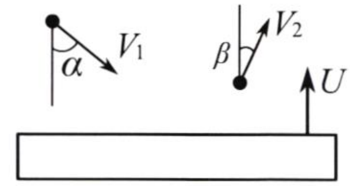
# Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2022

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.

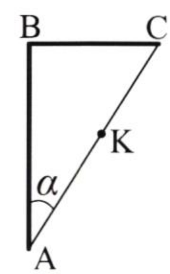



1) Найти скорость $V_2$.
2) Найти возможные значения скорости плиты $U$ при таком неупругом ударе.

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?

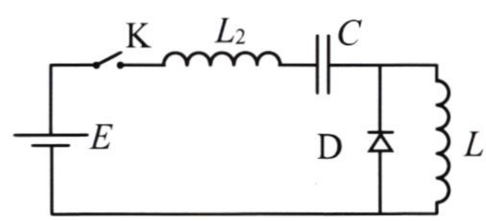
**3.** Две бесконечные плоские прямоугольные пластины АВ и ВС перпендикулярны друг к другу и образуют двугранный угол с ребром В. На рисунке показано сечение угла плоскостью, перпендикулярной ребру В.




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?

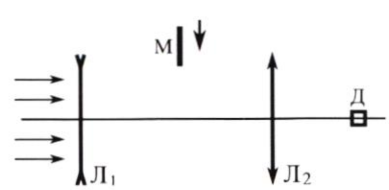
2) Пластины ВС и АВ заряжены положительно с поверхностной плотностью заряда $\sigma_1 = \sigma, \sigma_2 = 2\sigma/7$, соответственно. Угол $\alpha = \pi/9$. Найти напряженность электрического поля в точке К на середине отрезка АС.

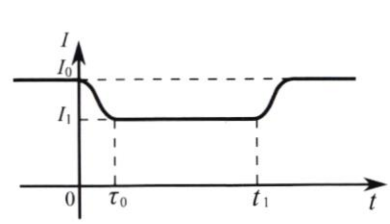
**4.** Электрическая цепь собрана из идеальных элементов: источника с ЭДС $E$, катушек с индуктивностями $L_1 = 5L$, $L_2 = 4L$, конденсатора емкостью $C$, диода D (см. рис.). Ключ $K$ разомкнут, конденсатор не заряжен, тока в цепи нет. После замыкания ключа возникают колебания тока в $L_2$.




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 $t_1$.

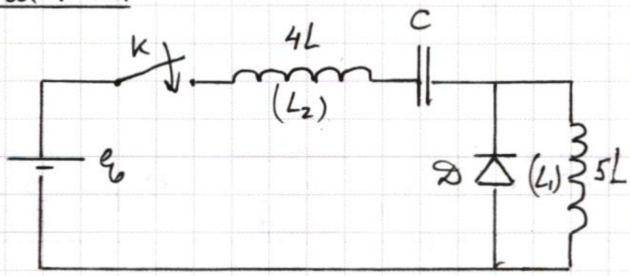
Известными считать величины $F_0$, $D$, $\tau_0$.

# ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Задача №4

Дано: $L_1 = 5L$; $L_2 = 4L$; $C$; $D$; $\mathcal{E}$ | 1) $T$ - ? 2) $I_{01}$ - ? 3) $I_{02}$ - ?

Решение:




1) Колебания происходят следующим образом: сначала ток в цепи проходит по $L_2$, $C$, $L_1$, принимает своё максимальное значение для данной фазы, зануляется, а в обратном направлении ток уже не течёт через $L_1$, т.к. имеется идеальный диод, который пускает ток через себя (а сама катушка не даёт изменять свой нулевой ток). Таким образом, колебание в $L_2$ состоит из полуколебания в цепи $L_2 - C - L_1$ и полуколебания в цепи $D - C - 4L$.

$T_1 = 2\pi\sqrt{9LC}$ — по ф-ле Томпсона; $T_1 = 6\pi\sqrt{LC} \Rightarrow t_1 = 3\pi\sqrt{LC}$

$T_2 = 2\pi\sqrt{4LC}$; $T_2 = 4\pi\sqrt{LC} \Rightarrow t_2 = 2\pi\sqrt{LC}$

$T = t_1 + t_2$; $\boxed{T = 5\pi\sqrt{LC}}$

2) Когда ток через $L_1$ максимален, то он максимален и в $L_2$ (в первом полуколебании) $\Rightarrow U_C = \mathcal{E}$, т.к. $\mathcal{E}_i = 0$

$\Delta q = C\mathcal{E}$ — утёкший заряд с правой обкладки

По Закону Сохранения Энергии в эл. цепи: $A_{ист} = \Delta W_{эл} + \Delta W_{магн}$

$\Delta q\,\mathcal{E} = \left(\frac{C\mathcal{E}^2}{2} - 0\right) + \left(\frac{9LI_{01}^2}{2} - 0\right)$; $\frac{C\mathcal{E}^2}{2} = \frac{9LI_{01}^2}{2} \Rightarrow I_{01}^2 = \frac{C\mathcal{E}^2}{9L}$; $\boxed{I_{01} = \frac{\mathcal{E}}{3}\sqrt{\frac{C}{L}}}$

3) По окончание первого полуколебания напряжение на $C$: $U_C' = 2\mathcal{E}$;

тока через $L_2$ нет.

При максимальном токе через $L_2$ $U_{L_2}=0$ => $U_c^* = \mathcal{E}$

Утёкший заряд $\Delta q^* = |CU_c^* - CU_c'| = C\mathcal{E}$

При этом работа источника $A<0$ : $A^*_{ист} = -\Delta q\mathcal{E} = -C\mathcal{E}^2$

По закону сохранения энергии:

$$A^*_{ист} = \Delta W_{эл} + \Delta W_{магн} = \left(\frac{CU_c^{*2}}{2} - \frac{CU_c'^2}{2}\right) + \left(\frac{4LI_{0_2}^2}{2} - 0\right)$$

$$-C\mathcal{E}^2 = \frac{C\mathcal{E}^2}{2} - 2C\mathcal{E}^2 + 2LI_{0_2}^2 \quad ; \quad \frac{C\mathcal{E}^2}{2} = 2LI_{0_2}^2 \quad ; \quad I_{0_2}^2 = \frac{C\mathcal{E}^2}{4L}$$

$$\boxed{I_{0_2} = \frac{\mathcal{E}}{2}\sqrt{\frac{C}{L}}}$$

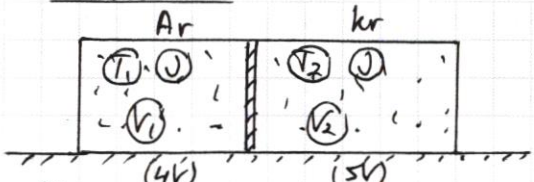
$$\boxed{\text{Ответ: } 1)\ T = 5\pi\sqrt{LC}\ ;\ 2)\ I_{0_1} = \frac{\mathcal{E}}{3}\sqrt{\frac{C}{L}}\ ;\ 3)\ I_{0_2} = \frac{\mathcal{E}}{2}\sqrt{\frac{C}{L}}}$$

Задача №2.

Дано: Ar; kr; $\nu = \frac{3}{5}$ моль; $T_1 = 320K$; $T_2 = 400K$; $R = 8{,}31 \frac{Дж}{моль\cdot K}$; $i = 3$

1) $\frac{V_{Ar_0}}{V_{kr_0}}$ - ?; 2) $T$ - ?; 3) $Q$ - ?

Решение:




1) Т.к. поршень двигается медленно, то: $a = 0$ => $p_{Ar_0} = p_{kr_0} = p_0$

Ур-ния состояния газов: $\begin{cases} p_0V_1 = \nu RT_1 \\ p_0V_2 = \nu RT_2 \end{cases}$ => $\boxed{\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2} = \frac{4}{5}}$

2) Трения нет, система изолирована => сохраняется энергия системы; $U_{Ar_0} + U_{kr_0} = U_{Ar_1} + U_{kr_1}$

$$\cancel{\tfrac{3}{2}}\cancel{\nu R}T_1 + \cancel{\tfrac{3}{2}}\cancel{\nu R}T_2 = \cancel{\tfrac{3}{2}}\cancel{\nu R}T + \cancel{\tfrac{3}{2}}\cancel{\nu R}T$$

$T_1 + T_2 = 2T$ => $\boxed{T = \frac{1}{2}(T_1 + T_2) = 360K}$

3) ~~Рассмотрим аргон:~~ В конечном состоянии давление аргона равно давлению криптона, а так как $\nu_{Ar} = \nu_{kr}$ и $T_{Ar} = T_{kr}$, то $V_{Ar_2} = V_{kr_2}$. Пусть вначале аргон занимает объем $4V$, а криптон-

# ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$5V$, тогда в конце их объёмы равны $V_0 = \frac{9V}{2}$

Рассмотрим аргон: $\begin{cases} 4p_0 V = \nu R T_1 \\ \frac{9p_1V}{2} = \nu R T \end{cases} \Rightarrow \frac{8p_0}{9p_1} = \frac{T_1}{T}$ ; $p_1 = \frac{8p_0T}{9T_1} = p_0$

Значит, процесс можно считать изобарным.

Сколько отдал криптон тепла, столько и получил аргон $\Rightarrow$ $Q = C_p\nu\Delta T$, где $C_p$ – молярная теплоёмкость газа в изобарном процессе, $c_p = \frac{i+2}{2}R \Rightarrow C_p = \frac{5}{2}R$

$\Delta T = (T - T_1)$

$$Q = \frac{5}{2}\nu R(T - T_1) = \frac{5}{2}\nu R\left(\frac{T_1+T_2}{2} - T_1\right) = \frac{5}{2}\nu R\left(\frac{T_1+T_2-2T_1}{2}\right) =$$

$$= \frac{5}{2}\nu R\left(\frac{T_2-T_1}{2}\right); \quad \boxed{Q = \frac{5}{4}\nu R(T_2-T_1)} = \frac{5}{4}\cdot\frac{3}{5}\cdot 8{,}31\cdot 80 =$$

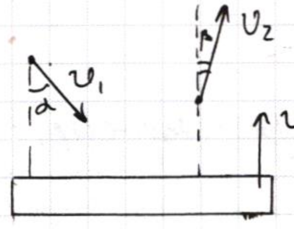
$$= \frac{15}{20}\cdot 80\cdot 8{,}31 = 60\cdot 8{,}31 \approx \boxed{500 \text{ Дж}}$$

Ответ: 1) $\frac{V_{Ar0}}{V_{Kr0}} = \frac{4}{5}$; 2) $T = \frac{1}{2}(T_1+T_2) = 360k$; 3) $Q = \frac{5\nu R(T_2-T_1)}{4} \approx 500$ Дж

Задача №1

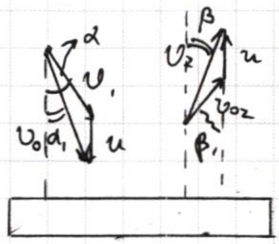
Дано: $v_1 = 18\frac{м}{с}$; $\sin\alpha = \frac{2}{3}$; $\sin\beta = \frac{3}{5}$ | 1) $v_2$ – ? 2) $u$ – ?

Решение:




1) Т.к. плита массивная, то СО, связанную с плитой, можно считать инерциальной (парадокс большого тела). Плита гладкая, сила реакции перпендикулярна плите $\Rightarrow$ импульс на горизонт сохраняется: $v_1\sin\alpha = v_2\sin\beta \Rightarrow \boxed{v_2 = \frac{v_1\sin\alpha}{\sin\beta}} = 18\cdot\frac{2}{3}\cdot\frac{5}{3}\ \frac{м}{с} = \boxed{20\frac{м}{с}}$

2) В СО плиты:



По т-ме синусов перед ударом:

$$\frac{v_1}{\sin\alpha_1}=\frac{u}{\sin(\alpha-\alpha_1)}$$

после удара:

$$\frac{v_2}{\sin\beta_1}=\frac{u}{\sin(\beta_1-\beta)}$$

$$\begin{cases}\dfrac{v_1\sin\alpha}{\sin\alpha_1}=\dfrac{u\sin\alpha}{\sin(\alpha-\alpha_1)}\\[2ex] \dfrac{v_2\sin\beta}{\sin\beta_1}=\dfrac{u\sin\beta}{\sin(\beta_1-\beta)}\end{cases}$$

т.к. $v_1\sin\alpha=v_2\sin\beta$, то:

$$\frac{\cancel{u}\sin\alpha\sin\alpha_1}{\sin(\alpha-\alpha_1)}=\frac{u\sin\beta\sin\beta_1}{\sin(\beta_1-\beta)}$$

$$\frac{\sin\alpha\sin\alpha_1}{\sin\alpha\cos\alpha_1-\cos\alpha\sin\alpha_1}=\frac{\sin\beta\sin\beta_1}{\sin\beta_1\cos\beta-\cos\beta_1\sin\beta}$$

$$\frac{1}{\mathrm{ctg}\,\alpha_1-\mathrm{ctg}\,\alpha}=\frac{1}{\mathrm{ctg}\,\beta-\mathrm{ctg}\,\beta_1}\Rightarrow\boxed{\mathrm{ctg}\,\alpha+\mathrm{ctg}\,\beta=\mathrm{ctg}\,\alpha_1+\mathrm{ctg}\,\beta_1}$$

Из первых ур-ний:

$$u=\frac{v_1\sin(\alpha-\alpha_1)}{\sin\alpha_1}=\frac{v_1(\sin\alpha\cos\alpha_1-\cos\alpha\sin\alpha_1)}{\sin\alpha_1}=v_1(\sin\alpha\,\cancel{\cos}\,\mathrm{ctg}\,\alpha_1-\cos\alpha)$$

$$u=\frac{v_2\sin(\beta_1-\beta)}{\sin\beta_1}=\frac{v_2(\sin\beta_1\cos\beta-\cos\beta_1\sin\beta)}{\sin\beta_1}=v_2(\cos\beta-\sin\beta\,\mathrm{ctg}\,\beta_1)=$$

$$=\frac{v_1\sin\alpha}{\sin\beta}(\cos\beta-\sin\beta\,\mathrm{ctg}\,\beta_1)=v_1\sin\alpha(\mathrm{ctg}\,\beta-\mathrm{ctg}\,\beta_1)$$

$$\begin{cases}u=v_1\sin\alpha(\mathrm{ctg}\,\alpha_1-\mathrm{ctg}\,\alpha)\\ + \\ u=v_1\sin\alpha(\mathrm{ctg}\,\beta-\mathrm{ctg}\,\beta_1)\end{cases}$$

$$2u=v_1\sin\alpha(\mathrm{ctg}\,\alpha_1-\mathrm{ctg}\,\alpha+\mathrm{ctg}\,\beta-\mathrm{ctg}\,\beta_1)$$

$$\mathrm{ctg}\,\alpha_1=\mathrm{ctg}\,\alpha+\mathrm{ctg}\,\beta-\mathrm{ctg}\,\beta_1$$

$$2u=v_1\sin\alpha(\cancel{\mathrm{ctg}\,\alpha}+\mathrm{ctg}\,\beta-\mathrm{ctg}\,\beta_1-\cancel{\mathrm{ctg}\,\alpha}+\mathrm{ctg}\,\beta-\mathrm{ctg}\,\beta_1)$$

$$2u=v_1\sin\alpha(2\,\mathrm{ctg}\,\beta-2\,\mathrm{ctg}\,\beta_1)\Rightarrow\boxed{u=v_1\sin\alpha(\mathrm{ctg}\,\beta-\mathrm{ctg}\,\beta_1)}$$

$\beta_1\in[\beta;\frac{\pi}{2}]$ – это удовлетворяет условию движения плиты вверх и относительной скорости осколка, направленной <u>от</u> плиты.

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

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

ШИФР

(заполняется секретарём)

# ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

При $\beta_1 = \beta$ : $\boxed{u = 0}$

при $\beta_1 = \frac{\pi}{2}$ : $u = v_1 \sin\alpha \, ctg\,\beta$

$\cos\beta = \sqrt{1-\sin^2\beta} = \sqrt{1-\frac{9}{25}} = \sqrt{\frac{16}{25}} = \frac{4}{5} \Rightarrow ctg\beta = \frac{\cos\beta}{\sin\beta} = \frac{4}{5}\cdot\frac{5}{3} = \frac{4}{3}$

$\boxed{u = v_1 \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{4}{3} = \frac{8}{9} v_1 = 16 \frac{м}{с}}$

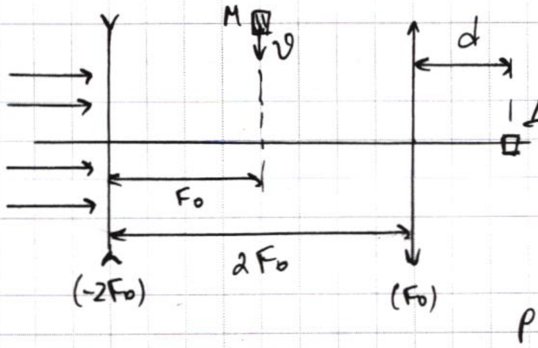
$u \in [0; 16\frac{м}{с}]$

$\boxed{\text{Ответ: 1) } v_2 = \frac{v_1 \sin\alpha}{\sin\beta} = 20\frac{м}{с}; \quad \text{2) } u \in [0; 16\frac{м}{с}]}$

Задача №5

Дано: $F_0$; Д; $I \sim P$; $I_1 = \frac{7I_0}{16}$; $r_0$ | 1) $d$-? 2) $v$-? 3) $t_1$-?

Решение:




1) Ф-ла тонкой линзы для $(-2F_0)$:

$\frac{1}{-2F_0} = \frac{1}{\infty} - \frac{1}{d'}$, где $d'$ – расстояние от $Л_1$ до мнимого изображения в этой линзе $\Rightarrow d' = 2F_0$

для линзы $F_0$ расстояние до предмета равно $d^* = 2F_0 + 2F_0 = 4F_0$

ФТЛ для $Л_2$: $\frac{1}{F_0} = \frac{1}{4F_0} + \frac{1}{d}$; $\frac{1}{d} = \frac{1}{F_0} - \frac{1}{4F_0} = \frac{4F_0 - F_0}{4F_0^2} = \frac{3F_0}{4F_0^2} \Rightarrow$

$\Rightarrow \frac{1}{d} = \frac{3}{4F_0}$; $\boxed{d = \frac{4F_0}{3}}$

2) $P = IS$, где $I$ – интенсивность (аналогия светимости в астрономии, измеряется в $\frac{Вт}{м^2}$), а т.к. $I \sim P$, то $I \sim S$, где $S$ – площадь пучка, падающего на $Л_2$. Мишень „бло-

☐ черновик ☑ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

кирует и На $Л_2$ площадь, вдвое большую своей собственной (из подобия — мишень проходит посередине между $Л_1$ и $Л_2$)

Ясно, что максимальное падение тока тогда, когда мишень полностью вошла в зону между линзами

Пусть диаметр мишени $D'$,

тогда $\frac{I_0}{I_1} = \frac{\pi D^2}{4} : \frac{\pi(D^2-D'^2)}{4} = \frac{D^2}{D^2-D'^2}$

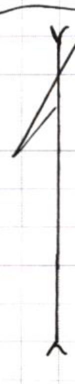
$\frac{I_1}{I_0} = \frac{D^2-D'^2}{D^2} = 1-\frac{D'^2}{D^2} = \frac{7}{16} \Rightarrow \frac{D'^2}{D^2} = \frac{16}{16}-\frac{7}{16} = \frac{9}{16}$

$\frac{D'}{D} = \frac{3}{4}$ ; $\boxed{D' = \frac{3D}{4}}$

Мишень проходит свой диаметр за время $\tau_0$, т.е.:

$v\tau_0 = D'$; $\boxed{v = \frac{D'}{\tau_0} = \frac{3D}{4\tau_0}}$

Мишень даёт наибольшее падение тока до тех пор, пока ~~нижняя~~ нижний её край не выходит за зону между линзами:



Пусть диаметр мишени $D'$, тогда диаметр, закрытый на $Л_2$ — $2D'$

$\frac{I_1}{I_0} = \frac{\pi(D^2-4D'^2)}{4} : \frac{\pi D^2}{4} = \frac{D^2-4D'^2}{D^2} = 1-4\frac{D'^2}{D^2} = \frac{7}{16}$

$4\frac{D'^2}{D^2} = \frac{9}{16}$ ; $\frac{D'^2}{D^2} = \frac{9}{64} \Rightarrow \frac{D'}{D} = \frac{3}{8}$

$D' = \frac{3D}{8}$

$\tau_0 = \frac{D'}{v} \Rightarrow \boxed{v = \frac{D'}{\tau_0} = \frac{3D}{8\tau_0}}$, т.к. $\tau_0$ — время за которое мишень полностью входит в зону между линзами

Время за которое ~~мн~~ мишень достигнет своим нижним краем ~~конца~~ конца зоны между линзами: $t = t_1 - \tau_0$

☐ черновик ☑ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

# ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$\cancel{t = D'}$ $t = \frac{D - D'}{v} = \frac{D - \frac{3D}{8}}{v} = \frac{5D}{8v}$

$\cancel{t_1 - \tau_0 = \frac{5D}{3D} \cdot 8\tau_0 = \frac{40}{3}\tau_0}$ $\cancel{t_1 =}$ $t_1 - \tau_0 = \frac{5D}{8 \cdot \frac{3D}{8\tau_0}} = \frac{5D}{8 \cdot 3D} \cdot 8\tau_0 = \frac{5\tau_0}{3}$

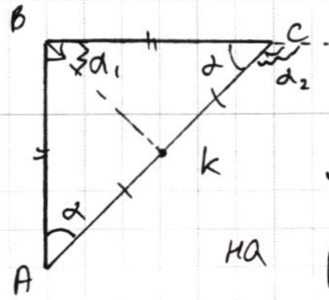
$\Rightarrow \boxed{t_1 = \tau_0 + \frac{5\tau_0}{3} = \frac{8\tau_0}{3}}$

$\boxed{\text{Ответ: 1) } d = \frac{4F_0}{3}\text{; 2) } v = \frac{3D}{8\tau_0}\text{; 3) } t_1 = \frac{8\tau_0}{3}}$

Задача №3.

1) Дано: $\alpha = \frac{\pi}{4}$; $AK = AC$; $\angle B = 90^\circ$; $\sigma_{BC} = \sigma_0$; $\sigma_{AB} = \sigma_0$; | $\frac{E_2}{E_1}$ — ?

Решение:




Нам известен закон Био-Савара-Лапласа, который для проводника с током определяет значение индукции в точке, отстоящей на расстоянии $r$: $B = \frac{\mu\mu_0 I}{4\pi r}(\cos\alpha_1 - \cos\alpha_2)$

при $\mu = 1$: $B = \frac{\mu_0 I}{4\pi r}(\cos\alpha_1 - \cos\alpha_2)$

Аналогии: $I \to \sigma$; $\frac{\mu_0}{4\pi r} \to \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}$; $E = \frac{\sigma}{4\pi\varepsilon_0}(\cos\alpha_1 - \cos\alpha_2)$

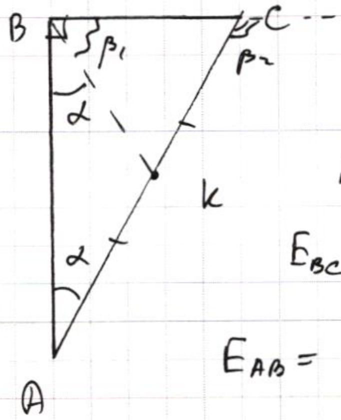
(для беск. плоскости $\cos\alpha_1 - \cos\alpha_2 = 2$ и $E = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}$)

При заряженной BC: $\cancel{E_1 = \frac{\sigma}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{1}{\sqrt{2}} + \frac{1}{\sqrt{2}}\right) = \frac{\sigma}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \sqrt{2}}$

$\cancel{E_1 = \frac{\sqrt{2}}{4}\sigma}$ $\boxed{E_1 = \frac{\sigma}{4\varepsilon_0}\left(\frac{1}{\sqrt{2}} + \frac{1}{\sqrt{2}}\right) = \frac{\sqrt{2}\sigma}{4\varepsilon_0}}$

При заряженных BC и AB: $E_2 = \sqrt{E_1^2 + E_1^2} = E_1\sqrt{2} \Rightarrow \boxed{\frac{E_2}{E_1} = \sqrt{2}}$

2) Дано: $\alpha = \frac{\pi}{9}$; $\sigma_{BC} = \sigma_1 = \sigma$; $\sigma_2 = \sigma_{AB} = \frac{2\sigma}{7}$ | $E_K$ – ?




$$\angle C = \frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{9} = \frac{9\pi}{18} - \frac{2\pi}{18} = \frac{7\pi}{18} = \beta_1$$

$$\beta_2 = \frac{18\pi}{18} - \frac{7\pi}{18} = \frac{11\pi}{18}$$

$$E_{BC} = \frac{\sigma_1}{4\varepsilon_0}\left(\cos\beta_1 - \cos\beta_2\right) = \frac{\sigma_1}{4\varepsilon_0}\left(\cos\frac{7\pi}{18} - \cos\frac{11\pi}{18}\right)$$

$$E_{AB} = \frac{\sigma_2}{4\varepsilon_0}\left(\cos\alpha - \cos(\pi-\alpha)\right) = \frac{\sigma_2}{4\varepsilon_0}\cdot 2\cos\alpha = \frac{\sigma_2}{2\varepsilon_0}\cdot\cos\frac{\pi}{9}$$

$$E_{BC} = \frac{\sigma_1}{4\varepsilon_0}\left(\cdot 2\cos\frac{7\pi}{18}\right) = \frac{\sigma_1}{2\varepsilon_0}\cos\frac{7\pi}{18}$$

$$\begin{cases} E_{AB} = \frac{\sigma}{7\varepsilon_0}\cos\frac{\pi}{9} \\ E_{BC} = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}\cos\frac{7\pi}{18} \end{cases}$$

$$E_K = \sqrt{E_{AB}^2 + E_{BC}^2} = \sqrt{\frac{\sigma^2}{49\varepsilon_0^2}\cos^2\frac{\pi}{9} + \frac{\sigma^2}{4\varepsilon_0^2}\cos^2\frac{7\pi}{18}}$$

$$\cos^2\frac{7\pi}{18} = \left(\cos\left(\frac{9\pi}{18} - \frac{2\pi}{18}\right)\right)^2 = \left(\cos\left(\frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{9}\right)\right)^2 =$$

$$= \sin^2\frac{\pi}{9}$$

$$E_K = \sqrt{\frac{\sigma^2}{49\varepsilon_0^2}\cos^2\frac{\pi}{9} + \frac{\sigma^2}{4\varepsilon_0^2}\sin^2\frac{\pi}{9}} = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}\sqrt{\frac{\cos^2\frac{\pi}{9}}{49} + \frac{\sin^2\frac{\pi}{9}}{4}}$$

$\cancel{\cos\frac{\pi}{9} \approx 1 - \frac{\pi^2}{81}}$ $\quad \cos\frac{\pi}{9} \approx 1 - \frac{\pi^2}{162} \approx 1$

$$\sin\frac{\pi}{9} \approx \frac{\pi}{9}$$

$$E_K = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}\sqrt{\frac{1}{49} + \frac{\pi^2}{4\cdot 81}} \approx \frac{\sigma}{\varepsilon_0}\sqrt{\frac{1}{49} + \frac{1}{36}} \quad . \; . \; .$$

$$\boxed{\text{Ответ: } 1)\ \frac{E_2}{E_1} = \sqrt{2}\ ;\quad 2)\ E_K = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}\sqrt{\frac{\cos^2\frac{\pi}{9}}{49} + \frac{\sin^2\frac{\pi}{9}}{4}}}$$

☐ черновик ☑ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

# ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$\begin{cases} \dfrac{v_1}{\sin\alpha_1} = \dfrac{u}{\sin(\alpha-\alpha_1)} \\ \dfrac{v_2}{\sin\beta_1} = \dfrac{u}{\sin(\beta_1-\beta)} \end{cases}$$

$v_1 \sin\alpha = v_2 \sin\beta$ $\qquad \cos\beta = \sqrt{1-\frac{9}{25}} = \frac{4}{5}$

$u = \dfrac{v_1(\sin\alpha\cos\alpha_1 - \cos\alpha\sin\alpha_1)}{\sin\alpha_1}$ $\qquad ctg\beta = \frac{4}{5}\cdot\frac{5}{3} = \frac{4}{3}$

$2u = v_1\sin\alpha(ctg\beta - ctg\alpha + ctg\alpha_1 - ctg\beta_1)$

$= v_1(\sin\alpha \, ctg\alpha_1 - \cos\alpha)$

$$\begin{cases} \dfrac{v_1\sin\alpha}{\sin\alpha_1} = \dfrac{u\sin\alpha}{\sin(\alpha-\alpha_1)} \\ \dfrac{v_2\sin\beta}{\sin\beta_1} = \dfrac{u\sin\beta}{\sin(\beta_1-\beta)} \end{cases}$$

$u = v_2\dfrac{\sin\beta_1\cos\beta - \cos\beta_1\sin\beta}{\sin\beta_1}$

$2u = 2v_1\sin\alpha(ctg\beta - ctg\beta_1 + ctg\alpha_1 - ctg\alpha)$

$u = v_2(\cos\beta - \sin\beta \, ctg\beta_1)$

$\dfrac{\cancel{u}\sin\alpha\sin\alpha_1}{\sin(\alpha-\alpha_1)} = \dfrac{\cancel{u}\sin\beta\sin\beta_1}{\sin(\beta_1-\beta)}$ $\qquad v_2 = \dfrac{v_1\sin\alpha}{\sin\beta}$

$u = \dfrac{v_1\sin\alpha}{\sin\beta}(\cos\beta - \sin\beta \, ctg\beta_1)$

$\dfrac{\sin\alpha\sin\alpha_1}{\sin\alpha\cos\alpha_1 - \cos\alpha\sin\alpha_1} = \dfrac{\sin\beta\sin\beta_1}{\sin\beta_1\cos\beta - \cos\beta_1\sin\beta}$ $= v_1\sin\alpha(ctg\beta - ctg\beta_1)$

$\dfrac{1}{ctg\alpha_1 - ctg\alpha} = \dfrac{1}{ctg\beta - ctg\beta_1}$

$u = v_1(\sin\alpha \, ctg\alpha_1 - \cos\alpha)$

$u = v_1\sin\alpha(ctg\beta - ctg\beta_1)$

$u = v_1\sin\alpha(ctg\alpha_1 - ctg\alpha)$

$ctg\alpha_1 - ctg\alpha = ctg\beta - ctg\beta_1$ $\qquad \sin\alpha = \frac{2}{3}$

$ctg\alpha + ctg\beta = ctg\alpha_1 + ctg\beta_1$ $\qquad \cos\alpha = \sqrt{1-\frac{4}{9}} = \frac{\sqrt5}{3}$

$ctg\beta_1 = ctg\alpha + ctg\beta - ctg\alpha_1$ $\qquad ctg\alpha = \dfrac{\sqrt3/3}{\cancel{2/3}} = \frac{\sqrt5}{3}\cdot\frac{3}{2}$

$= \frac{\sqrt5}{2}$ $\qquad ctg$

$$2u = v_1 \sin\alpha(\cancel{ctg\beta - ctg\beta_1} \quad ctg\beta - ctg\alpha + ctg\alpha_1 - ctg\beta_1)$$

$$ctg\alpha + ctg\beta = ctg\alpha_1 + ctg\beta_1$$

$$\cancel{ctg\alpha_1 = ctg\alpha_1} \qquad \cos\alpha_1 = \frac{1}{\sqrt{2}}$$

$$ctg\alpha_1 = ctg\alpha + ctg\beta - ctg\beta_1 \qquad \cos\alpha_2 = \frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{2}{\sqrt{2}} = \sqrt{2}$$

$$2u = v_1 \sin\alpha(ctg\beta - \cancel{ctg\alpha} + \cancel{ctg\alpha} + ctg\beta - ctg\beta_1 - ctg\beta_1)$$

$dl$

$$2u = v_1 \sin\alpha(2ctg\beta - 2ctg\beta_1)$$

$\alpha$

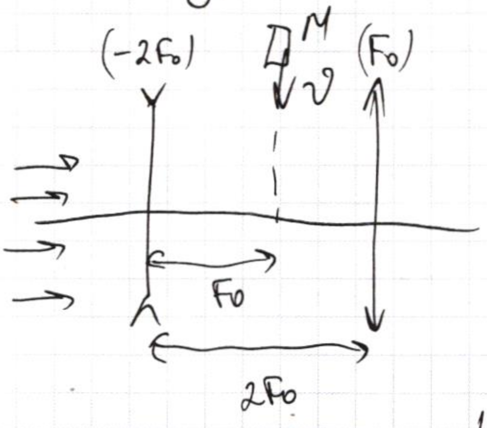
$$u = v_1 \sin\alpha(ctg\beta - ctg\beta_1) \qquad \cos\alpha +$$

$E =$

$ctg\beta_1 \in$

$\cancel{I} \sim P \sim \frac{1}{S}$

$P = \frac{B^2}{\mu^2}$



$\underline{a}$ $\quad J = PS$

$\sim I \sim P$

$$P = \frac{J}{S}$$

$$P = \frac{J}{S}$$

$$\frac{\mu\mu_0 I}{4\pi r}(\cos\alpha_1 - \cos\alpha_2)$$

$$I_1 = \frac{7I_0}{16} \qquad \vec{E} = \frac{kq}{4\pi\varepsilon_0 r^2} \qquad \cancel{\frac{kq}{4\pi\varepsilon_0}}$$

$$\Delta\vec{E} = \frac{\Delta q}{4\pi\varepsilon_0 r^3}[\vec{r} \times \Delta\vec{l}] \qquad \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}($$

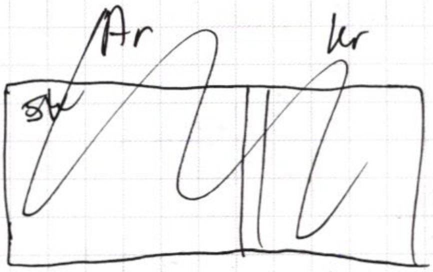
$$\frac{\mu\mu_0 I}{4\pi r^3}[\vec{r} \times \Delta\vec{l}] \qquad \frac{\mu\mu_0 I \Delta l \sin\alpha}{4\pi r^2} \qquad q = ISn$$

$$I = \frac{q}{S} = \sigma$$

☑ черновик ☐ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

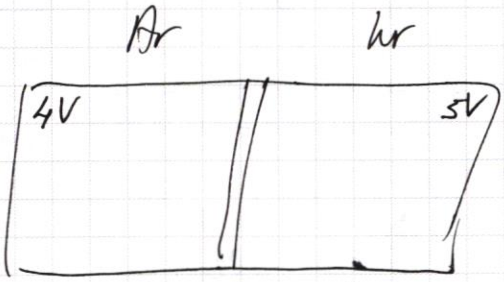
Страница №__
(Нумеровать только чистовики)

# ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА




$$\begin{cases} pV_{Ar} = \nu R T_1 \\ pV_{Kr} = \nu R T_2 \end{cases}$$

$$\frac{V_{Ar}}{V_{Kr}} = \frac{T_1}{T_2} = \frac{4}{5}$$

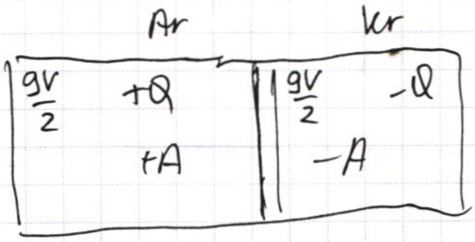



Внутренняя энергия сохраняется:

$$\frac{3}{\cancel{2}}\nu R T_1 + \frac{3}{\cancel{2}}\nu R T_2 = \frac{6}{\cancel{2}}\nu R T$$

$$\cancel{6\nu R} \quad 3\nu R(T_1+T_2) = 6\nu R T$$

$$T = \frac{3(T_1+T_2)}{6} = \frac{T_1+T_2}{2} = 360K$$




~~Для~~ I нач. терм для Ar:

$$Q = \Delta U + A = \frac{3}{2}\nu R(T - T_1) + A$$

$A = \int p dV$ $p = const$ -?

$$\begin{cases} 4p_1 V = \nu R T_1 \\ \frac{9}{2} p_2 V = \nu R T \end{cases} \qquad \frac{4p_1}{9p_2}\cdot 2 = \frac{T_1}{T}$$

$$\frac{8p_1}{9p_2} = \frac{320}{360}$$

$$= \frac{8}{9} \quad p_1 = p_2$$

$$Q = c_p \nu (T - T_1) = \frac{5}{2}\nu R\left(\frac{T_1+T_2}{2} - T_1\right) = \frac{5}{2}\nu R\left(\frac{T_1+T_2-2T_1}{2}\right)$$

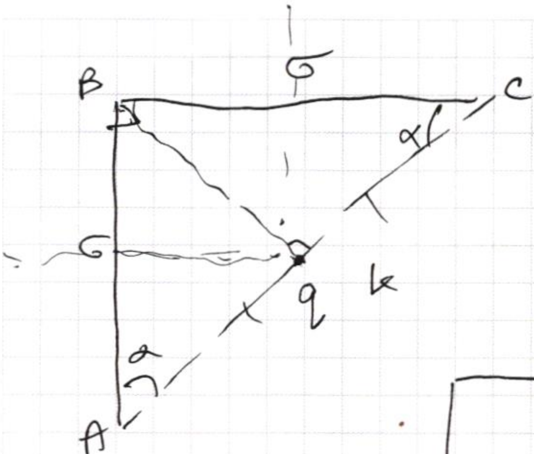
$$= \frac{5}{2}\nu R\left(\frac{T_2-T_1}{2}\right) = \frac{5}{4}\nu R(T_2 - T_1) =$$

$$= \frac{5}{4}\cdot\frac{3}{5}\cdot 8{,}31 \cdot 80 = \frac{15}{\cancel{20}} 8{,}31 \cdot \overset{4}{\cancel{80}} =$$

$$= 60 \cdot 8{,}31$$

$$83{,}1 \cdot 6 = 498{,}6$$

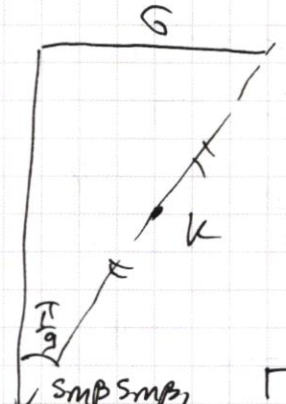
$$= \underline{500\text{ Дж}}$$



$$E_{k_0} = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}$$

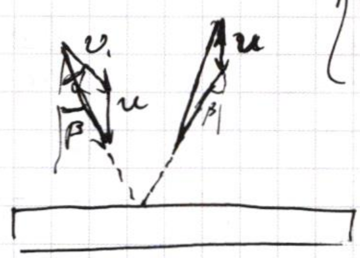
$$\begin{cases} v_1^2\left(\frac{\sin^2\alpha}{\sin^2\alpha_1} - 1\right) = u^2 + 2v_1 u\cos\alpha \\ v_1^2 \frac{\sin^2\alpha}{\sin^2\beta}\left(\frac{\sin^2\beta}{\sin^2\beta_1} - 1\right) = u^2 + 2v_2 u\cos\beta \end{cases}$$

$\frac{2\sigma}{7}$



~~$E_{k1}$~~. $E_k$ – ?

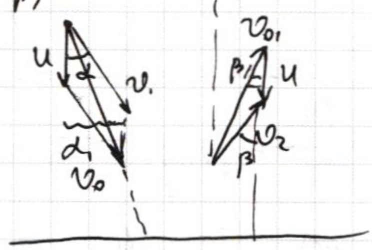
$$\left(\frac{\cancel{\sin^2\alpha - 1}}{\sin^2\alpha_1}\right)$$



$$\frac{\left(\frac{\sin^2\alpha - \sin^2\alpha_1}{\sin^2\alpha_1}\right) v_1^2}{\frac{\sin^2\alpha}{\sin^2\beta}\left(\frac{\sin^2\beta - \sin^2\beta_1}{\sin^2\beta_1}\right) v_1^2}$$

$$\frac{\sin\alpha\sin\alpha_1}{\sin\alpha\cos\alpha_1 - \cos\alpha\sin\alpha_1} \qquad \frac{\sin\beta\sin\beta_1}{\sin\beta\cos\beta_1 - \cos\beta\sin\beta_1}$$

$$\frac{1}{\mathrm{ctg}\,\alpha_1 - \mathrm{ctg}\,\alpha} = \frac{1}{\mathrm{ctg}\,\beta_1 - \mathrm{ctg}\,\beta}$$



Th. sin:

$$\mathrm{ctg}\,\alpha_1 - \mathrm{ctg}\,\alpha = \mathrm{ctg}\,\beta_1 - \mathrm{ctg}\,\beta$$

$$\cancel{\frac{v_1}{\sin\alpha_1} = \frac{v_0}{}}$$

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

$$v_0\sin\alpha_1 = v_{01}\sin\beta_1$$

$$\frac{v_1}{\sin\alpha_1} = \frac{u}{\sin(\alpha - \alpha_1)}$$

$$v_0^2 = v_1^2 + u^2 + 2v_1 u\cos\alpha \qquad u = \frac{v_1(\sin\alpha\cos\alpha_1 - \cos\alpha\sin\alpha_1)}{\sin\alpha_1}$$

$$v_{01}^2 = v_2^2 + u^2 + 2v_2 u\cos\beta$$

$$u = v_1(\sin\alpha\,\mathrm{ctg}\,\alpha_1 - \cos\alpha)$$

$$\frac{v_2}{\sin\beta_1} = \frac{u}{\sin(\beta - \beta_1)}$$

$$v_0\sin\alpha_1 = v_1\sin\alpha \qquad v_0 = \frac{v_1\sin\alpha}{\sin\alpha_1}$$

$$v_{01}\sin\beta_1 = v_2\sin\beta \qquad v_{01} = \frac{v_2\sin\beta}{\sin\beta_1}$$

$$u = v_1\cos\alpha(\cancel{\mathrm{ctg}}\,\mathrm{tg}\,\alpha\,\mathrm{ctg}\,\alpha_1 - 1)$$

$$\begin{cases} \frac{v_1\sin\alpha}{\sin\alpha_1} = \frac{u\sin\alpha}{\sin(\alpha-\alpha_1)} \\ \frac{v_2\sin\beta}{\sin\beta_1} = \frac{u\sin\beta}{\sin(\beta-\beta_1)} \end{cases}$$

$$\begin{cases} \frac{v_1^2\sin^2\alpha}{\sin^2\alpha_1} = v_1^2 + u^2 + 2v_1 u\cos\alpha \\ \frac{v_2^2\sin^2\beta}{\sin^2\beta_1} = v_2^2 + u^2 + 2v_2 u\cos\beta \end{cases}$$

$$\vec{v}_{абс} = \vec{v}_{отн} + \vec{v}_{пер}$$

$$\frac{\cancel{u}\sin\alpha\sin\alpha_1}{\sin(\alpha-\alpha_1)} = \frac{u\sin\beta\sin\beta_1}{\sin(\beta-\beta_1)}$$

$$\begin{cases} v_1^2\left(\frac{\sin^2\alpha}{\sin^2\alpha_1} - 1\right) = u^2 + 2v_1 u\cos\alpha \\ v_2^2\left(\frac{\sin^2\beta}{\sin^2\beta_1} - 1\right) = u^2 + 2v_2 u\cos\beta \end{cases}$$

☑ черновик ☐ чистовик (Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__ (Нумеровать только чистовики)

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

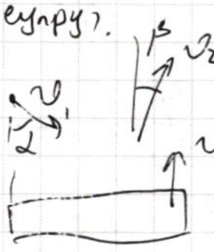
«МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

ШИФР

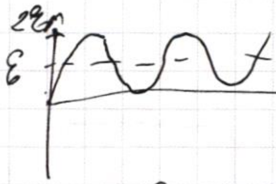
(заполняется секретарём)

# ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Неупруг.




В СО плиты.




$2C\mathcal{E}^2 < 2C\mathcal{E}^2$

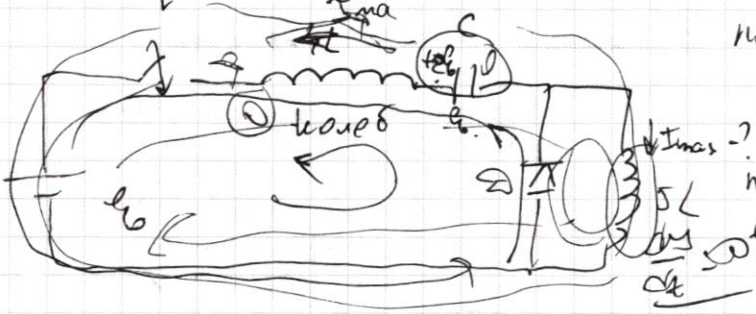
$v_1 \sin\alpha = v_2 \sin\beta$

$v_2 = \frac{v_1 \sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{v_1 \cdot \frac{2}{3}}{\frac{3}{5}}$

$v_1 \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{5}{3} = \frac{10}{9} v_1 = \frac{10}{9} \cdot 18 = 20$ м/с

$\frac{CU^2}{2} = \Delta q \mathcal{E}$

$\Delta q = CU$ $\quad \frac{CU^2}{2} = CU\mathcal{E}$ $\quad U = 2\mathcal{E}$




пол колебания через $L_1$

пол колебания через Д.

$\frac{dI}{dt}$ $\quad \mathcal{E} = U_c + 9LC\ddot{U}_c$

$\omega = \frac{1}{\sqrt{9LC}} = \frac{1}{3\sqrt{LC}}$

$T_1 = 2\pi\sqrt{5LC} \Rightarrow t_1 = \pi\sqrt{9LC}$

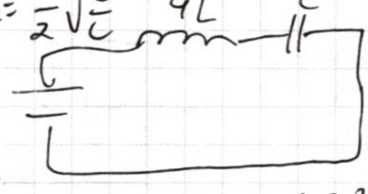
$\mathcal{E} - 9L\frac{dI}{dt} = U_c$

$T_2 = 2\pi\sqrt{4LC} \Rightarrow t_2 = \pi\sqrt{4LC}$ $\quad \Rightarrow T = \pi(\sqrt{9LC} + \sqrt{4LC})$

$I = C\frac{dU}{dt}$

$\frac{C\mathcal{E}^2}{2} = 2LI_{02}^2 = \pi(3\sqrt{LC} + 2\sqrt{LC}) = 5\pi\sqrt{LC}$

Когда $I = I_{max}$ ~~$U = 0$~~ $\frac{C\mathcal{E}^2}{4L}$ $\quad \Delta q = C\mathcal{E}$ $\quad I_{02} = \frac{\mathcal{E}}{2}\sqrt{\frac{C}{L}}$




$U_c = \mathcal{E}$ ; $W_c = \frac{C\mathcal{E}^2}{2}$ ; $W_к = \frac{9LI_0^2}{2}$

$A_{ист} = -C\mathcal{E}^2$

$\Delta q = C\mathcal{E} \Rightarrow A_{ист} = C\mathcal{E}^2$

$W_{c\,нач} = \frac{C(2\mathcal{E})^2}{2} = 2C\mathcal{E}^2$

$C\mathcal{E}^2 = \frac{C\mathcal{E}^2}{2} + \frac{9LI_{01}^2}{2}$ ; $\frac{C\mathcal{E}^2}{2} = \frac{9LI_{01}^2}{2}$

$I_{01}^2 = \frac{C\mathcal{E}^2}{9L} \Rightarrow I_{01} = \frac{\mathcal{E}}{3}\sqrt{\frac{C}{L}}$

$W_{кон} = \frac{C\mathcal{E}^2}{2}$

$\Delta W_c = -\frac{3C\mathcal{E}^2}{2}$

~~$\omega A$~~ $\omega x_1 = \mathcal{E}$ ; $\frac{x}{3\sqrt{LC}} = \mathcal{E}$ $= \frac{3\mathcal{E}}{\sqrt{LC}}$

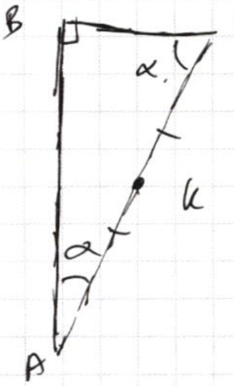
$-C\mathcal{E}^2 = \frac{4LI_{02}^2}{2} - \frac{3C\mathcal{E}^2}{2}$

☑ черновик ☐ чистовик

(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__

(Нумеровать только чистовики)



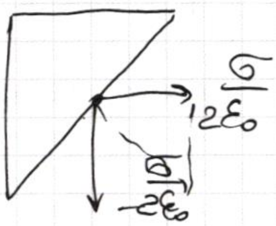

1) $\alpha = \frac{\pi}{4}$ ; BC – $\sigma$?

$\frac{E_{K_2}}{E_{K_1}}$ – ? если AB тоже $\sigma$.

$$\begin{cases} 4p_1 V = \nu R T_1 \\ \frac{9p_2 V}{2} = \nu R T_1^* \end{cases}$$

$$\frac{4p_1}{9p_2} \cdot 2 = \frac{T_1}{T_1^*}$$

$$\frac{8p_1}{9p_2} = \frac{T_1}{T^*}$$




Т. пиф.: $E_{K_2}^2 = \frac{\sigma^2}{4\varepsilon_0^2} + \frac{\sigma^2}{4\varepsilon_0^2} = \frac{\sigma^2}{2\varepsilon_0^2} \Rightarrow E_{K_2} = \frac{\sigma}{\sqrt{2}\varepsilon_0}$

$$T_1^* = T_1 \cdot \frac{9p_2}{8p_1}$$

$E_{K_1} = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}$

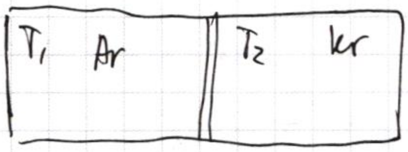
$\frac{\sigma}{\sqrt{2}\varepsilon_0} \cdot \frac{2\varepsilon_0}{\sigma} = \frac{2}{\sqrt{2}} = \sqrt{2}$

В каждый момент времени

$$\frac{9p_K V}{2} = \nu R T \qquad Q_1 = -Q_2$$

$C_1 = C_2$.

$$\frac{9p_K V}{2\nu R} = T$$




$\nu = \frac{3}{5}$ моль

$T_1 = 320K$

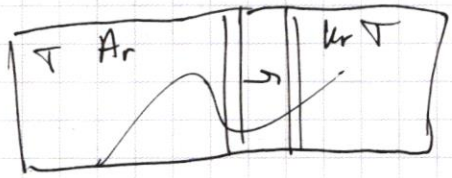
$T_2 = 400K$

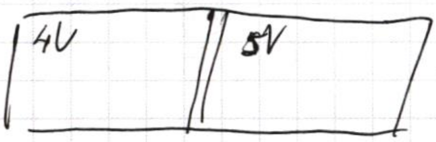
$i = 3$

$R = 8{,}31$

360

В начале $p_1 = p_2$; $\begin{cases} p_1 V_1 = \nu R T_1 \\ p_1 V_2 = \nu R T_2 \end{cases}$ $\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2} = \frac{320}{400} = \frac{4}{5}$




В конце: $p_1 = p_2$




$\nu R$ $pV = \nu R T$

$pV = \nu R T$