

Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2022

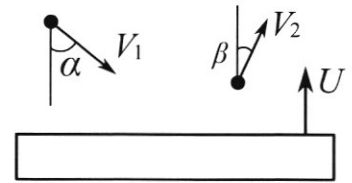
Класс 11

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.

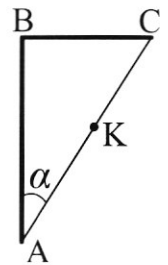


- 1) Найти скорость V_2 .
 - 2) Найти возможные значения скорости плиты U при таком неупругом ударе.
- Действие силы тяжести за малое время удара не учитывать. Ответы допустимы через радикалы из целых чисел.

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?

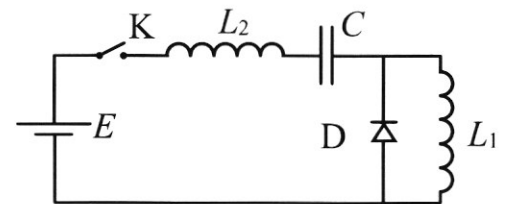
3. Две бесконечные плоские прямоугольные пластины АВ и ВС перпендикулярны друг к другу и образуют двугранный угол с ребром В. На рисунке показано сечение угла плоскостью, перпендикулярной ребру В.



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?

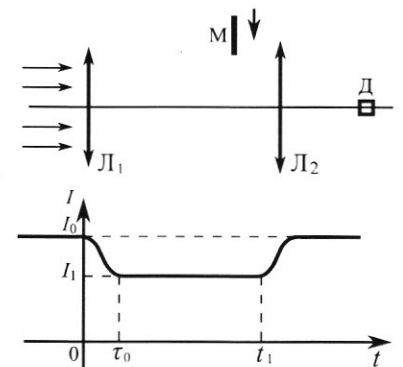
2) Пластины ВС и АВ заряжены положительно с поверхностной плотностью заряда $\sigma_1 = 4\sigma$, $\sigma_2 = \sigma$, соответственно. Угол $\alpha = \pi/8$. Найти напряженность электрического поля в точке К на середине отрезка АС.

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 К 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 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 $5F_0/4$ от L_1 . На рисунке показана зависимость тока I фотодетектора от времени t (секундомер включен в момент начала уменьшения тока). $I_1 = 8I_0/9$.

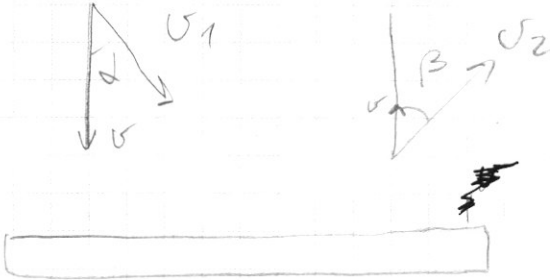


- 1) Найти расстояние между линзой L_2 и фотодетектором.
- 2) Определить скорость V движения мишени. 3) Определить t_1 .

Известными считать величины F_0 , D , τ_0 .

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№1



ПРЕДПОЛОЖИМ, ЧТО $m_{\text{плиты}} \gg m_{\text{шара}}$
ПЕРЕИДЁМ В С.О., СВЯЗАННУЮ
С ЭТОЙ ПЛИТОЙ. ТОГДА ПОЛУЧИМ,
ЧТО ПРИ ЭТОМ УДАРЕ, СКОРОСТЬ
ПЛИТЫ ПРАКТИЧЕСКИ НЕ
ПОМЕНЯЕТСЯ. т.е.

$$m_1(v_1 \cos \alpha + v) = m_1(v_2 \cos \beta + v)$$

$$m_1(v_1 \cos \alpha - v_2 \cos \beta) = 0$$

$$v_1 \cos \alpha = v_2 \cos \beta$$

\Leftrightarrow

$$v_2 = v_1 \frac{(1 - \sin^2 \alpha)}{(1 - \sin^2 \beta)} =$$

$$= v_1 \frac{\frac{\sqrt{5}}{3}}{\frac{2\sqrt{2}}{3}} = \frac{\sqrt{5}}{2\sqrt{2}} \cdot 6 = \frac{3\sqrt{5}}{\sqrt{2}}$$

$$= 3\sqrt{\frac{5}{2}} \approx 4,5 \text{ м/с}$$



ИМПУЛЬС, ПЕРЕДАВАЕМЫЙ

$$\text{СТЕНЕ} = m_1(v + v_1 \cos \alpha)$$

НО ПО 3-МУ ЗАКОНУ НЬЮТОНА

ШАРИКУ В ЭТОМ СЛУЧАЕ ТОЖЕ БУДЕТ

ПЕРЕДАВАЕМЫЙ ИМПУЛЬС, РАВНЫЙ

$$m_1(v_2 \cos \beta + v) = N$$

$$P = N$$

ПОСКОЛЬКУ УДАР СЧИТАЕТСЯ НЕУПРУГИМ,

ТО ШАР НЕ МОЖЕТ БЫТЬ ПОТЕРЯТЬ ЭНЕРГИЮ,

НО ~~ПОС~~ ТАК КАК МЫ ПРЕИГНОРИРУЕМ ЕЮ, ТО

ПОСЧИТАЕМ СКОРОСТЬ, КОТОРАЯ НЕ БУДЕТ РАВНА НА

ОТВЕТ.

т.е. ~~$v_1 \cos \alpha = v_2 \cos \beta$~~ $\frac{1}{\sqrt{v_1^2 \cos^2 \alpha + v_2^2 \cos^2 \beta}} = \frac{1}{\sqrt{2}}$

~~1)~~ ПОСКОЛЬКУ СТЕНА НЕ УГРАБИТ ШАР И

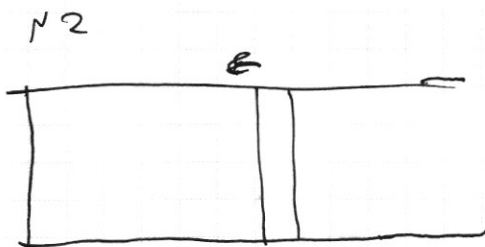
ГОРИЗОНТАЛЬНУЮ

~~ПРОЕКЦИЮ~~ ПРОЕКЦИЮ ШАРА \Rightarrow

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

$$v_2 = v_1 \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = 2v_1 =$$

$$= 12 \text{ м/с}$$



ПОСКОЛБКУ СОСУД ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИ И НЕТУ ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ, ТО $Q_1 + Q_2 = 0$, где Q_1 - КОЛ-ВО ТЕПЛОТЫ ОТ ИСТОКА, Q_2 - КОЛ-ВО ТЕПЛОТЫ РАСТЕНА ГРЕЕМ.

1-Е КИТАЛО Т-Р : $Q = \Delta U + A \Rightarrow$

$$\frac{3}{2} \nu R (T_x - T_1) + P_1 (V_1 - V_1) = - (P (V_1 - V_2) + \frac{3}{2} \nu R (T_x - T_2))$$

где T_x - ТЕМПЕРАТУРА, КОТОРАЯ УСТАНОВИЛАСЬ В СОСУДЕ.

ПОСКОЛБКУ $V_1 + V_2 = \text{const}$

1) ПО ЗАКОНУ ПЕРВЕЛЕВА-КЛАЙДРОНА :

$$P_1 V_1 = \nu R T_1$$

$$P_2 V_2 = \nu R T_2, \text{ но}$$

\Leftrightarrow

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{\nu R T_1 \cdot P_2}{\nu R T_2 \cdot P_1} =$$

$$= \frac{T_1}{T_2} = \frac{3}{4}$$

\Leftrightarrow

$$V_1 = \frac{3}{4} V_2$$

\Leftrightarrow

$$V = \frac{7}{4} V_2$$

2)

$$\frac{3}{2} \nu R (T_x - T_1) + P \left(\frac{7}{8} - \frac{6}{8} \right) V_2 = - P \left(-1 + \frac{7}{8} \right) V_2 - \frac{3}{2} \nu R (T_x - T_2)$$

\Leftrightarrow

$$\frac{3}{2} \nu R (T_x - T_1) = \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_x)$$

\Leftrightarrow

$$T_x - T_1 = T_2 - T_x$$

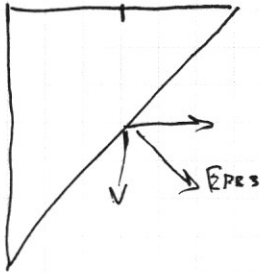
$$T_x = \frac{T_1 + T_2}{2} = 385 \text{ K}$$

$$3) Q = \frac{3}{2} \nu R (T_x - T_1) + P V_2 = \frac{5}{2} \nu R (T_x - T_1) = \frac{11}{2} \cdot 8,31 \cdot 25 \cdot 385 = 430000 \text{ Дж}$$

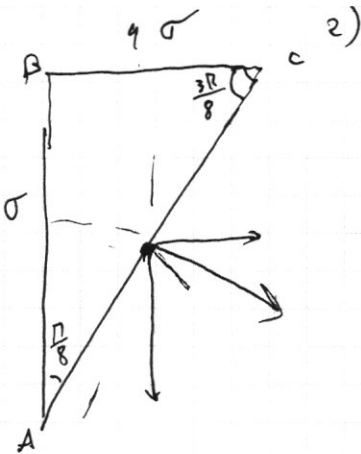
ПОСКОЛБКУ $V_1 + V_2 = \text{const}$ и $T = \text{const}$, а в КОНЦЕ ПРОЦЕССА $P_1' = P_2'$ ($V_1 + V_2; T_1 + T_2$) Тогда можно сказать, что Изначальное отношение было при $P_1 = P_2$, поскольку ИЗМЕНЕНИЯ В ЯВЛЯЮТСЯ МОГУТ ЗАВИСЕТЬ ТАКЖЕ ОТ T и V

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№ 3



при угле $\frac{\pi}{3}$ имеем равнобедренный
треугольник \Rightarrow по принципу суперпозиции
полей получим $E_{рез} = \sqrt{E^2 + E^2} =$
 $= E\sqrt{2} \Rightarrow$ в $\sqrt{2}$ напряже-
нность поле сильнее



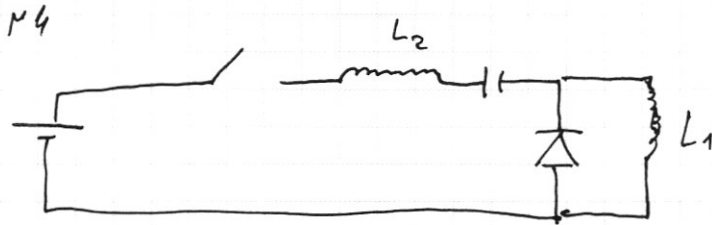
$E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \Rightarrow$ так $E = \frac{q}{2\epsilon_0 s} \Rightarrow$
рассмотрим треугольник $\frac{4\sigma}{8\epsilon_0 \cdot 10^{-12}}$

$\sin 2\alpha = \frac{2\sin\alpha \cos\alpha}{2} \Rightarrow \sin\alpha \cos\alpha = \frac{\sqrt{2}}{4}$
 $\cos 2\alpha = 2\sin^2\alpha - 1 \Rightarrow$
 $\cos 2\alpha + 1 = 2\sin^2\alpha / \sqrt{2}$
 $\cos 2\alpha = \sqrt{2} - 1$

$\sqrt{\sigma^2 + 16\sigma^2} = \sqrt{17}\sigma$

$E = \frac{\sqrt{17}\sigma}{2\epsilon_0}$

конца

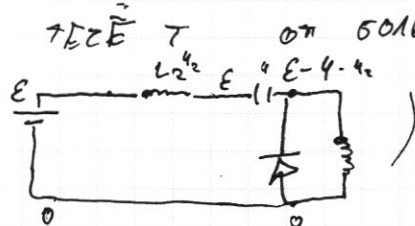


Рассмотрим момент времени $t(0)$, когда ~~за~~ ~~ключ~~ только замкнут.

Ток через катушку скачком не меняется, напряжение на конденсаторе тоже. Тогда, итого великого же получим, ток будет как обычно до момента, когда ток на катушке устанется (напряжение 0 на катушках) \Rightarrow конденсатор будет с напряжением E . Когда начнется разрядка, она будет как обычно, а потому можно найти максимальный ток на катушке 1. ~~с~~ по закону сохранения энергии:

$$\frac{CE^2}{2} = \frac{3LI^2}{2} + \frac{2LI^2}{2} \Rightarrow CE^2 = 5LI^2 \Rightarrow I_1 = E\sqrt{\frac{C}{5L}}$$

Ток через диод потечет лишь в одну сторону, когда напряжение на конденсаторе будет $-E$ (иначе же ток не течет, поскольку ток течет от большего по текущему к меньшему):



т.е. когда заработает диод, ток потечет через него, обходя катушку L_1 (как идеальный проводник) и соответственно образуются колебания в контуре CL_2 .

4 период колебаний

свободная энергия = произведению заряду

$$CE^2 = \frac{2LI^2}{2} \Rightarrow CE^2 = LI^2$$

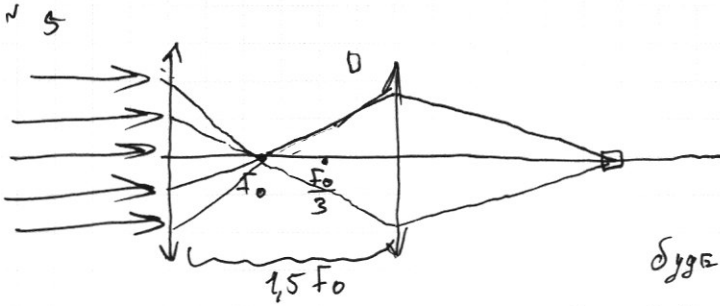
$$2CE^2 = \frac{CE^2}{2} + \frac{LI_m^2}{2}$$

$$4CE^2 = CE^2 + LI_m^2$$

$$3CE^2 = LI_m^2 \Rightarrow I_{2m} = E\sqrt{\frac{3C}{L}}$$

$\omega = \frac{1}{\sqrt{2LC}}$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



Поскольку у расстояния
между линзами $1,5 F_0$
то изображение первой
будет линзы источника
второй линзы ($d > F$)

Поскольку можно считать объект от обратного

$$\frac{1}{1,5 F_0 - F_0} + \frac{1}{F} = \frac{1}{\frac{F_0}{3}} \Rightarrow \frac{1}{F} = \frac{1}{\frac{F_0}{3}} - \frac{1}{0,5 F_0} = \frac{\frac{3}{6} F_0 - \frac{2}{6} F_0}{\frac{1}{6} F_0} = \frac{\frac{1}{6} F_0}{\frac{1}{6} F_0} = 1$$

$$\Rightarrow F = F_0 \Rightarrow \text{расстояние равно } F_0.$$

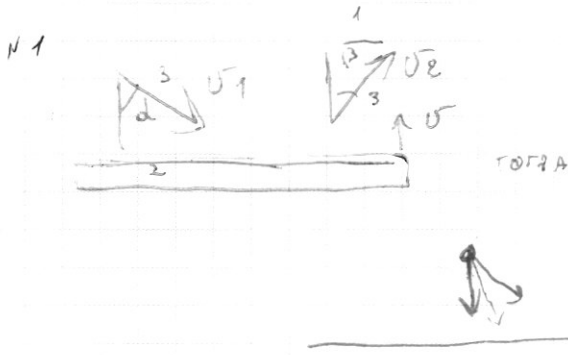
(2) Угол найдём через α и β , сначала Γ_2 - увеличим
второй линзы $\Gamma_2 = \frac{F}{0,5 F_0} = 2$
пройдя через первую линзу и до F_3
найдём высоту лучей в $\frac{F_0}{3}$. Проходя



черновик чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

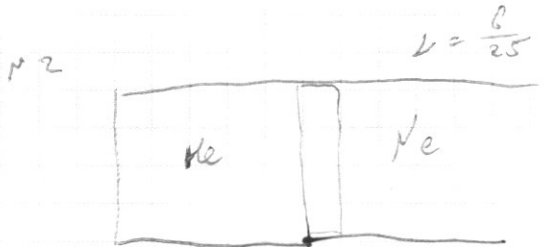


ПЕРЕХОДИМ В СО, СВЯЗАННУЮ С ПЛОТНОСТЬЮ \Rightarrow

Тогда $M \gg m$

$$\vec{v}_{1x} = \vec{v}_1 + \vec{v}, \quad \vec{v}_{2x} = \vec{v}_2 + \vec{v}$$

$$\frac{m v_1^2}{2} + \frac{M v^2}{2} = \frac{(m+M) v_x^2}{2} + \frac{m (v-v_x)^2}{2}$$



КВ СЛУЧА $Q = \Delta U + A$
 $PV = \nu R T$

$U = U_1 + U_2$

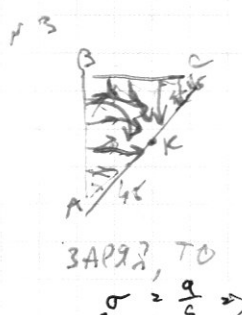
А ДАВЛЕНИЕ НЕМЕНЯЕТСЯ

ТОГДА, КОГДА РВЫВАЮТ ПОРШНЕМ

$$P_1 V_1 = \nu R T_1$$

$$P_2 V_2 = \nu R T_2$$

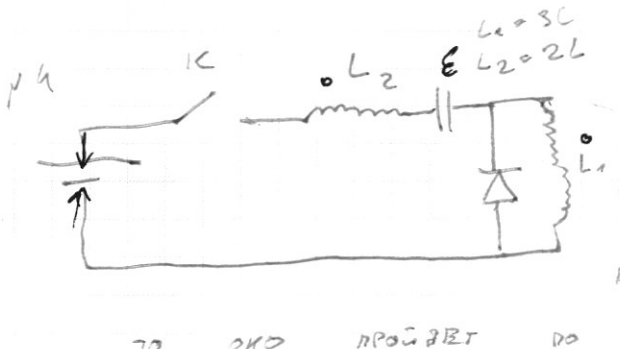
$$\frac{3}{2} \nu R (T_1 - T_2) + P \Delta V = -P \Delta V - \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_1)$$



$q = \frac{Q}{6}$ $\rho(\text{BC}) = \sigma$

к-сЕР (АС) \rightarrow ПОДМ \rightarrow АРРЯТ $\sigma(AB)$

ПОСКОЛЬКУ ПЛАСТИНЫ ТАК РАСПОЛОЖЕНЫ (ПОД УГЛОМ 90°) И ОДЕ ИМЕЮТ ПОЛОЖИТЕЛЬНЫЙ ЗАРЯД, ТО ПО КАЖДОЙ СТОРОНЕ ЛИНИИ, ЗАРЯДИМОСТЬ БУДЕТ СМЯЗЫВАТЬСЯ



ТОК СКАКНЕТ ЧЕРЕЗ КАТУШКУ И НЕ МЕНЯЕТСЯ

ПОСКОЛЬКУ НАПРАВЛЕНИЕ ВОЗРА ТАКЖЕ, КАК И А КАТУШКЕ, ТО КОГДА КАСАЕТСЯ ЗАРЯДКА КАТУШКИ.

ТО ЭТО ПРОИЗВЕД ДО ЭТОГО

$$A_{\text{дл}} = \frac{C E^2}{2} = \frac{3L I^2}{2} + \frac{2L I^2}{2}$$

$$I = E \sqrt{\frac{C}{5L}}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{3}{f_0} - \frac{2}{f_0} = \frac{1}{f_0}$$

№2 ПОСКОЛЬКУ МЕТУ ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ

и СОСУДА ТЕПЛО И ВОДА РОВНЫ, ТО

$$Q_1 + Q_2 = 0 \quad \text{т.е.}$$

$$Q_1 = \Delta U + A = \frac{3}{2} \nu R T_x - T_1 + P \Delta V = - \left(-P \Delta V \right) + \frac{3}{2} \nu R T_2 - T_x$$

$$P_1 V_1 = \nu R T \quad P_{\text{гет}} V_{\text{гет}} = \nu R T_{\text{гет}} \quad P_1 V_1 = \nu R T_1$$

$$\frac{5}{2} \nu R T_x - T_x$$

$$P_2 V_2 = \nu R T_2$$

ген рех: $P_{\text{гет}} T_{\text{гет}}$
 $V_{\text{гет}}$

$$V_1 + V_2 = \text{const} = V_1 + V_2$$

$$P_{\text{гет}} = P_{\text{ген (св)}}$$

$$\begin{array}{r} 2493 \\ + 2193 \\ \hline 2493 \\ \times 8,31 \\ \hline 2493 \\ \times 33 \\ \hline 2493 \end{array}$$

$$\frac{3}{2} \nu R (T_x - T_1) + P_2 - P_{\text{гет}} V_1 - V_{\text{гет}} = P_1 - P_{\text{гет}}$$

т.к $P_1 + V_2 = \text{const}, T_1 + T_2 = \text{const}, \text{то}$

т.к $\frac{PV}{T} = \text{const} \Rightarrow$

$$P_0 V_0 = \nu R T_0$$

констант $P_1 = P_2$

$P_1 = P_2$

$$\frac{V_{\text{гет}}}{V_2} = \frac{\nu R T_1}{\nu R T_2} \cdot \frac{P_2}{P_1}$$

$$P_1 V_1 = \frac{6}{25} \cdot 8,31 \cdot 330$$

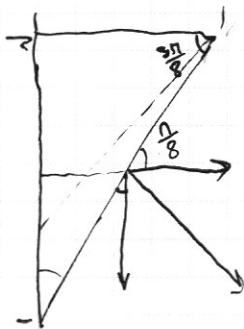
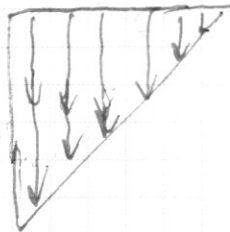
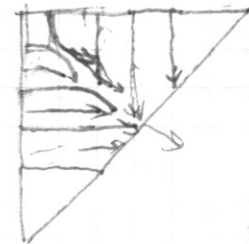
$$P_2 V_2 = \frac{6}{25} \cdot 8,31 \cdot 440$$

$$\frac{3}{2} \nu R T_x - T_1 + P \Delta V =$$

$$= P \Delta V + \frac{3}{2} \nu R T$$

$$T_x - T_1 = T_2 - T_x$$

№ 3



$$F_z = E \sqrt{\frac{C}{2}}$$

$$C = 8,20 \cdot 10^{-12} - CE^2 = \frac{L^2}{2} + \frac{3}{2} CE^2$$

$$E = \frac{kq}{s} = 2$$

Сила направлена

$$\frac{\sigma}{2 \epsilon_0 s}$$

СТАЛО СООТНОШЕНИЕ

$$\frac{q}{2} \cdot \frac{\sigma s}{2} \cdot 2 \Rightarrow$$

гладко

6 5 РАЗ

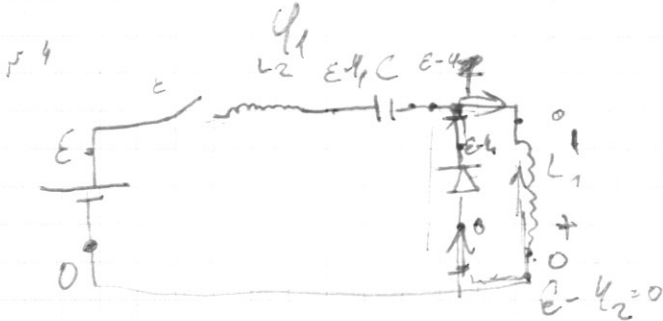
РБ + 144



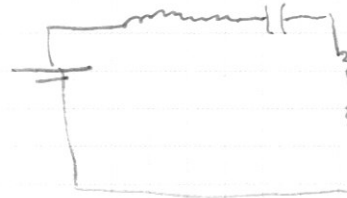
черновик чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$$U_0(t) = E$$



$t = t_0$
ТОК ВЕРХЬ
КАТУШКУ
СНАЧАЛА
НЕ МЕХАНИЧЕСКАЯ
И НАПРЯЖЕНИЕ И
КОМПЕНСАТОРЕ
ТОЖЕ
 $t(t)$, СОГНА КАТУШКУ ~~ВАЖНО~~
С МАКС. ТОКА

$$\frac{L I_1^2}{2} + \frac{L I_2^2}{2} = \frac{C U^2}{2}, \text{ т.к.}$$

НА КОМПЕНСАТОРЕ $Q \rightarrow$

$U = CE$, СТАЛО

$$E = \frac{q}{C} + L_1 \frac{dI_1}{dt} + L_2 \frac{dI_2}{dt}$$

СОГНА МЕХАНИЧЕСКАЯ

$$T = 2\pi \sqrt{LC} \quad \text{— точно}$$

У КАС $\times 12$

$$T = \frac{2\pi}{\omega}$$