Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2022

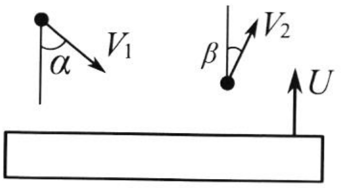
Класс 11

Вариант 11-03

Шифр

(заполняется секретарём)

1. Массивная плита движется с постоянной скоростью U вертикально вверх. К плите подлетает шарик, имеющий перед ударом скорость V_1 = 12 м/с, направленную под углом $\alpha\left(\sin\alpha = \dfrac{1}{2}\right)$ к вертикали (см. рис.). После неупругого удара о гладкую горизонтальную поверхность плиты шарик отскакивает со скоростью V_2, составляющей угол $\beta\left(\sin\beta = \dfrac{1}{3}\right)$ 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.

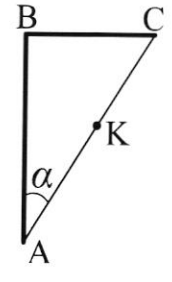
2. Цилиндрический теплоизолированный горизонтально расположенный сосуд разделен на два отсека теплопроводящим поршнем, который может перемещаться горизонтально без трения. В первом отсеке находится водород, во втором – азот, каждый газ в количестве $\nu = 6/7$ моль. Начальная температура водорода T_1 = 350 К, а азота T_2 = 550 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 водорода и азота.

2) Найти установившуюся температуру в сосуде.

3) Какое количество теплоты передал азот водороду?

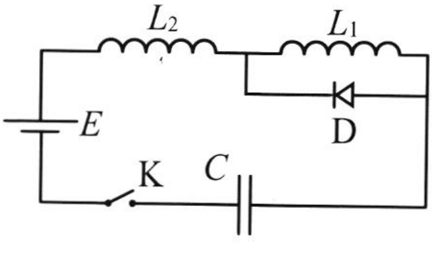
3. Две бесконечные плоские прямоугольные пластины AB и BC перпендикулярны друг к другу и образуют двугранный угол с ребром B. На рисунке показано сечение угла плоскостью, перпендикулярной ребру B.



1) Пластина BC заряжена с постоянной поверхностной плотностью заряда. Угол $\alpha = \pi/4$. Во сколько раз увеличится напряженность электрического поля в точке K на середине отрезка AC, если пластину AB тоже зарядить с такой же поверхностной плотностью заряда?

2) Пластины BC и AB заряжены положительно с поверхностной плотностью заряда $\sigma_1 = 3\sigma, \sigma_2 = \sigma$, соответственно. Угол $\alpha = \pi/5$. Найти напряженность электрического поля в точке K на середине отрезка AC.

4. Электрическая цепь собрана из идеальных элементов: источника с ЭДС E, катушек с индуктивностями $L_1 = 4L$, $L_2 = 3L$, 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_1.

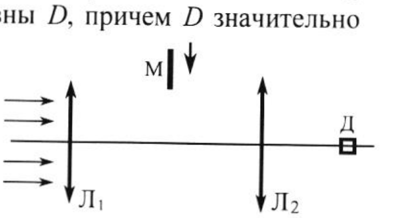


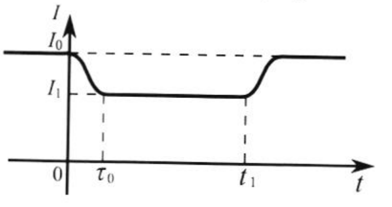
1) Найти период T этих колебаний.

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 Л$_1$ и Л$_2$ (см. рис.) с фокусными расстояниями $3F_0$ 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). $I_1 = 5I_0/9$.





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, τ_0.

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

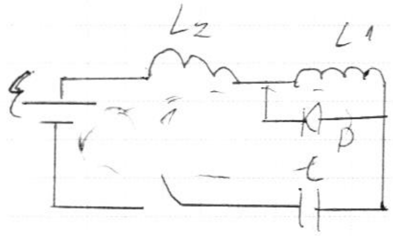
«МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

ШИФР

(заполняется секретарём)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№4



Дано:

$L_1 = 4L$

$L_2 = 3L$

$\mathcal{E}$, Найти: T, $I_{м1}$, $I_{м2}$

1) Запишем закон Кирхгофа для обхода 1, когда ток идёт по ~~не~~ обходу и не идёт через диод.

$\mathcal{E} - \frac{(L_2+L_1)\Delta I}{\Delta t} = \frac{Q}{C}$, ~~тогда что~~ тогда это гармонические колебания

$\omega^2 = \frac{1}{(L_2+L_1)\cdot C}$ Период таких колеб. $T_1 = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi\sqrt{C(L_1+L_2)}$

$\Rightarrow$ время, которое ток идёт по обходу $\frac{T_1}{2} = \pi\sqrt{C(L_1+L_2)} =$

$= \pi\sqrt{7LC}$

Когда ток идёт обратно возникает аналогичная ситуация, только $L_1 = 0$, тогда $T_2 = 2\pi\sqrt{C(L_2)} \Rightarrow \frac{T_2}{2} = \pi\cdot\sqrt{C\cdot 3L}$

$T = \frac{T_2}{2} + \frac{T_1}{2} = \pi\cdot(\sqrt{7CL} + \sqrt{3CL})$

Ток максимален, когда $\frac{dI}{dt} = 0 \Rightarrow$

$\mathcal{E} = \frac{Q_1}{C} \Rightarrow Q_1 = \mathcal{E}\cdot C$ запишем ~~закон со~~ ЗСЭ

$\mathcal{E}\cdot\mathcal{E}\cdot C = \frac{Q_1^2}{2C} + \frac{(L_1+L_2)I_{1m}^2}{2}$

$\mathcal{E}^2\cdot C = \frac{\mathcal{E}^2 C}{2} + \frac{(L_1+L_2)I_{1m}^2}{2}$

$(L_1+L_2)I_{1m}^2 = \mathcal{E}^2\cdot C$

$I_{1m} = \sqrt{\frac{\mathcal{E}^2 C}{L_1+L_2}} = \sqrt{\frac{\mathcal{E}^2 C}{7L}}$, также это и максимальный ток, ~~который~~ идёт по L_2 в сторону обхода 1 (сонаправлено)

☐ черновик ☑ чистовик (Поставьте галочку в нужном поле)

Осталось сравнить этот ток с тем, что идёт против обхода 1

Возникает аналогичная ситуация, только для $L_1 = 0$

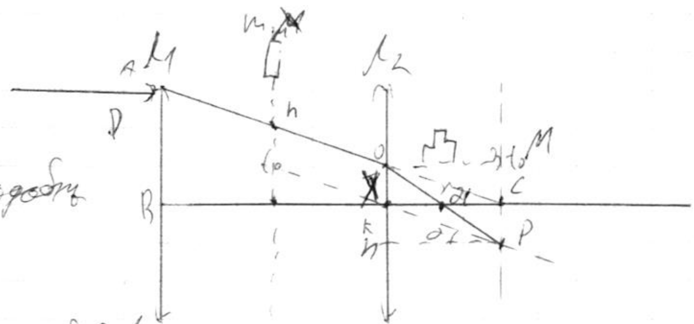
$I_{2m} = \mathcal{E} \cdot \sqrt{\frac{C}{3L_2}} = \mathcal{E} \cdot \sqrt{\frac{C}{3L}}$ $I_{m2} > I_{m1} \Rightarrow$ это максимальный ток для L_2

Ответ: $T = \pi(\sqrt{7CL} + \sqrt{3CL})$ $I_{1m} = \mathcal{E} \cdot \sqrt{\frac{C}{7L}}$ $I_{2m} = \mathcal{E}\sqrt{\frac{C}{3L}}$

№5

Дано: r_0, D, F, τ_0.

Решение:

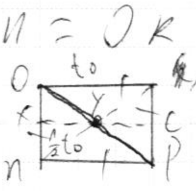


$\triangle ABC$ и OCK подобны по 3 углам с коэффициентом подоб. $\frac{1}{3} \Rightarrow$

$OK = \frac{1}{3} AB \Rightarrow OK = \frac{D}{3}$

$\triangle OCK$ и $\triangle KPN$ равны по двум сторонам и углу между ними $\Rightarrow$

$KN = OK = \frac{D}{3}$ тогда сделаем выносной рисунок



$OM = NP$, $NP = OM$, все углы прямые $\Rightarrow$

$OMPN$ - прямоугольник $\Rightarrow$ центр прямоугольника лежит на середине диагонали и середине средней линии $\Rightarrow XY = \frac{1}{2} XC = \frac{1}{2} r_0$

Так как ~~свет~~ ток не падает до 0, то мешень перекрывает не весь свет, тогда τ_0 - время за которое вся мешень пройдёт расстояние равное $2r$ ~~...~~ двум радиусам мешени. $\tau_0 = \frac{2r}{v}$

Интенсивность ~ $S_{\text{сечения}}$ в плоскости M

Из ~~теоремы Пифагора~~ из того, что прямые имеют

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

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

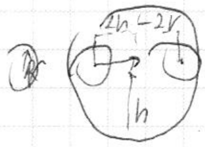
ШИФР

(заполняется секретарём)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

постоянный угол наклона следует, что h – радиус сечения света в плоскости н. $h = \frac{2}{3}D$, тогда

$S_{св} = \pi h^2 = \pi \frac{4}{9} D^2$



– установившийся ток I_1

$S_x = S_{св} - S_м = \pi h^2 - \pi r^2$

$\frac{I_1}{I_0} = \frac{S_x}{S_{св}} = \frac{\pi \cdot \frac{4}{9} D^2 - \pi r^2}{\pi \cdot \frac{4}{9} D^2} = 1 - \frac{\pi r^2}{\frac{4}{9} D^2} = 1 - \frac{9r^2}{4D^2} = \frac{5}{9}$

$\frac{4}{9} = \frac{9r^2}{4D^2}$ $\frac{r^2}{D^2} = \frac{4^2}{9^2}$ $\frac{r}{D} = \frac{4}{9}$ $r = \frac{4}{9} D$

$\tau_0 = \frac{2r}{v}$ $v = \frac{2r}{\tau_0}$ $v = \frac{8}{9} \frac{D}{\tau_0}$

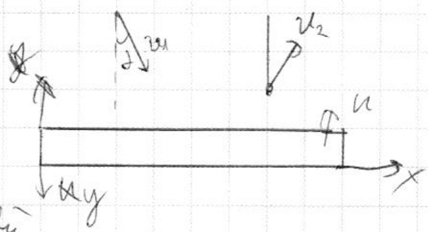
$t_1 = \frac{2h - 2r}{v} = \frac{(\frac{4}{3}D - \frac{8}{9}D) \cdot 9\tau_0}{8D} = \frac{(12 - 8)\tau_0}{8} = \frac{4}{8}\tau_0 = \frac{1}{2}\tau_0$

Ответ: $XY = \frac{1}{2}\tau_0$, $v = \frac{8}{9}\frac{D}{\tau_0}$, $t_1 = 2\tau_0$

1

$\sin\alpha = \frac{1}{2}$, $\sin\beta = \frac{1}{3}$ $v_1 = 12$ м/с

Найти: v_2 и u



1) Перейдём в систему отсч. связанную с плитой, тогда в ней

$v_{1x} = v_1 \cdot \sin\alpha$

$v_y = v_1 \cdot \cos\alpha + u$, после удара v_y меняет направление, а v_x остаётся неизменным, тогда вернёмся в систему отсчёта связанную с землёй $v_{1y_3} = v_1 \cdot \cos\alpha + 2u$, $v_{1x} = v_1 \cdot \sin\alpha$, тогда $v_2^2 = v_{1y_3}^2 + v_{1x}^2 = (v_1 \cdot \cos\alpha + 2u)^2 + (v_1 \cdot \sin\alpha)^2$ при этом $tg\beta = \frac{v_1 \cdot \sin\alpha}{v_1 \cdot \cos\alpha + 2u}$

$v_1 \cdot \cos\alpha + 2u = \frac{v_1 \cdot \sin\alpha}{tg\beta}$ подставим $v_2^2 = \frac{(v_1 \cdot \sin\alpha)^2}{tg\beta^2} + v_1^2 \sin^2\alpha$

☐ черновик ☑ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

$\cancel{x}\ tg\beta^2 = \frac{1}{8} \Rightarrow v_2^2 = \frac{\cancel{12\cdot 12}(12 м/с)^2\cdot\frac{1}{4}}{\frac{1}{8}} + (12 м/с)^2\cdot\frac{1}{4} =$

$= (12 м/с)^2 \cdot \left(2+\frac{1}{4}\right) = (12 м/с)^2 \cdot \left(\frac{9}{4}\right)$

$v_2 = \frac{3}{2}\cdot 12 м/с = 18 м/с$

$\cancel{v_1 \cos\alpha + 2u = v_1\sin\alpha}$

$v_2^2 = (v_1\cdot\cos\alpha + 2u)^2 + (v_1\cdot\sin\alpha)^2$

$v_2^2 = v_1^2\cdot\cos^2\alpha + 2u\cdot v_1\cdot\cos\alpha + 4u^2 + v_1^2\cdot\sin^2\alpha$

$v_2^2 = v_1^2 + 2u\cdot v_1\cdot\cos\alpha + 4u^2$

$4u^2 + 2uv_1\cdot\cos\alpha + v_1^2 - v_2^2 = 0$

$\frac{D}{4} = v_1^2\cdot\cos^2\alpha - 4(v_1^2 - v_2^2) = v_1^2\cdot\frac{3}{4} - 4v_1^2 + 4v_2^2 =$

$= 4v_2^2 - 3\frac{1}{4}v_1^2 = 4v_2^2 - \frac{13}{4}v_1^2 = 4\cdot 18^2 - \frac{13}{4}\cdot 12^2 = 36\cdot 9\cdot 4 - 36\cdot 4\cdot\frac{13}{4} =$

$= 36\cdot 36 - 36\cdot 13 = 36\cdot 23$

$u = \frac{-v_1\cdot\cos\alpha \pm 6\sqrt{23}}{4}$ из условий (направление стрелки)

$u > 0$

$u = \frac{-12\cdot\frac{\sqrt{3}}{2} + 6\sqrt{23}}{4} = \frac{3}{2}\left(\sqrt{23} - \sqrt{3}\right)$

Ответ: $v_2 = 18$ м/с $\quad u = \frac{3}{2}\left(\sqrt{23} - \sqrt{3}\right)$

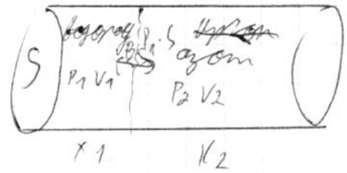
№2

Дано:

$\nu = \frac{6}{7}$ моль

$T_1 = 350 K,\ T_2 = 550 K$

$T_1 \quad T_2$



$x_1 \quad x_2$

Для начального момента из второго закона Ньютона для поршня $P_1\cdot S = P_2\cdot S \Rightarrow P_1 = P_2$

Из ур. состояния ид. газа.

$P_1\cdot V_1 = \nu R T_1$ разделим $\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2} = \frac{350}{550} = \frac{7}{11}$

$P_2\cdot V_2 = \nu R T_2$

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

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

ШИФР

(заполняется секретарём)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Так как процесс протекает медленно и $P = const$ (~~так как при увеличении~~ увеличении объема увел. давление) и теплоизол.

$C_p = C_V + R = \frac{7}{2}R$ T_0 - конечная температура.

$P = const$ так как при увеличении давления увел. объем, что уменьшает давление.

~~Так как~~ Из закона сохранения энергии вся работа которую совершил один газ ~~по~~ переходит второму

$C_p\cdot(\cancel{T_1}T_0 - T_1)\cdot\nu = C_p(T_2 - T_0)\cdot\nu$

$T_0 - T_1 = T_2 - T_0$

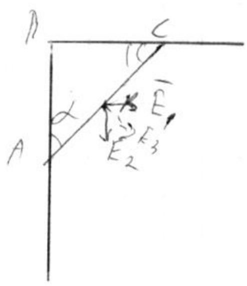
$2T_0 = T_1 + T_2$

$T_0 = \frac{T_1+T_2}{2} = \frac{900K}{2} = 450K$, тогда работа, которую совершил один газ

$A = \cancel{R}C_p\cdot\nu\cdot(\Delta T) = \frac{7}{2}\frac{Дж}{моль\cdot К}\cdot\frac{6}{7}моль(450_K - 350_K) = 300 Дж$

Ответ: $\frac{V_1}{V_2} = \frac{7}{11}$, $T_0 = 450K$, $A = 300 Дж$

№3



1) Дано: $\alpha = \frac{\pi}{4}$

$\vec{E}_1 + \vec{E}_2 = \vec{E}_3$

$E_3 = \sqrt{E_1^2 + E_2^2}$ $\quad E_1 = E_2$

$E_3 = E_1\cdot\sqrt{2} \Rightarrow \frac{E_3}{E_1} = \sqrt{2}$

2) $E_1 = \frac{3\sigma}{\varepsilon_0}$ $\quad E_2 = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}$

$E_x = \sqrt{E_1^2 + E_2^2} = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}\cdot\sqrt{10}$

Ответ: $\frac{E_3}{E_1} = \sqrt{2}$, $E_x = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}\cdot\sqrt{10}$

☐ черновик ☑ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

№2

$P_1 V_1 = \nu R T_2$

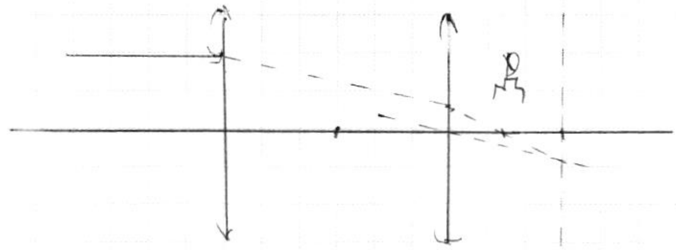
$\cancel{\nu R T_1 = \nu R}$

$P_1 \cdot S = P_2 \cdot S$

$\frac{\nu R T_1}{x_1} = \frac{\nu R T_2}{x_2}$

$\frac{x_1}{x_2} = \frac{T_1}{T_2}$

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



$\frac{2}{3}\sqrt{D^2 + 9F_0^2} \sim \zeta$

$tg\,\alpha = \frac{D}{3F_0}$

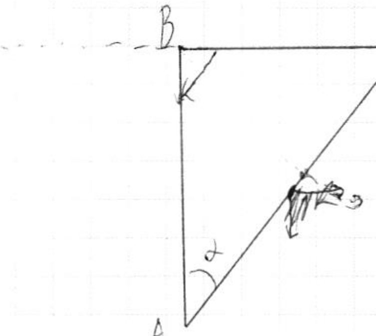
$\frac{D}{3}$ $\frac{F_0}{2}$ $\frac{D}{3}$

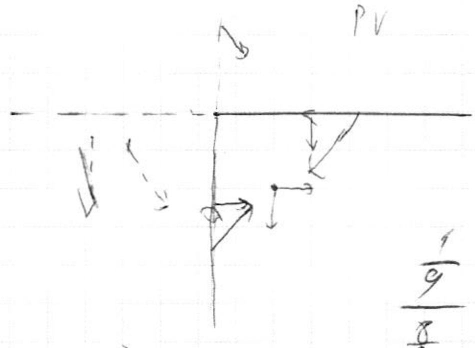
$r = \frac{2R}{\alpha_0}$

$\cancel{P_1 + P_2}\ 2P_2 x = 2\nu R T_x$

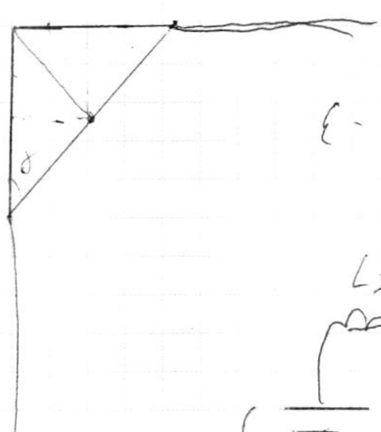
$P_2 V = A$

PV





$\frac{\frac{1}{9}}{\frac{8}{9}} = \frac{1}{8}$



$\mathcal{E} - \frac{L_2\, dI}{dt} - \frac{L_1\, dI}{dt} = \frac{q}{C}$

$\mathcal{E} - \frac{(L_2 + L_1)\, dI}{dt} = \frac{q}{C}$

$T_1 = 2\pi \cdot \sqrt{C(L_1 + L_2)}$

$T_2 = 2\pi\sqrt{CL_1}$

Ток максимален, когда $\frac{dI}{dt} = 0 \Rightarrow Q = \mathcal{E} \cdot C$

З. С. Э. $\mathcal{E} \cdot C \cdot \mathcal{E} = \frac{(L_1+L_2) I^2}{2} + \frac{\mathcal{E}^2 \cdot C^2}{2C}$

$\frac{I^2}{2} = \frac{\mathcal{E}^2 \cdot C}{2L}$ $\quad I^2 = \mathcal{E}^2 \cdot C$ $\quad I = \mathcal{E} \cdot \sqrt{C}$

$Q = \mathcal{E} \cdot C$

$\mathcal{E} \cdot C \cdot \mathcal{E} =$

☑ черновик ☐ чистовик (Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__ (Нумеровать только чистовики)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№1

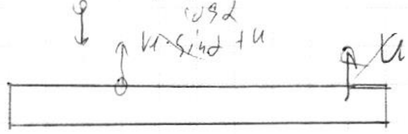
$\frac{6}{2 t_0}$

1) в ходе неупругого

удара пред ударом

$(v_1 \cdot \sin\alpha + u)$ ($\cos\alpha$)

$v_1 \cdot \sin\alpha + 2u$ ($\cos\alpha$)



$(v_1 \cdot \cos\alpha + 2u)^2 + (v_1 \cdot \cos\alpha)^2 = v_2^2$

$P_1 V_1 = \nu R T_1$

$\sin\beta = \frac{v_{2x}}{v_2}$

$A = \nu R (T_1 - T_0)$

$\cos\beta = \frac{v_{2y}}{v_2}$

$\nu R(T_2 - T_0) = \nu R(T_0 - T_3)$

$\operatorname{tg}\beta = \frac{v_{2x}}{v_{2y}} = \frac{v_1 \cdot \sin\alpha}{v_1 \cdot \cos\alpha + 2u}$

$T_1 - T_0 = T_0 - T_3$

$(v_1 \cdot \cos\alpha + 2u) \operatorname{tg}\beta = v_1 \cdot \sin\alpha$

$2T_0 = T_1 + T_3$

$u = \frac{v_1 \cdot \sin\alpha - v_1 \cdot \cos\alpha \cdot \operatorname{tg}\beta}{2 \operatorname{tg}\beta}$

$T_0 = \frac{T_1 + T_3}{2}$

$v_1 \cdot \cos\alpha + 2u = \frac{v_1 \cdot \sin\alpha}{\operatorname{tg}\beta}$

$36 \cdot 4$

$\frac{(v_1 \cdot \sin\alpha)^2}{\operatorname{tg}\beta^2} + (v_1 \cdot \sin\alpha)^2 = v_2^2$

$36 \cdot 9 =$

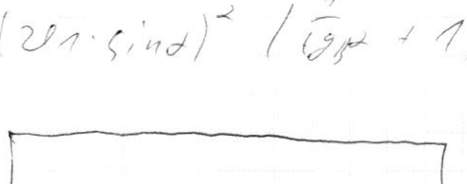
$360 - 36 = 324$

$(v_1 \cdot \sin\alpha)^2 \left(\frac{1}{\operatorname{tg}\beta} + 1\right) = v_2$

$\sin^2\beta + \cos^2\beta = 1$

$\operatorname{tg}^2\beta = \frac{1}{\cos^2\beta} - 1$

$\cos^2\beta =$

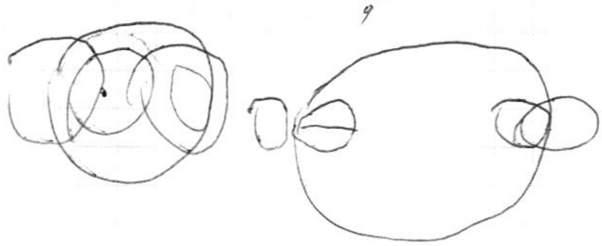


$\frac{\frac{1}{9}}{\frac{8}{9}} = \frac{1}{8}$

$C = \frac{A}{\Delta T}$

$C \cdot \frac{A}{\Delta T_1} = C \cdot \frac{A}{\Delta T_2}$

$C \cdot \Delta T_1 = C \cdot \Delta T_2$



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)