Олимпиада «Физтех» по физике 2022

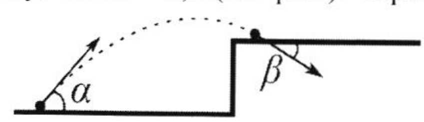
Класс 10

Вариант 10-04

Шифр

(заполняется секретарём)

1. Камень брошен с некоторой скоростью V_0 под углом α к горизонту, $\cos\alpha = 0,6$ (см. рис.). Через $\tau = 0,8$ с камень находится на максимальной высоте. В конце полета камень падает на горизонтальную крышу. В момент падения на крышу вектор скорости образует с горизонтом угол β такой, что $\cos\beta = 0,8$.



1) Найдите начальную скорость V_0 камня.

2) На какой высоте h, отсчитанной от точки старта, завершился полет камня? Ускорение свободного падения $g = 10$ м/с^2. Силу сопротивления воздуха считайте пренебрежимо малой.

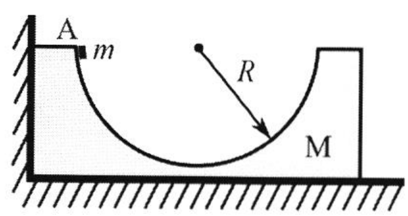
2. Максимальная скорость движения модели автомобиля по окружности радиуса $R = 2$ м, лежащей в горизонтальной плоскости, равна $V_{MAX} = 4$ м/с. Модель приводится в движение двигателем. Ускорение свободного падения $g = 10$ м/с^2. Силу сопротивления считайте пренебрежимо малой.

1) Найдите коэффициент μ трения скольжения шин модели по поверхности.

Модель помещают на наклонную поверхность, составляющую угол α с горизонтом такой, что $\sin\alpha = 0,6$.

2) Найдите наименьшее время T, за которое модель равномерно проедет по окружности радиуса $R = 2$ м на наклонной поверхности. Коэффициент трения скольжения шин модели по поверхности $\mu = 0,8$.

3. На гладкой горизонтальной поверхности вплотную к вертикальной стенке стоит брусок массой $M = 3m$, в бруске сделано гладкое углубление в форме полусферы радиуса R (см. рис.). Из точки A с нулевой начальной скоростью скользит шайба массы m.

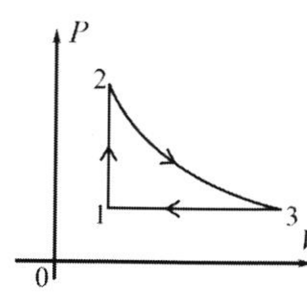


1) На какую максимальную высоту H, отсчитанную от нижней точки полусферы, поднимется шайба при дальнейшем движении системы?

2) Найдите максимальную кинетическую энергию K_{MAX} бруска при дальнейшем движении системы.

3) С какой по величине силой N брусок действует на шайбу в тот момент, когда его кинетическая энергия максимальная? Ускорение свободного падения g.

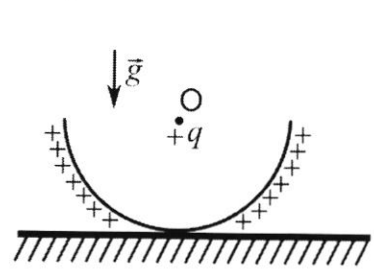
4. С одноатомным идеальным газом проводят циклический процесс, состоящий из изохоры 12, адиабаты 23 и изобары (см. рис.). В изобарическом процессе объем газа уменьшается в $n = 2\cdot\sqrt{2}$ раз.



1) Найдите КПД такого цикла.

Указание: в адиабатическом процессе с одноатомным идеальным газом $PV^{\frac{5}{3}} = const$.

5. На горизонтальной поверхности лежит однородная полусфера (см. рис.) массы m. Точка O находится на расстоянии R от всех точек полусферы. По поверхности полусферы однородно с поверхностной плотностью σ распределен положительный заряд. В точке O находится точечный заряд $q > 0$.



1) Найдите работу A внешней силы при переносе заряда q из точки O в бесконечность. Электрическая постоянная ε_0.

2) Во сколько раз уменьшится сила, с которой полусфера действует на горизонтальную поверхность, после переноса точечного заряда q из точки O в бесконечность? Ускорение свободного падения g.

Явлениями поляризации пренебрегите.

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

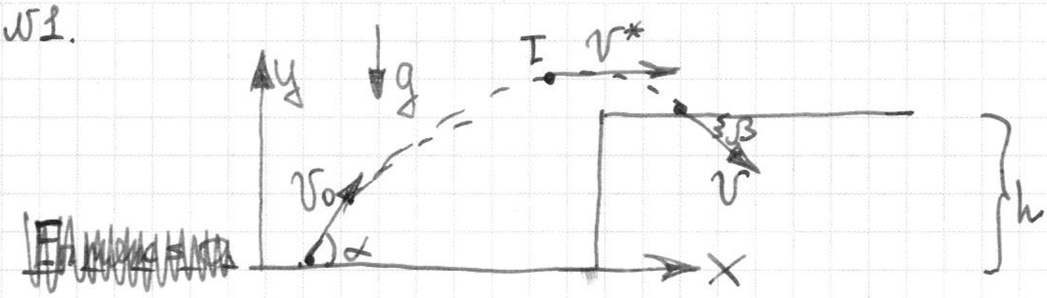
«МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

ШИФР

(заполняется секретарём)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№1.



1) Рассмотрим участок пути от начала до максимальной высоты:

На максимальной высоте скорость камня имеет только горизонт. составляющую.

$$v_y^* = v_{0y} + g_y\tau$$

$$v_0\sin\alpha = g\tau \Rightarrow \boxed{v_0 = \frac{g\tau}{\sin\alpha}}$$

$$v_0 = \frac{10\cdot 8\cdot 10}{10\cdot 8}\frac{м}{с} = 10\frac{м}{с}$$

2) Отметим, что $v_x = const$, т.к. $\vec{g} \perp x$

$$v_0\cos\alpha = v\cos\beta$$

$$v = \frac{v_0\cos\alpha}{\cos\beta} = \frac{v_0\cdot 6\cdot 10}{10\cdot 8} = \frac{3}{4}v_0 \quad (1)$$

3) Рассмотрим полное движение камня:

$$S_y = \frac{v_y^2 - v_{0y}^2}{2g_y}$$

$$S_y = h$$

$$h = \frac{v^2\sin^2\beta - v_0^2\sin^2\alpha}{-2g} = \frac{v_0^2\sin^2\alpha - v^2\sin^2\beta}{2g} \quad (2)$$

☐ черновик ☑ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Подставим (1) в (2):

$$\boxed{h = \frac{v_0^2\left(\sin^2\alpha - \frac{9}{16}\sin^2\beta\right)}{2g}}$$

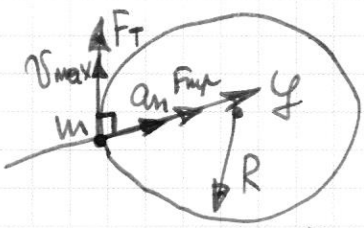
$$h = \frac{\cancel{100}\cdot\left(\frac{16}{25} - \frac{9}{16}\cdot\frac{9}{25}\right)}{2\cancel{0}}\ м = 5\cdot\left(\frac{256}{25\cdot16} - \frac{81}{16\cdot25}\right)\ м =$$

$$= \frac{5\cdot175}{25\cdot16} = \frac{35}{16}\ м$$

Ответ: $v_0 = \frac{gT}{\sin\alpha} = 10\ \frac{м}{с}$

$$h = \frac{v_0^2\left(\sin^2\alpha - \frac{9}{16}\sin^2\beta\right)}{2g} = \frac{35}{16}\ м$$

№2.



Обычная пов-ть:

Т.к. $v = v_{max}$ $a_\tau = 0$, $\vec{a} = \vec{a}_n$

1) II з.Н. для „m":

y:

$F_{тр} = m a_n$

$F_{тр} = \mu N = \mu m g$

$\mu \cancel{m} g = \cancel{m} a_n$

$a_n = \frac{v_{max}^2}{R}$

$\mu g = \frac{v_{max}^2}{R} \Rightarrow \boxed{\mu = \frac{v_{max}^2}{gR}}$

$\mu = \frac{16}{10\cdot2} = 0{,}8$

2) Наклонная пов-ть:

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

II з.Н. для „m":

z:

$N_1 = mg\cos\alpha$

$F_{тр} = \mu N_1 = \mu mg\cos\alpha$

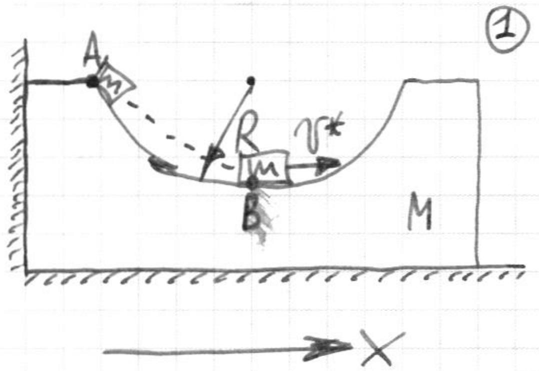
x:

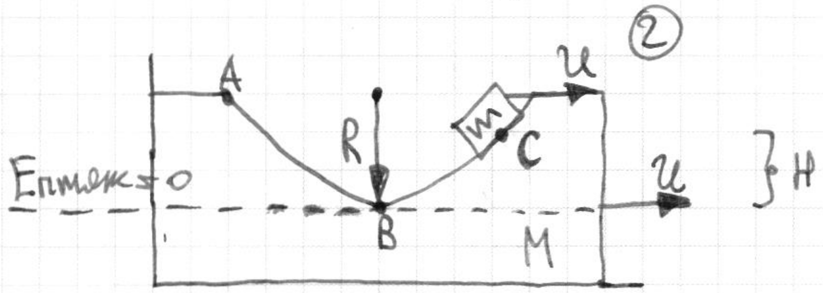
$F_T - F_{тр} + mg\sin\alpha = ma$

$F_T = \mu mg\cos\alpha + ma - mg\sin\alpha$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№3.





1) ЗСЭ для системы „m + M" (шайба движется из точки A в точку C):

$$mgR = \frac{Mu^2}{2} + \frac{mu^2}{2} + mgH$$

$$M = 3m$$

$$\cancel{m}gR = \frac{3\cancel{m}u^2}{2} + \frac{\cancel{m}u^2}{2} + \cancel{m}gH$$

$$gR = 2u^2 + gH \quad (1)$$

2) Отметим, что, пока шайба движется из (·)A в точку B брусок неподвижен, он начнёт двигаться только после того, как шайба проедет (·) B.

ЗСЭ для шайбы из (·) A в (·) B:

$$\cancel{m}gR = \frac{\cancel{m}v^{*2}}{2} \Rightarrow v^{*2} = 2gR \quad (2)$$

3) ЗСИ для сист. „m + M" (шайба движется из (·) B в (·) C): учтём сразу, что M = 3m

X:

$$\cancel{m}V^* = \cancel{m}u + 3\cancel{m}u$$

$$u = \frac{V^*}{4} \quad (3)$$

Из соотношения (2) выразим V^* и подставим в (3):

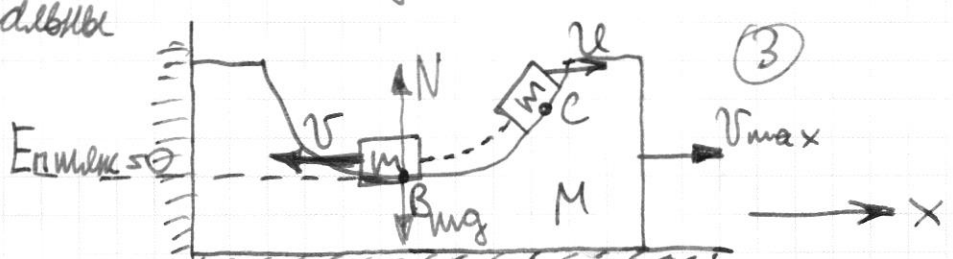
$$u = \frac{\sqrt{2gR}}{4} \quad (4)$$

Подставим (4) в (1):

$$\cancel{g}R = \frac{2\cancel{g}R}{\cancel{8}_{4}} + \cancel{g}H$$

$$\boxed{H = \frac{3}{4}R} \quad (5)$$

4) Заметим, что $K = K_{max}$ при $V = V_{max}$, а $V = V_{max}$ при $a = 0$, $a = 0$ когда шайба будет проходить (·) B снова, т.к. все силы действующие на систему будут вертикальны



ЗСЭ для сист. „m + M" (шайба движется из (·) C в (·) B): учтём сразу, что M = 3m

$$\frac{\cancel{m}u^2}{\cancel{2}_{1}} + 2\cancel{m}gH + \frac{3\cancel{m}u^2}{\cancel{2}_{1}} = \frac{\cancel{m}V^2}{\cancel{2}_{1}} + \frac{3\cancel{m}V_{max}^2}{\cancel{2}_{1}} \quad (6)$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

5) ЗСИ для сист. „$m+M$" (шайба движется из (·) C в (·) B):

учтём сразу, что $M=3m$

X:

$$\cancel{m}U + 3\cancel{m}U = 3\cancel{m}V_{max} - \cancel{m}V$$

$$V^2 = (-3V_{max}+4U)^2 \quad (7)$$

Подставим (5) и (7) в (6):

$$U^2 + \cancel{2}g\frac{3}{\cancel{4}_2}R + 3U^2 = (4U-3V_{max})^2 + 3V_{max}^2$$

$$4U^2 + \frac{3}{2}gR = 16U^2 - 24UV_{max} + 9V_{max}^2 + 3V_{max}^2$$

$$4U^2 + \frac{3}{2}gR = 16U^2 - 24UV_{max} + 12V_{max}^2 \quad (8)$$

Подставим (4) в (8):

$$\frac{3}{2}gR = \cancel{12}_3 \cdot \frac{2gR}{\cancel{16}_{\cancel{4}_2}} - \frac{12\sqrt{2gR}}{2}V_{max} + 12V_{max}^2$$

$$0 = 12V_{max}^2 - \frac{\cancel{12}^{6}\sqrt{2gR}}{\cancel{2}_1}V_{max}$$

$$0 = 12V_{max}^2 - 6\sqrt{2gR}\,V_{max}$$

$$V_{max}(12V_{max} - 6\sqrt{2gR}) = 0$$

$$\cancel{12}^{2}V_{max} - \cancel{6}\sqrt{2gR} = 0$$

$$\boxed{V_{max} = \frac{\sqrt{2gR}}{2}} \quad (9)$$

$$K_{max} = \frac{3mV_{max}^2}{2} \quad (10)$$

Подставим (9) в (10):

$$K_{max} = \frac{3m}{\cancel{2}} \cdot \frac{\cancel{2}gR}{4}$$

$$\boxed{K_{max} = \frac{3}{4}mgR}$$

6) Рассмотрим момент, когда шайба проходит (·) В и $K_{бруска} = K_{max}$:

По III з.Н. с какой силой по модулю действует брусок на шайбу, с такой же и шайба.

Отметим, что $a_{шайбы} = 0$, когда $K_{бруска} = K_{max}$

II з.Н. для „m" в (·) В:

$$\boxed{N = mg}$$

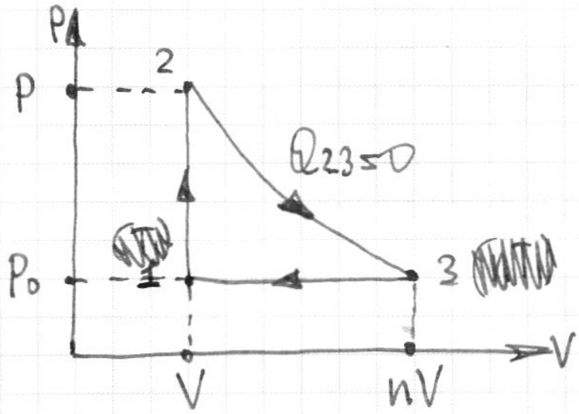
Ответ: $H = \frac{3}{4}R$

$K_{max} = \frac{3}{4}mgR$

$N = mg$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№4.



1) $P_0 \cdot n \cdot V = \nu R T_3$ (1)

$P_0 \cdot V = \nu R T_1$ (2)

2) Рассмотрим процесс 3-1:

$Q_{31} = C_{31}\nu(T_1 - T_3) = C_{31}(\nu T_1 - \nu T_3)$ (3)

$C_{31} = C_P = C_V + R = \frac{5}{2}R$ (4)

Подставим (1), (2), (4) в (3):

$Q_{31} = \frac{5}{2}P_0V - \frac{5}{2}P_0nV = \frac{5}{2}P_0V(1-n)$ (10)

3) Рассмотрим процесс 1-2:

$Q_{12} = C_{12}\nu(T_2 - T_1) = C_{12}(\nu T_2 - T_1\nu)$ (5)

$C_{12} = C_V = \frac{3}{2}R$ (6) $\qquad PV = \nu R T_2$ (7)

Подставим (6) и (7) и (2) в (5):

$Q_{12} = \frac{3}{2}PV - \frac{3}{2}P_0V$ (8)

4) $P \cdot V^{\frac{5}{3}} = const$, Рассмотрим процесс 2-3:

$P \cdot V^{\frac{5}{3}} = P_0 \cdot (nV)^{\frac{5}{3}}$

$P = P_0 \cdot n^{\frac{5}{3}}$ (9)

Подставим (9) в (8):

$Q_{12} = \frac{3}{2}P_0V \cdot n^{\frac{5}{3}} - \frac{3}{2}P_0V = \frac{3}{2}P_0V(n^{\frac{5}{3}} - 1)$ (11)

5) $\eta = 1 - \frac{Q_x}{Q_н}$ (12)

$Q_x = -Q_{31}$, т.к. по з-ну Гей-Люссака при $P = const$, если $V\downarrow$, то $T\downarrow$ => $dT < 0$, $C_{31} > 0$ => тепло отводится

$Q_н = Q_{12}$, т.к. $Q_{23} = 0$ и в Q_{31} отвод

Подставим (10) и (11) в (12):

$$\eta = 1 - \frac{5\cancel{P_0V}(n-1)\cdot\cancel{2}}{\cancel{2}\cdot 3 \cdot \cancel{P_0V}(n^{\frac{5}{3}}-1)}$$

$$\boxed{\eta = 1 - \frac{5(n-1)}{3(n^{\frac{5}{3}}-1)}}$$

$\sqrt{2} \approx 1,4$

$$\eta = 1 - \frac{5\cdot(2,8-1)}{3\cdot(2,8^{\frac{5}{3}}-1)} = 1 - \frac{5\cdot 1,8}{}$$

☐ черновик ☑ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница № 9
(Нумеровать только чистовики)

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

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

ШИФР

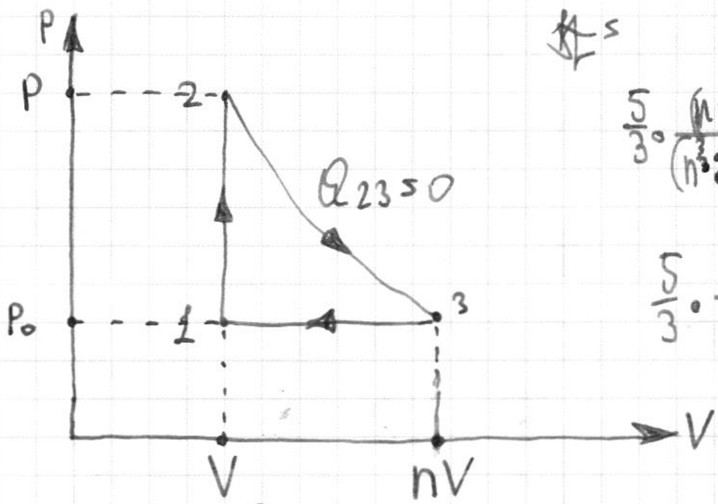
(заполняется секретарём)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№4.

$N = F \cdot V\cos\alpha$

$N = F_T \cdot V$



$\frac{5}{3} \cdot \frac{(n-1)}{(n^{\frac{3}{3}} \cdot n^{\frac{2}{3}} - 1)}$

$\frac{5}{3} \cdot \frac{1}{n^{\frac{2}{3}}}$

$1{,}4 \times 1{,}4 = 196$

$\approx 2{,}8$

$p^3 \cdot V^5 = const$

$\omega = \frac{v}{a_n}$ 1) $\eta = 1 - \frac{Q_x}{Q_H}$

$V^{\frac{5}{3}}$

$\sqrt{2} = (2)^{\frac{1}{2}} = 2^{\frac{5}{2}}$

~~$Q_H = Q_{31}$, т.к. $Q_{23} = 0$~~

~~$Q_x = -Q_{31}$, т.к. по з-ну Гей-Люссака при $V\downarrow$ $T\downarrow$, $\Rightarrow dT < 0$, $C_{31} > 0 \Rightarrow$~~

$Q_H = Q_{12}$, т.к. $Q_{23} = 0$ и в Q_{31} отвод.

$Q_x = -Q_{31}$, т.к. по з-ну Гей-Люссака при $V\downarrow$ $T\downarrow \Rightarrow dT < 0$, $C_{31} > 0 \Rightarrow$ тепло отводится

$\sqrt[3]{\left(\frac{14}{5}\right)^5}$

2) Рассмотрим процесс 3-1:

$Q_{31} = C_{31}\nu(T_1 - T_3) = C_{31}(\nu T_1 - \nu T_3)$ (1)

$p_0 nV = \nu R T_3$ (3)

$2\frac{4}{5} = \frac{14}{5}$

$p_0 V = \nu R T_1$ (4)

$C_{31} = C_p = C_v + R = \frac{3}{2}R + R = \frac{5}{2}R$ (2)

☑ черновик ☐ чистовик

(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__

(Нумеровать только чистовики)

Подставим (1) в (2):

$Q_{31} = \frac{5}{2}\nu RT_1 - \frac{5}{2}\nu RT_3$ (5)

$\frac{Q_{31}}{Q_{12}} = \frac{\frac{5}{2}P_0V(1-n)}{\frac{3}{2}P_0V(n^{\frac{5}{3}}-1)}$

Подставим (3) и (4) в (5):

$Q_{31} = \frac{5}{2}P_0V - \frac{5}{2}P_0nV$

3) Рассмотрим процесс 1-2:

$Q_{12} = C_{12}\nu(T_2 - T_1) = C_{12}(\nu T_2 - \nu T_1)$ (7)

$C_{12} = C_V = \frac{3}{2}R$ (6) $\frac{5}{2}(R\nu T_1 - \nu RT_3)$

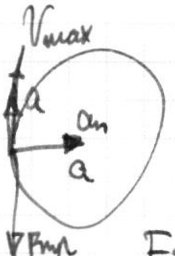
$PV = \nu RT_2$ (8) и (4) $\frac{5}{2}P_0V - \frac{5}{2}P_0nV$

~~Подставим (6) и (8) в (7):~~

$\cancel{Q_{12} = \frac{3}{2}PV - \frac{3}{2}P_0V} = \frac{3}{2}\cdot VP_0\cdot n^{\frac{5}{3}} - \frac{3}{2}P_0V$

Разделим (4) на (8):

$\frac{P_0\cancel{V}}{P\cancel{V}} = \frac{\cancel{\nu R}T_1}{\cancel{\nu R}T_2}$



$F = \frac{N}{V_{max}\cancel{\cos}\alpha}$ $\frac{P_0}{P} = \frac{T_1}{T_2} \Rightarrow P = \frac{P_0T_2}{T_1}$ (9)

$F\cdot V_{max}\cos\alpha = N$ Разделим (8) на (3):

$F_{тр} = \mu N = \mu mg$ $\frac{P\cancel{V}}{P_0 n\cancel{V}} = \frac{\cancel{\nu R}T_2}{\cancel{\nu R}T_3}$ $\frac{\cancel{16}\cdot\cancel{8}}{\cancel{10}\cdot\cancel{2}} = 0{,}8$

$a_n = \frac{V_{max}^2}{R}$

$P = \frac{P_0\cdot n\cdot T_2}{T_3}$ (10)

$F_T - F_{тр} = ma_n$ Приравняем (9) и (10):

$F_T - \mu mg = ma_n$ $\frac{\cancel{P_0}\cdot n\cdot \cancel{T_2}}{T_3} = \frac{\cancel{P_0}\cdot\cancel{T_2}}{T_1} \Rightarrow T_1 = \frac{T_3}{n}$ (11)

$F_T - \mu mg = \frac{V_{max}^2}{R}m$

$F_T = \frac{N}{V\cancel{\cos}}$ Подставим (6) и (11) в (7):

$Q_{12} = \frac{3}{2}\nu R\left(T_2 - \frac{T_3}{n}\right)$

☑ черновик ☐ чистовик Страница №__

(Поставьте галочку в нужном поле) (Нумеровать только чистовики)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$PV^{\frac{5}{3}} = const$

$256 - 81 = 175$

$A_{23} = -\Delta U_{23}$

$\Delta U_{23} = \frac{3}{2}\nu R(T_3 - T_2) = \frac{3}{2}\nu RT_3 - \frac{3}{2}\nu RT_2$

$90° - \beta$ v

$n = \frac{5}{3}$

$PV^{\frac{5}{3}} = const$

$16 \times 16 = 256$

$n = \frac{C_{23} - C_p}{C_{23} - C_V}$

$PV = \nu RT_2$

25×16

$V = \frac{\nu RT_2}{P}$

$\frac{5}{3}C_{23} - \frac{5}{3}C_V = C_{23} - C_p$

$\frac{2}{3}C_{23} = \frac{5}{3}\cdot\frac{3}{2}R - \left(\frac{3}{2}R + R\right) =$

$P\cdot\left(\frac{\nu RT_2}{P}\right)^{\frac{5}{3}} = const$

$= \frac{2}{3}C_{23} = \frac{15}{6}R - \frac{5}{2}R$

$175 : 5 = 35$

$P^3V^5 = const$

$3^3 \cdot 4^5 = 1$

$3 \cdot 4^{\frac{5}{3}} = 1$

$\sqrt[3]{5}$

$P^5V^3 = const$

$\sqrt[3]{4^5}$

$\cancel{P^3}\cdot\frac{\nu^5R^5T_2^5}{\cancel{P^5}P^2} = const$

$\cos\alpha = \frac{3}{5} = \frac{9}{25}$

$P_0V = \nu RT_1$

$\sin\alpha = \sqrt{1 - \frac{9}{25}} = \sqrt{\frac{16}{25}} = \frac{4}{5} = 0{,}8$

$PV = \nu RT_2$

$25 \times 9 = 225$

$400 - 225 = 175$

$\frac{P}{P_0} = \frac{T_2}{T_1}$

$\frac{mv_0^2}{2} = \frac{mv^2}{2} + mgh$

$80 : 5 = 16$

$P = \frac{P_0T_2}{T_1}$

$h = \frac{v_0^2 - v^2}{2g}$

$\frac{3}{2}\frac{P_0T_2V}{T_1} - \frac{3}{2}P_0V$

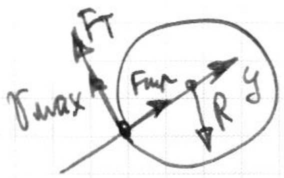
$h = \frac{100 - \frac{9}{16}\cdot 100}{20} = \frac{100 - \frac{225}{4}}{20} = \frac{175}{80} = \frac{35}{16}$

☒ черновик ☐ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)

$\frac{5}{2}\nu RT_1 - \frac{5}{2}\nu RT_1 \cdot n = \frac{5}{2}\nu RT_1(1-n)$

$\eta = 1 + \frac{Q_{31}}{Q_{12}}$.



$F_{тр} = ma_n$

$\mu N = \mu mg$

$\mu mg = ma_n$

$\frac{Q_{31}}{Q_{12}} =$

$\mu g = a_n \Rightarrow \frac{V_{max}^2}{R} = \mu g$

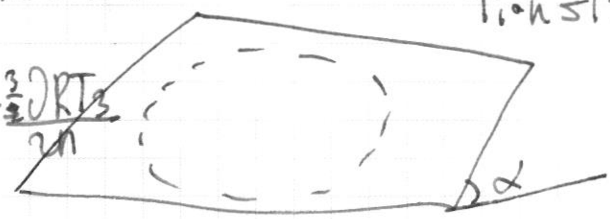
$\mu = \frac{V_{max}^2}{gR}$

$F_T = \vec{F}\cdot\vec{V} = F\cdot V\cos\alpha$ $\quad \frac{P_0 V n}{P_0 V} = \frac{\nu R T_3}{\nu R T_1}$

$Q_{12} = \frac{3}{2}R\cdot\nu T_2 - \nu\frac{3}{2}RT_1 =$

$T_1 \cdot n = T_3$

$= \frac{3}{2}\nu RT_2 - \frac{3}{2}\frac{\nu RT_3}{2n}$



$PV = \nu RT_2$ $\quad PV = \nu RT_2$

$P_0 nV = \nu RT_3$ $\quad P_0 \cdot n \cdot V = \nu R n T_1$

$PV = \nu RT_2$

$\frac{PV}{P_0 nV} = \frac{\nu RT_2}{\nu RT_3}$ $\quad P_0 V = \nu RT_1$

$p^3 V^5 =$

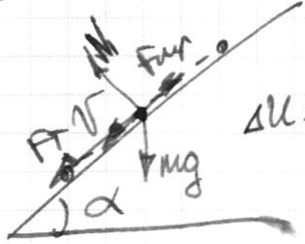
$2\cdot 4U \cdot 3V_{max} = 24 U V_{max}$

$\frac{PV}{P_0 V} = \frac{\nu RT_2}{\nu RT_1}$

$p^{\frac{3}{3}} V^{\frac{5}{3}} = P_0 \cdot (nV)^{\frac{5}{3}} \frac{\mu^2}{c^2}$ $\quad \mu \cdot n$ $\quad \frac{mV^2}{2} = n\cdot\frac{\mu^2}{c^2}$

$\frac{P}{P_0 n} = \frac{T_2}{T_3}$ $\quad \frac{P}{P_0} = \frac{T_2}{T_1}$

$P = P_0 \cdot n^{\frac{5}{3}}$



$\Delta U = Q =$

$\frac{3}{2}\nu RT_2 - \nu RT_1$

$\eta = \frac{A}{Q_н}$

$P = \frac{T_2 P_0 n}{T_3}$ $\quad \frac{P_0 nV = \nu RnT_1}{PV = \nu RT_2}$

$P_0 V = \nu RT_1$ $\quad \frac{P}{P_0} = \frac{T_2}{T_1}$

$V_{max}(nV_{max} - 6\sqrt{2gR})$

$PV = \nu RT_2$

$\frac{PV}{P_0 V} = \frac{\nu RT_2}{\nu RT_1}$

$Q_{12} = \Delta U_{12}$

$\frac{P}{P_0} = \frac{T_2}{T_1}$

$\frac{P_0 T_2}{T_1} = \frac{T_2 P_0 n}{T_3}$ $\quad T_1 = \frac{T_3}{n}$

$P = \frac{P_0 T_2}{T_1} = \frac{P_0 \cdot T_2 \cdot n}{T_3}$

$\frac{1}{T_1} = \frac{n}{T_3}$ $\quad P = P_0$