

Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2022

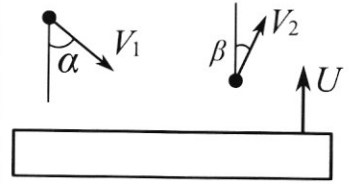
Класс 11

Вариант 11-01

Шифр

(заполняется секретарем)

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.

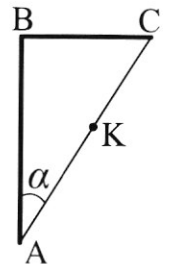


1) Найти скорость V_2 .
2) Найти возможные значения скорости плиты U при таком неупругом ударе. Действие силы тяжести за малое время удара не учитывать. Ответы допустимы через радикалы из целых чисел.

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?

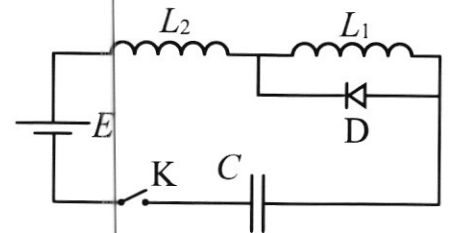
3. Две бесконечные плоские прямоугольные пластины АВ и ВС перпендикулярны друг к другу и образуют двугранный угол с ребром В. На рисунке показано сечение угла плоскостью, перпендикулярной ребру В.



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?

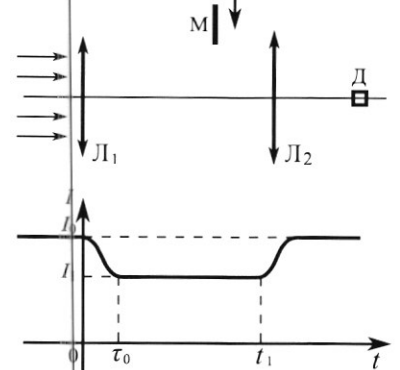
2) Пластины ВС и АВ заряжены положительно с поверхностной плотностью заряда $\sigma_1 = 2\sigma$, $\sigma_2 = \sigma$, соответственно. Угол $\alpha = \pi/7$. Найти напряженность электрического поля в точке К на середине отрезка АС.

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). $I_1 = 3I_0/4$.

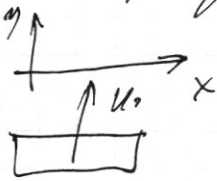


- 1) Найти расстояние между линзой L_2 и фотодетектором.
- 2) Определить скорость V движения мишени. 3) Определить t_1 .

Известными считать величины F_0 , D , τ_0 .

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

1) П. х. поверхность плиты гладкая, то все равно энергия будет горизонтальна для предельно малых, направленных вправо плиток со скоростью.



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

$$v_1 \sin \alpha = v_2 \sin \beta \Rightarrow v_2 = \frac{v_1 \sin \alpha}{\sin \beta} = 12 \text{ м/с}$$

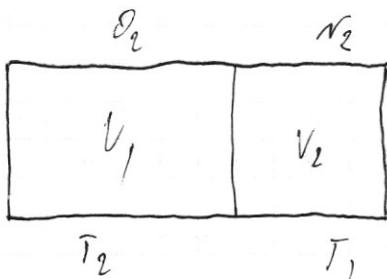
Затем ЗУ в СО плиты, а затем вернемся в СО Земля, тогда:

$v_2 \cos \beta = 2u + v_1 \cos \alpha$; заметим, что выходящая скорость будет в случае абсолютно упругого удара \Rightarrow разлупившаяся ситуация п. х. Упругий.

$u = \frac{v_2 \cos \beta - v_1 \cos \alpha}{2}$; но, п. х. в случае неупругого удара будут потери энергии, и формула будет более сложной.

$$u > (\sqrt{27} - \sqrt{7}) \text{ м/с}$$

2)



П. х. процесс не \Rightarrow газельный процесс.

$$P = \frac{\gamma R T_1}{v_1} = \frac{\gamma R T_2}{v_2} \Rightarrow \frac{v_2}{v_1} = \frac{T_2}{T_1} = \frac{5}{3}$$

Затем ЗСЗ: $C_v \gamma T_1 + C_v \gamma T_2 = 2 C_v \gamma T_0 \Rightarrow T_1 + T_2 = 2 T_0 \Rightarrow$

$\Rightarrow T_0 = \frac{T_1 + T_2}{2} = 400 \text{ К}$. Заметим, что газельные в отменах процесса не являются \Rightarrow гра процесс изобарный (Можно предположить замкнутый З.М-К)

$$V^* = \frac{8}{3} V_1, \quad P_1 = \frac{\gamma R T_1}{V_1}, \quad P_2 = \frac{5 \gamma R T_0}{4 V_1} \quad (\text{Она равна}) \quad (\text{Или ЗСЗ в PV-образе})$$

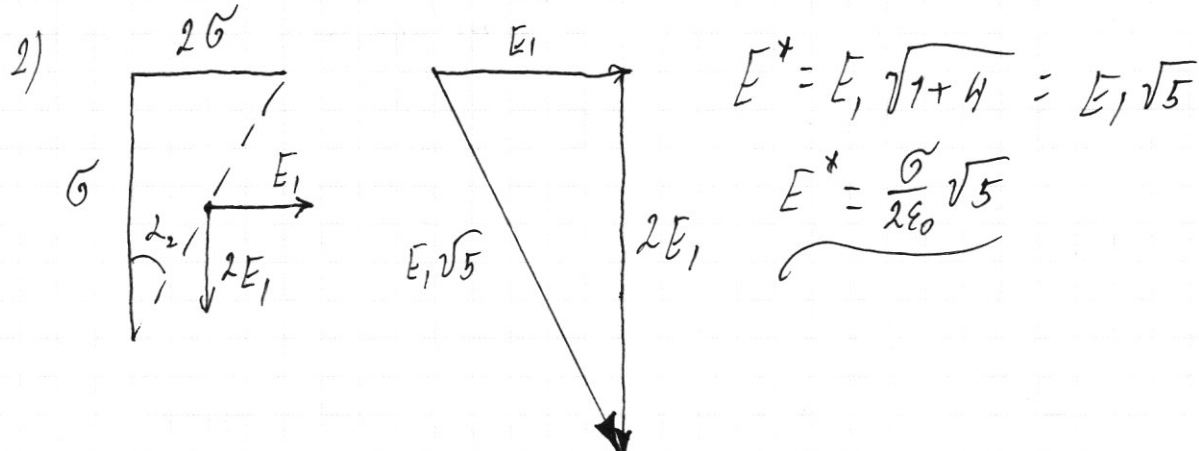
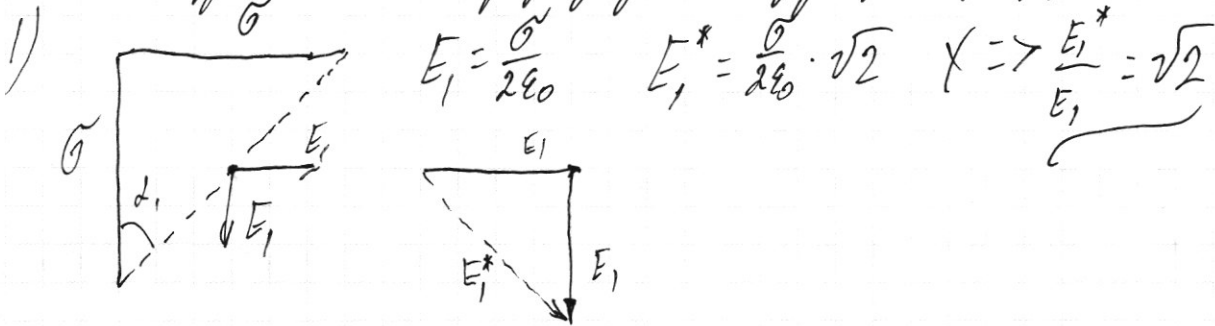
Заметим п.п. П. для воздуха (разница будет малее в значе):

$$Q^+ = A \cdot \Delta Q = \frac{\gamma R T_1}{V_1} \left(\frac{4}{3} V_1 - V_1 \right) + \frac{5}{2} \gamma R (T_0 - T_1) = \frac{\gamma R T_1}{3} + \frac{5}{2} \gamma R (T_0 - T_1) =$$

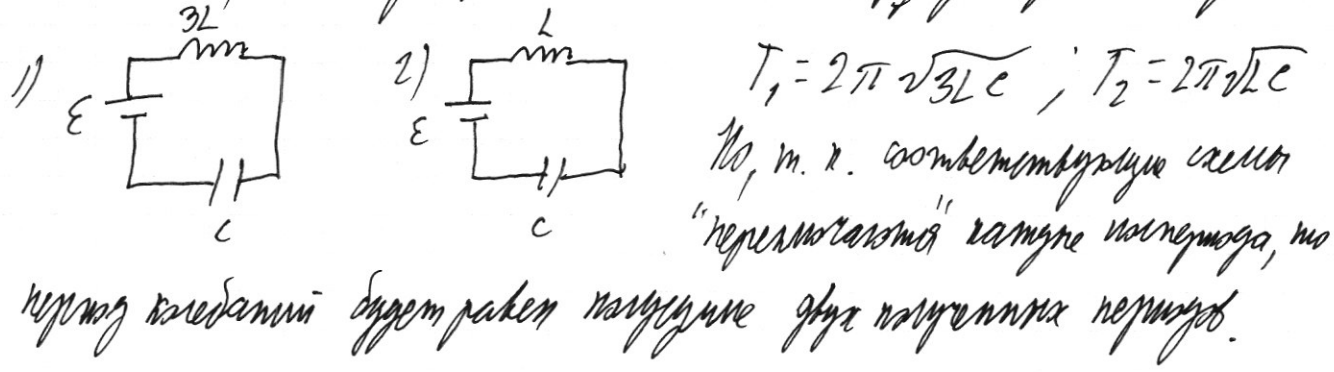
$$= 1246,5 \text{ Дж}$$

(Замечание: $\frac{5}{2} P_1 (V_1 + V_2) = \frac{5}{2} P^* (V_1 + V_2')$
 $V_0 \Rightarrow P^* = P^* \leftarrow V_0$)

Заметим, что искомые напряженности э.п. не зависят от угла, с которым поверн. плоскость заряда пластины. Также заметим, что результирующая э.п. нал. будет ислать как суперпозицию поле двух равномерно заряженных пластин.



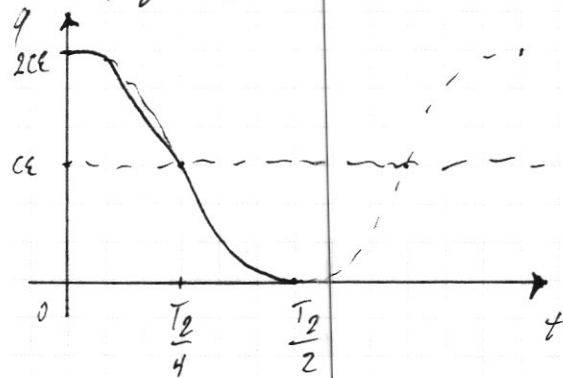
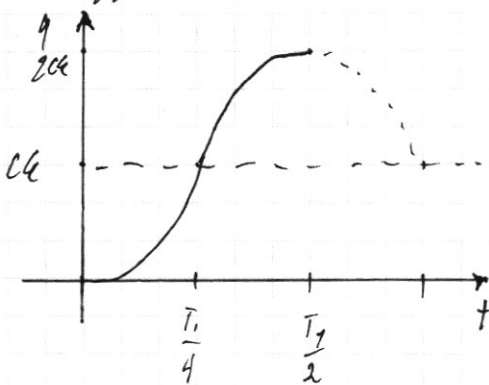
Заметим, что если в та при разрезе конденсатора нал. чрез L, не почит, почиту средним эквивалентный резистор для 2-х случаев.



ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$T = \frac{T_1 + T_2}{2} = \frac{2\pi\sqrt{LC}(\sqrt{3}+1)}{2} = \pi\sqrt{LC}(\sqrt{3}+1)$$

2) Пучок, распространяющийся через L_1 , имеет нуль зарядки конденсатора, а через L_2 в фазе с током. Если оба пучка конденсаторы имеют заряды со значениями на $3CE$ постоянная равновесия. Максимальный ток будет проходить в моменты, когда заряд конденсатора равен CE



(На втором графике отмечены времена t_{CE} и t_{2CE} и максимум q_{max})

Запишем ЗЭЭ: $CE^2 = \frac{CE^2}{2} + \frac{3L I_1^2}{2} \Rightarrow \frac{3L I_1^2}{2} = \frac{CE^2}{2} \Rightarrow I_{M1} = \epsilon \sqrt{\frac{C}{3L}}$

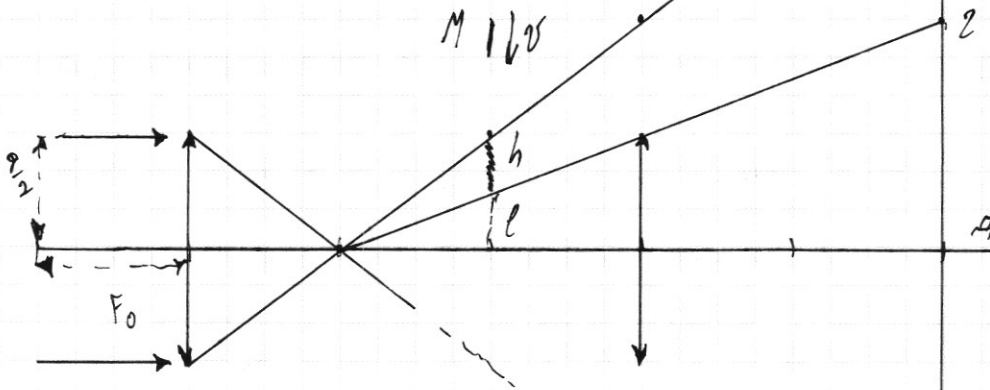
$-CE^2 = \Delta W_\epsilon + \frac{L I_2^2}{2}$; $\Delta W_\epsilon = \frac{CE^2}{2} - \frac{4CE^2}{2} = -\frac{3}{2}CE^2$

$-CE^2 = -\frac{3}{2}CE^2 + \frac{L I_2^2}{2} \Rightarrow L I_2^2 = CE^2 \Rightarrow I_{M2} = \epsilon \sqrt{\frac{C}{L}}$

5) Параллельный пучок света, падающий на L_1 , распространяется на расстоянии F_0 от линзы L_1 , т.е. сфокусированный пучок проходит на расстоянии $2F_0$ от линзы L_2 , но он все равно остается параллельным L_2

Скорректируется на величину расстояния $2F_0$ X, что корректируется ~~по~~
 геометрической оптикой линзы: $\frac{1}{F_0} - \frac{1}{2F_0} = \frac{1}{f} \Rightarrow \frac{1}{f} = \frac{1}{F_0} (1 - \frac{1}{2}) \Rightarrow f = 2F_0$

На рисунке ниже схематично ~~показаны~~ ^{наблюдается} ~~прохождение~~ ^{прохождение} ~~луча~~ ^{луча} и ~~характерный~~ ^{характерный} ~~фрагмент~~ ^{фрагмент} σ , на который падает свет.



Заметим, что ~~луч~~ ^{луч} ~~корректируется~~ ^{корректируется} на расстоянии F_0 от ~~линзы~~ ^{линзы} L_2 . \Rightarrow

Когда ~~луч~~ ^{луч} ~~закрыт~~ ^{закрыт} ~~на~~ ^{на} ~~область~~ ^{область} 2, то сила ~~луча~~ ^{луча} ~~уменьшится~~ ^{уменьшится} на ~~значении~~ ^{значении} $\frac{3\sigma_0}{4}$, т. е.

Свет не будет ~~идти~~ ^{идти} ~~прозрачно~~ ^{прозрачно} ~~через~~ ^{через} ~~линзу~~ ^{линзу} ~~освещать~~ ^{освещать} ~~лишь~~ ^{лишь} ~~область~~ ^{область} 1 ~~и~~ ^и ~~высвечивать~~ ^{высвечивать} ~~обл.~~ ^{обл.} 2.

Из этого следует, что ~~радиус~~ ^{радиус} ~~интенсивности~~ ^{интенсивности} ~~облучения~~ ^{облучения} ~~проходит~~ ^{проходит} ~~через~~ ^{через} ~~область~~ ^{область} 1-2, ~~замкнутой~~ ^{замкнутой} ~~на~~ ^{на} ~~рисунке~~ ^{рисунке}. Из ~~наблюдения~~ ^{наблюдения} ~~процесса~~ ^{процесса} ~~получим~~ ^{получим}, что ~~длина~~ ^{длина} ~~отрезка~~ ^{отрезка} l ~~равна~~ ^{равна} ~~значению~~ ^{значению} $\frac{\sigma_0}{4} \Rightarrow$ ~~отрезок~~ ^{отрезок} $h = \frac{\sigma_0}{2} - \frac{\sigma_0}{4} = \frac{\sigma_0}{4} \Rightarrow v = \frac{\sigma_0}{4v_0}$

t_1 будет ~~определяться~~ ^{определяться} ~~из~~ ^{из} σ_0 и ~~времени~~ ^{времени}, ~~за~~ ^{за} ~~которое~~ ^{которое} ~~луч~~ ^{луч} ~~придет~~ ^{придет} ~~к~~ ^к l .

$$t_1' = \frac{2l}{v} = \frac{\sigma_0}{2 \cdot 4v_0} = 2\sigma_0 \Rightarrow t_1 = 2\sigma_0 + \sigma_0 = 3\sigma_0$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

① $v_2 = \frac{2v_1 \sqrt{7}}{4} = \frac{v_1 \sqrt{7}}{2} = 4\sqrt{7} \text{ м/с}$

~~$v_1 \sin \alpha$~~

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

$v_1 \cos \alpha - v_1 \cos \alpha = 2u$

$\cos \alpha = \frac{\sqrt{3}}{2} \quad \cos \alpha = \frac{\sqrt{7}}{4}$

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

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

$\Rightarrow u = \frac{v_2 \cos \alpha - v_1 \cos \alpha}{2} = \frac{12 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} - 8 \cdot \frac{\sqrt{7}}{4}}{2}$

$u = \frac{6\sqrt{3} - 2\sqrt{7}}{2} = 3\sqrt{3} - \sqrt{7}$

$4 = \sqrt{27} - \sqrt{7}$

$u = \sqrt{27} - \sqrt{7}$

② $Q = A + \Delta U$

$A = P \Delta V$

$P = \frac{\sqrt{2} T}{V} = \frac{k T_1}{V_1} \quad V_2 = \frac{5}{3} V_1 \quad V_0 = \frac{8}{3} V_1$

$P_1 = \frac{\sqrt{2} T_1}{V_1} \quad P_2 = \frac{3 \sqrt{2} T_0}{4 V_1}$

$\frac{T_1}{V_1} = \frac{300}{V_1} \quad \frac{3 \cdot 400 \cdot 100}{4 \cdot V_1} = \frac{300}{V_1}$

$P V = \sqrt{2} R T$

$\Delta U = C_V \nu (T_0 - T_2)$

$A_{02} = \frac{3 \sqrt{2} R T_2}{2 \cdot 5 V_1} \cdot \left(\frac{8}{3} - \frac{5}{3} \right)$

$A_{01} = \frac{3 \sqrt{2} R T_2}{5}$

$Q^* = \frac{3}{5} \sqrt{2} R T_2 - \frac{5}{2} \sqrt{2} R T_0 = \sqrt{2} R (300 - 250) = 50 \sqrt{2} R$

$Q^{\#} = \frac{\sqrt{2} R T_1}{V_1} \left(\frac{4}{3} V_1 - V_1 \right) + \frac{5}{2} \sqrt{2} R (T_0 - T_1) = \frac{\sqrt{2} R T_1}{3} + \frac{5}{2} \sqrt{2} R \cdot 100 = -100 \sqrt{2} R + 250 \sqrt{2} R$

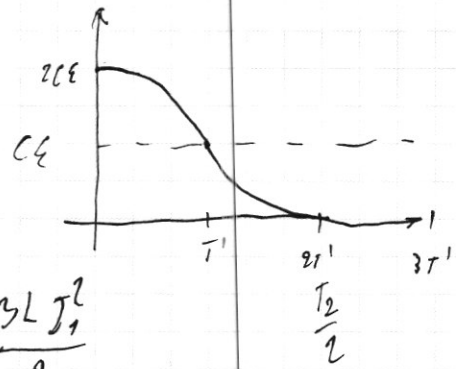
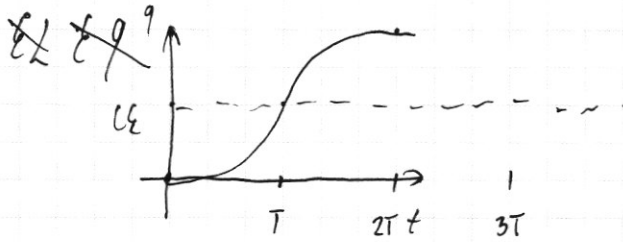
$Q_{n2} = \frac{3 \sqrt{2} R T_2}{5 V_1} \left(\frac{4}{3} V_1 - \frac{5}{3} V_1 \right) + \frac{5}{2} \sqrt{2} R (T_0 - T_2) = -100 \sqrt{2} R - 250 \sqrt{2} R = -350 \sqrt{2} R$

$12 \text{ м/с} = - \frac{350 \cdot 3}{4} \cdot 8,31 = -150 \cdot 8,31 = 1246,5 \text{ Дж}$



черновик чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)



$$I_0 = \frac{q^2}{2C} + \frac{3LJ_1^2}{2}$$

$$C I_0^2 = \frac{C E^2}{2} + \frac{3L J_1^2}{2}$$

$$2C I_0^2 = 2 \frac{C E^2}{2} + \frac{3L J_1^2}{2}$$

$$C I_0^2 = \frac{3L J_1^2}{2} \quad I_0 = E \sqrt{\frac{C}{3L}}$$

$$-E^2 C = \Delta W_E + \frac{L J_2^2}{2}$$

$$\Delta W_E = \frac{C E^2}{2} - \frac{4 C E^2}{2} = -\frac{3}{2} C E^2$$

$$-C E^2 = -\frac{3}{2} C E^2 + \frac{L J_2^2}{2}$$

$$\frac{C E^2}{2} = \frac{L J_2^2}{2}$$

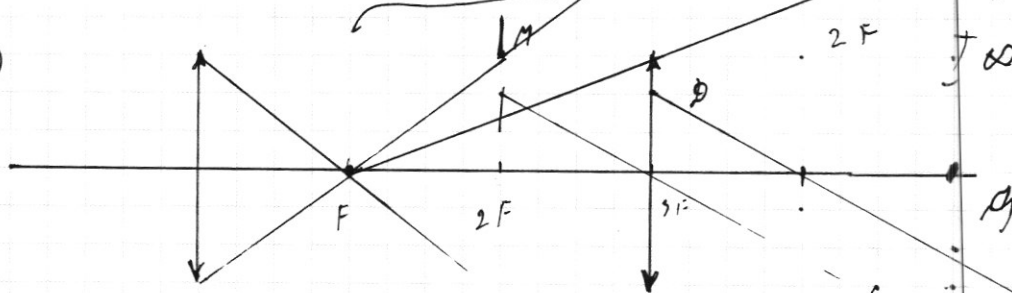
$$I_2 = E \sqrt{\frac{C}{L}}$$

$$C I_0^2 = \frac{C E^2}{2} + \frac{L J_1^2}{2}$$

$$\frac{C E^2}{2} = \frac{L J_1^2}{2}$$

$$I_1 = E \sqrt{\frac{C}{L}}$$

5



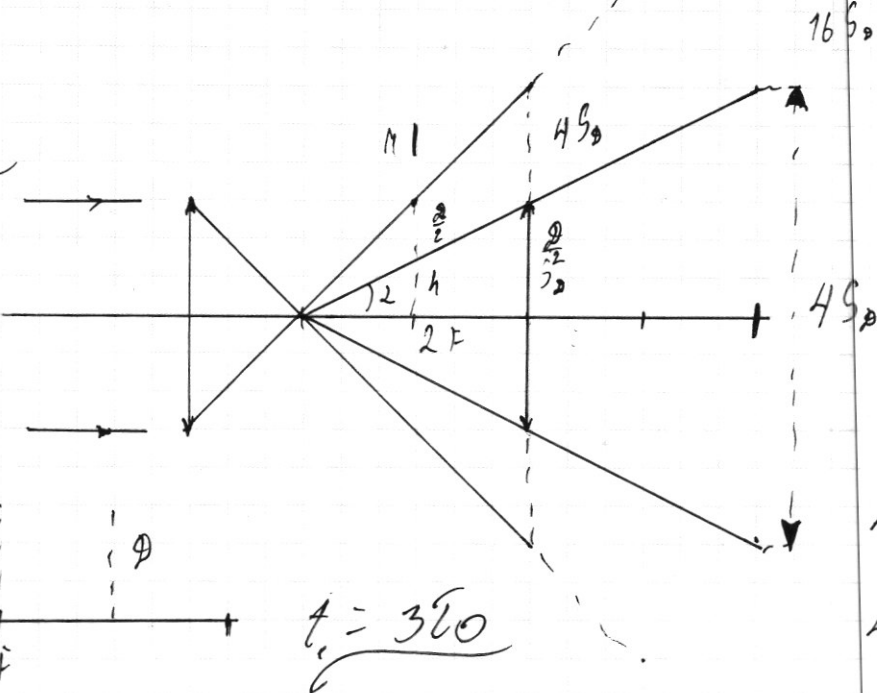
$$\frac{1}{2F} + \frac{1}{F} = \frac{1}{F} \Rightarrow \frac{1}{F} = \frac{1}{F} - \frac{1}{2F} = \frac{1}{F} \left(\frac{1}{2} \right) \Rightarrow F = 2F$$

$$v = \frac{D}{490}$$

$$f_L = \frac{D}{20}$$

$$I_1 = \frac{20 \times 490}{20}$$

$$I_1 = 290$$



$$S_0 = 20S_0$$

$$L = \frac{D}{2} - h$$

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

$$L = \frac{D}{2} - \frac{D}{4}$$

$$L = \frac{D}{4}$$

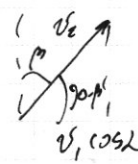
ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

1



→ x

$$\text{Реш: } v_1 \cos \alpha = v_2 \cos \alpha$$

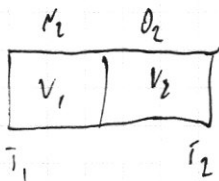


$$v_2 \sin \alpha = v_1 \cos \alpha$$

$$v_2 = \frac{v_1 \cos \alpha}{\sin \alpha} = \frac{2v_1 \sqrt{7}}{4}$$

$$\cos \alpha = \sqrt{\frac{7}{16}} = \frac{\sqrt{7}}{4}$$

2



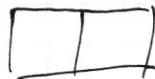
$$\rho = \frac{m_1 T_1}{V_1} = \frac{m_2 T_2}{V_2}$$

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2} = \frac{v_2}{v_1} = \frac{T_2}{T_1} = \frac{5}{3}$$

$$C_v \nu T_1 + C_v \nu T_2 = C_v \nu T_0 + C_v \nu T_0 = C_v 2 \nu T_0$$

$$T_1 + T_2 = 2T_0$$

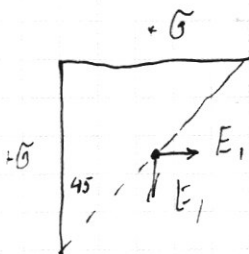
$$T_0 \approx \frac{T_1 + T_2}{2} = 400 \text{ K}$$



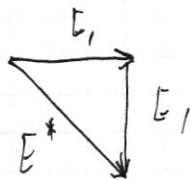
$$Q_H = A + \Delta U$$

$$Q_H = dA = p dV = \dots$$

3

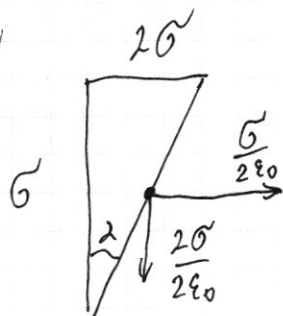


$$E_1 = \frac{G}{2\epsilon_0}$$

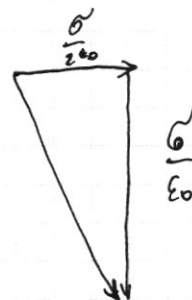


$$E^* = \sqrt{2} E_1$$

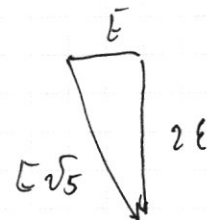
$$k = \sqrt{2}$$



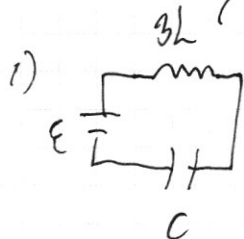
$$E_2^* = \frac{G}{2\epsilon_0} \sqrt{5}$$



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

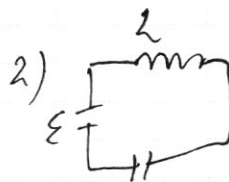


4



$$T_1 = 2\pi \sqrt{3L} C$$

$$\nu_1 = \frac{T_1}{2}$$



$$T_2 = 2\pi \sqrt{L} C$$

$$\nu_2 = \frac{T_2}{2}$$

$$T = \frac{T_1 + T_2}{2} = \frac{2\pi \sqrt{L} C (\sqrt{3} + 1)}{2} = \pi \sqrt{L} C (\sqrt{3} + 1)$$



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ

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

ШИФР

(заполняется секретарём)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

черновик чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)

