Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2022

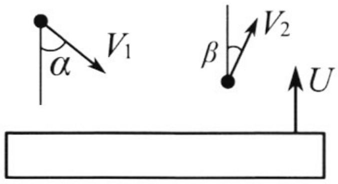
Класс 11

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 $\alpha\left(\sin\alpha = \dfrac{2}{3}\right)$ к вертикали (см. рис.). После неупругого удара о гладкую горизонтальную поверхность плиты шарик отскакивает со скоростью V_2, составляющей угол $\beta\left(\sin\beta = \dfrac{3}{5}\right)$ 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.

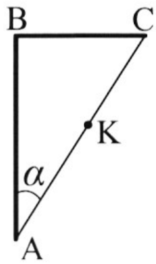
2. Цилиндрический теплоизолированный горизонтально расположенный сосуд разделен на два отсека теплопроводящим поршнем, который может перемещаться горизонтально без трения. В первом отсеке находится аргон, во втором – криптон, каждый газ в количестве $\nu = 3/5$ моль. Начальная температура аргона T_1 = 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?

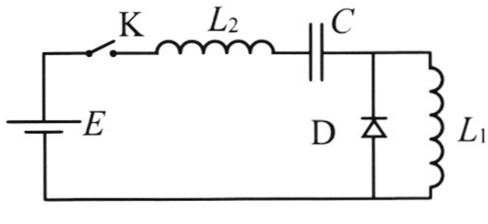
3. Две бесконечные плоские прямоугольные пластины АВ и ВС перпендикулярны друг к другу и образуют двугранный угол с ребром В. На рисунке показано сечение угла плоскостью, перпендикулярной ребру В.



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.

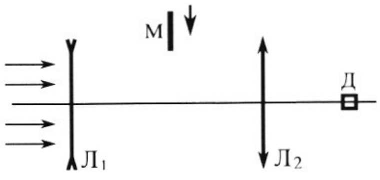


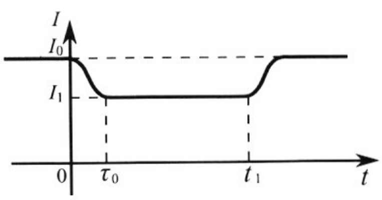
1) Найти период T этих колебаний.

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 Л$_1$ и Л$_2$ (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 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 F_0 от $Л_1$. 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 Л$_2$ 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

$T_1 = 32k$

$T_2 = 400k$

1) $\frac{V_2}{V_1}$ - ?

2) T_k - ?

3) Q - ?

Решение:

1) В начальном состоянии давления газов равны.

$pV_1 = \nu RT_1$, $pV_2 = \nu RT_2$; $\frac{V_2}{V_1} = \frac{T_2}{T_1} = \frac{40\cancel{0}}{32\cancel{0}} = \frac{5}{4} = 1{,}25$

2) П/м ЗСЭ: Очевидно, что работа криптона равна „–" работа аргона, значит

$\frac{3}{2}\nu RT_1 + \frac{3}{2}\nu RT_2 = \frac{3}{2}\cdot 2\nu RT_k + A - A$

$T_1 + T_2 = 2T_k$; $T_k = \frac{400+320}{2} = 360\ K$

3) Очевидно, что давления газов в каждый момент времени одинаковы, т.к. поршень медленно перемещается без трения.

П/м газы в произвольный момент времени.

$p_1V' = \nu RT'$, $p_1V'' = \nu RT''$; $p_1(V_1+V_2) = \nu R(T''+T')$; $T''+T' = T_1+T_2$, (из ЗСЭ),

тогда $p_1(V_1+V_2) = \nu R(T_1+T_2)$

из пункта 1: $p(V_1+V_2) = \nu R(T_1+T_2) \Rightarrow p_1 = p \Rightarrow$ процесс изобарный

$\Rightarrow Q = \frac{5}{2}\nu R\Delta T = \frac{5}{2}\nu R(T_2 - T_k) = \frac{5}{2}\cdot\frac{3}{5}\cdot 8{,}3\cdot 40 = 60\cdot 8{,}3 = 498$ Дж.

Ответ: 1) $\frac{V_2}{V_1} = 1{,}25$; 2) $T_k = 360K$; 3) $Q \approx 500$ Дж

Задача 5.

Дано:

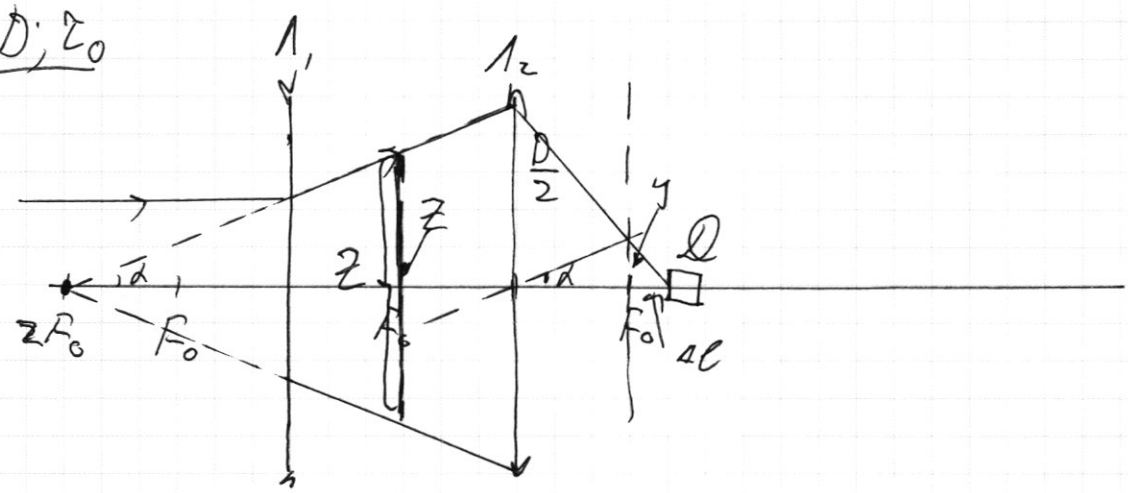
$F_0; -2F_0; D; \tau_0$

1) x - ?

2) v - ?

3) t_1 - ?

Решение:



1) Т.к. лучи приходят ⊥ Л₁, то расходиться будут так, как если бы выходили из фокуса Л₁, т.е из $2F_0$

Р/м крайний луч, попадающий на Л₂. $\cos\alpha = \frac{D}{2\cdot 4F_0} = \frac{D}{8F_0}$

$\cos\alpha = \frac{y}{F_0} \to y = \frac{D}{8}$; $\frac{\Delta l\cdot 8}{D} = \frac{(F_0+\Delta l)\cdot 2}{D}$; $8\Delta l = 2F_0 + 2\Delta l$

$2F_0 = 6\Delta l; \Delta l = \frac{F_0}{3} \to$

$\to x = F_0 + \Delta l = \frac{4}{3}F_0$

2) Т.к. $J_1 = \frac{7}{16}J_0$, то мишень перекрывает собой $\frac{9}{16}$ всего пучка лучей м/у Л₁ и Л₂

~~$z = D\cdot\frac{3F_0}{4F_0} = \frac{3}{4}D$; Пусть l - длина мишени.~~

~~$l = z\cdot\frac{9}{16} = \frac{3\cdot 9}{4\cdot 16}D = \frac{27}{64}D$~~

~~Р/м время τ_0, в течение которого мишень полностью заходила в зону пучка.~~

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

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

ШИФР

(заполняется секретарём)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Значит, диаметр мишени ~~от~~ $\sqrt{\frac{9}{16}} = \frac{3}{4}$ ~~от~~ диаметра пучка.
(т.к. мишень круглая $\frac{e_1}{e_2} = \sqrt{\frac{S_1}{S_2}}$)

$z = \frac{3}{4} D$; пусть l — длина мишени

$l = z \cdot \frac{3}{4} = \frac{9}{16} D$

П/м время τ_0 в течение, которого мишень полностью заходила в зону пучка.

$l = v \cdot \tau_0$; $v = \frac{9D}{16\tau_0}$

3) Мишень прошла z за время $\tau_0 + t_1'$

$v \cdot (\tau_0 + t_1') = z = \frac{3}{4} D$; $\frac{9D}{16} + \frac{9D}{16} \frac{t_1'}{\tau_0} = \frac{3}{4} D$

$\frac{9D}{16} \frac{t_1'}{\tau_0} = \frac{3}{16} D$; $t_1' = \frac{\tau_0}{3}$; $t_1' = t_1 - \tau_0$; $t_1 = \tau_0 + t_1' = \frac{4}{3}\tau_0$

Ответ: 1) $t = \frac{4}{3}\tau_0$; 2) $v = \frac{9D}{16\tau_0}$; 3) $t_1 = \frac{4}{3}\tau_0$

☐ черновик ☑ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Задача 4.

Дано:

$L_1 = 5L$;

$L_2 = 4L$

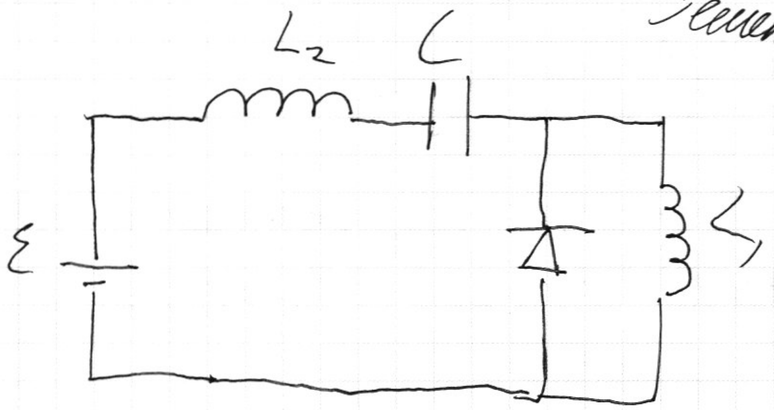
C; $\mathcal{E}$

1) T - ?

2) J_{01} - ?

3) J_{02} - ?

Решение:



1) Р/м время до того как диод откроется:

$$\mathcal{E} = (L_1+L_2)\dot{J} + \frac{q}{C}; \quad (L_1+L_2)\dot{J} + \left(\frac{q}{C} - \mathcal{E}\right) = 0$$

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

$$\dot{J} + \frac{q}{C(L_1+L_2)} = const; \quad T_1 = 2\pi\sqrt{(L_1+L_2)C} = 6\pi\sqrt{LC}$$

До того, как диод откроется, произойдёт это при $U_{L_1} = U_{L_2} = 0$, а $U_C = \mathcal{E}$, значит пройдёт $\frac{1}{4}T_1$

После открытия диода тока через L_1 нет

$T_2 = 2\pi\sqrt{L_2 C} = 4\pi\sqrt{LC}$, очевидно что диод будет открыт до того как напряжения $U_C = \mathcal{E}$ (правая пластина с „+“), тогда для этого потребуется $\frac{1}{2}T_2$.

После диод вновь закроется ~~на время~~, а при $U_C = 0$ пройдёт одно полное колебания при этом от закрытия диода пройдёт $\frac{1}{4}T$, Тогда $T = \frac{1}{4}T_1 + \frac{T_1}{4} + \frac{T_2}{2} = \frac{T_1 + T_2}{2} = \frac{6\pi\sqrt{LC} + 4\pi\sqrt{LC}}{2} = 5\pi\sqrt{LC}$

2) Сила тока в катушке L_1 максимальна при $U_{L_1} = U_{L_2} = 0 \Rightarrow$
$\Rightarrow U_C = \mathcal{E}$.

ЗСЭ: $q\mathcal{E} = \frac{C\mathcal{E}^2}{2} + \frac{(L_1+L_2)\,J_{10}^2}{2}$; $q = U_C C = C\mathcal{E}$

$\frac{C\mathcal{E}^2}{\cancel{2}} = \frac{(L_1+L_2)\,J_{01}^2}{\cancel{2}}$; $J_{01} = \sqrt{\frac{C}{9L}} \cdot \mathcal{E}$

3) Сила тока в катушке L_2 максимальна при закрытом диоде и $U_{L_2} = 0 \Rightarrow U_C = \mathcal{E}$

$q_{пр}\mathcal{E} = \frac{C\mathcal{E}^2}{2} + \frac{L_2 J_{20}^2}{2}$; $q_{пр} = C\mathcal{E}$

$\frac{C\mathcal{E}^2}{\cancel{2}} = \frac{L_2 J_{20}^2}{\cancel{2}}$; $J_{20} = \sqrt{\frac{C}{4L}} \cdot \mathcal{E}$

Ответ: 1) $T = 5\pi\sqrt{LC}$; 2) $J_{10} = \sqrt{\frac{C}{L}} \cdot \frac{\mathcal{E}}{3}$

3) $J_{02} = \sqrt{\frac{C}{L}} \cdot \frac{\mathcal{E}}{2}$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Задача 1.

Дано:

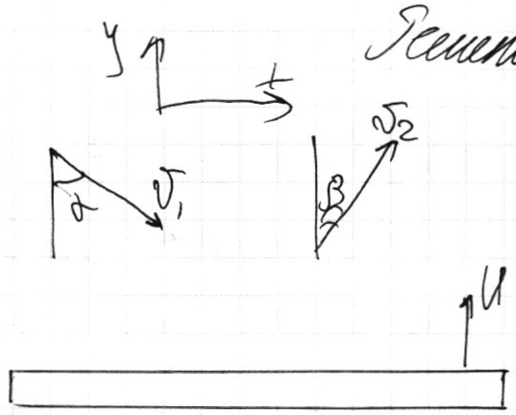
$v_1 = 18 \frac{м}{с}$

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

$\sin\beta = \frac{3}{5}$; $\cos\beta = \frac{4}{5}$

$v_2 - ?$

Решение:



1) Поскольку поверхность плиты гладкая, то по OX на шарик не действовало сил →

→ $v_1 \sin\alpha = v_2 \sin\beta$ – ЗСИ; $v_2 = v_1 \cdot \frac{2\cdot 5}{3\cdot 3} = 20 \frac{м}{с}$

2) $v_1 \cos\alpha = 18 \cdot \frac{\sqrt{5}}{3} = 6\sqrt{5} \frac{м}{с}$; $v_2 \cos\beta = 20 \cdot \frac{4}{5} = 16 \frac{м}{с}$

$16 > 6\sqrt{5}$, видим, что скорость по OY у шарика увеличилась. Очевидно, что при равных скоростях движения плит шарик отскочит с большей скоростью от той, с которой у шарика будет упругое столкновение, тогда минимальная скорость при таком взаимодействии будет у той с которой у шарика произойдёт абсолютно упругий удар, значит можно ~~н~~ рассматривать ЗСИ в ИСО плиты (т.к. плита массивная)

В начале $v_{отн\,y_1} = v_1 \cos\alpha + u$; В конце: $v_{отн\,y_2} = v_2 \cos\beta - u$

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

$2u = v_2\cos\beta - v_1\cos\alpha = (16 - 6\sqrt{5})\frac{м}{с}$

$u = 8 - 3\sqrt{5}\ \frac{м}{с}$ - минимальная скорость.

Однако, т.к. удар неупругий, то $V > u$

$V > 8 - 3\sqrt{5}\ \frac{м}{с}$

~~Ответ: 1) $v_2 = 20\ \frac{м}{с}$~~

~~2) $V > 8 - 3\sqrt{5}\ \frac{м}{с}$~~

Однако, V ~~меньше той~~ не больше той, с которой после удара полетит шарик по оси y.

~~Т~~огда $V \leq v_2\cos\beta$; $V \leq 16\ \frac{м}{с}$

Ответ: 1) $v_2 = 20\ \frac{м}{с}$

2) $(8 - 3\sqrt{5})\frac{м}{с} < V \leq 16\ \frac{м}{с}$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

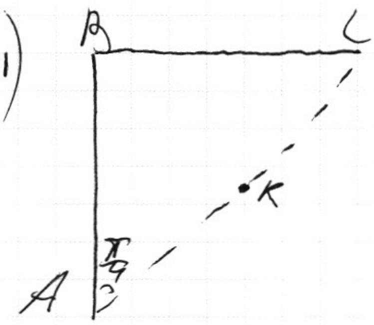
Задача 3.

Дано:

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

Решение:

1)



Пусть напряжённость ~~поля~~ в точке K при незаряженной пластине AB равна E.

Тогда если бы была незаряжена BC, но заряжена AB, то напряжённость в точке K также равнялась бы E, но была бы повёрнута на 90° относительно первого случая. Таким образом, если обе пластины одинаково заряжены $BC = AB$ $\alpha = \frac{\pi}{4}$, то E результирующая $E_{рез} = \sqrt{E^2 + E^2} = \sqrt{2}E$. Таким образом E увеличится в $\sqrt{2}$ раз.

Ответ: 1) увеличится в $\sqrt{2}$ раз

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$l = v \cdot \tau_0$; $v = \frac{l}{\tau_0} = \frac{27D}{64\tau_0}$

3) мишень М прошла путь за время $t_1 + \tau_0$ (прошла z)

~~$z \cdot v = t_1 + \tau_0$; $\frac{3}{4}D$~~ $v(t_1 + t_0) = z$

$\frac{27}{64}\frac{D}{\tau_0}t_1 + \frac{27}{64}D = \frac{3}{4}D$; $\frac{27}{64}\frac{D}{\tau_0}t_1 = \frac{21}{64}D$

$\tau_1 = \frac{21}{27}\tau_0 = \frac{7}{9}\tau_0$.

Ответ: 1) $x = \frac{4}{3}$; 2) $v = \frac{27}{64}\frac{D}{\tau_0}$; 3) $t_1 = \frac{7}{9}\tau_0$.

Черновик

$\mathcal{E} = (L_2 + L_1)\dot{y} + \frac{q}{C}$; $q\mathcal{E} = \frac{(L_1+L_2)y^2}{2} + \frac{q^2}{2C}$;

$\mathcal{E}\dot{q} = \frac{(L_1+L_2)}{2} \cdot 2y\dot{y} + \frac{2q\dot{q}}{2C}$

$\mathcal{E} = (L_1 + L_2)$ $(L_1+L_2)\dot{y} + \left(\frac{q}{C} - \mathcal{E}\right) = 0$

$T_1 = 2\pi\sqrt{(L_1+L_2)C} = 2\pi\sqrt{9LC}$, $\Delta T = \frac{T_1}{4}$

$T_2 = 2\pi\sqrt{4LC}$ $U_C = 0 \Rightarrow U_L = \mathcal{E}$; $\Delta T_2 = \frac{T_2}{2}$;

$\frac{T_1}{2} + \frac{T_2}{2} = T = 5\pi\sqrt{LC}$ $\Delta T_3 = \frac{T_1}{4}$.

$C\mathcal{E}^2 = \frac{C\mathcal{E}^2}{2} + \frac{(L_1+L_2)}{2}y_1^2$

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

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

ШИФР

(заполняется секретарём)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№2.

$\nu = \frac{3}{5}$

$T_1; T_2$

1) $pV_1 = \nu RT_1$

$pV_2 = \nu RT_2$ $\quad \frac{V_2}{V_1} = \frac{T_2}{T_1}$

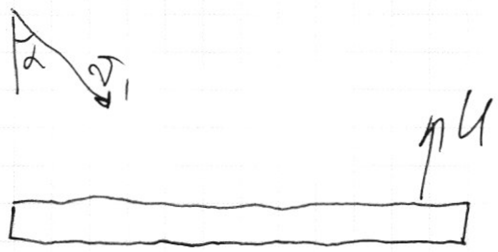
$\frac{3}{2}\nu RT_1 + \frac{3}{2}\cancel{\nu R}T_2 = \frac{3}{2}\cdot 2\nu RT_k$

2) $T_1 + T_2 = 2T_k$

3) $Q = A + \Delta U = \frac{3}{2}\nu R(T_2 - T_k) + \nu R(T_2 - T_k)$

$p(V_1 + V_2) = 2\nu R(T_1 + T_2)$

№1.



$v_1 \sin\alpha = v_2 \cancel{\cos\beta} \sin\beta$

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

$v_1\cos\alpha + u = v_2\cos\beta - u$

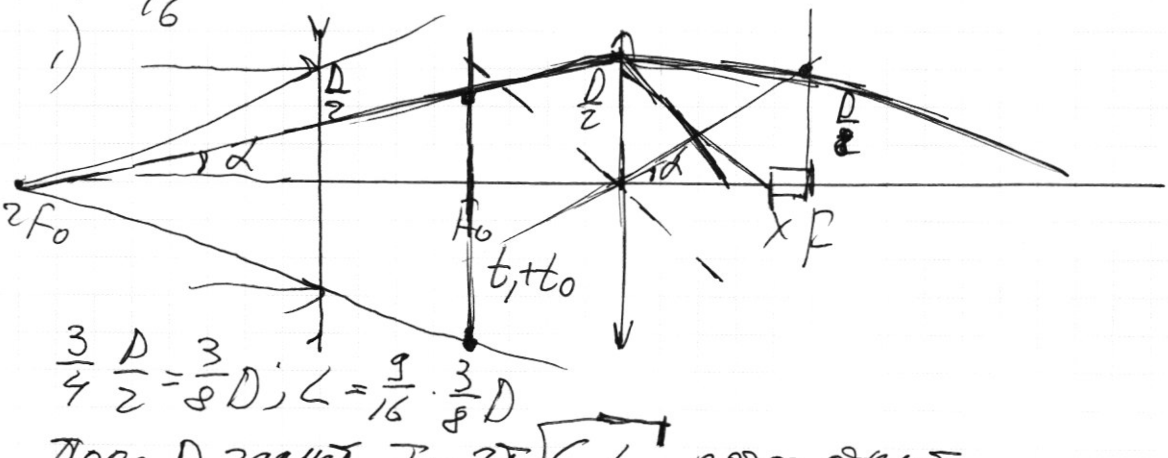
$\frac{9}{8} \cdot 3\overset{40}{\cancel{20}} = 360$

$400 \cdot \frac{8}{10} =$

5. $F_0; 2F_0; F_0; D; 2F_0$

$y_1 = \frac{7 \cdot 0}{16}$

1)



$\frac{3}{4}\frac{D}{2} = \frac{3}{8}D$; $L = \frac{9}{16}\cdot\frac{3}{8}D$

Пока D закрыт $T = 2\pi\sqrt{CL_0}$, когда открыт

открывается: $U_{L_1} = 0 \Rightarrow U_{L_2} = 0 \Rightarrow \mathcal{E} = U_C$

☑ черновик ☐ чистовик

(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__

(Нумеровать только чистовики)

$v_1 \sin\alpha = v_2 \sin\beta$; $v_2 = v_1 \frac{2\cdot 5}{3\cdot 3} = \frac{10}{3} v_1 = 20\ \frac{м}{с}$, т.к. скорость

$v_1 \cos\alpha = 6\sqrt{5}$; $v_2 \cos\beta = 20 \cdot \frac{4}{5} = 16\ \frac{м}{с}$,

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

$\sqrt{2}$