

Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2022

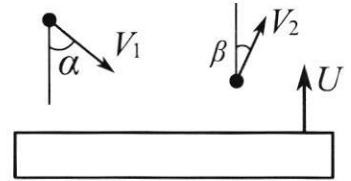
Класс 11

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 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 ($\sin \beta = \frac{3}{5}$) 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.

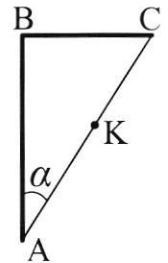
2. Цилиндрический теплоизолированный горизонтально расположенный сосуд разделен на два отсека теплопроводящим поршнем, который может перемещаться горизонтально без трения. В первом отсеке находится аргон, во втором – криптон, каждый газ в количестве $\nu = 3/5$ моль. Начальная температура аргона $T_1 = 320$ 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?

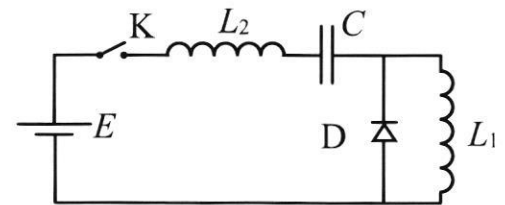
3. Две бесконечные плоские прямоугольные пластины АВ и ВС перпендикулярны друг к другу и образуют двугранный угол с ребром В. На рисунке показано сечение угла плоскостью, перпендикулярной ребру В.



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 .

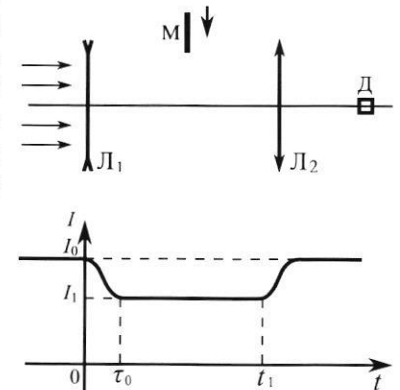


1) Найти период T этих колебаний.

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 L_1 и L_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 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 F_0 от L_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 L_2 и фотодетектором.

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

Известными считать величины F_0 , D , τ_0 .

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№5.

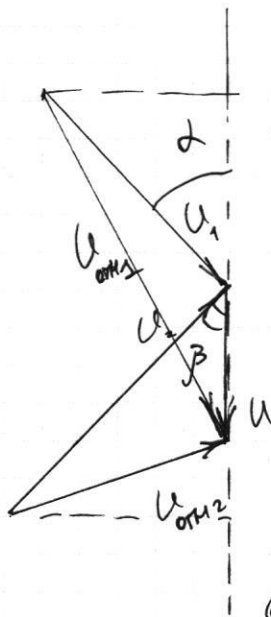
① Так как мгновенная сила реакции со стороны плиты будет действовать \perp плите во время удара, а другие силы сказано пренебречь, по горизонтали на систему «марка-плита» сил действовать не будет \Rightarrow можно записать закон сохранения импульса на горизонтальной оси:

$$u_1 \sin \alpha = u_2 \sin \beta \Rightarrow u_2 = u_1 \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}$$

$$u_2 = 18 \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{5}{3} = 20 \left(\frac{m}{c} \right)$$

Ответ: $20 \frac{m}{c}$

②



Треугольники скоростей.

$u_{отн1}$ и $u_{отн2}$ — скорости в системе отсчёта плиты

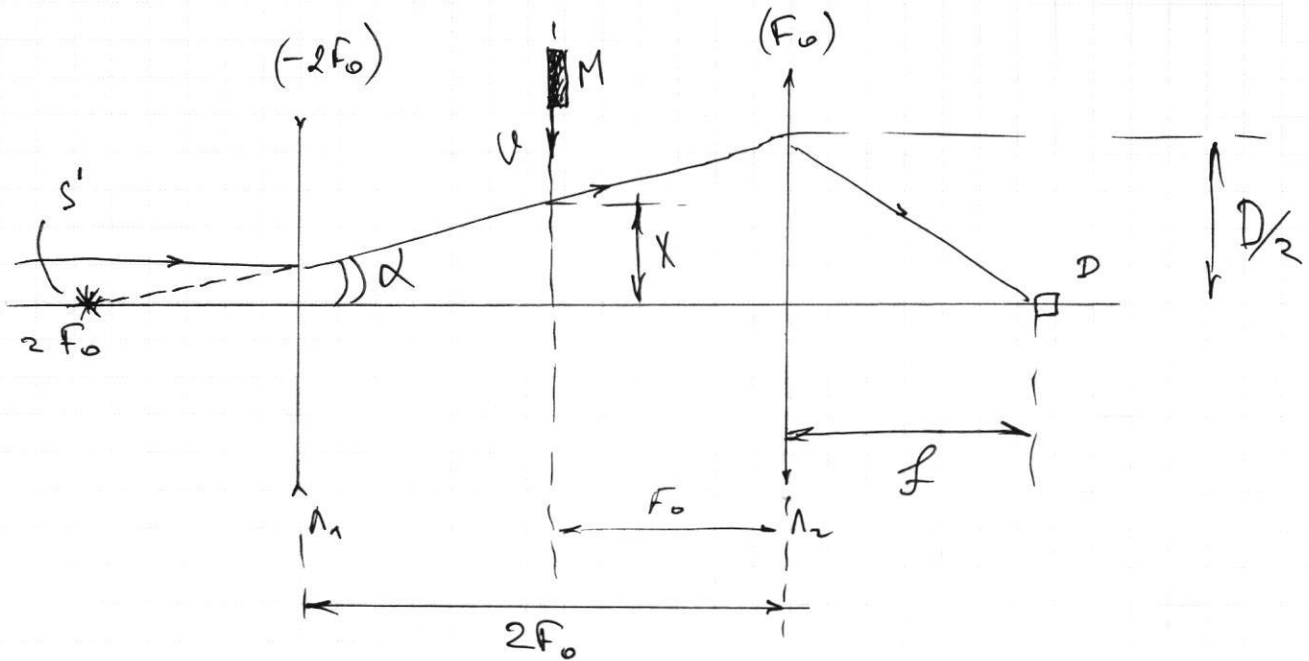
u не может быть меньше нуля, тогда картина скоростей изменилась. u не может быть больше $u_2 \cos \beta$ по той же причине

$0 \leq u \leq u_2 \cos \beta$ (u зависит от угла, выделенного при ударе)

Ответ:

$$0 \leq u \leq 16 \frac{m}{c}$$

NS.



① Параллельные лучи после прохождения \$L_1\$ расходятся, а их продолжения фокусируются на расстоянии \$2F_0\$ от \$L_1\$, поэтому \$S'\$ будет действительным источником для \$L_2\$ на расстоянии \$2F_0 + 2F_0 = 4F_0\$ от \$L_2\$, тогда по формуле тонкой линзы

$$\frac{1}{4F_0} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F_0}, \text{ где } f \text{ расстояние от линзы } L_2 \text{ до фотодетектора}$$

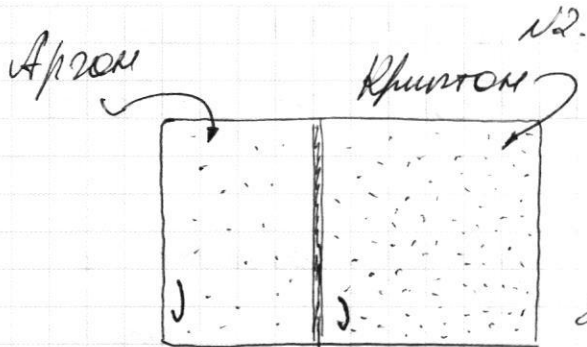
$$f = \frac{4F_0 \cdot F_0}{4F_0 - F_0} = \frac{4F_0}{3} \quad \text{Ответ } \frac{4}{3} F_0$$

② За время \$\tau_0\$ мишень прошла расстояние \$x\$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{x}{2F_0 + F_0} = \frac{x}{3F_0} = \frac{D/2}{2F_0 + 2F_0} = \frac{D/2}{4F_0} \Rightarrow x = \frac{3}{8} D$$

$$v = \frac{3}{8} \frac{D}{\tau_0} \quad \text{Ответ: } v = \frac{3}{8} \frac{D}{\tau_0}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



① Температуры выравниваются медленно \Rightarrow процесс равновесий т.е. у поршня нет ускорения, а значит давления с обеих сторон равны. Обозначим нач. давление P_1

Пусть ~~давление~~ объём Аргона вначале - V_1 , Криптона - V_2
Затем ур-ния состояния идеального газа вначале для обоих газов:

$$\begin{cases} P_1 V_1 = \nu R T_1 \\ P_1 V_2 = \nu R T_2 \end{cases}, \text{ разделим 1 на 2}$$

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2} = \frac{320}{400} = \frac{8}{10} = 0,8$$

Ответ: 0,8

② Т.к. давления газов равны всё время опыта обозначим конечные давления P , а объёмы V_{k1} и V_{k2} поршнем теплопроводящим, так его температуры в конце тоже равны, обозначим температуры T

Ур-ния состояния в конце: $\begin{cases} P V_{k1} = \nu R T \\ P V_{k2} = \nu R T \end{cases} \Rightarrow V_{k1} = V_{k2}$
Затем 1-е начало термодинамики,

с учётом того, что тепло не проводится и сосуд постоянного объёма, для системы:

$$Q = \Delta U + A_{газа} \Rightarrow 0 = \Delta U_{\text{Аргон}} + \Delta U_{\text{Криптон}} + 0$$

$$\frac{3}{2} \nu R (T - T_2) + \frac{3}{2} \nu R (T - T_1) = 0 \Rightarrow T - T_2 = -(T - T_1)$$

$$2T = T_1 + T_2 \Rightarrow T = \frac{T_1 + T_2}{2} = \frac{320 + 400}{2} = 360 \text{ (K)} \quad \text{Ответ: } 360 \text{ K}$$

③ Аргон получил столько теплоты, сколько отдал Криптому, Аргон совершил работу равную по модулю работе криптома

Процесс расширения Аргона представляет собой процесс с прямой пропорциональностью давления от объёма $P \sim V$

Из уравнения 1-го начала термодинамики и определения теплоёмкости ($C = \frac{\delta Q}{J \Delta T}$), следует,
поэтому

что теплоёмкость в этом процессе постоянна и равна $C = \frac{3}{2}R + \frac{R}{2} = 2R$ где μ — молярная масса.

Тогда $\delta Q = C J \Delta T$

$$Q = 2R \cdot \mu \cdot (T - T_1) = 2 \mu R (T - T_1)$$

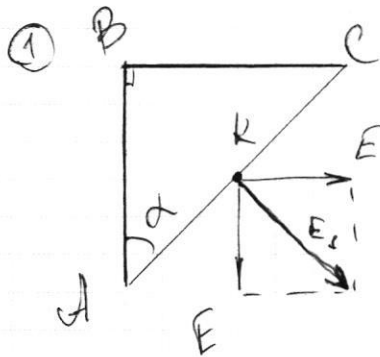
~~$$Q = 2 \mu R \cdot (360 - 320) = 2 \mu R \cdot 40 = \frac{3}{2} \cdot R \cdot \mu$$~~

$$Q = 8,31 \cdot 2 \cdot \frac{3}{2} \cdot 40^{\circ} = 388,88 \text{ Дж}$$

Ответ: 388,88 Дж

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№3.

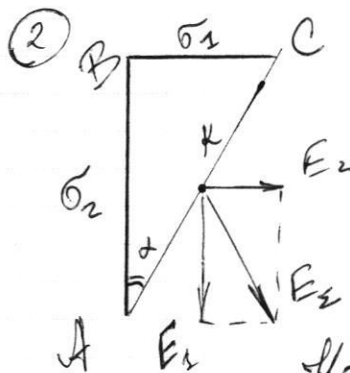


Т.к. $\angle \alpha = \frac{\pi}{4}$, $BC = AB$

Пусть BC создаёт напряжённость E в точке K , тогда напряжённость пластины AB

будет вносить в результирующую напряжённость такой же вклад, но $\perp AB$. По принципу суперпозиции результирующая напряжённость E_1 будет складываться векторно из напряжённостей двух пластин, а численно равна $\sqrt{E^2 + E^2} = E\sqrt{2}$

Ответ: в $\sqrt{2}$.



E_1 - напряжённость поле пластины BC

E_2 - напряжённость поле пластины AB

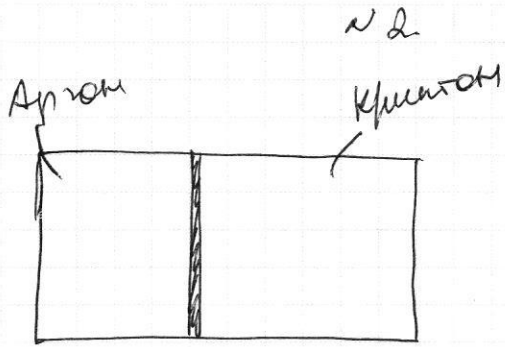
E_2 - результирующая напряжённость, которая численно равна $\sqrt{E_1^2 + E_2^2}$

Напряжённость поле бесконечной равномерно заряженной пластины - $E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$, тогда

$$E_2 = \sqrt{\left(\frac{\sigma_1}{2\epsilon_0}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_2}{2\epsilon_0}\right)^2} = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \cdot \sqrt{1 + \frac{4}{49}} = \frac{\sqrt{53}}{7} \cdot \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$$

$$E_2 = \frac{\sqrt{53}}{14} \frac{\sigma}{\epsilon_0}$$

Ответ: $\frac{\sqrt{53}}{14} \frac{\sigma}{\epsilon_0}$ ($\frac{Н}{Кл}$)



$$P_1 V_1 = \nu R T_1$$

$$P_1 V_2 = \nu R T_2$$

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

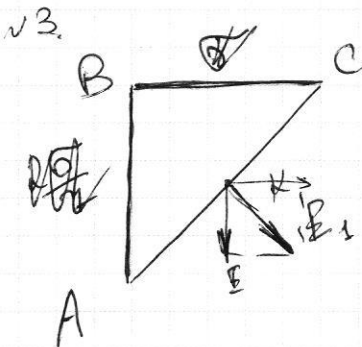
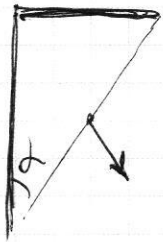
$$P_1 (V_1 + V_2) = 2 \nu R T$$

$$P_1 (V_1 + V_2) = \nu R (T_1 + T_2)$$

$$P_A V_A = \nu R T$$

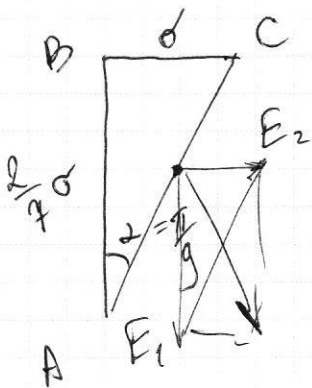
$$P_K V_K = \nu R T$$

$$P_K V_K = \nu R T$$



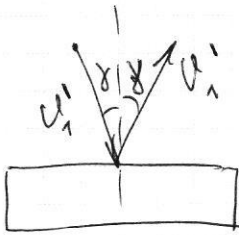
$$E \sqrt{1 - \frac{2}{7}}$$

$$\frac{2}{7} \frac{G}{2 \epsilon_0} = 398,88$$



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

ν4.

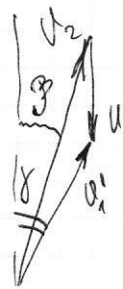


$$u + u_1' \cos \alpha = u_1 \cos \alpha$$

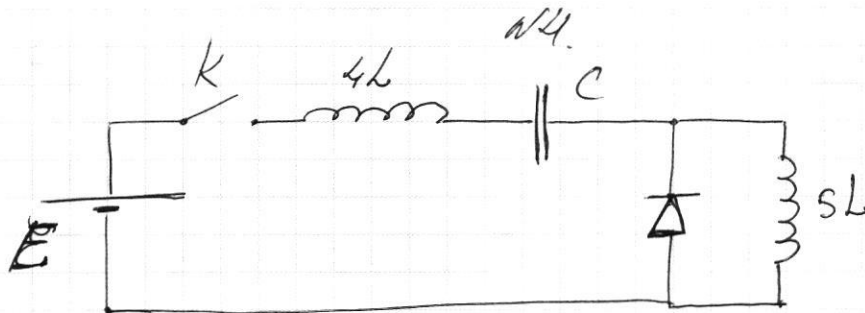


$$2u + u_1 \cos \alpha = u_1' \cos \alpha$$

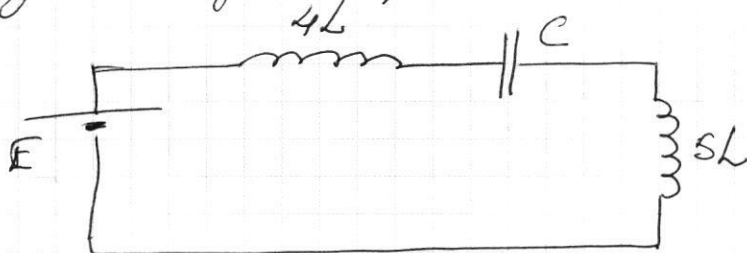
$$u + u_1' \cos \alpha = u_2 \cos \alpha$$



ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



1) После замыкания ключа имеем колебательный контур. Во время зарядки конденсатора ток через диод не идёт, поэтому только во время зарядки конденсатора цепь эквивалентна следующей



По формуле Томпсона период колебаний в таком контуре

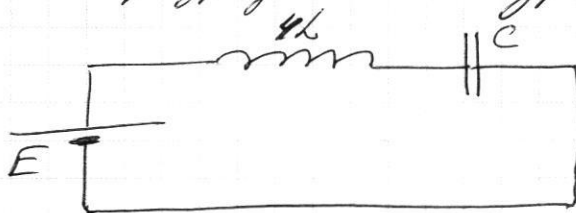
рассчитывается: $T_1 = 2\pi \sqrt{(5L + 4L)C} = 6\pi \sqrt{LC}$

Зарядка займёт половину периода ($\frac{T_1}{2}$)

Рассмотрим разрядку конденсатора. Т.к. диод идеальный напряжение на катушке во время разрядки будет = 0, т.е. ток в катушке = $\cos t = 0$

Тогда во время разрядки контур эквивалентен следующей:

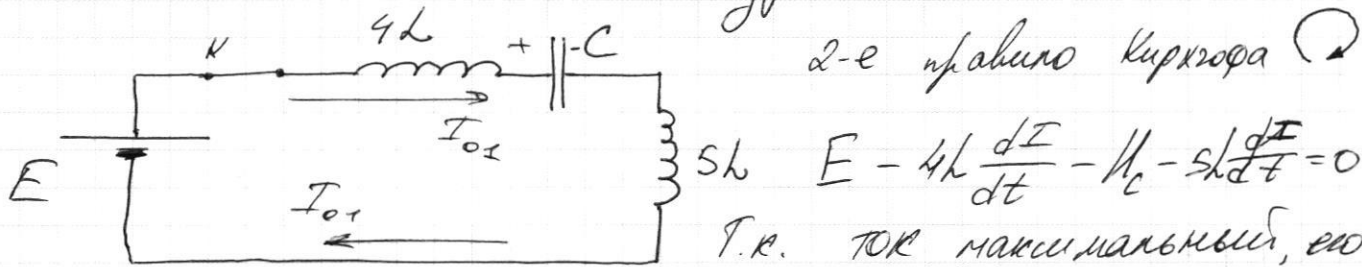
Разрядка будет идти $\frac{1}{2} T_2$



По ф. Томпсона можно рассчитать период: $T_2 = 4\pi \sqrt{LC}$

Тогда период колебаний такого контура равен $T = \frac{T_1}{2} + \frac{T_2}{2}$
 $T = 3\pi \sqrt{LC} + 2\pi \sqrt{LC} = 5\pi \sqrt{LC}$ Ответ: $5\pi \sqrt{LC}$ (с)

② Т.к. ток через L_1 идёт только во время зарядки, рассмотрим соответствующий эквивалентный контур



$$E - 4L \frac{dI}{dt} - U_C - 5L \frac{dI}{dt} = 0$$

Т.к. ток максимальный, его производная = 0, тогда $E - U_C = 0 \Rightarrow U_C = E$

Заменим закон сохранения энергии от нач. момента до рассматриваемого.

$$A_{ист.} = \Delta W_C + \Delta W_{4L} + \Delta W_{5L} + \Delta W_{эл.}$$

$$E \Delta q = \left(\frac{CE^2}{2} - 0 \right) + \left(\frac{4L I_{01}^2}{2} - 0 \right) + \left(\frac{5L I_{01}^2}{2} - 0 \right)$$

через E прошёл такой же заряд, который накопился на левой обкладке конденсатора $\Delta q = (CE - 0)$

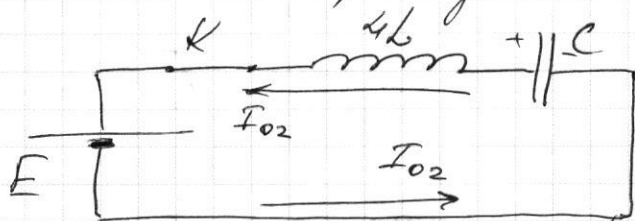
$$CE^2 = \frac{CE^2}{2} + \frac{4}{2} L I_{01}^2 + \frac{5}{2} L I_{01}^2$$

$$\frac{9}{2} L I_{01}^2 = \frac{CE^2}{2} \Rightarrow I_{01}^2 = \frac{CE^2}{9L}$$

$$I_{01} = \frac{E}{3} \sqrt{\frac{C}{L}}$$

Ответ: $I_{01} = \frac{E}{3} \sqrt{\frac{C}{L}}$ (A)

③ Рассмотрим разрядку конденсатора, эквивалент. цепь и момент, когда ток в цепи = I_{02}



Аналогично 2-му пункту понимаем, что $U_C = E$

Заменим закон сохранения энергии от момента, когда конденсатор заряжен, до рассматриваемого

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№4 (продолжение)

Амплитудное значение напряжения конденсатора:

$$\text{от } 0 \text{ до } E \text{ и от } E \text{ до } 2E$$
$$E \Delta q = \left(\frac{CE^2}{2} - \frac{C(2E)^2}{2} \right) + \left(\frac{4LI_0^2}{2} - 0 \right) + (0 - 0)$$

$$\Delta q = \Delta q_{\text{конденсатора}} = CE - 2CE = -CE$$

$$-CE^2 = \frac{CE^2}{2} - 2CE^2 + \frac{4LI_0^2}{2}$$

$$\frac{CE^2}{2} = \frac{4LI_0^2}{2} \Rightarrow I_0^2 = \frac{CE^2}{4L}$$

$$I_0 = \frac{E}{2} \sqrt{\frac{C}{L}}$$

$$\text{Ответ: } I_0 = \frac{E}{2} \sqrt{\frac{C}{L}} \quad (A)$$



черновик чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)

$$Q_A = \frac{3}{2} \rho R (T - T_1) + A_A$$

$$+ Q_K = \frac{3}{2} \rho R (T - T_2) + A_K$$

Решение

$$Q_A = \frac{3}{2} \rho R \Delta T_1 + A_A$$

$$-Q_A = \frac{3}{2} \rho R \Delta T_2 - A_A$$

$$\therefore -(\Delta U_A + A_A) = \Delta U_K + A_K$$

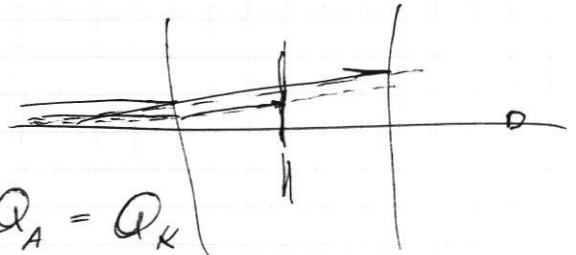
$$Q_A = \frac{3}{2} \rho R \Delta T_1 + Q_A - \frac{3}{4} \rho R (\Delta T_1 + \Delta T_2)$$

$$-Q_A = Q_K$$

$$A_K = -A_A$$

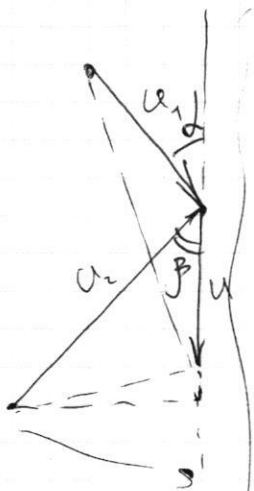
$$2Q_A = \frac{3}{2} \rho R (\Delta T_1 - \Delta T_2) + 2A_A$$

$$2A_A = 2Q_A - \frac{3}{2} \rho R (\Delta T_1 + \Delta T_2)$$



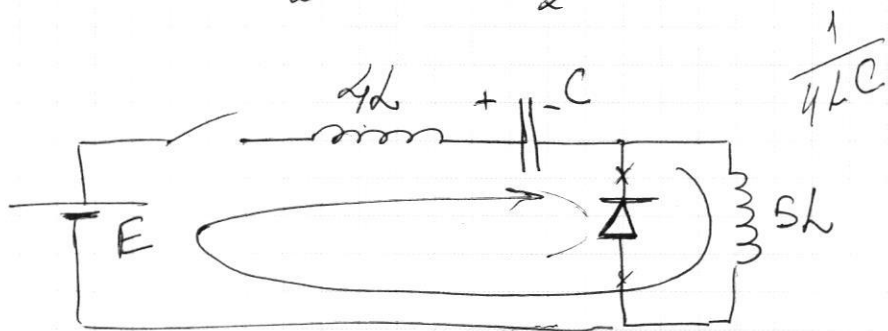
~~Решение~~

$$\frac{m U_1'^2}{2} = \frac{m U_2'^2}{2} + Q$$



$$0 = q_{\max} \cdot \sin \alpha$$

$$q(t) = q_{\max} \cdot \cos(\omega t)$$



$$E - 4L \frac{dI}{dt} - U_C - 5L \frac{dI}{dt} = 0$$

$$U_C = E - 9L \frac{dI}{dt}$$

$$Q = CE - 9LC \cdot \dot{q}$$

$$\ddot{q} + \frac{2}{9LC} - \frac{E}{L} = 0$$

$$\ddot{q} + \frac{1}{9LC} (2q - 9CE) = 0$$

$$\omega^2 = \frac{1}{9LC}$$



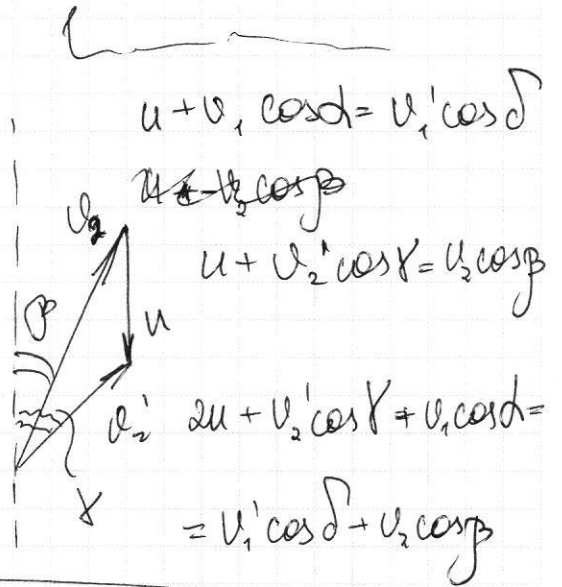
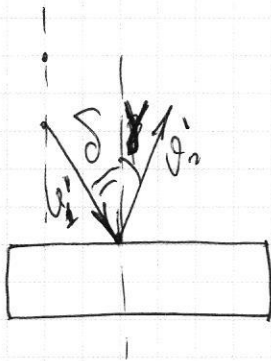
ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$P_1 V_1 = J R T_1$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№1.

Перебегает



$$\frac{m u_1^2}{2} = \frac{m u_2^2}{2} + Q$$

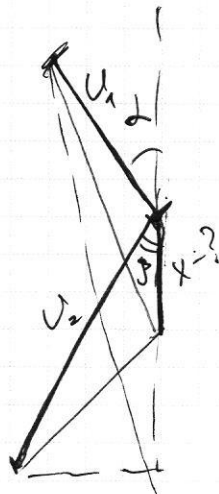
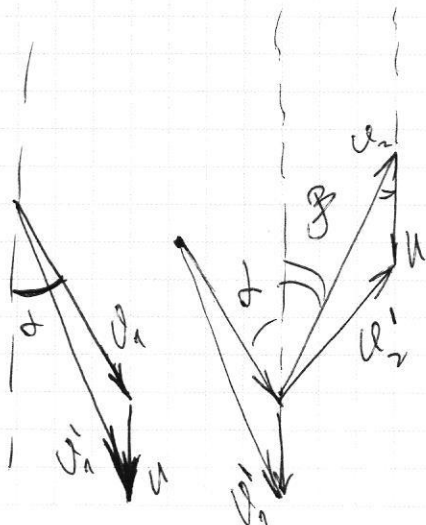
$$u_1 \cos \alpha + u = u_1' \cos \beta$$

$$u_2 \cos \beta = u + u_2' \cos \alpha$$

$$u_1 \cos \alpha + u - u_2 \cos \beta = -u_2'$$

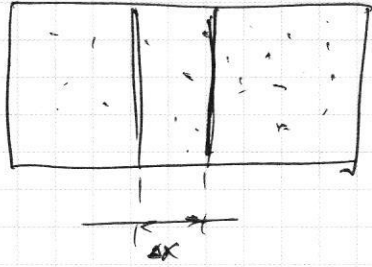
$$2u = u_2 \cos \beta - u_1 \cos \alpha$$

$$m u_1 \cos \alpha - M u = m u_2 \cos \beta - M u \Rightarrow u_2 = \frac{u_1 \cos \alpha}{\cos \beta}$$



$$u_1 \sin \alpha = u_2 \sin \beta$$

$$u_2 = u_1 \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}$$



$$Q = \frac{3}{2} JR(T - T_2) + A$$

$$-Q = \frac{3}{2} JR(T - T_2) - A$$

$$\int P dV$$

$$\frac{P_1}{V} = 2 \frac{P_2}{V}$$

$$P_2 (V_1 + V_2) = JR(T_1 + T_2)$$

$$P(V_1 + V_2) = JR \frac{T_1 + T_2}{2}$$

$$P_1 V_1 = JR T_1$$

$$P_2 V_2 = JR T_2$$

$$P_1 = \frac{JR T_1}{V_1}$$

$$\frac{P_1}{P_2} = 2$$

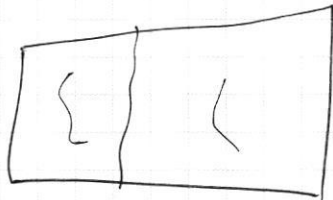
$$\frac{P_1}{V_1} = \frac{P}{V_{K2}}$$

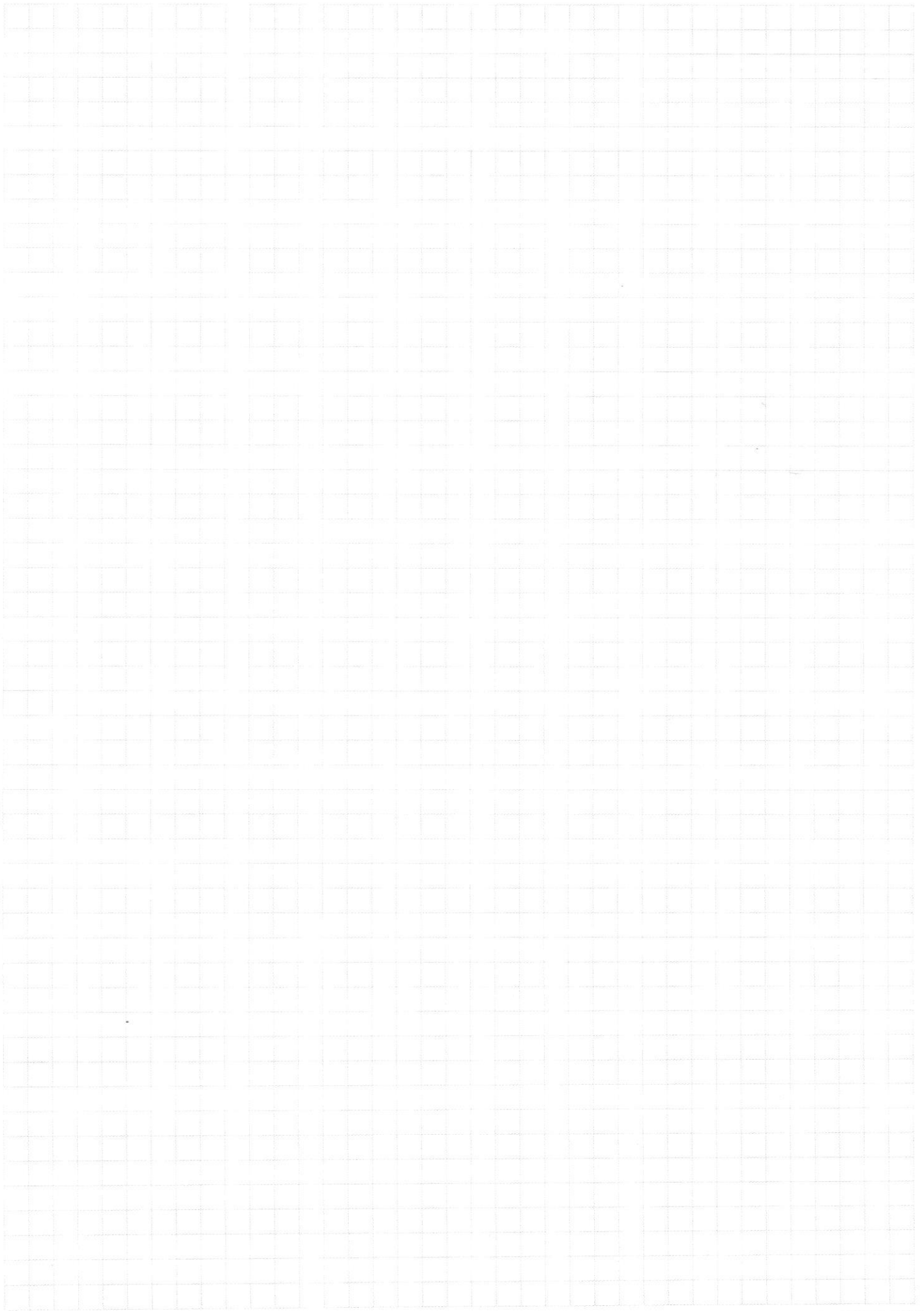


ШИФР

(заполняется секретарём)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА





черновик чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)