0 891282 340003

89-12-82-34
(138.1)

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В.ЛОМОНОСОВА

Вариант 10 – 02

Место проведения Москва
город

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Олимпиада школьников Покори Воробёвы горы
наменование олимпиады

по физике
профиль олимпиады

Андрусова Ильи Алексеевича
фамилия, имя, отчество участника (в родительном падеже)

Дата

«03» апреля 2026 года

Подпись участника
Андр

Выполнять задания на титульном листе запрещается!

Выполнять задания на титульном листе запрещается!

Черновик.

$\frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{1}{2} + \sqrt{\left(\frac{1}{2}\right)^2 + 4\cdot\frac{1}{2}\left(\frac{3}{2}-1\right)}$ $\qquad 2\cdot\left(\frac{1}{\sqrt{2}}\right)^2 = 2\cdot\frac{1}{2} = 1$

$\frac{1}{\sqrt{2}} + \sqrt{\left(\frac{\sqrt{2}}{2}\right)^2 + 4}$ $\qquad \sin^2\alpha = \frac{1}{2},\ \cos^2\alpha = \frac{1}{2}$

$-2\cdot\frac{1}{2}\cdot\frac{1}{\sqrt{2}} + \sqrt{\left(\frac{1}{\sqrt{2}}\right)^2 + 4\cdot\frac{1}{2}\cdot\left(\frac{3}{2}-1\right)} = \cancel{\frac{1}{\sqrt{2}}} + \sqrt{\frac{1}{2}+1}$

$\frac{\sqrt{2}}{2}\cdot(\sqrt{3}-1) \approx 0{,}71\cdot 0{,}73$

$0{,}73 \times 0{,}71 = 0{,}5183$ $\qquad 40 \approx 4\cdot 5{,}2 \approx 20{,}8$

$\sqrt{\frac{3}{2}}$ ~~был кор~~ $\sqrt{\frac{5}{4}}$ $\qquad$ ~~(1,22−1)~~ $1{,}22 - 0{,}71 = 0{,}51$

$40\cdot 0{,}71\cdot 0{,}73 \approx 40\cdot 0{,}52 \approx 4\cdot 5{,}2 = 20{,}8$

$5{,}00 - 1{,}73 = 3{,}27$ $\qquad 3{,}27 \times 1{,}41 = 4{,}6107$ $\qquad = 4{,}61$ $\qquad 4{,}61 : 8 = 0{,}576$

$588 : 3 = 196 = 14^2$

$\sqrt{588\cdot 300} = \sqrt{14^2\cdot 3\cdot 3\cdot 10^2} = 3\cdot 14\cdot 10 = 420\ K$

$350 = 7\cdot 5\cdot 10$, $\quad 504 = 3^2\cdot 56 = 3^2\cdot 7\cdot 8 \Rightarrow \sqrt{350\cdot 504} = \sqrt{7\cdot 5\cdot 5\cdot 2\cdot 3^2\cdot 7\cdot 8} =$

$= 7\cdot 5\cdot 3\cdot 4 = 210\cdot 20 = 420\ K$ $\qquad 350 = 5^2\cdot 14$, $504 = 6^2\cdot 14$ $\Rightarrow 15\cdot 14\cdot 2 = 30\cdot 14 = 420$

$\frac{6}{7}\cdot 588 = 6\cdot 84 = 480 + 24 = 504$

~~$A = \nu R$~~ $\qquad \frac{A}{\nu R} = 588 - 420 - (420 - 300) = 888 - 840 = 48$

$\frac{Q}{\nu R} = \frac{3}{2}(420-300) + \frac{5}{2}(588-420) = \frac{3}{2}\cdot 120 + \frac{5}{2}\cdot 168 = 180 +$

$+ 5\cdot 84 = 180 + 400 + 20 = 600 \Rightarrow \eta = \frac{48}{600} = \frac{8}{100} = 8\%$

$504 + 350 - 2\cdot 420 = 854 - 840 = 14$

$\frac{3}{2}(420 - 350) + \frac{5}{2}(504 - 420) = \frac{3}{2}\cdot 70 + \frac{5}{2}\cdot 84 = 105 + 210 = 315$

$\frac{14}{315} = \frac{2}{45}$

89-12-82-34 (138.1)

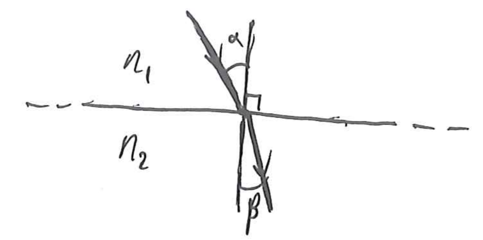
Чистовик. | Стр. 1

Задание 4.

Ответ на вопрос: при ~~падении~~ переходе луча из среды с показателем преломления n_1 в среду с показателем преломления n_2 луч преломляется так, что:

1). преломлённый луч ~~находится~~ лежит в одной плоскости с падающим ~~углом~~ лучом и нормалью к границе раздела сред (проведённой к „точке падения");

2). угол падения α связан с углом преломления β следующим образом: $n_1 \sin\alpha = n_2 \sin\beta$ (показатели преломления абсолютные, т.е. равны отношению скорости света в вакууме к фазовой скорости света в этой среде; углы падения и преломления отсчитываются от нормали, т.е. так:



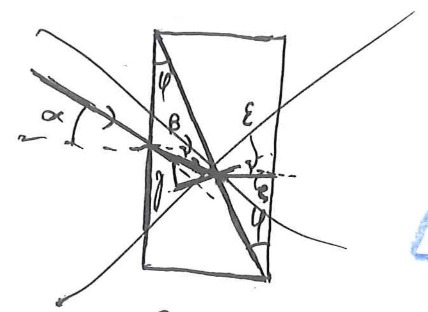
$n_1 \sin\alpha = n_2 \sin\beta$)

Задача.

Дано: $\alpha = 4^\circ;\ \varphi = 3^\circ$

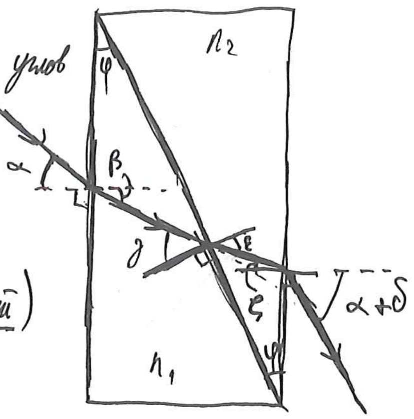
$\Delta n = n_2 - n_1 = 0{,}5$

Найти: $\delta = ?$



Решение:

(соотношение углов на рисунке может быть не совпадать с реальным, рисунок схематический)



Запишем закон Снеллиуса для каждой ~~границы~~ границы раздела сред:

1. $\sin\alpha = n_1 \sin\beta$

$n_1 \sin\gamma = n_2 \sin\varepsilon$

$n_2 \sin\zeta = 1\cdot\sin(\alpha+\delta)$

~~Из геометрических соображений~~ Свяжем между собой эти углы:

$\varphi + \left(\frac{\pi}{2} + \beta\right) + \left(\frac{\pi}{2} - \gamma\right) = \pi \Rightarrow \gamma = \varphi + \beta$

$\varphi + \left(\frac{\pi}{2} + \zeta\right) + \left(\frac{\pi}{2} - \varepsilon\right) = \pi \Rightarrow \varepsilon = \varphi + \zeta,\ \zeta = \varepsilon - \varphi$

Т.к. $\alpha \ll 1$, $\sin\alpha \approx \alpha \Rightarrow$ ~~sin~~ $\sin\beta \approx \frac{\alpha}{n_1} \Rightarrow \beta$ тоже мал, $\beta \approx$

$\approx \frac{\alpha}{n_1} \Rightarrow \gamma = \varphi + \frac{\alpha}{n_1} \Rightarrow \frac{n_2}{n_1}\sin\varepsilon = \varphi + \frac{\alpha}{n_1}$. Т.к. $n_2 = n_1 + \Delta n$, $\frac{n_2}{n_1}$ ~~не~~ $n_1 \geq 1$,

N	В	З
1	5	14
2	5	17
3	8	17
4	5	20

8

Всероссийская ... Нормаль ...

Чистовик

Стр. 2

$\frac{n_2}{n_1}$ ~~не слишком малое число~~ порядка единицы $\Rightarrow$ ε мал. $\frac{n_2}{n_1}\varepsilon = \varphi + \frac{\alpha}{n_1} \Rightarrow \varepsilon = \frac{n_1}{n_2}\varphi + \frac{\alpha}{n_2}$

$\zeta = \varepsilon - \varphi \approx \frac{n_1 - n_2}{n_2}\varphi + \frac{\alpha}{n_2} = -\frac{\Delta n}{n_2}\varphi + \frac{\alpha}{n_2}.$

$n_2 \sin\zeta = \sin(\alpha+\delta) \Rightarrow \sin(\alpha+\delta) \approx n_2\zeta = -\Delta n\varphi + \alpha$ – малое значение.

$\alpha + \delta = -\Delta n\varphi + \alpha \Rightarrow \delta = -\Delta n\cdot\varphi$ (т.е. ~~вы~~ шёл бы "выше" изначального) ~~более низкого~~

Если бы сначала была среда n_2, а потом n_1, то $\delta = +\Delta n\cdot\varphi$, т.е. отклонится на то же значение, но в другую сторону. Но по модулю луч отклоняется на $|\delta| = \Delta n\cdot\varphi = 0{,}5\cdot 3^\circ = 1{,}5^\circ$. Данный результат применим только при малых значениях углов φ и α (но от ~~того~~ самого значения α (при малых углах) результат не зависит).

Ответ: $|\delta| = \Delta n\cdot\varphi = 1{,}5^\circ$ (если сначала n_1, то луч отклонится „наверх", иначе вниз).

Задание 3

Ответ на вопрос:

Из закона сохранения энергии энергия созданного поля равна механической работе внешней силы по перемещению одного шарика с бесконечности до расстояния r. Т.к. ~~$a \gg r$~~ $a \ll r$, можно считать их точечными зарядами. Тогда ~~$A_{тел}$~~ $A_{мех} = q\varphi = q\cdot\frac{kq}{r} \Rightarrow W = A_{мех} = \boxed{\frac{kq^2}{r}}$

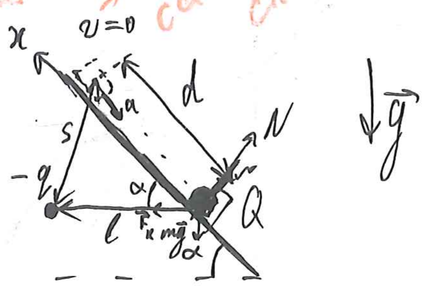
~~Ш~~ Или просто по формуле энергии взаимодействия $W = \sum_i \frac{1}{2}q_i\varphi_i = \frac{1}{2}\left(q\cdot\frac{kq}{r} + q\cdot\frac{kq}{r}\right) = \frac{kq^2}{r}$ (пренебрегаем a в сравнении с r).

~~Задача.~~ Ответ: $W = \frac{kq^2}{r} = \frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0 r}$

— не учтена энергия самодействия

Задача:

Дано: $\alpha = 45^\circ$; $l = 40$ см



Найти: ~~$x_m = ?$~~ ~~x_{max}~~ $d = ?$

$\frac{a}{g} = ?$

Решение:

$(q, Q > 0)$. В случае, если линейные размеры "шайбы" малы в сравнении с l, ~~то~~ сила ~~вз~~ электростатического взаимодействия равна $|\vec{F}_к| = \frac{kqQ}{r^2}$, где r – расстояние между ними. Изначально шайба находится в положении неустойчивого равновесия. Значит, сумма действующих на неё

ЛИСТ-ВКЛАДЫШ

Подписывать лист-вкладыш запрещается! Писать на полях листа-вкладыша запрещается!

Чистовик

Стр. 3

сил в проекции на ось x (вдоль наклонной поверхности) равна нулю:

$0 = F_к \cos\alpha - mg\sin\alpha \Rightarrow$ ~~$F_к$~~ $0 = \frac{kqQ}{l^2}\cos\alpha - mg\sin\alpha \Rightarrow \frac{kqQ}{l^2} = mg\,tg\,\alpha.$

Трения нет, запишем закон сохранения ~~эн~~ энергии для шайбы:

$-\frac{kqQ}{l} = -\frac{kqQ}{s} + mg\cdot d\sin\alpha$ (кинетической энергии в обоих случаях нет, т.к. скорости нулевые). $kqQ = mgl^2 tg\alpha$, $s = \sqrt{l^2+d^2-2ld\cos\alpha}$ по теореме косинусов.

$kqQ\left(\frac{1}{s}-\frac{1}{l}\right) = mg\cdot d\sin\alpha \Rightarrow mgl^2 \cdot tg\alpha\cdot\left(\frac{1}{s}-\frac{1}{l}\right) = mg\cdot d\sin\alpha$

$\frac{l}{\cos\alpha}\left(\frac{l}{s}-1\right) = d \Rightarrow \frac{l}{s} - 1 = \frac{d\cos\alpha}{l} \Rightarrow \frac{l}{s} = \left(1+\frac{d\cos\alpha}{l}\right)$, возведём в квадрат: $\frac{l^2}{l^2+d^2-2ld\cos\alpha} = \left(1+\frac{d^2\cos^2\alpha}{l^2}+\frac{2d\cos\alpha}{l}\right)$

$$l^2 = (l^2+d^2-2ld\cos\alpha)\left(1+\frac{d^2\cos^2\alpha}{l^2}+\frac{2d\cos\alpha}{l}\right)$$

$$\cancel{l^2} = \cancel{l^2} + d^2 \cancel{-2ld\cos\alpha} + d^2\cos^2\alpha + \frac{d^4}{l^2}\cos^2\alpha - 2\cdot\frac{d^3}{l}\cos^3\alpha + \cancel{\frac{2d\cos\alpha}{l}}l^2$$
$$+ \cancel{2dl\cos\alpha} + \frac{2d^3}{l}\cos\alpha - 4d^2\cos^2\alpha$$

$$0 = d^2(1-3\cos^2\alpha) + \frac{d^4}{l^2}\cos^2\alpha + \frac{2d^3}{l}\cos\alpha(1-\cos^2\alpha)$$

$d=0$ не подходит (это та же точка, не интересует). Поделим на d^2:

$$0 = (1-3\cos^2\alpha) + \frac{2\cos\alpha\sin^2\alpha}{l}\cdot d + \frac{\cos^2\alpha}{l^2}\cdot d^2$$

(при $\alpha = 45^\circ$ $1-3\cos^2\alpha < 0$).

$$d = \frac{-\frac{2\cos\alpha\sin^2\alpha}{l} + \sqrt{\left(\frac{2\cos\alpha\sin^2\alpha}{l}\right)^2 + 4\cdot\frac{\cos^2\alpha}{l^2}(3\cos^2\alpha-1)}}{\frac{2\cdot\cos^2\alpha}{l^2}},$$ отрицательный корень не интересует, т.к. тело поехало вверх.

$$d = l\cdot\left(-\frac{\cancel{2}\cos\alpha\sin^2\alpha}{\cancel{2}\cos^2\alpha} + \sqrt{\left(\frac{2\cos\alpha\sin^2\alpha}{2\cos\alpha}\right)^2 + \frac{4\cos^2\alpha}{4\cdot\cos^2\alpha}\cdot\left(3-\frac{1}{\cos^2\alpha}\right)}\right) =$$

$$= \cancel{l\left(-\frac{1-\cos^2\alpha}{\ }\right)} = l\left(-\frac{\sin^2\alpha}{\cos\alpha} + \sqrt{\sin^4\alpha + 2 - tg^2\alpha}\right) =$$

$$= l\left(-\frac{\frac{1}{2}}{\frac{1}{\sqrt{2}}} + \sqrt{\frac{1}{4}+1}\right) = l\cdot\frac{\sqrt{5}-\sqrt{2}}{2} = 20\text{ см}\cdot(2{,}24-1{,}41) = 20\text{ см}\cdot 0{,}83 =$$

~~Стр. 4~~ Чистовик Стр. 4

$\cancel{\approx 18{,}6 \text{ см}}$ $d = l\left(-\frac{2\cos\alpha\sin^2\alpha}{2\cos^2\alpha} + \sqrt{\left(\frac{2\cos\alpha\sin^2\alpha}{2\cos^2\alpha}\right)^2 + \frac{4\cos^2\alpha}{4\cos^2\alpha}\left(3-\frac{1}{\cos^2\alpha}\right)}\right) =$

$= l\left(-\frac{\sin^2\alpha}{\cos\alpha} + \sqrt{\frac{\sin^4\alpha}{\cos^2\alpha} + 2 - tg^2\alpha}\right) = l\cdot\left(-\frac{\frac{1}{2}}{\frac{1}{\sqrt{2}}} + \sqrt{\frac{\frac{1}{4}}{\frac{1}{2}} + 2 - 1}\right) =$

$= \cancel{l\left(-\frac{\sqrt{2}}{2} + \sqrt{\frac{3}{2}}\right.}$ $l\left(-\frac{1}{\sqrt{2}} + \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{2}}\right) = l\cdot\frac{\sqrt{6}-\sqrt{2}}{2} \approx 20{,}8 \text{ см}$

Запишем второй закон Ньютона в проекции на ось x в точке остановки:

$ma_x = -mg\sin\alpha - \frac{kqQ}{s^2}\cdot\frac{d-l\cos\alpha}{s} \Rightarrow -ma = -mg\sin\alpha - \frac{mgl^2 tg\alpha}{(d^2+l^2-2dl\cos\alpha)^{\frac{3}{2}}}(d-l\cos\alpha)$

$a = g\sin\alpha + g\cdot\frac{l^2 tg\alpha}{(d^2+l^2-2dl\cos\alpha)^{\frac{3}{2}}}(d-l\cos\alpha)$

$\frac{a}{g} = \frac{1}{\sqrt{2}} + \frac{l^2\cdot 1}{\left(l^2+l^2\cdot\frac{(\sqrt{6}-\sqrt{2})^2}{4} - 2l^2\frac{(\sqrt{6}-\sqrt{2})}{2}\cdot\frac{1}{\sqrt{2}}\right)^{\frac{3}{2}}}\cdot\left(\frac{\sqrt{6}-\sqrt{2}}{2}l - l\cdot\frac{\sqrt{2}}{2}\right) = \frac{1}{\sqrt{2}} +$

$+ \frac{\frac{\sqrt{6}}{2} - 2\cdot\frac{\sqrt{2}}{2}}{\left(1+\frac{6+2-2\cdot\sqrt{12}}{4} - 2\cdot\frac{\sqrt{6}-\sqrt{2}}{\cancel{2}}\cdot\frac{1}{\sqrt{2}}\right)^{\frac{3}{2}}} = \frac{1}{\sqrt{2}} + \frac{\frac{\sqrt{6}}{2}-\sqrt{2}}{\left(1+\frac{8-4\sqrt{3}}{4} - (\sqrt{3}-1)\right)^{\frac{3}{2}}} =$

$= \frac{1}{\sqrt{2}} + \frac{\frac{\sqrt{6}}{2}-\sqrt{2}}{(1+2-\sqrt{3}-\sqrt{3}+1)^{\frac{3}{2}}} = \frac{1}{\sqrt{2}} + \frac{\frac{\sqrt{6}}{2}-\sqrt{2}}{(4-2\sqrt{3})^{\frac{3}{2}}} = \frac{1}{\sqrt{2}} + \frac{\frac{\sqrt{6}}{2}-\sqrt{2}}{((\sqrt{3})^2+1-2\sqrt{3})^{\frac{3}{2}}} =$

$= \frac{1}{\sqrt{2}} + \frac{\frac{\sqrt{6}}{2}-\sqrt{2}}{(\sqrt{3}-1)^3} = \frac{\sqrt{2}}{2} + \frac{\sqrt{2}\left(\frac{\sqrt{3}}{2}-1\right)}{(4-2\sqrt{3})(\sqrt{3}-1)} = \frac{\sqrt{2}}{2} + \frac{\sqrt{2}\left(\frac{\sqrt{3}}{2}-1\right)}{4\left(1-\frac{\sqrt{3}}{2}\right)(\sqrt{3}-1)} =$

$= \frac{\sqrt{2}}{2} - \frac{\sqrt{2}}{4(\sqrt{3}+1)} = \frac{\sqrt{2}}{2} - \frac{\sqrt{2}(\sqrt{3}-1)}{4\cdot(3-1)} = \frac{\sqrt{2}}{2} - \frac{\sqrt{6}-\sqrt{2}}{8} = \frac{4\sqrt{2}-\sqrt{6}+\sqrt{2}}{8} =$

$= \frac{\sqrt{2}(5-\sqrt{3})}{8} \approx 0{,}58 \Rightarrow a \approx 0{,}58g$

Ответ: $d = l\cdot\frac{\sqrt{6}-\sqrt{2}}{2} \approx 20{,}8$ см, $a = \cancel{\frac{\sqrt{2}(5-\sqrt{3})}{8}g} = 0{,}58g$.

№2 Задание 2

Ответ на вопрос:

Теплоёмкость зависит от количества вещества, но молярные теплоёмкости такие: $c_V = \frac{i}{2}R$ (постоянный объём), $c_p = \frac{i+2}{2}R$ (постоянное давление), где i – кол-во степеней свободы (3 для одноатомного, 5 для двухатомного и 6 для трёхатомного).

$C = c\cdot\nu \Rightarrow C_V = c_V\nu$, $C_p = c_p\cdot\nu$.

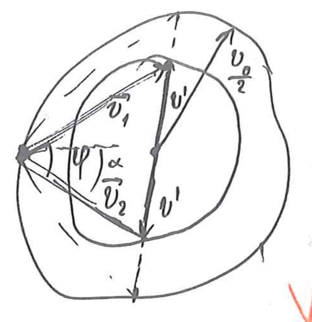
Чистовик

$\left(\frac{b}{2R}\right)^2 \geq 1-\left(\frac{u}{v_0}\right)^2 = 1-\frac{9}{25}=\frac{16}{25} \Rightarrow \frac{b}{2R}\geq\frac{4}{5}\Rightarrow b\geq\frac{8}{5}R = 4$ см

Если $v_\parallel \geq \frac{4}{3}u$:

$\frac{\rho u^2}{3} = \frac{\rho}{4}\left(v_\parallel^2 - (2v')^2\right) \Rightarrow \frac{4}{3}u^2 = v_\parallel^2 - (2v')^2$

Диаграмма такая:



$\varphi < \frac{\pi}{2}$ при любых $\Delta E > 0$, т.к. $v' < \frac{v_{01}}{2} \leq \frac{v_0}{2}$. Значит, $\varphi_{max} = \frac{\pi}{2}$ при $b \geq \frac{8}{5}R = 4$ см

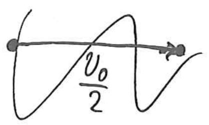
$\varphi(0)=0$, т.к. двигаются вдоль прямой, $v' < \frac{v_0}{2}$, т.е. в одном направлении.

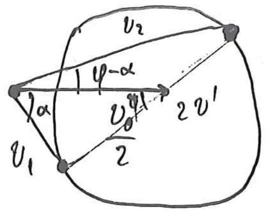
Когда $v_\parallel \geq \frac{4}{3}u$?

$\cancel{v_0\cos\alpha}\; v_0\sqrt{1-\left(\frac{b}{2R}\right)^2} \geq \frac{4}{3}u$

$1-\left(\frac{b^2}{2R}\right)^2 \geq \left(\frac{4}{3}\cdot\frac{u}{v_0}\right)^2 \Rightarrow \frac{b}{2R}\leq\sqrt{1-\left(\frac{4u}{3v_0}\right)^2} = \sqrt{1-\left(\frac{4}{5}\right)^2}=\frac{3}{5} \Rightarrow b\leq \frac{6}{5}R$ (=3 см). Тогда:

$(2v') = \sqrt{v_0^2\left(1-\left(\frac{b}{2R}\right)^2\right) - \frac{4}{3}u^2}$





$\frac{v_1}{\sin\varphi}=\frac{v'}{\sin\alpha}$

$\frac{v_2}{\sin\varphi} = \frac{v'}{\sin(\varphi-\alpha)}$

$\frac{v_0/2}{\sin(\alpha+\varphi)} = \frac{v'}{\sin\alpha}$

$\frac{v_0/2}{\sin(\varphi-\alpha+\varphi)}=\frac{v'}{\sin(\varphi-\alpha)}$

~~$v_2 = \sqrt{\left(\frac{v_0}{2}\right)^2+(v')^2+2\left(\frac{v_0}{2}\right)v'\cos\varphi}$~~

~~$v_1 = \sqrt{\left(\frac{v_0}{2}\right)^2+(v')^2-2\left(\frac{v_0}{2}\right)v'\cos\varphi}$~~

$(\vec{v}_2,\vec{v}_1) = v_2\cdot v_1\cdot\cos\varphi$

$\frac{\sin(\alpha+\varphi)}{\sin(\varphi-\alpha+\varphi)} = \frac{\sin\alpha}{\sin(\varphi-\alpha)}$

89-12-82-34 (138.1)

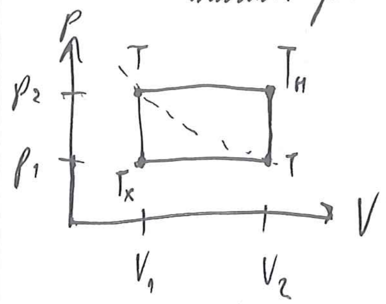
Чистовик

Задача

Дано: $T_x = 300$ K, $T_н = 588$ K, $T_x' = 350$ K, $T_н' = 504$ K, $\rho(V)$

Найти: $\eta_0 = ?$ – без регенератора, $\eta = ?$ – с регенератором

Решение: Сначала рассмотрим систему без регенератора.



Запишем уравнение Менделеева-Клапейрона для четырёх состояний:

$$\begin{cases} p_1V_1 = \nu RT_x \\ p_2V_2 = \nu RT_н \\ p_1V_2 = \nu RT \\ p_2V_1 = \nu RT. \end{cases}$$

Значит, $p_1V_2 = p_2V_1 \Rightarrow \frac{p_2}{p_1} = \frac{V_2}{V_1}$

$p_1V_1\cdot p_2V_2\cdot p_1V_2\cdot p_2V_1 = (\nu R)^4\cdot T_xT_н\cdot T^2$

$(p_1p_2V_1V_2)^2 = (\nu R)^4\cdot T_xT_н\cdot T^2$

$\nu RT_x\cdot\nu RT_н = (\nu R)^2\sqrt{T_xT_н}\cdot T \Rightarrow T = \sqrt{T_xT_н} = 420$ K

$A = (p_2-p_1)(V_2-V_1) = p_2V_2+p_1V_1-p_1V_2-p_2V_1 = \nu R(T_н+T_x-2T) = \nu R\left(\sqrt{T_н}-\sqrt{T_x}\right)^2$

$Q_н = \nu\cdot c_V(T-T_x)+\nu\cdot c_p(T_н-T) = \frac{3}{2}\nu R\left(\sqrt{T_нT_x}-T_x\right)+\frac{5}{2}\nu R\left(T_н-\sqrt{T_нT_x}\right) = \frac{3}{2}\nu R\cdot\sqrt{T_x}\left(\sqrt{T_н}-\sqrt{T_x}\right)+\frac{5}{2}\nu R\sqrt{T_н}\left(\sqrt{T_н}-\sqrt{T_x}\right) = \nu R\left(\sqrt{T_н}-\sqrt{T_x}\right)\left(\frac{3}{2}\sqrt{T_x}+\frac{5}{2}\sqrt{T_н}\right)$

$\eta_0 = \frac{A}{Q_н} = \frac{\nu R\left(\sqrt{T_н}-\sqrt{T_x}\right)^2}{\nu R\left(\sqrt{T_н}-\sqrt{T_x}\right)\left(\frac{3}{2}\sqrt{T_x}+\frac{5}{2}\sqrt{T_н}\right)} = \frac{\sqrt{T_н}-\sqrt{T_x}}{\frac{3}{2}\sqrt{T_x}+\frac{5}{2}\sqrt{T_н}} = \frac{\sqrt{3}\cdot 14-\sqrt{3}\cdot 10}{\frac{3}{2}\cdot\sqrt{3}\cdot 10+\frac{5}{2}\cdot\sqrt{3}\cdot 14} = \frac{4}{15+35} = \frac{4}{50} = 0{,}08 = 8\%$

Теперь добавим регенератор. Для него введём обозначение $\eta_0' = \frac{\sqrt{T_н'}-\sqrt{T_x'}}{\frac{3}{2}\sqrt{T_x'}+\frac{5}{2}\sqrt{T_н'}} = \frac{6\sqrt{14}-5\sqrt{14}}{\frac{3}{2}\cdot 5\sqrt{14}+\frac{5}{2}\cdot 6\sqrt{14}} = \frac{1}{\frac{15}{2}+\frac{30}{2}} = \frac{2}{45}$

Чистовик — Стр. 6

Это КПД цикла регенератора в прямом направлении (не в том, что используется). Известно, что

$$\begin{cases} A' = \eta_0' \cdot Q_н' \\ A + A' = \eta_0 (Q_н + Q_н') \end{cases}$$

При этом сам КПД $\eta = \frac{A}{Q_н}$. Значит, $\eta Q_н + \eta_0' Q_н' = \eta_0 \cdot Q_н + \eta_0 \cdot Q_н'$

При этом $A' + A = \nu R(\sqrt{T_н} - \sqrt{T_х})^2$, $A' = \nu' R(\sqrt{T_н'} - \sqrt{T_х'})^2$

$$\eta = \frac{\eta_0 \cdot Q_н + (\eta_0 - \eta_0') Q_н'}{Q_н} = \eta_0 + (\eta_0 - \eta_0') \cdot \frac{Q_н'}{Q_н}$$

~~$Q_х' \le Q_х \Rightarrow Q_н'(1-\eta_0') \le (Q_н + Q_н')$~~

$Q_х' \le Q_х$. $Q_х = (Q_н + Q_н')(1-\eta_0)$, $Q_х' = Q_н'(1-\eta_0')$

$Q_н'(1-\eta_0') \le Q_н(1-\eta_0) + Q_н'(1-\eta_0) \Rightarrow Q_н'(\eta_0 - \eta_0') \le Q_н(1-\eta_0)$

$\frac{Q_н'}{Q_н} \le \frac{1-\eta_0}{\eta_0 - \eta_0'} \Rightarrow \eta \le \eta_0 + (\eta_0 - \eta_0') \cdot \frac{1-\eta_0}{\eta_0-\eta_0'} = 1$

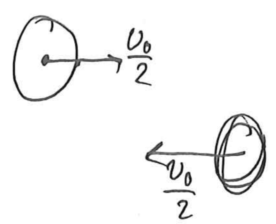
Ответ: $\eta_0 = 8\% = 0{,}08$

Нет второго ответа

Задание 1

Ответ на вопрос:

Перейдём в систему отсчёта центра масс:



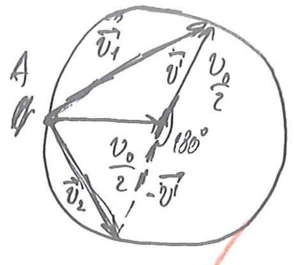
Из закона сохранения импульса после удара их скорости равны, т.к. импульс нулевой (скорости v')

Из закона сохранения энергии следует, что $v' = \frac{v_0}{2}$, ведь $2 \cdot \frac{m(\frac{v_0}{2})^2}{2} = 2 \cdot \frac{m(v')^2}{2} \Rightarrow v_0 = v'$.

~~От~~ Направление пока не определено.

Перейдём обратно в исходную СО:

Чистовик — Стр. 7



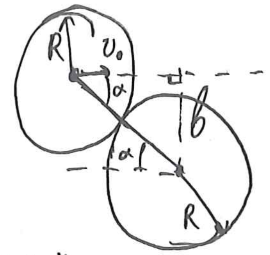
Вектора скоростей исходят из точки A, их концы на каком-то диаметре окружности. Из точки на окружности диаметр виден под прямым углом $\Rightarrow \vec{v}_1 \perp \vec{v}_2$, разлетаются перпендикулярно.

Задача

Дано: $R = 2{,}5$ см; $v_0 = 5$ м/с; $\Delta E = \frac{mu^2}{3} f\left(\frac{v_\parallel}{u}\right)$

Найти: $\varphi(b) = ?$; $\varphi(R), \varphi(\sqrt{2}R), \varphi(0) = ?$; $b - ?$ $\varphi = \varphi_{max}$

Решение: Введём угол α: $\sin\alpha = \frac{b}{2R}$. Значит, $v_\parallel = v_0 \cos\alpha = v_0 \sqrt{1 - \left(\frac{b}{2R}\right)^2}$.



Перейдём в систему отсчёта центра масс. Импульс в ней по прежнему сохраняется $\Rightarrow$ скорости у шайб в ней равны и направлены в противоположные стороны.

Запишем изменение энергии для системы из двух шайб:

$$\Delta E = \left(\frac{(m+m)(\frac{v_0}{2})^2}{2} + \frac{\mu v_{отн}^2}{2}\right) - \left(\frac{(m+m)(\frac{v_0}{2})^2}{2} + \frac{\mu (v_{отн}')^2}{2}\right).$$

Скорость ЦМ неизменна и равна $\frac{v_0}{2}$, μ − приведённая масса, $\mu = \frac{m^2}{2m} = \frac{m}{2}$. Значит, $\Delta E = \frac{1}{2} \cdot \frac{m}{2} \cdot \left((v_0\cos\alpha)^2 - (2v')^2\right)$

При $v_\parallel \le u$ $\Delta E = 0 \Rightarrow v_\parallel = v_0\cos\alpha = 2v' \Rightarrow v' = \frac{v_\parallel}{2}$, соударение упругое, угол разлёта равен 90°.

Это при $v_0\sqrt{1-\left(\frac{b}{2R}\right)^2} \le u \Rightarrow 1 - \left(\frac{b}{2R}\right)^2 \le \left(\frac{u}{v_0}\right)^2$