

Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2022

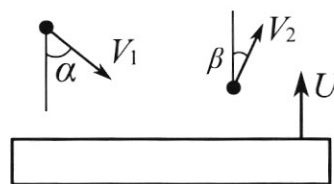
Класс 11

Вариант 11-02

Шифр

(заполняется секретарём)

1. Массивная плита движется с постоянной скоростью U вертикально вверх. К плите подлетает шарик, имеющий перед ударом скорость $V_1 = 6$ 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 ($\sin \beta = \frac{1}{3}$) 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.

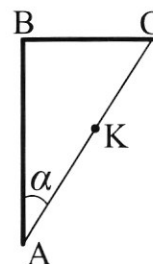
2. Цилиндрический теплоизолированный горизонтально расположенный сосуд разделен на два отсека теплопроводящим поршнем, который может перемещаться горизонтально без трения. В первом отсеке находится гелий, во втором – неон, каждый газ в количестве $\nu = 6/25$ моль. Начальная температура гелия $T_1 = 330$ К, а неона $T_2 = 440$ 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 гелия и неона.

2) Найти установившуюся температуру в сосуде.

3) Какое количество теплоты передал неон гелию?

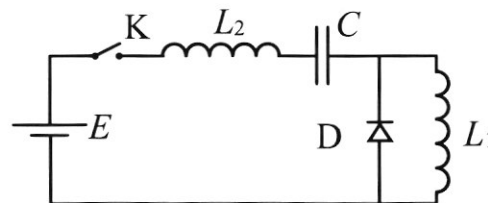
3. Две бесконечные плоские прямоугольные пластины АВ и ВС перпендикулярны друг к другу и образуют двугранный угол с ребром В. На рисунке показано сечение угла плоскостью, перпендикулярной ребру В.



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 $\sigma_1 = 4\sigma$, $\sigma_2 = \sigma$, соответственно. Угол $\alpha = \pi/8$. 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 $L_1 = 3L$, $L_2 = 2L$, 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 .

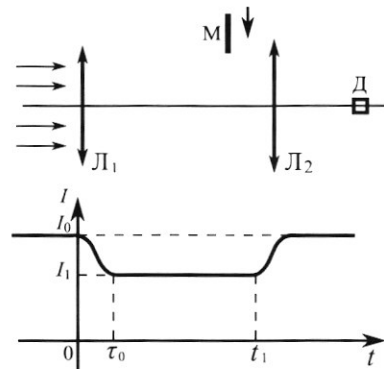


1) Найти период T этих колебаний.

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 F_0 и $F_0/3$, соответственно. Расстояние между линзами $1,5F_0$. 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 $5F_0/4$ от L_1 . На рисунке показана зависимость тока I фотодетектора от времени t (секундомер включен в момент начала уменьшения тока). $I_1 = 8I_0/9$.



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:

$$v_1 = 6 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

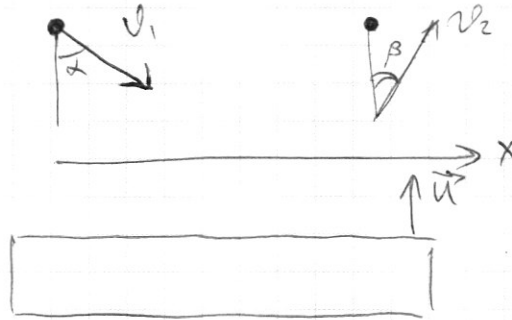
$$\sin \alpha = \frac{2}{3}$$

$$\sin \beta = \frac{1}{3}$$

1) v_2 - ?

2) u - ?

Решение:



1) Взрыв
по горизонтальной
оси x

импульс
сохраняется, т.к.

на шарик действуют
только вертикальные силы

По закону сохранения импульса
на Ox :

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

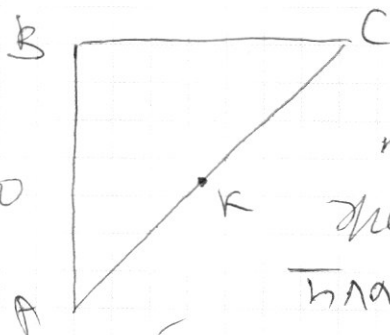
$$v_2 = \frac{6 \cdot \frac{2 \cdot 3}{3 \cdot 1}}{1} = 12 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Ответ: 1) $12 \frac{\text{м}}{\text{с}}$

№3 1) $\alpha = \frac{\pi}{4}$

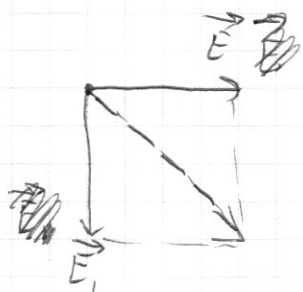
Т.к. $\alpha = \frac{\pi}{4}$, то

$\triangle ABC$ -
равнобедренный
прямоугольный



Предположим, что
пластина BC заряжена
положительно \Rightarrow
пластина AC тоже
заряжена положи-
тельно.

Тогда ~~получим~~ получим, что
 пусть \vec{v} в начале напряжённости
 в т.к. v ^{помогут} равна E , тогда потом



Тогда получим, что
 модуль резуль. напр.
 в т.к. равен $\sqrt{2}E \Rightarrow$

~~на~~ напряжённость эл.

поле в т.к. увеличится в $\sqrt{2}$ раз

Ответ: 1) увеличится в $\sqrt{2}$ раз.

УЧ Дано:

$$L_1 = 3L$$

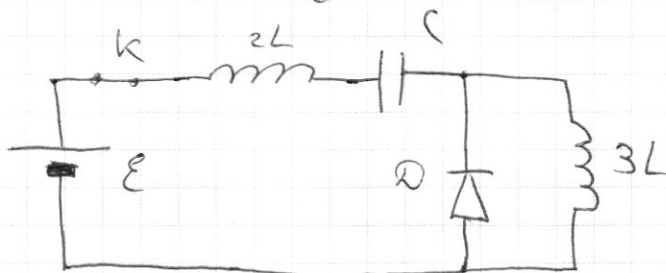
$$L_2 = 2L$$

$$1) T = ?$$

$$2) I_{01} = ?$$

$$3) I_{02} = ?$$

Решение:



$$1) T = 2\pi\sqrt{L_2 C} = 2\pi\sqrt{2LC}$$

2) В начальный момент времени (сразу же после замыкания ключа) ток

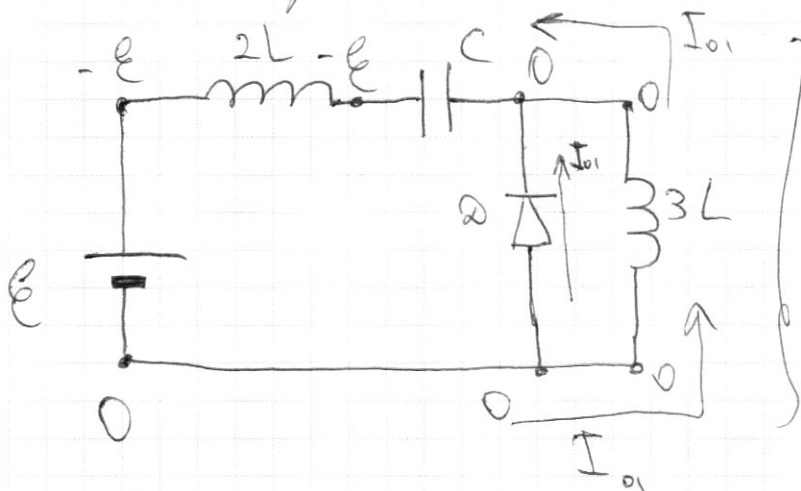
в катушках и напряжение на C скачком не успеет измениться, т.е.

$$W(0) = 0$$

Отметим, что максимальной ток через катушку L_1 будет течь тогда, когда ток в цепи будет

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

будет идти против часовой стрелки (9), ~~тогда~~ тогда ток диод идеальный, то напряжение на нем равно 0.



используем
метод узловых
потенциалов

По 3-му сохранение энергии:

$$A_{\text{в}} = W(\tau) - W(0) + Q$$

$$Q = 0$$

$$A_{\text{в}} = \cancel{\#} C \epsilon^2$$

$$W(\tau) = \frac{C \epsilon^2}{2} + \frac{3L I_{01}^2}{2} + \frac{2L \cdot 4 I_{01}^2}{2} =$$

$$= \frac{C \epsilon^2}{2} + \frac{3}{2} L I_{01}^2 + 4L I_{01}^2 =$$

$$\cancel{\#} C \epsilon^2 = \frac{C \epsilon^2}{2} + \frac{11}{2} L I_{01}^2$$

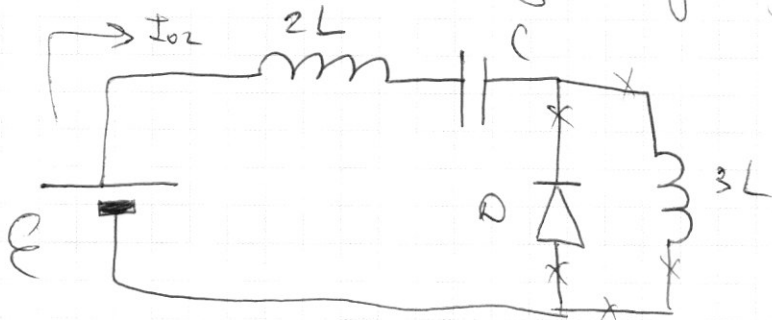
$$= \frac{C \epsilon^2}{2} + \frac{11}{2} L I_{01}^2$$

$$\frac{C \epsilon^2}{2} = \frac{11}{2} L I_{01}^2$$

$$C \epsilon^2 = 11 L I_{01}^2 \Rightarrow$$

$$I_{01} = \sqrt{\frac{C}{11L}} \epsilon$$

3) Рассмотрим цепь, когда ток протекает в том направлении, в котором диод закрыт.



~~$A_{02} = W(\epsilon) - W(0)$~~

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

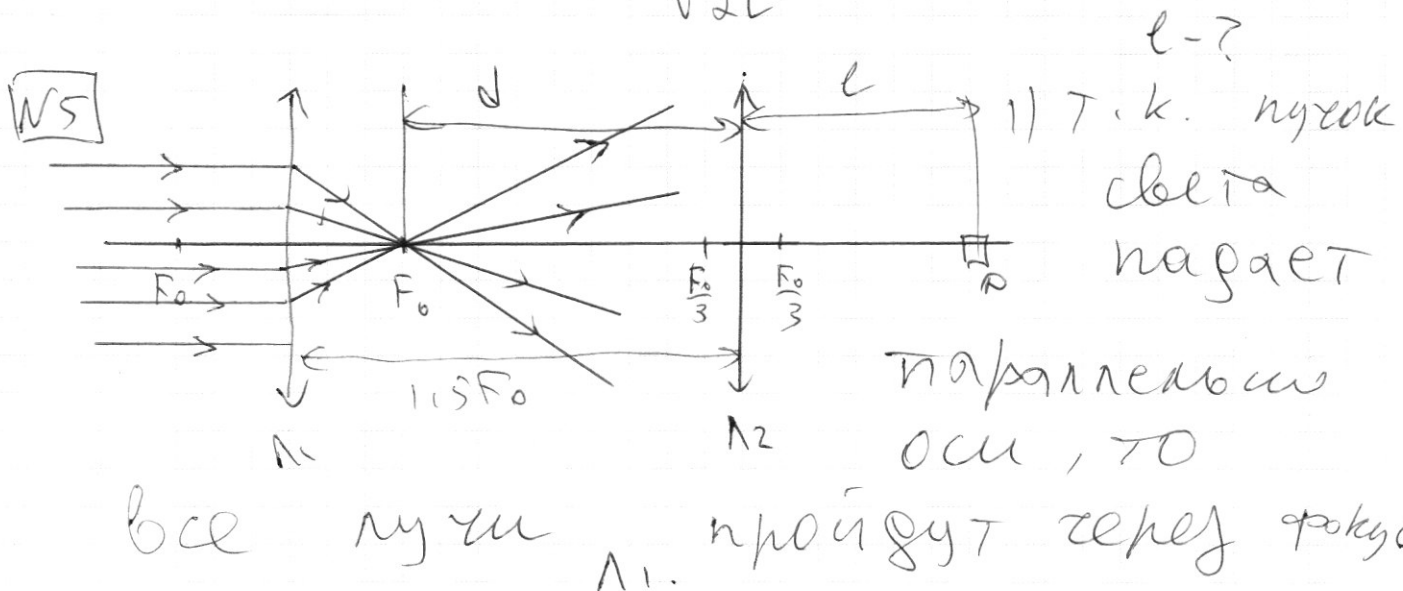
$$I_{02} = \omega q_{\max} = \omega C \epsilon = \frac{2\pi C \epsilon}{T} = \frac{C \epsilon \cdot 2\pi}{2\pi \sqrt{2L \cdot C}}$$

$$= \frac{C \epsilon}{\sqrt{2L \cdot C}} = \epsilon \sqrt{\frac{C}{2L}}$$

Ответ: 1) $T = 2\pi \sqrt{2L \cdot C}$

2) $I_{01} = \sqrt{\frac{C}{11L}} \cdot \epsilon$

3) $I_{02} = \epsilon \sqrt{\frac{C}{2L}}$



ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

По формуле тонкой линзы:

$$\frac{3}{F_0} = \frac{1}{l} + \frac{1}{d}$$

$$d = \frac{3}{2} F_0 - F_0 = \frac{F_0}{2}$$

$$\frac{3}{F_0} = \frac{1}{l} + \frac{2}{F_0} \Rightarrow \frac{1}{l} = \frac{3}{F_0} - \frac{2}{F_0} = \frac{1}{F_0} \Rightarrow$$

$$l = F_0$$

2) v - ? Т.к. $I_1 = \frac{8I_0}{9}$, то мнимая
во время своего движения в
области линзы перекрывает

область $\frac{D}{9}$;

Тогда, т.к. она движется
равномерно:

$$v = \frac{D}{9\tau_0}$$

Ответ: 1) $l = F_0$

2) $v = \frac{D}{9\tau_0}$

N2 Дано:

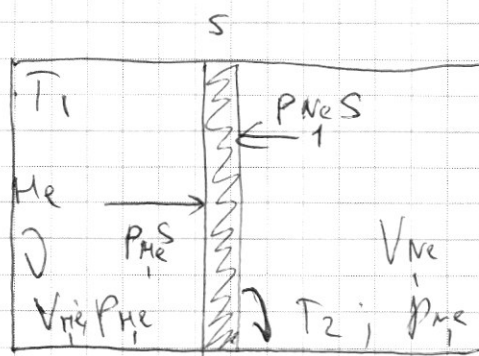
$$T_1 = 330 \text{ K}$$

$$T_2 = 440 \text{ K}$$

$$V = \frac{6}{25} \text{ моль}$$

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

Решение:



1) По формуле 3-ку Ньютона сила поршня в

← проекцию

и от x :

$$p_{Ne} S - p_{He} S = 0, \text{ т.к.}$$

поршень движется медленно, то считаем, что его ускор. равно 0.

$$p_{Ne} S = p_{He} S$$

По уравнению Менделеева-Клапейрона:

$$p_{He} V_{He} = \nu R T_1 \Rightarrow p_{He} = \frac{\nu R T_1}{V_{He}}$$

$$p_{Ne} V_{Ne} = \nu R T_2 \Rightarrow p_{Ne} = \frac{\nu R T_2}{V_{Ne}}$$

$$\frac{\nu R T_1}{V_{He}} = \frac{\nu R T_2}{V_{Ne}} \Rightarrow \left(\frac{V_{He}}{V_{Ne}} = \frac{T_1}{T_2} = \frac{330}{440} = \frac{3}{4} \right)$$

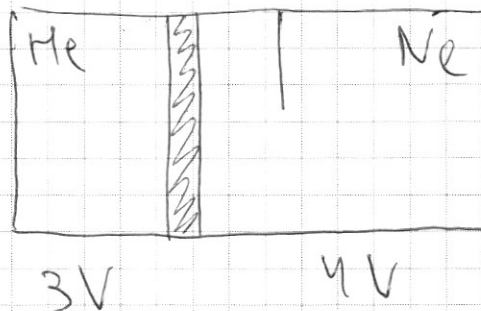
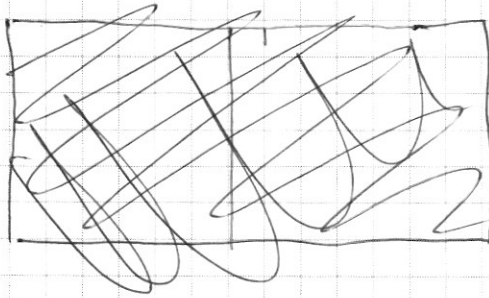
ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

2) Т.к. у нас одинаково количества вещества гелие и неона равны, то ~~они~~ устанавливается температура

$$T = \frac{T_1 + T_2}{2} = \frac{330 + 440}{2} = 385 \text{ K}$$

3) По первому началу термодинамики:

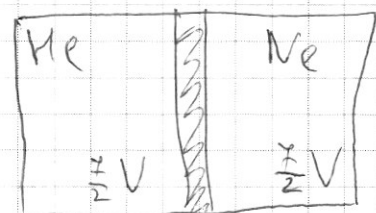
$$Q = \Delta U + A$$



т.к. у нас у пункта 1 $\frac{V_{He}}{V_{Ne}} = \frac{3}{4}$, то пусть $V_{He} = 3V$; $V_{Ne} = 4V$

Тогда после установившие равновесие

$$V_{He} = \frac{7}{2} V; \quad V_{Ne} = \frac{7}{2} V$$



Т.к. в любой момент времени справедливо, что $p_{He}(z) S = p_{He}(z) S$, то процесс изобарный.

$$\text{Тогда } A = p \Delta V = \int R \Delta T$$

$$\Delta U = \frac{3}{2} \int R \Delta T$$

Т.к. объем гелия увеличивается, то $A > 0$ и т.к. темп. увелич., то

$$\Delta U > 0$$

$$Q_1 = \frac{3}{2} \int R \Delta T + \int R \Delta T = \frac{5}{2} \int R \Delta T = \frac{5}{2} \int R (T - T_1)$$

$$Q = \frac{5}{2} \cdot \frac{6}{25} \cdot 8,31 \cdot (385 - 330) =$$

$$= \frac{5}{2} \cdot \frac{6}{25} \cdot 8,31 \cdot 55 = \frac{6}{2} \cdot 8,31 \cdot 11 =$$

$$= 3 \cdot 8,31 \cdot 11 = 274,23 \text{ Дж.}$$

Отметим, что количество теплоты, которое передано неон гелию равно количеству теплоты, которое гелий получил от неона.

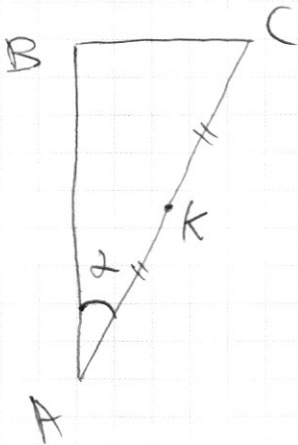
Ответ: 1) $\frac{V_{He}}{V_{Ne}} = \frac{3}{4}$ 2) $T = 385 \text{ K}$ 3) $Q = 274,23 \text{ Дж}$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№3 2) продолжение $\sigma_1 = 4\sigma$ $\vec{E}_2 = ?$

$$\sigma_2 = \sigma$$

$$\alpha = \frac{\pi}{8} \quad \alpha = 22,5^\circ$$



$$\cos 2\alpha = 2\cos^2\alpha - 1$$

$$\cos 2\alpha = 1 - 2\sin^2\alpha$$

$$\cos \alpha = \sqrt{\frac{\cos 2\alpha + 1}{2}}$$

$$\sin \alpha = \sqrt{\frac{1 - \cos 2\alpha}{2}}$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = \sqrt{\frac{1 - \cos 2\alpha}{1 + \cos 2\alpha}}$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \sqrt{\frac{1 - \frac{\sqrt{2}}{2}}{1 + \frac{\sqrt{2}}{2}}} = \sqrt{\frac{2 - \sqrt{2}}{2 + \sqrt{2}}} = \sqrt{\frac{(2 - \sqrt{2})^2}{6}} = \frac{2 - \sqrt{2}}{\sqrt{6}}$$

$\operatorname{tg} \alpha = \frac{BC}{AB}$; Пусть $AB = x$

$$BC = x \cdot \frac{2 - \sqrt{2}}{\sqrt{6}}$$

$$\frac{q_1}{q_2} = \frac{4\sigma S_1}{\sigma S_2} = \frac{4\sqrt{6}}{2 - \sqrt{2}}$$

$$\sigma_1 = 4\sigma = \frac{q_1}{S_1}; \quad \sigma_2 = \sigma = \frac{q_2}{S_2}$$

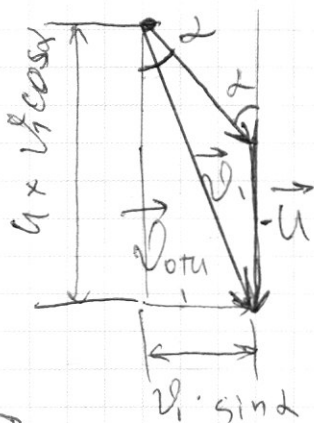
~~Итого $v_{отн} = v_1 \cos \alpha + u$~~

VI) проекции 2) Т.к. плита массивна и ~~длиннее~~ считаем, что она движется с постоянной скоростью, то будем считать её ИСО (параллельно большому телу)

Тогда по закону сложения скоростей:

$$\vec{v}_1 = \vec{v}_{отн1} + \vec{u}$$

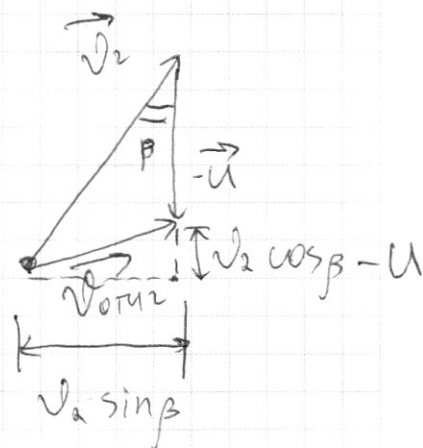
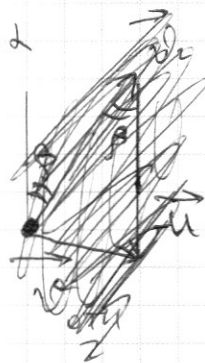
~~$\vec{v}_{отн1} = \vec{v}_1 - \vec{u}$~~



$$v_{отн1}^2 = (u + v_1 \cos \alpha)^2 + (v_1 \sin \alpha)^2$$

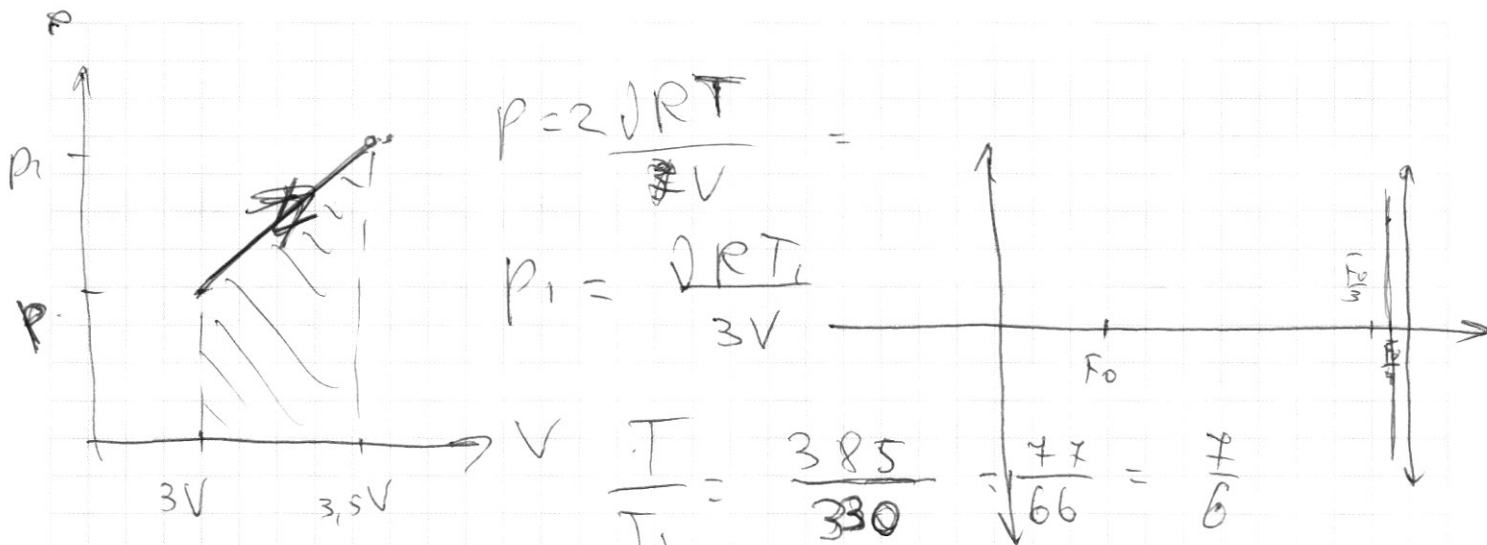
$$\vec{v}_2 = \vec{v}_{отн2} + \vec{u}$$

$$\vec{v}_{отн2} = \vec{v}_2 - \vec{u}$$



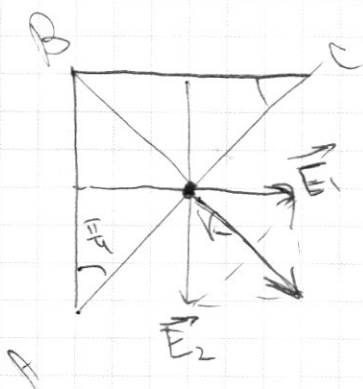
$$v_{отн2}^2 = (v_2 \sin \beta)^2 + (v_2 \cos \beta - u)^2$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



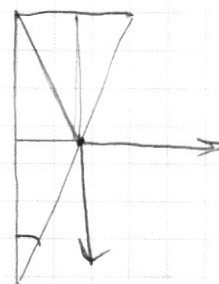
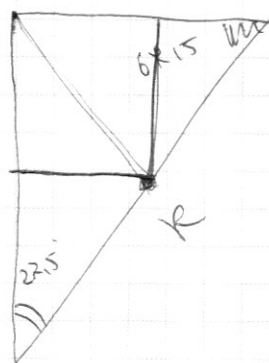
$$P = \frac{2\sqrt{JRT}}{2V}$$

$$P_1 = \frac{\sqrt{JRT}}{2V} = 2 \frac{V_2}{V} = \frac{7}{2 \cdot 3} = \frac{7}{6}$$



$$E = \frac{q \epsilon_0}{s}$$

$$E = \frac{q}{2\epsilon_0 s} = \frac{q}{2\epsilon_0}$$



$$\begin{array}{r} \times 8,31 \\ \underline{33} \\ 2493 \\ \underline{2493} \\ 274,23 \end{array}$$

$$\cos 2\alpha = 2\cos^2 \alpha - 1$$

$$\frac{\cos 45 + 1}{2} = \cos^2 \alpha$$

$$\cos \alpha = \sqrt{\frac{\sqrt{2} + 2}{4}} = \frac{\sqrt{\sqrt{2} + 2}}{2}$$

$$\sin \alpha = \frac{\sqrt{2 - \sqrt{2}}}{2}$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \sqrt{\frac{2 - \sqrt{2}}{2 + \sqrt{2}}} = \sqrt{\frac{(2 - \sqrt{2})^2}{6}}$$

$$\sqrt{\frac{6 - 4\sqrt{2}}{6}} = \sqrt{1 - \frac{2\sqrt{2}}{3}}$$

$$= \frac{2 - \sqrt{2}}{\sqrt{6}}$$

x

$$2 - \sqrt{2}$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{BC}{AB} = 1$$

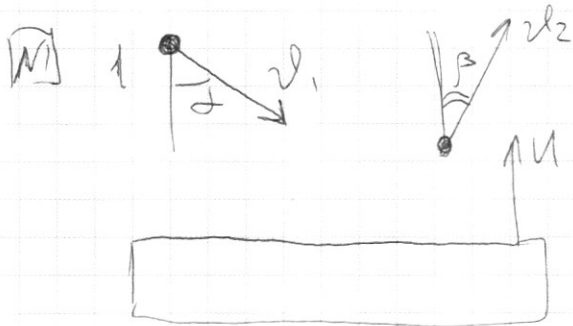
$$E =$$

$$\frac{2 - \sqrt{2}}{3}$$

$$BC = \frac{x \cdot 2 - \sqrt{2}}{\sqrt{6}}$$

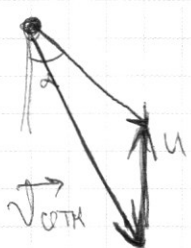
перейдем в ω и запишем

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



Плита массивная и плоская.
(поверх.)
(0 плитой)

$$\vec{v}_{отч} = \vec{v}_{АБС} - \vec{u}$$



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

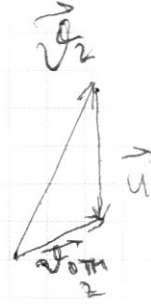
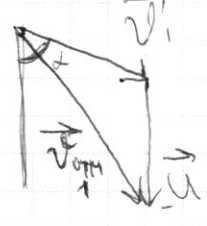
$$v_2 = \frac{v_1 \cos \alpha}{\sin \beta} = \frac{6 \cdot 2.3}{3 \cdot 1} = 12 \text{ м/с}$$

$$\vec{v}_{АБС} = \vec{v}_{отч} + \vec{v}_{пер}$$

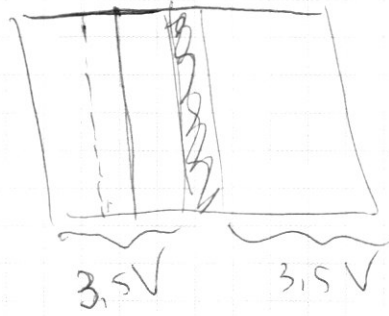
$$\vec{v}_1 = \vec{v}_{отч} + \vec{u}$$

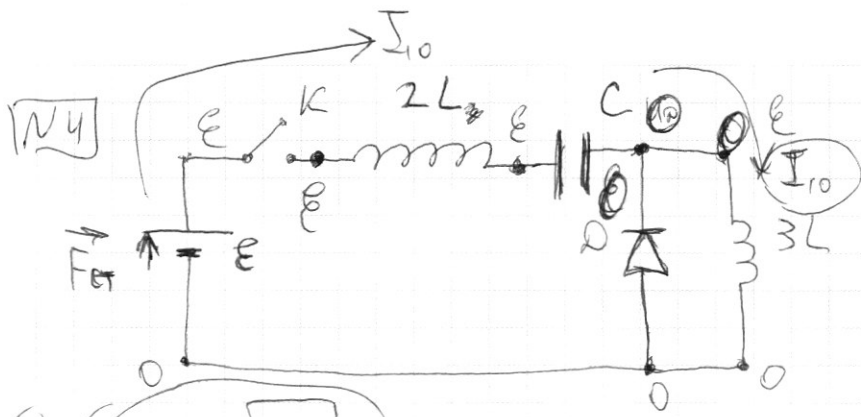
$$\vec{v}_{отч1} = \vec{v}_1 - \vec{u}$$

$$\vec{v}_{отч2} = \vec{v}_2 - \vec{u}$$



$$I_1 = \frac{8 I_0}{9}$$





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

Диод закрыт и не пропускает ток.
 $I = C \cdot U'_c(t)$

$W(0) = \frac{2L I_{10}^2}{2}$

$U_L(t) = 3L \cdot I'_{L_1}(t)$

$C E^2 = \frac{2L I_{10}^2}{2} +$

$\frac{C E^2}{2} = \frac{2L I_{10}^2}{2} + \frac{3L I_{10}^2}{2}$

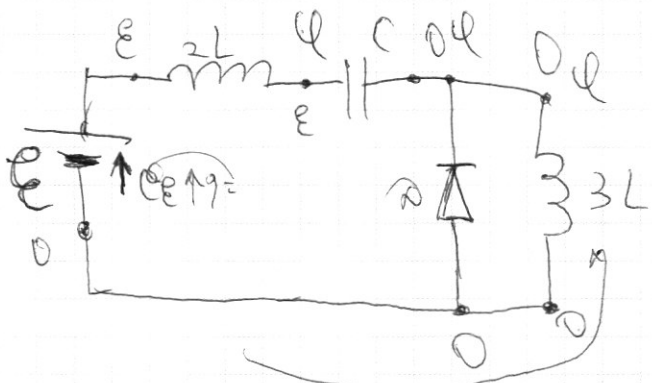
$\frac{C E^2}{2} =$

$U_L = 2L \cdot I'_L(t)$

получим, что

ток на катушке L₁ будет максимальным тогда, когда $I'_{L_1}(t) = 0$

напряжения на 3L отсутствует.



$W(0) = 0$

$A \sigma = C E^2$

$W_C(\tau) = \frac{C E^2}{2}$

$W_{L_1}(\tau) = \frac{3L I_{10}^2}{2} \quad I_{max} = 0.9 I_m$

$W_{L_2}(\tau) = \frac{2L I_{10}^2}{2} \quad I_{max} = \frac{1}{2\pi\sqrt{2LC}} \cdot C E$

$\frac{C E^2}{2} = - \frac{5L I_{10}^2}{2}$

$C E^2 = 5L I_{10}^2$

$I_{10} = \sqrt{\frac{C E^2}{5L}} = E \sqrt{\frac{C}{5L}}$

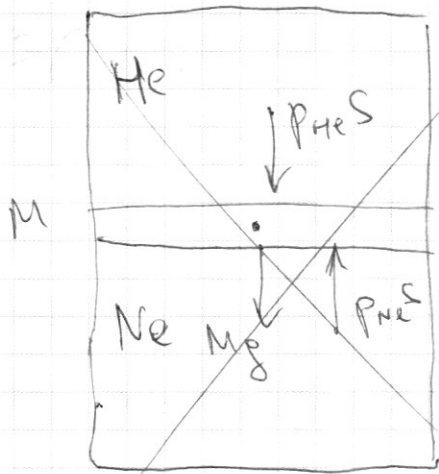
$I_{20} = \sqrt{\frac{C E^2}{2L}} = \sqrt{\frac{5}{2}} E$

$C E^2 = 0 - \frac{C E^2}{2} + \frac{2L I_{20}^2}{2}$

$\frac{C E^2}{2} = L I_{20}^2 \Rightarrow$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№2



$$\nu = \frac{5}{25} \text{ моля}$$

$$Q = \frac{3}{2} \nu R (\Delta T) + A$$

$$T_{He} = 330 \text{ K}$$

$$T_{Ne} = 440 \text{ K}$$

$$p = \frac{\nu R T_{He}}{3V}$$

$$p_{He} V_1 = \nu R T_{He}$$

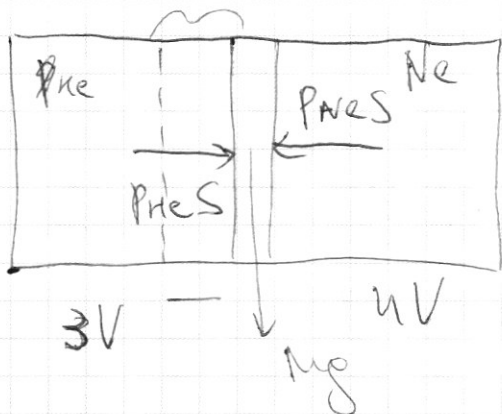
$$p_{He} V_1 = \nu R T_{He} \quad p$$

$$p_{He} Q = \Delta U + A$$

$$\frac{2\nu R T}{7V} = \frac{\nu R T_1}{V_1} + \frac{\nu R T_2}{V_2}$$

$$\frac{2T}{7V} = \frac{440}{3V} + \frac{330}{4V}$$

т.к. качается медленно
гравитации, то $a = 0$



$$p_{He} S = p_{Ne} S$$

$$\frac{\nu R T_{He}}{V_{He}} = \frac{\nu R T_{Ne}}{V_{Ne}}$$

$$\frac{\nu R T_{He}}{V_{He}} = \frac{\nu R T_{Ne}}{V_{Ne}}$$

$$\frac{2T}{7} = \frac{440}{3} + \frac{330}{4}$$

$$\frac{2T}{7} = \frac{1760 + 990}{12}$$

$$T = \frac{2750}{12} = 229.17$$

$$330 + 440 = 770$$

$$\frac{770}{2} = 385 \text{ K}$$

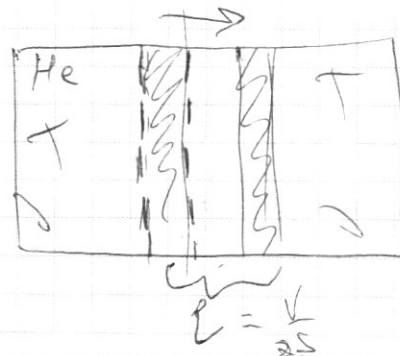
$$\frac{V_{Ne}}{V_{He}} = \frac{T_{Ne}}{T_{He}} = \frac{440}{330} = \frac{4}{3}$$

$$\frac{V_{Ne}}{V_{He}} = \frac{T_{Ne}}{T_{He}} = \frac{440}{330} = \frac{4}{3}$$

$$p V_{He} = \nu R T$$

$$p V = \nu R T$$

$$p V_{Ne} = \nu R T$$



$$V_1 + V_2 = 7V$$

$$(3V + \ell S) p = \nu R T$$

$$3V + \ell S = 4V - \ell S$$

$$(4V - \ell S) p = \nu R T$$

$$2\ell S = V$$

$$\ell S = \frac{V}{2}$$

черновик чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

