$

$T = ?$

$Q_{0 \to N} = ?$

$C_V = \frac{i}{2} R = \frac{5}{2} R \quad i = 5$



$pV = \nu R T$

Усл. равновес поршня:

$p_0 = p_N$

$p_0 \cdot V_0 = \nu R T_2$

$p_N \cdot V_N = \nu R T_1$

$\frac{V_N}{V_0} \cdot \frac{p_N}{p_0} = \frac{T_1}{T_2}$

$\frac{V_N}{V_0} = \frac{T_1}{T_2} = \frac{300}{500} = \boxed{0{,}6}$

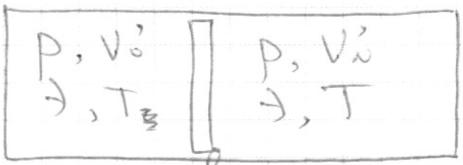
$U_0 = \frac{i}{2} \nu R T_2$

$U_N = \frac{i}{2} \nu R T_1$

☐ черновик ☑ чистовик (Поставьте галочку в нужном поле)

I Нач термодин:

$Q = \Delta U + A_г$



I Нач термодин для всего сосуда:

$Q = \Delta U + A_г$ $\quad$ $Q = 0$ – сосуд теплоизолир.

$A_г = 0$ – сосуд не меняет объем ⇒

$\Delta U = 0$ ⇒

$U_N + U_o = U_N' + U_o'$

$U_N' = \frac{i}{2}\nu RT \quad U_o' = \frac{i}{2}\nu RT$

$\frac{\cancel{i}}{2}\cancel{\nu R}T + \frac{\cancel{i}}{2}\cancel{\nu R}T = \frac{\cancel{i}}{2}\cancel{\nu R}T_1 + \frac{\cancel{i}}{2}\cancel{\nu R}T_2$

$2T = T_1 + T_2 \quad T = \frac{T_1 + T_2}{2} = 400$ K

I Нач термодин:

Кислород: $\qquad$ Азот:

~~$Q_к = \Delta U_к$~~

$Q_{O_2} = \Delta U_o + A_o \qquad Q_N = \Delta U_N + A_N$

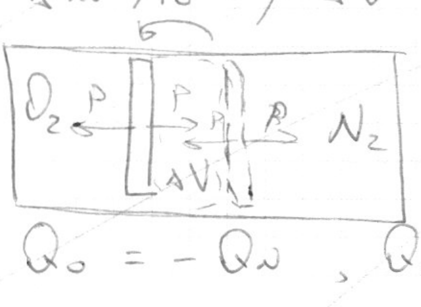
Заметим, что $A_N > 0$, $A_N = -A_o$,

действительно, процесс квазистат ⇒

Элементарная работа Азота $\Delta A_N = p \cdot \Delta V$

в кажд мом вр. равна элементарной работе

кислорода $\Delta A_o = -p \cdot \Delta V$



Также $Q_o = -Q_N$, $Q_N > 0$ – все тепло,

которое отдавал кислород, переходило азоту

~~$pdV_1 + Vdp = \nu RdT_1$~~

~~$dA_1 = pdV_1 = \nu RdT_1 - Vdp$~~

~~Ep~~

~~$pV_N = \nu RT_N$~~

~~$pV_0 = \nu RT_0$~~

~~$T_N + T_0 = T_1 + T_2 \Rightarrow \Delta U = 0$~~

~~$V_0 + V_N = \ldots \quad V_0 + V_N - const$~~

~~$p = \nu R\left(\frac{T_N}{V_N}\right) \quad p - const \Rightarrow$~~

~~$pdV_1 + Vdp = \nu RdT_1$~~

~~$dA_1 + Vdp = \frac{2}{i} \cdot \frac{i}{2} \nu RdT_1$~~

~~$dQ = \frac{pdV_1 + V_1dp}{\nu R} \cdot \nu$~~

$$\begin{array}{r} 831 \\ \times\ 6 \\ \hline 4986 \end{array}$$

$Q = C_p \cdot \nu \cdot \Delta T = (T_2 - T) \cdot \nu \cdot \frac{i+2}{2} R =$

$= 100 \cdot \frac{3}{\cancel{4}} \cdot \frac{\cancel{4}}{2} \cdot 8{,}31 = 831 \cdot 6 = 4986$ Дж

Ответ: 4986 Дж

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

ШИФР

(заполняется секретарём)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

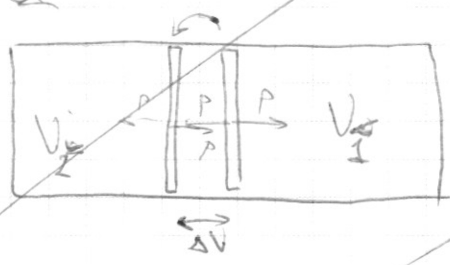
$-Q_N = \Delta U_0 - A_0$ $\quad \Delta U_0 + \Delta U_N = 0 \Rightarrow \Delta U = 0$

$Q_N = \Delta U_N + A_N$

Найдем работу Азота

$C_V = \frac{i}{2}R \quad C_p = \frac{i+2}{2}R$ ← теплоемкость

Найдем работу Азота:



Процесс квазистатич. ⇒ Ур-ние Менд-Клайперона применимо в кажд. момент.

$p(V_N + V_0 - V_1) = \nu R(T_1 + T_2 - T_1')$

$\Delta U = 0 \Rightarrow \frac{i}{2}\nu RT_1 + \frac{i}{2}\nu RT_2 = \frac{i}{2}\nu RT_1' + \frac{i}{2}\nu RT_2'$

$T_1' + T_2' = T_1 + T_2$

$p \cdot V_2 = \nu RT_2'$

$p \cdot V_1 = \nu RT_1'$

$p = \frac{\nu RT_1'}{V_1}$

$\Delta A_N = p \cdot \Delta V \qquad A_N = \int p\,\Delta V = \int_{V_N}^{V_N'} \frac{\nu RT_1'}{V_1} dV$

$V_N' = V_0' = \frac{V_N + V_0}{2} = \frac{V_N + V_0}{2} = \frac{\frac{\nu RT_1}{p_0} + \frac{\nu RT_2}{p_0}}{2}$

$V_N = \frac{\nu RT_1}{p_0}$

$A_N = \nu RT_1$

$T_2' + T_1' = T_1 + T_2$ ← $\Delta U = 0$

$pV_2 = \nu RT_2'$ $\quad V_1 + V_2 = V_N + V_0$ ← $\Delta V = 0$

$pV_1 = \nu RT_1'$ $\quad dA = p\,dV_1$

☑ черновик ☐ чистовик

(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__

(Нумеровать только чистовики)

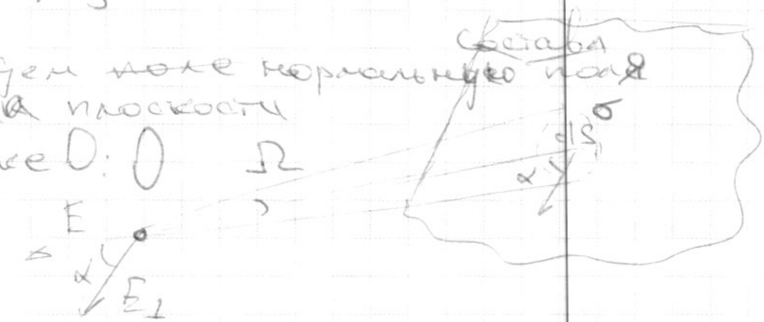
ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

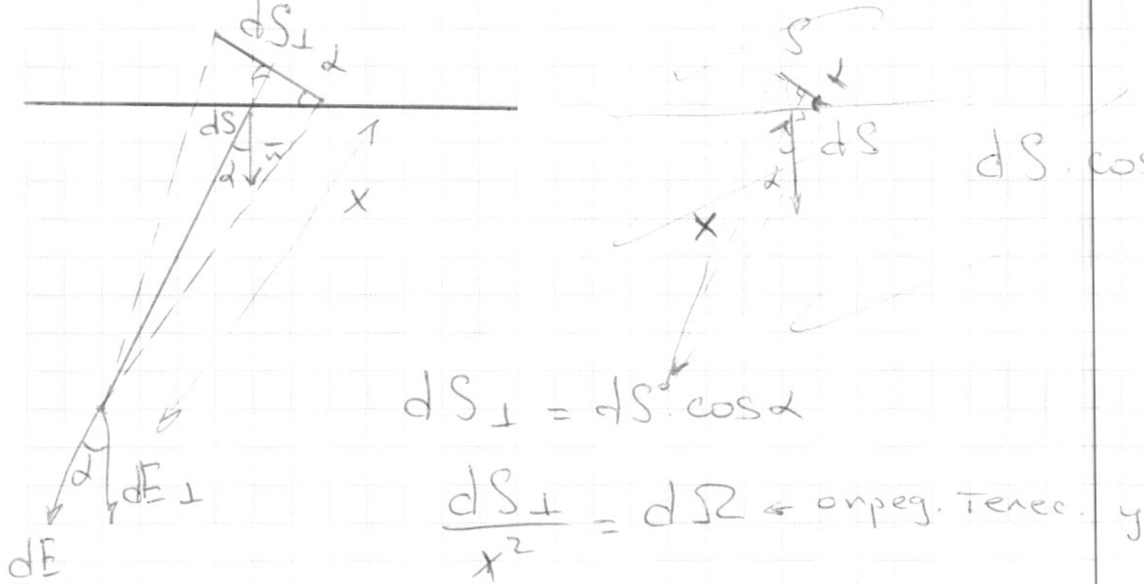
№3

Дано:

$\alpha = \frac{\pi}{4}$

Найдем ~~поле~~ нормальную ~~поля~~ составляющую поля участка плоскости в точке O:





$dS \cdot \cos\alpha = S$

$dS_\perp = dS \cdot \cos\alpha$

$\frac{dS_\perp}{x^2} = d\Omega$ ← опред. телес. угла

$\frac{dS \cdot \cos\alpha}{x^2} = d\Omega$

$dE = \frac{dS \cdot \sigma}{x^2} \cdot k$ ← заряд пластинки

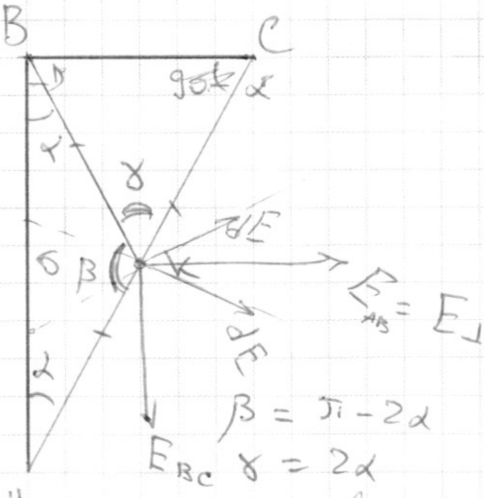
$\begin{cases} dE_\perp = \frac{dS \cdot \sigma \cdot k}{x^2} \cos\alpha \\ \frac{dS \cdot \cos\alpha}{x^2} = d\Omega \end{cases}$

$dE_\perp = d\Omega \cdot \sigma k$

$\boxed{E_\perp = \Omega \cdot \sigma k}$ ← перпендикулярная составляющая напряж. поля от равномерно заряж. плоскости, которую видно под телесным углом Ω

$BK = CK = AK$ –

по св-ву мед из прям. угла



$\beta = \pi - 2\alpha$

$\gamma = 2\alpha$

~~Найдем~~

Из симметрии BC ~~AB~~ относительно K несложно понять, что ~~состав~~. все тангенциальные составляющие поля симм. $\Rightarrow$ $E = E_{\perp}$

BC~~AB~~ – бесконечная пластина $\Rightarrow$

$$\frac{\Omega_{\cancel{AB}BC}}{\Omega_0} = \frac{\beta}{2\pi} \qquad \Omega_0 = 4\pi$$

$$\Omega_{\cancel{AB}\,BC} = \beta \cdot 2 = 2\pi - 4\alpha$$

$$E_{\cancel{AB}\,BC} = \Omega_{\cancel{AB}\,BC} \cdot \sigma \cdot k = (2\pi - 4\alpha) \cdot \sigma \cdot k \overset{\alpha = \frac{\pi}{4}}{=} (2\pi - \pi)\sigma k = \underline{\pi \sigma k}$$

AB~~BC~~ – то же симм. относительно K $\Rightarrow$ и бесконечн пластина

$$E_{\cancel{BC}\,AB} = E_{\perp \cancel{BC}\,AB} = \Omega_{\cancel{BC}\,AB} \cdot \sigma \cdot k$$

$$\frac{\Omega_{AB}}{\Omega_0} = \frac{\gamma}{2\pi} \qquad \Omega_{\cancel{BC}\,AB} = 2\gamma = 4\alpha = \pi$$

$$E_{AB} = \pi \sigma k$$

$$E_0 = \sqrt{E_{BC}^2 + E_{AB}^2} = \sqrt{2}\,\pi \sigma k$$

$$\boxed{\frac{E_0}{E_{BC}} = \sqrt{2}}$$

☐ черновик ☑ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

ШИФР

(заполняется секретарём)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Из предыдущ. п.:

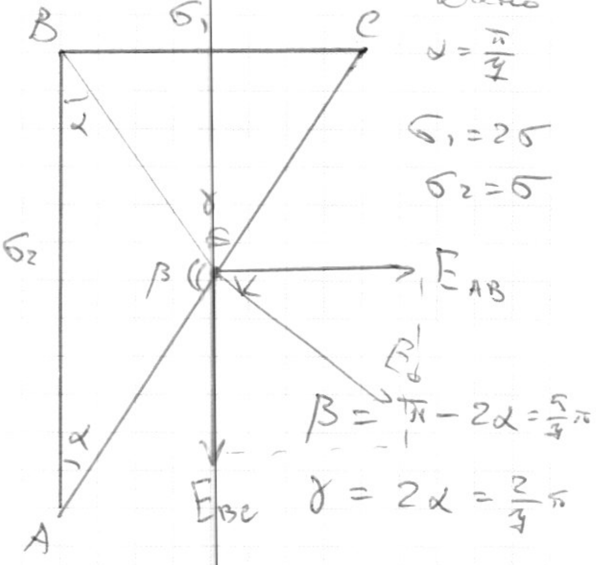
2) $E_{AB} = \Omega_{AB} \cdot \sigma_2 k$

$E_{BC} = \Omega_{BC} \cdot \sigma_1 k$

$\frac{\Omega_{AB}}{\Omega_0} = \frac{\beta}{2\pi}$

$\Omega_{AB} = 2\beta = 2\left(\pi - \frac{2}{7}\pi\right) = 2 \cdot \frac{5}{7}\pi = \frac{10}{7}\pi$

$\frac{\Omega_{BC}}{\Omega_0} = \frac{\gamma}{2\pi}$ $\quad \Omega_{BC} = 2\gamma = \frac{4}{7}\pi$



Дано

$\alpha = \frac{\pi}{7}$

$\sigma_1 = 2\sigma$

$\sigma_2 = \sigma$

$\beta = \pi - 2\alpha = \frac{5}{7}\pi$

$\gamma = 2\alpha = \frac{2}{7}\pi$

$E_{AB} = \frac{10}{7}\pi \cdot \sigma \cdot k = \frac{10}{7}\pi\sigma k$

$E_{BC} = \frac{4}{7}\pi \cdot 2\sigma \cdot k = \frac{8}{7}\pi\sigma k$

164	2
82	2
41	

$E_0 = \sqrt{E_{BC}^2 + E_{AB}^2} = \frac{\pi\sigma k}{7}\sqrt{10^2+8^2} = \frac{\pi\sigma k}{7}\sqrt{164} =$

$= \pi\sigma k \frac{2}{7}\sqrt{41}$

Ответ: $\frac{2}{7}\sqrt{41}\pi\sigma k$

№4

Дано:

$\mathcal{E}, C$

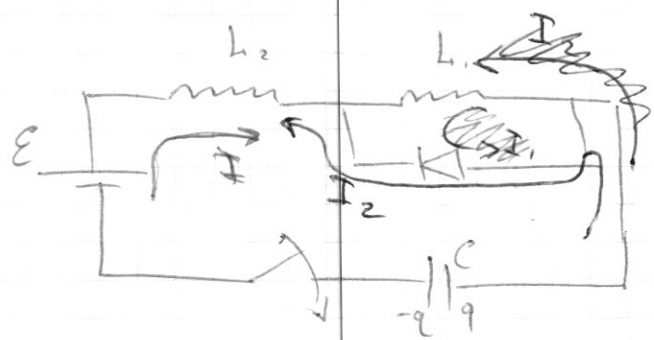
$L_1 = 2L$

$L_2 = L$

$T - ?$

$I_{M1} - ?$

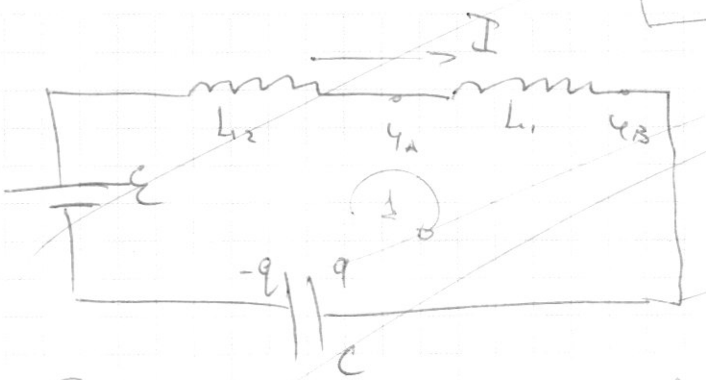
$I_{M2} - ?$



☐ черновик ☑ чистовик

(Поставьте галочку в нужном поле)

(Нумеровать только чистовики)



Пока ток течёт против диода:

①: $L_2\dot{I} + L_1\dot{I} + U_к = \mathcal{E}$

$\varphi_A > \varphi_B$, т.к. $\varphi_A - \varphi_B = L_1\dot{I}$

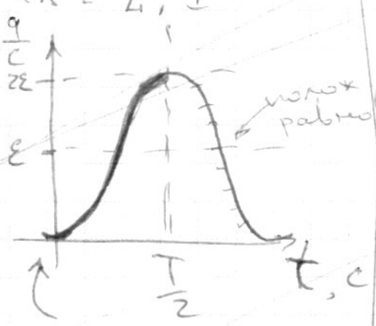
$\dot{q} = I$

$3L\dot{I} + \frac{q}{C} = \mathcal{E}$

$3L\ddot{q} = \mathcal{E} - \frac{q}{C}$

$3LC\ddot{q} = \mathcal{E} - q$

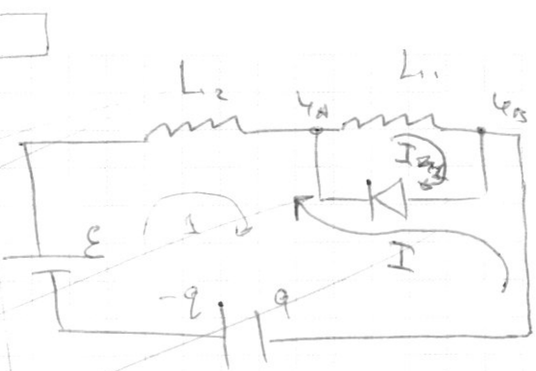
$\ddot{q} = \frac{\mathcal{E}}{3LC} - \frac{q}{3LC}$



колебания с $\omega = \sqrt{\frac{1}{3LC}}$

Но длятся такие колеб только ~~в~~ первые $T/2$, пока $\varphi_A > \varphi_B$.

$t_1 = \frac{T}{2} = \frac{\frac{2\pi}{\omega}}{2} = \frac{\pi}{\omega} = \pi\sqrt{3LC}$

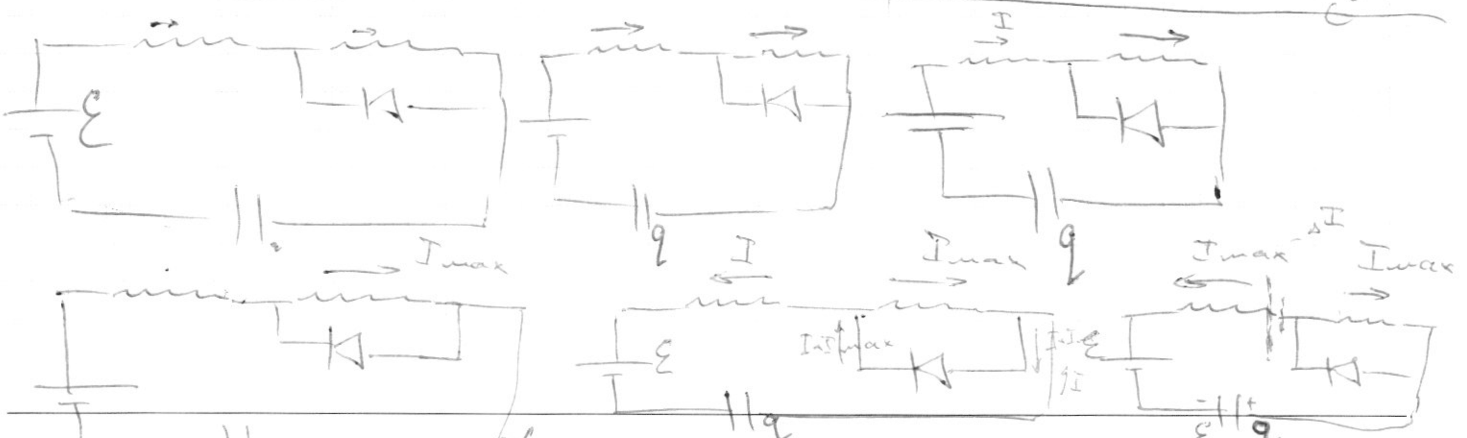


$\varphi_B - \varphi_A = 0 \Rightarrow$ В катушке L_1 остается ток, т.к. $L_1\dot{I}_1 = 0$

①: $\mathcal{E} = -L_2\dot{I} + U_к$

$I = -\dot{q}$

$\mathcal{E} = -L\cdot\dot{I} + \frac{q}{C}$



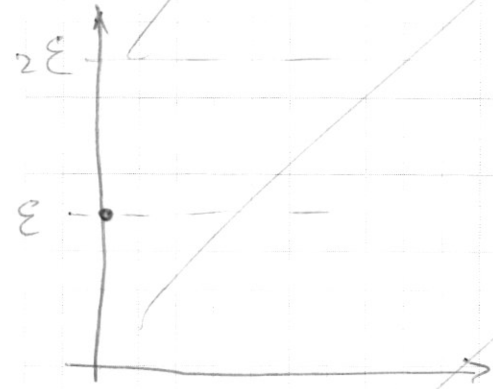
До этого момента пройдет $t_2 = \frac{T}{2} = \pi\sqrt{LC}$

3) $I = -I_{max}$

$\dot{I} < 0$

~~Диод закроется~~ $\vec{I}$

Диод не может моментально закрыться, иначе не будет работать закон сохр. заряда



$\varphi_B - \varphi_A \geq 0 \Rightarrow$

$$\mathcal{E} = -L_2\dot{I} + \frac{q}{C}$$

$$\varphi_B - \varphi_A = \frac{q}{C} - \mathcal{E} - L_2\dot{I} = L_1\dot{I}_2$$

Если $\varphi_B - \varphi_A = 0$, то

$I_2 = I_{max} = const$

$\frac{q}{C} - \mathcal{E} - L_2\dot{I} = 0$

Если $\varphi_B - \varphi_A < 0$, то

заряд I пр. Кирх для A:

$I_{max} + I_{max} = 0$ – не верно.

$$\varphi_B - \varphi_A = 0 = \frac{q}{C} - \mathcal{E} - L_2\dot{I} = L_1\dot{I}_2 \Rightarrow$$

Теперь ток из

$$\frac{q}{C} - \mathcal{E} - L_2\dot{I} = 0 \qquad -\dot{q} = I$$

$$\frac{q}{C} - \mathcal{E} + L_2\ddot{q} = 0$$

$$\ddot{q} = \frac{\mathcal{E}}{L} - \frac{q}{LC} \qquad \omega = \sqrt{\frac{1}{LC}}$$

Чтобы ни происходило далее в цепи, ток в L_1 – не будет изменяться, Диод все время будет пропускать такой ток, что $I_2 = I_{max} = const$

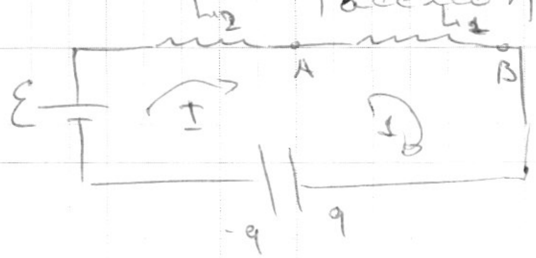
(Действительно, $I_D = I_{max} + I$,

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

ШИФР
(заполняется секретарём)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Рассмотрим эти колеб:



1) Пока $\varphi_A > \varphi_B$, т.к. $U_{L_2} > 0$ и $\dot{I} > 0$:

(1): $\mathcal{E} = L_1\dot{I} + L_2\dot{I} + U_K$

$\dot{q} = I$

$\mathcal{E} = 3L\dot{I} + \frac{q}{C}$ $\qquad \mathcal{E} = 3L\ddot{q} + \frac{q}{C}$

$\frac{\mathcal{E}}{3L} = \ddot{q} + \frac{q}{3LC}$

$\ddot{q} = -\frac{q}{3LC} + \frac{\mathcal{E}}{3L}$

$\omega = \frac{1}{\sqrt{3LC}}$ $\quad T = 2\pi\sqrt{3LC}$

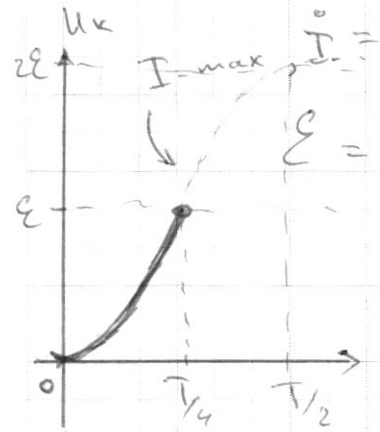


рис. 1

Это продолж, пока $\dot{I} > 0 \Rightarrow$ $\boxed{t_1 = \frac{T}{4} = \frac{\pi}{2}\sqrt{3LC}}$

такое колеб. прекратится при I_{max} (см рис 1)

З-н сохр. Э: $3L\frac{I_{max}^2}{2} + \frac{q^2}{2C} = \mathcal{E}\cdot q$, $\quad U_K = \frac{q}{C} = \mathcal{E}$

$q = C\mathcal{E}$

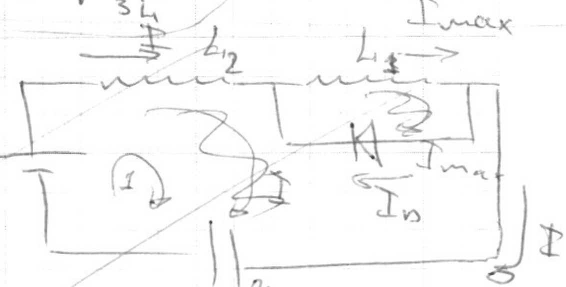
$\frac{3L}{2}I_{max}^2 + \frac{C\mathcal{E}^2}{2} = C\mathcal{E}^2$

$3LI_{max}^2 = C\mathcal{E}^2$

$I_{max} = \sqrt{\frac{C\mathcal{E}^2}{3L}}$

2)

$\varphi_B - \varphi_A = 0$



В катушке L_2 начин. спадать ток, в катушке L_1 - ток const $= I_{max}$ $(U_{K_1} = 0)$

$L_1\dot{I} = 0$

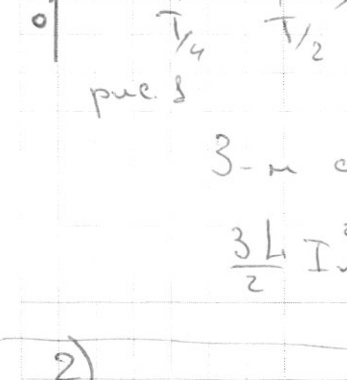
Через диод течет такой ток, что $I + I_D = I_{max}$

$\dot{I} < 0$

(1): $\mathcal{E} = L_2\dot{I} + \frac{q}{C}$ $\qquad I = \dot{q}$

$\mathcal{E} = L\cdot\ddot{q} + \frac{q}{C}$ $\qquad \ddot{q} = \frac{\mathcal{E}}{L} - \frac{q}{LC}$ $\qquad \omega = \sqrt{\frac{1}{LC}}$

$T = 2\pi\sqrt{LC}$



Ток в кат L_2 будет уменьш. до тех пор, пока всё сист. не вернется в положение равновесия $(U_K = \mathcal{E})$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$I \in [-I_{max}; I_{max}]$

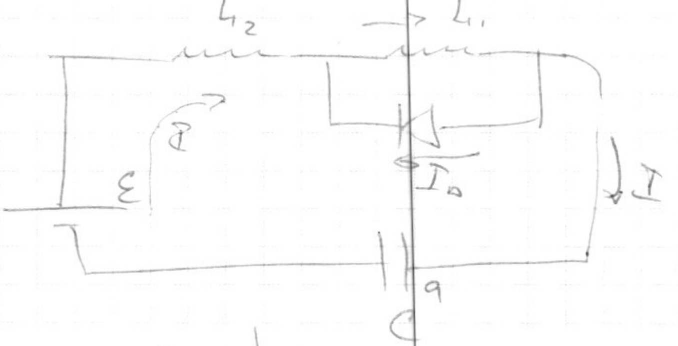
$\cancel{\frac{C\mathcal{E}^2}{2} + \frac{L_1 I_{max}^2}{2} = \mathcal{E} q_g + \frac{(\mathcal{E}C + q_g)^2}{2 \cdot C}}$

2) $\varphi_B - \varphi_A = 0$

в кат L_1

В кат L_2 - изм ток, $U_{k1} = 0 \Rightarrow I_1 = I_{max} = const$

Найдем ур-ние колеб и заряд конд. в конце:



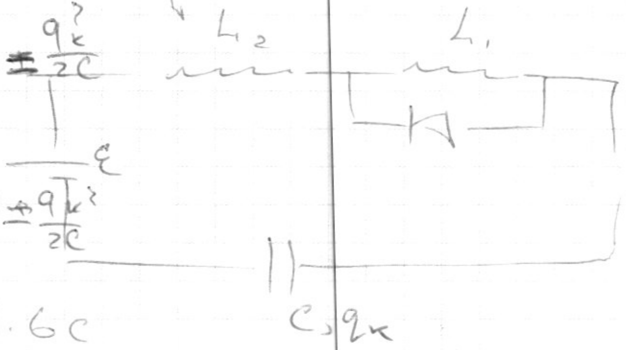
$\mathcal{E} = L_2 \dot{I} + \frac{q}{C}$

$\ddot{q} = \frac{\mathcal{E}}{L} - \frac{q}{LC} \quad \omega = \sqrt{\frac{1}{LC}}$

$T = 2\pi\sqrt{LC}$

ЗСЭ:

$\frac{L_2 I_{max}^2}{2} + \frac{q^2}{2C} + \mathcal{E} \cdot (q_k - q) = \frac{q_k^2}{2C}$



$L_1 \cdot \frac{C\mathcal{E}^2}{3L_1 \cdot 2} + \frac{C\mathcal{E}^2}{2} + \mathcal{E}(q_k - C\mathcal{E}) = \frac{q_k^2}{2C}$

$\frac{C\mathcal{E}^2}{6} + \frac{C\mathcal{E}^2}{2} + \mathcal{E} q_k - C\mathcal{E}^2 = \frac{q_k^2}{2C} \quad | \cdot 6C$

$C^2\mathcal{E}^2 + 3C^2\mathcal{E}^2 + 6C\mathcal{E} q_k - 6C^2\mathcal{E}^2 = 3q_k^2$

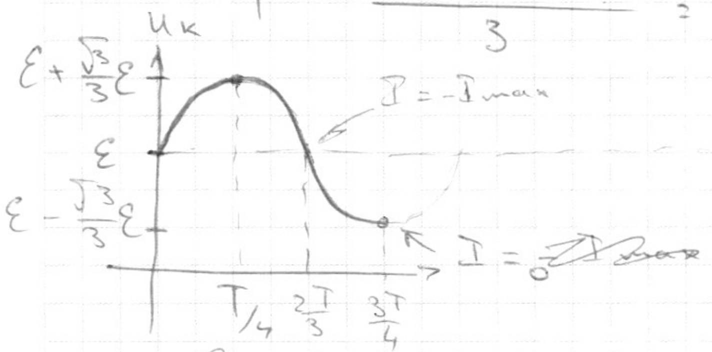
$\cancel{-10C^2\mathcal{E}^2 + 6C\mathcal{E} q_k + 3q_k^2 = 0} \qquad 3q_k^2 - 6C\mathcal{E} q_k + 2\mathcal{E}^2 C^2 = 0$

$\cancel{\frac{D}{4} = 9C^2\mathcal{E}^2 + 3 \cdot 10 C^2\mathcal{E}^2 = 39 C^2 \mathcal{E}^2}$

$\cancel{q_k = \frac{-6C\mathcal{E} \pm C\mathcal{E}\sqrt{39}}{3}} = \frac{\sqrt{39} - 6}{3} C\mathcal{E}$

$\frac{D}{4} = 9C^2\mathcal{E}^2 - 6C^2\mathcal{E}^2 = 3C^2\mathcal{E}^2$

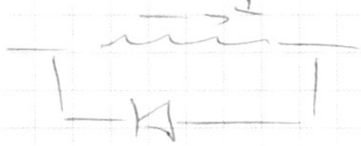
$q_к = \frac{3C\mathcal{E} + \sqrt{3}C\mathcal{E}}{3} = C\mathcal{E} + \frac{\sqrt{3}}{3}C\mathcal{E}$



~~$t_2 = T/4 = \frac{\pi}{2}\sqrt{LC}$~~

3) Заметим, что ток в кат L_1 может только увелич., т.к. она замкнута на диод, а $U_D = 0$ - в открытом сост. $\Rightarrow L_1\dot{I} = 0 \Rightarrow I$ - не уменьш.

Посмотрим, может ли

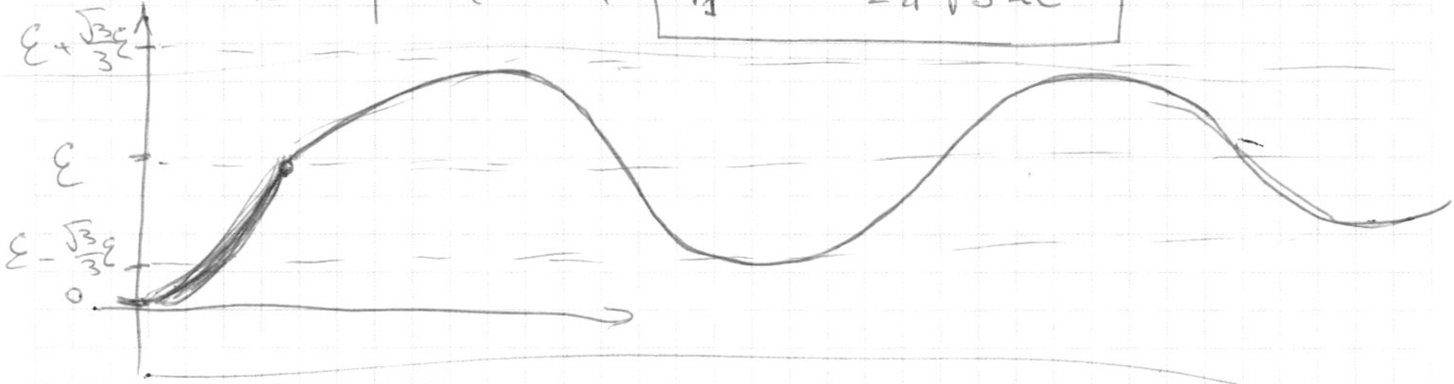


ток увелич. по рис. 2 понятно, что ток не будет выше $I_{max} \Rightarrow$

$I_{m1} = I_{m2} = I_{max} = \sqrt{\frac{C\mathcal{E}^2}{3L_1}}$

$T_1 = \infty$ - ток не колеблется,

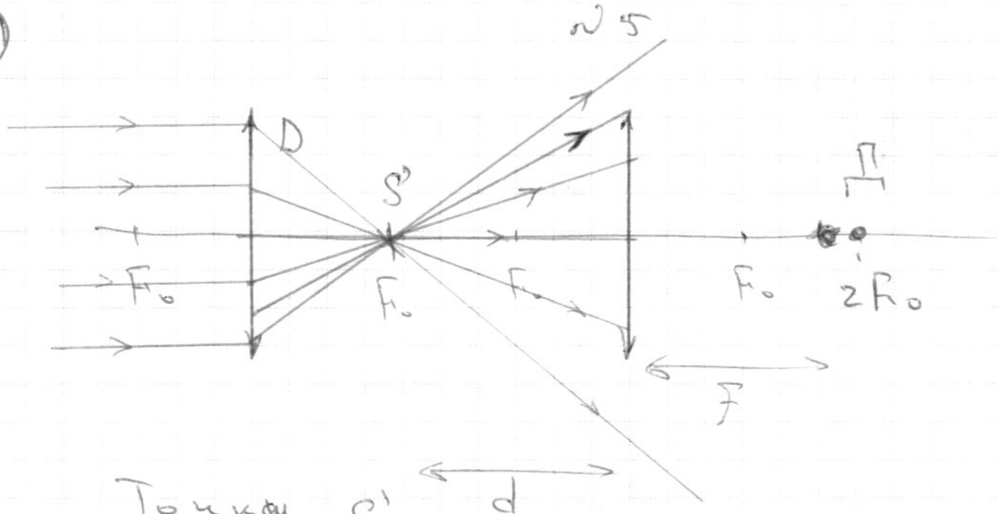
В первые $T/4$ $\boxed{T_1 = 2\pi\sqrt{3LC}}$



☐ черновик ☑ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

1) №5



Точку S' в фокусе $Л_1$ - ~~мнимый источник~~ вторичного можно считать за ист. света (действительно, лучи исходят из нее)

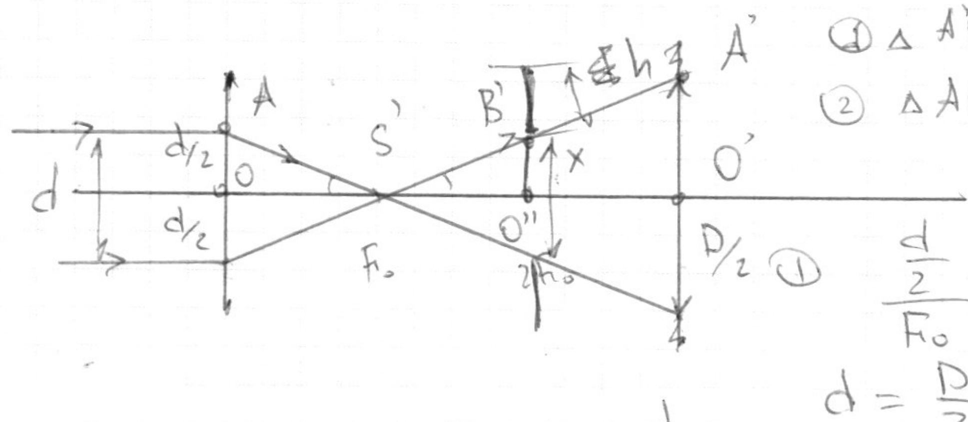
Ф-ла тонкой линзы:

$$\frac{1}{F_0} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f} \qquad d = 2F_0$$

$$\frac{1}{F_0} = \frac{1}{2F_0} + \frac{1}{f} \qquad \boxed{f = 2F_0} \Rightarrow \Pi \text{ находится}$$

~~в~~ ~~в~~ в на расст $2F_0$ от $Л_2$

2) $F_0, D, \tau_0 \quad I_1 = \frac{3\tau_0}{4} I_0$



① $\triangle A'O'S' \sim \triangle AOS'$

② $\triangle AOS' \sim \triangle B'O''S'$

~~x = d~~ ~~x = d~~

① $$\frac{\frac{d}{2}}{F_0} = \frac{\frac{D}{2}}{2F_0}$$

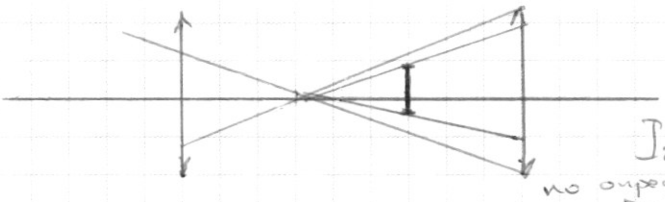
$$d = \frac{D}{2} \qquad \boxed{x = \frac{D}{2}}$$

② $x = d$

Найдём высоту h мишени:

Когда мишень целиком в потоке лучей, падающих на $Л_2$, она загораживает свет так, что

Интенсивность уменьш. до I_1 $\Rightarrow$



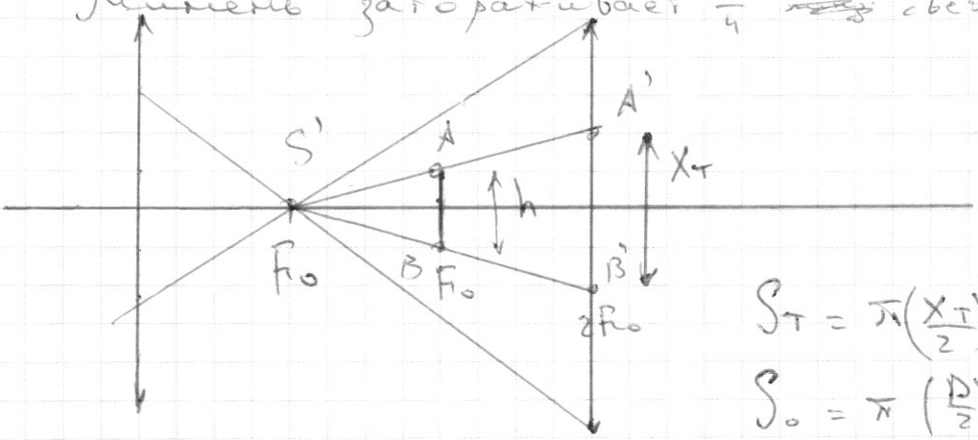
Свет, который она загородила несёт:

$$I_2 = \frac{I_0}{4}$$

по опред.

$$I \sim S \Rightarrow \frac{I_2}{I_0} = \frac{S_2}{S} = \frac{1}{4}$$

Мишень загораживает $\frac{1}{4}$ света



$$S_T = \pi\left(\frac{X_T}{2}\right)^2$$

$$S_0 = \pi\left(\frac{D}{2}\right)^2$$

$$\frac{S_T}{S_0} = \frac{(X_T)^2}{D^2} = \frac{1}{4}$$

AB - ср. лин $\triangle S'A'B' \Rightarrow$

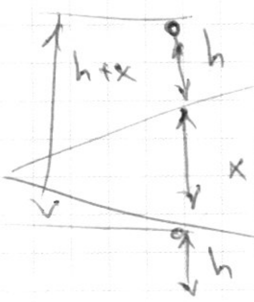
$$X_T = 2h$$

$$2X_T = D$$

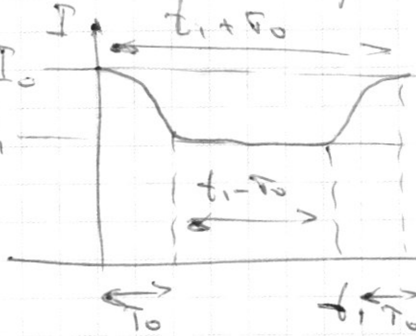
$$\Rightarrow \boxed{X_T = \frac{D}{2}} \rightarrow h = \frac{D}{4}$$

~~От момента уме~~

За время, пока $I \neq I_0$ мишень прошла расст. $h + x$



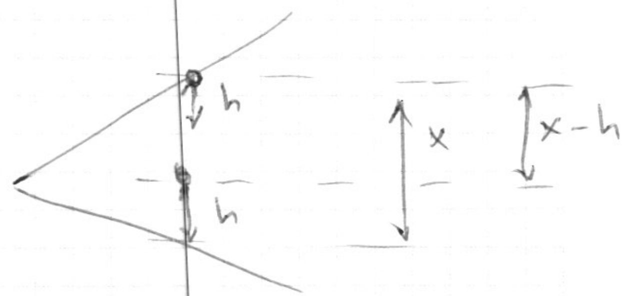
$$v(t_1 + \tau_0) = h + x$$



ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Мишень находилась целиком в потоке лучей, падающих на линзу:

1) $\begin{cases} v(t_1 - \tau_0) = x - h \\ v(t_1 + \tau_0) = h + x \end{cases}$



$h = \frac{D}{4} \quad x = \frac{D}{2}$

2) $2v\tau_0 = 2h$

$v = \frac{h}{\tau_0} = \frac{D}{4\tau_0}$

$2vt_1 = 2x$

$t_1 = \frac{x}{v} = \frac{\frac{D}{2}}{\frac{D}{4\tau_0}} = \frac{4\tau_0}{2} = \boxed{2\tau_0}$

Ответ: $v = \frac{D}{4\tau_0}$; $t_1 = 2\tau_0$; $\rho(Л_2, D) = 2F_0$