Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

Вариант 10-01

Во всех задачах, в ответах допустимы обыкновенные дроби и радикалы.

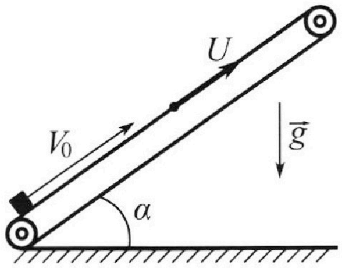
1. Мяч, посланный теннисистом вертикально вверх, поднимается на максимальную высоту за $T = 2$ с.

1) Найдите начальную скорость V_0 мяча.
2) Теннисист посылает мяч с начальной скоростью V_0 под различными углами к горизонту в направлении высокой вертикальной стенки, находящейся на расстоянии $S = 20$ м от места броска. На какой максимальной высоте мяч ударяется о стенку?

Ускорение свободного падения g =10 м/с^2. Мяч движется в плоскости перпендикулярной стенке. Сопротивле ние воздуха считайте пренебрежимо малым. Все высоты отсчитываются от точки старта.

2. Лента транспортера, предназначенного для подъема грузов, образует с горизонтальной плоскостью угол α такой, что $\sin\alpha = 0{,}8$ (см. рис.).

В первом опыте небольшую коробку ставят на *покоящуюся* ленту транспортера и сообщают коробке начальную скорость $V_0 = 4$ м/с. Коэффициент трения скольжения коробки по ленте $\mu = \frac{1}{3}$. Движение коробки прямолинейное.

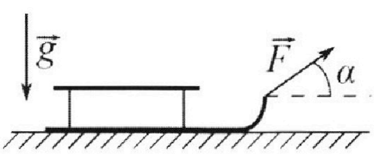


1) За какое время T после старта коробка пройдет *в первом опыте* путь $S = 1$ м?

Во втором опыте коробку ставят на ленту транспортера, *движущуюся* со скоростью $U = 2$ м/с, и сообщают коробке скорость $V_0 = 4$ м/с.

2) На каком расстоянии L от точки старта скорость коробки во втором опыте будет равна $U = 2$ м/с?
3) На какой высоте H, отсчитанной от точки старта, скорость коробки во втором опыте станет равной нулю? Ускорение свободного падения g =10 м/с^2. Все кинематические величины измерены в лабораторной системе отсчета.

3. Санки дважды разгоняют из состояния покоя до одной и той же скорости V_0 за одинаковое время.



В первом случае санки тянут, действуя постоянной по модулю силой, направленной под углом α к горизонту (см. рис.).

Во втором случае такая же по модулю сила, приложенная к санкам, направлена горизонтально. После достижения скорости V_0 действие внешней силы прекращается.

1) Найдите коэффициент μ трения скольжения санок по горизонтальной поверхности.
2) Через какое время T после прекращения действия силы санки остановятся? Ускорение свободного падения g.

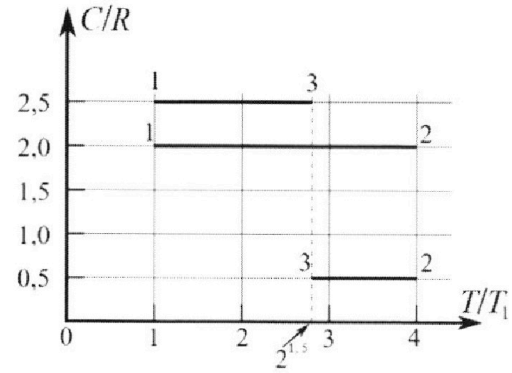
Санки находятся на горизонтальной поверхности. Движение санок прямолинейное.

Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

Вариант 10-01

Во всех задачах, в ответах допустимы обыкновенные дроби и радикалы.

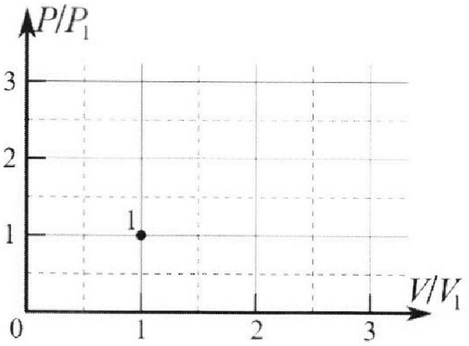
4. Тепловой двигатель работает по циклу 1-2-3-1. Рабочее вещество – один моль одноатомного идеального газа. Для вычисления КПД цикла ученик десятого класса построил график зависимости молярной теплоемкости C газа (в единицах универсальной газовой постоянной R) от температуры в процессах: 1-2, 2-3, 3-1 (см. рис.). Температура газа в состоянии 1 $T_1 = 400$ K, универсальная газовая постоянная $R = 8{,}31$ Дж/(моль·K).



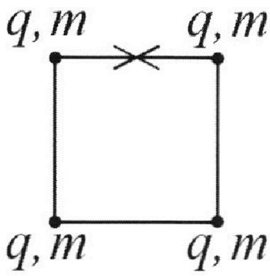
1) Найдите работу A_{12} газа в процессе 1-2.

2) Найдите КПД η цикла.

3) Постройте график цикла в координатах $(P/P_1, V/V_1)$, где P_1 и V_1 давление и объём в состоянии 1. Для построения графика перенесите шаблон (см. ниже) в чистовик своей работы. Точка 1 на графике соответствует состоянию 1 газа в цикле.



5. Четыре заряженных шарика связаны легкими нерастяжимыми нитями так, что шарики находятся в вершинах квадрата со стороной b (см. рис.). Масса каждого шарика m, заряд q.



1) Найдите силу T натяжения нитей.

Одну нить пережигают.

2) Найдите скорость V любого, выбранного Вами шарика, в тот момент, когда шарики будут находиться на одной прямой.

3) На каком расс тоянии d от точки старта будет находиться в этот момент любой из двух шариков, изначально расположенных вверху (на рисунке)?

Коэффициен т пропорциональности в законе Кулона k. Действие сил тяжести считайте пренебрежимо малым.

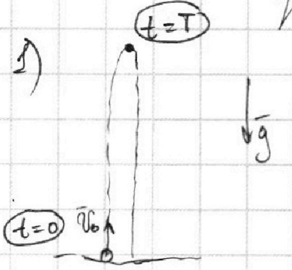
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.
Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1 [X] 2 [ ] 3 [ ] 4 [ ] 5 [ ] 6 [ ] 7 [ ]

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

№1.

1)

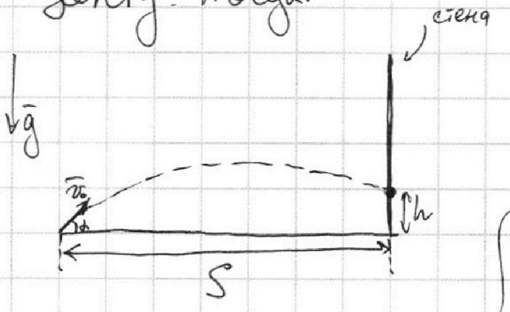


На максимальной высоте скорость мяча:

$$v=0=v_0-gT \Rightarrow v_0=gT$$

$$v_0=10\frac{м}{с^2}\cdot 2с=20\frac{м}{с}$$

2) Пусть теннисист послал мяч под углом α к горизонту. Тогда:



h - высота, на которой мяч ударился о стену, τ - время полёта мяча. $\Rightarrow$

$$\begin{cases} S=v_0\cdot\cos\alpha\cdot\tau \\ h=v_0\cdot\sin\alpha\cdot\tau-\frac{g\tau^2}{2} \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} \tau=\frac{S}{v_0\cdot\cos\alpha} \\ h=v_0\cdot\sin\alpha\cdot\tau-\frac{g\tau^2}{2} \end{cases}$$

Рассмотрим отдельно h:

$$h=v_0\cdot\sin\alpha\cdot\frac{S}{v_0\cdot\cos\alpha}-\frac{g}{2}\cdot\frac{S^2}{v_0^2\cdot\cos^2\alpha}=S\cdot tg\alpha-\frac{gS^2}{2v_0^2}\cdot\frac{1}{\cos^2\alpha}$$

Т.к. $tg^2+1=\frac{1}{\cos^2\alpha}$, то: $h=S\cdot tg\alpha-\frac{gS^2}{2v_0^2}\cdot tg^2\alpha-\frac{gS^2}{2v_0^2}$

В случае $h=h_{max}$: $h'=0$ ~~(...)~~, где h_{max} - максимальная высота, на которой мяч ударяется о стену $\Rightarrow$

Замена: $x=tg\alpha \Rightarrow h=S\cdot x-\frac{gS^2}{2v_0^2}\cdot x^2-\frac{gS^2}{2v_0^2}$

$$h'=S-\frac{gS^2}{v_0^2}\cdot x=0 \Leftrightarrow S=\frac{gS^2}{v_0^2}\cdot x \Leftrightarrow \frac{gS}{v_0^2}x=1 \Leftrightarrow x=\frac{v_0^2}{gS} \Rightarrow$$

$$tg\alpha=\frac{v_0^2}{gS} \Rightarrow tg\alpha=\frac{(gT)^2}{gS}=\frac{gT^2}{S}=\frac{10\frac{м}{с^2}\cdot(2с)^2}{20м}=2 \Rightarrow$$

На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.
Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1 ☒ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

$h = h_{max}$ при $tg\,\alpha = 2 = \frac{gT^2}{S} \Rightarrow$

$h = h_{max} = S \cdot \frac{gT^2}{S} - \frac{1}{2} \cdot \frac{gS^2}{v_0^2} \cdot \left(\frac{gT^2}{S}\right)^2 =$

$= gT^2 - \frac{1}{2}\frac{g^3 T^4}{v_0^2} \Rightarrow h_{max} = 10\frac{м}{с^2} \cdot (2с)^2 - \frac{1}{2} \cdot (10\frac{м}{с^2})^3 \cdot (2с)^4$

$h_{max} = gT^2 - \frac{1}{2} \cdot \frac{g^3 T^4}{(gT)^2} = gT^2 - \frac{1}{2} \cdot gT^2 = \frac{1}{2} gT^2$

$h_{max} = \frac{1}{2} \cdot 10\frac{м}{с^2} \cdot (2с)^2 = 20м.$

$h = h_{max}$ при $tg\,\alpha = 2 \Rightarrow$

$h = h_{max} = S \cdot 2 - \frac{gS^2}{2v_0^2} \cdot 2^2 = 2\left(S - \frac{gS^2}{v_0^2}\right) =$

$= 2\left(S - \frac{gS^2}{g^2T^2}\right) = 2\left(S - \frac{S^2}{gT^2}\right)$

$h_{max} = 2\left(20м - \frac{(20м)^2}{10\frac{м}{с^2} \cdot (2с)^2}\right) = 2 \cdot$

$h = h_{max}$ при $tg\,\alpha = 2$

$h = h_{max} = 2S - \frac{gS^2}{2v_0^2} \cdot 2^2 - \frac{gS^2}{2v_0^2} = 2S - 2{,}5 \cdot \frac{gS^2}{v_0^2} =$

$= 2S - 2{,}5 \cdot \frac{gS^2}{(gT)^2} = 2S - 2{,}5\,\frac{S^2}{gT^2}$

$h_{max} = 2 \cdot 20м - 2{,}5 \cdot \frac{(20м)^2}{10\frac{м}{с^2} \cdot (2с)^2} = (40 - 2{,}5 \cdot 10)м = (40-25)м =$

$= 15м.$

Ответ: 1) $v_0 = 20\frac{м}{с}$

2) $h_{max} = 15м.$

№2.

$v_0 = 4\,\frac{м}{с}$

$\mu = \frac{1}{3}$

$\sin\alpha = 0{,}8$

$S = 1$ м

1)

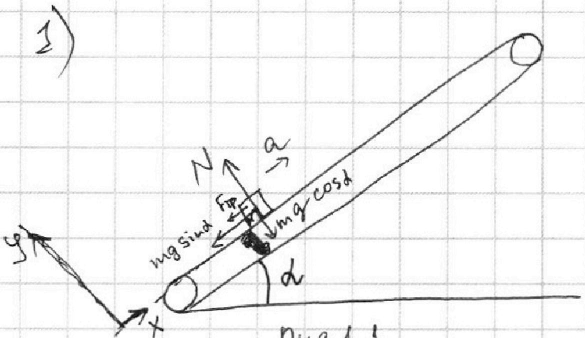
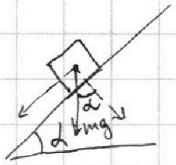


рис 1.1.



m – масса коробки
$F_{тр}$ – сила трения, действующая на коробку
a – ускорение коробки на покоящейся ленте.

II Закон Ньютона для коробки:

$m\vec{a} = \vec{F}_{тр} + m\vec{g} + \vec{N}$

На ось O_x: (см. рис.) $\quad ma = -F_{тр} - mg\sin\alpha$

На ось O_y: $\quad 0 = N - mg\cos\alpha \Rightarrow N = mg\cos\alpha$

$\sin\alpha = 0{,}8$; α – острый угол $\Rightarrow$
$\cos\alpha = \sqrt{1-\sin^2\alpha} = \sqrt{1-\left(\frac{4}{5}\right)^2} = \sqrt{\frac{9}{25}} = \frac{3}{5} = 0{,}6.$

$F_{тр} = \mu N = \mu mg\cos\alpha \Rightarrow$

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

$a = -\mu g\cos\alpha - g\sin\alpha = -g(\mu\cos\alpha + \sin\alpha) = -g$

~~$S = v_0 t + at$~~ Предположим, что коробка проехала путь S, двигаясь только вверх

Для коробки: $S = v_0 T + \frac{aT^2}{2} \Rightarrow aT^2 + 2v_0 T - 2S = 0$

$D = 4v_0^2 + 4\cdot 2S\cdot a \Rightarrow$

$D = 4v_0^2 + 8aS = 4v_0^2 + 8\cdot(-g(\mu\cos\alpha + \sin\alpha))S = 4v_0^2 - 8g\left(\frac{1}{3}\cdot 0{,}6 + 0{,}8\right)S =$

$= 4v_0^2 - 8g\cdot 1S = 4v_0^2 - 8gS = 4\cdot\left(4\,\frac{м}{с}\right)^2 - 8\cdot 10\,\frac{м}{с^2}\cdot 1\,м = (16-80)\,\frac{м^2}{с^2} = -64\,\frac{м^2}{с^2} < 0$

$\Rightarrow$ Коробка проехала S_1 метров „вверх“ за время t_1, остановилась ~~и~~ и проехала S_2 метров „вниз“ по ленте за время t_2

где $S_1 + S_2 = S$, $T = t_1 + t_2$

На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.
Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1 ☐ 2 ☒ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐

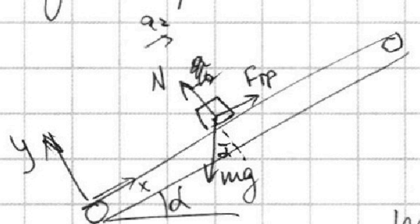
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

$2aS_1 = 0 - v_0^2 \Rightarrow S_1 = \frac{-v_0^2}{2a} = \frac{-v_0^2}{2\cdot(-g(\mu\cos\alpha+\sin\alpha))} = \frac{v_0^2}{2g}$

при этом $\cancel{t_1 = \frac{v_0}{a}}$ $v_0 + at_1 = 0 \Rightarrow t_1 = \frac{-v_0}{a} = \frac{v_0}{g} = \frac{4}{10}c = 0,4c$

$S_2 = S - S_1 = S - \frac{v_0^2}{2g}$

Когда коробка поедет обратно:



a_2 – новое ускорение.

$N = mg\cos\alpha \Rightarrow F_{тр} = \mu mg\cos\alpha$

$ma_2 = F_{тр} - mg\sin\alpha$

$ma_2 = \mu mg\cos\alpha - mg\sin\alpha \Rightarrow a_2 = \mu g\cos\alpha - g\sin\alpha =$
$= g(\mu\cos\alpha - \sin\alpha) = g\cdot\left(\frac{1}{3}\cdot 0,6 - 0,8\right) = -0,6g$

$S_2 = -\left(S - \frac{v_0^2}{2g}\right) = \frac{a_2 t_2^2}{2} \Rightarrow \frac{v_0^2}{2g} - S = \frac{-0,6gt_2^2}{2} = -0,3gt_2^2$

−, т.к путь в др. сторону

$t_2^2 = \frac{S}{0,3g} - \frac{v_0^2}{0,6g^2}$

$t_2 = \sqrt{\frac{S}{0,3g} - \frac{v_0^2}{0,6g^2}}$

$t_2 = \sqrt{\frac{20м}{0,3\cdot 10\frac{м}{с^2}} - \frac{(4\frac{м}{с})^2}{0,6(10\frac{м}{с^2})^2}} =$
$= \sqrt{\frac{20}{3} - \frac{16}{60}}\ c = \sqrt{\frac{20}{3} - \frac{0,8}{3}}\ c =$
$= \sqrt{\frac{19,2}{3}}\ c = \sqrt{6,4}\ c = \frac{8}{\sqrt{10}}c \Rightarrow T = t_1 + t_2 = 0,4c + \frac{8}{\sqrt{10}}c =$
$= 0,4 + \frac{8\sqrt{10}}{10} = (0,4 + 0,8\sqrt{10})c$

Ответ: 1) $(0,4 + 0,8\sqrt{10})$ c.

На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.
Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1 ☐ 2 ☒ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

МФТИ

№2

3) Найдём, на каком расстоянии S от старта скорость коробки во II опыте будет равна ~~..~~ нулю; аналогично п.2:

$$0 = u + v_k$$
$$v_k = -u$$
$$2aS = (-u)^2 - v_0^2$$
$$-2gS = u^2 - v_0^2 \Rightarrow S = \frac{-u^2 + v_0^2}{2g}$$
$$H = S \cdot \sin\alpha \Rightarrow H = \frac{v_0^2 - u^2}{2g} \cdot \sin\alpha$$
$$H = \frac{(4\frac{м}{с})^2 - (2\frac{м}{с})^2}{2 \cdot 10\frac{м}{с^2}} \cdot 0{,}8 = \frac{12 \cdot 0{,}8}{20} м = \frac{6 \cdot 0{,}8}{10} м =$$
$$= 0{,}48 м$$

Ответ: 3) $H = 0{,}48 м$.

На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.
Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1 ☐ 2 ☒ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

МФТИ

Б2

2) ~~$V=2\frac{м}{с}$~~ I сл. скорость коробки стала равна $U=2\frac{м}{с}$ при ~~подъеме~~ движении вверх. => т.к. $V=U+V_к$, где V - скорость коробки в лабораторной системе отсчета, $V_к$ - в системе отсчёта транспортера

$\cancel{V=V_0+V}=U=U+V_к \Rightarrow V_к=0$

Т.к. система транспортёра инерциальная, то: ~~$V_к=0=V_0+a_гt$~~ $V_к=0 \Rightarrow$ $2ah=V_к^2-V_0^2=-V_0^2$

~~$2aL=V_0^2 \;/\; 2ah=V_к^2-V_0^2=-V_0^2 \Rightarrow$~~

Из п. 1: $a=-g \Rightarrow$ $-2gh=-V_0^2$
(См рис 1.1)

$$h=\frac{V_0^2}{2g}=\frac{\left(4\frac{м}{с}\right)^2}{2\cdot10\frac{м}{с^2}}=\frac{16}{20}м=0{,}8м$$

II сл. скорость коробки стала равна $U=2\frac{м}{с}$ при движении вниз ~~$U=V$~~ (просто скорость U направлена в другую сторону) $\Rightarrow -U=U+V_к$

$V_к=-2U \Rightarrow 2ah=-2gh=V_к^2-V_0^2=4U^2-V_0^2$

$$h=\frac{V_0^2-4U^2}{2g}$$

$$h=\frac{\left(4\frac{м}{с}\right)^2-4\cdot\left(2\frac{м}{с}\right)^2}{2g}=0м.$$

Ответ: 2) $h=0$м или $h=0{,}8$м

На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.
Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1 ☐ 2 ☐ 3 ☒ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐

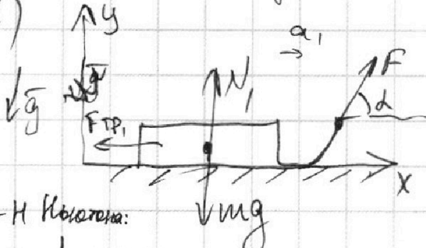
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

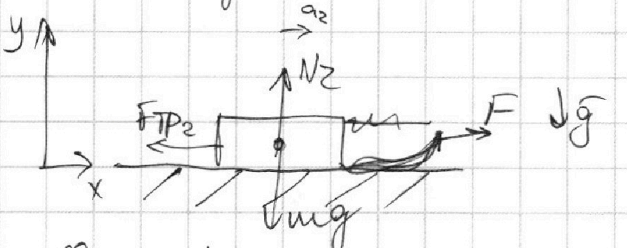
МФТИ

№3 $F_{тр_1} = \mu N_1$, $F_{тр_2} = \mu \cdot N_2$

I случай II случай

1)





II з-н Ньютона:

Oy: $N_1 = mg - F\cdot \sin\alpha$

Ox: $ma_1 = F\cos\alpha - F_{тр_1}$

$ma_1 = -\mu(mg - F\sin\alpha) + F\cos\alpha$

Oy: $N_2 = mg$

Ox: $F - F_{тр_2} = ma_2$

$F - \mu mg = ma_2$

m – масса санок; a_1 и a_2 – ускорения санок в I и II сл. соответственно, F – сила, с которой тянут, N_1, N_2 – силы реакции опоры, $F_{тр_1}$ и $F_{тр_2}$ – силы трения, действующие на санки

Т.к. санки разгонялись до одной скорости за одинаковое время, то $a_1 = a_2 \Rightarrow ma_1 = ma_2 \Rightarrow$

$$-\mu(mg - F\sin\alpha) + F\cos\alpha = F - \mu mg$$

$$\cancel{-\mu mg} + \mu F\sin\alpha + F\cos\alpha = F \cancel{- \mu mg}$$

$$+\mu F\sin\alpha + F\cos\alpha = F$$

$$\cos\alpha - \mu\sin\alpha = 1 \quad \mu\sin\alpha = 1 - \cos\alpha$$

$$\cancel{\mu\sin\alpha = \frac{\cos\alpha - 1}{\sin\alpha}}$$

$$\boxed{\mu = \frac{1-\cos\alpha}{\sin\alpha}}$$

2) После того, как санки отпустили:

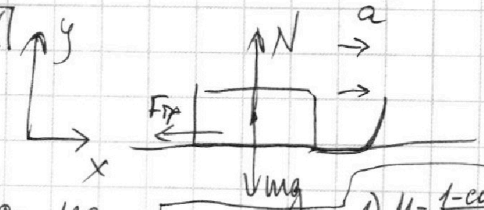
II з-н Ньютона:

Ox: $ma = -F_{тр}$

Oy: $N = mg$

⇓

$ma = -\mu mg \Rightarrow a = -\mu g$



a – ускорение санок.
$F_{тр}$ – сила трения
$F_{тр} = \mu N$

$\cancel{v_0 + gT = 0}$

$v_0 + aT = 0 \Rightarrow T = \frac{-v_0}{a}$

$T = \frac{v_0}{\mu g}$

Ответ: 1) $\mu = \frac{1-\cos\alpha}{\sin\alpha}$
2) $T = \frac{v_0}{\mu g}$

На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.
Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☒ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

МФТИ

№4 $\nu = 1$ моль - кол-во газа

1) Q_{12} – тепло, подведённое ~~газа~~ газу в процессе 1-2,

C_{12} – уд. теплоёмкость газа в процессе 1-2

ΔT_{12} – изменение температуры в процессе 1-2.

$$\Delta T_{12} = T_2 - T_1 = 4T_1 - T_1 = 3T_1.$$

T_2 – температура в точке 2

$C_{12} = 2R$ из графика

$$Q_{12} = C_{12} \cdot \Delta T_{12} \cdot \nu = 2R \cdot 3T_1 \cdot \nu = 6RT_1\nu$$

т.к. C_{12} не меняется в процессе

$$Q_{12} = A_{12} + \frac{3}{2}\nu R \Delta T_{12} \Rightarrow A_{12} = Q_{12} - 1{,}5\nu R \cdot 3T_1 = Q_{12} - 4{,}5\nu R T_1$$

т.к. газ одноатомный

$$\begin{array}{r} \times\, 8{,}31 \\ 600 \\ \hline 4986{,}00 \end{array}$$

$$A_{12} = 6RT_1\nu - 4{,}5\nu R T_1 = 1{,}5\nu R T_1.$$

$$A_{12} = 1{,}5 \cdot 1\,\text{моль} \cdot 8{,}31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot 400\text{К} = 600 \cdot 8{,}31\,\text{Дж} =$$

$= 4986$ Дж Ответ: 1) 4986 Дж

2) $\eta = \frac{A}{Q_+}$, где A – работа газа за цикл, Q_+ – кол-во тепла, подведённого к газу за цикл. $Q_+ > 0$

Аналогично п.1 найдём ~~тепло~~ подведённое тепло Q_{ij} и работу, совершённую газом A_{ij} на участке i-j

ΔT_{ij} – изменение температуры на участке i-j

T_i – температура в точке i.

C_{ij} – уд. теплоёмкость на участке i-j

На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.
Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☒ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

МФТИ

$$\eta = \frac{A}{Q_+} = \frac{4{,}5\nu RT_1}{(3{,}5+5\sqrt{2})\nu RT_1} = \frac{4{,}5}{3{,}5+5\sqrt{2}} = \frac{9}{7+10\sqrt{2}}$$

$\boxed{\text{Ответ: 2) } \eta = \frac{9}{7+10\sqrt{2}}}$

3) P_2, P_3 и V_2, V_3 – давления и объёмы в состояниях 2 и 3, соответственно

Ур-е состояния идеального газа:

$P_1V_1 = \nu RT_1$

$P_2V_2 = \nu RT_2$

$P_3V_3 = \nu RT_3$

$\nu C = \frac{Q}{\Delta T} = \frac{\Delta(PV)}{\Delta T} + \frac{3}{2}\nu R$ – формула для общего случая,

где Q – подведённое тепло, ΔT – изменение температуры газа

$C = \frac{\Delta(PV)}{\nu\Delta T} + \frac{3}{2}R \Rightarrow$ Если C – const, то $\frac{\Delta(PV)}{\Delta T}$ – const

$\nu R\Delta T = \frac{PV - P_0V_0}{\cancel{\nu R}}$, где P_0, V_0 – изначальные давление и объём; P, V – конечные.

В изобарном процессе: $\frac{\Delta(PV)}{\Delta T} = \frac{P\Delta V}{\Delta T} = \frac{PV - PV_0}{\Delta T} = \nu R$ ($P_0 = P$)

$\Rightarrow \underset{\text{теплоёмкость в изобарном процессе}}{C_p} = \nu R + \frac{3}{2}\nu R = \frac{5}{2}\nu R = C_{31} \Rightarrow$ Процесс 3-1 изобарный $\Rightarrow P_3 = P_1 \Rightarrow \frac{V_3}{V_1} = \frac{T_3}{T_1} =$

$= \frac{2^{1,5}T_1}{T_1} = 2^{1,5} = 2\sqrt{2} \Rightarrow V_3 = 2\sqrt{2}\,V_1$

Тогда $A_{23} = P_1 \cdot (2\sqrt{2}-1)V_1 = \nu RT_1(2\sqrt{2}-1) \Rightarrow$ Сходится.

На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.
Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☒ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐

МФТИ

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

Процесс 2-3:

$\Delta T_{23} = T_3 - T_2 = 2^{1,5}T_1 - 4T_1 = (2^{\frac{3}{2}}-4)T_1$

$Q_{23} = C_{23}\nu\cdot\Delta T_{23}$

не меняется

$C_{23} = 0{,}5R$

$2^{\frac{3}{2}} = \sqrt{8} = 2\sqrt{2} < 4$

$\Downarrow$

$\Delta T_{23} < 0$

$\Downarrow$

$Q_{23} < 0$

$Q_{23} = 0{,}5(2^{\frac{3}{2}}-4)T_1\nu R$

$Q_{23} = A_{23} + \frac{3}{2}\nu R\Delta T_{23}$

$A_{23} = Q_{23} - 1{,}5\nu R\Delta T_{23}$

$A_{23} = \frac{1}{2}(2^{\frac{3}{2}}-4)T_1\nu R - 1{,}5\nu R\cdot(2^{\frac{3}{2}}-4)T_1 =$

$= - \nu RT_1(2^{\frac{3}{2}}-4) = (4-2\sqrt{2})\nu RT_1.$

Процесс 3-1:

$\Delta T_{31} = T_3 - T_1 = (2^{1,5}-1)T_1 > 0$

$Q_{31} = C_{31}\cdot\Delta T_{31}\cdot\nu$

$C_{31} = 2{,}5R$ - const

$Q_{31} = 2{,}5\nu R(2^{1,5}-1)T_1 > 0$

$Q_{31} = A_{31} + \frac{3}{2}\nu R\Delta T_{31} \Rightarrow A_{31} = Q_{31} - 1{,}5\nu R\Delta T_{31} =$

$= 2{,}5\nu RT_1(2^{1,5}-1) - 1{,}5\nu R\cdot(2^{1,5}-1)T_1 =$

$= \nu RT_1(2^{1,5}-1)$

Т.к. $Q_{31} > 0$, $Q_{23} < 0$, $Q_{12} > 0$, то: $Q_+ = Q_{31} + Q_{12}$

$A = A_{12} + A_{31} + A_{23} = 1{,}5\nu RT_1 + \nu RT_1(2^{1,5}-1) + (4-2\sqrt{2})\nu RT_1 =$

$= \nu RT_1(1{,}5 + 2\sqrt{2} - 1 + 4 - \cancel{2\sqrt{2}}) = 4{,}5\nu RT_1$

$Q_+ = 6\nu RT_1 + 2{,}5\nu RT_1(2\sqrt{2}-1) = \nu RT_1(6 - 2{,}5 + 5\sqrt{2}) =$

$= (3{,}5 + 5\sqrt{2})\nu RT_1 \Rightarrow$

На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.
Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1 2 3 4 5 6 7

☐ ☐ ☐ ☒ ☐ ☐ ☐

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

МФТИ

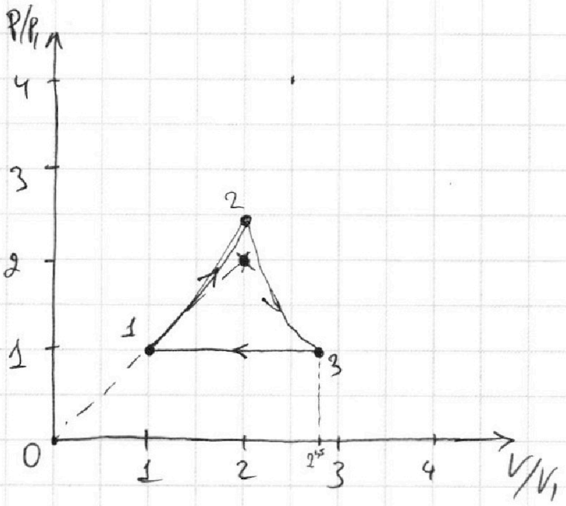
3). продолжение.

$C_V = C_p + R = 3{,}5R$

$\cancel{C = \frac{\Delta(PV)}{\nu\Delta T} = \frac{\Delta(PV)}{\nu} = \frac{1}{\nu}(P}$

$\cancel{C_{12} = \frac{\Delta(PV)_{12}}{\nu\Delta T_{12}}}$

Т.к. C_{12} и C_{23} – const, но $C_{12} \neq C_V$ и $C_{23} \neq C_V$, где C_V – теплоёмкость в изохорном процессе, то в процессе 1-2: PV растёт линейно. Ибо $PV \sim T$, $P \sim \frac{T}{V}$



$\frac{P_2}{P_3} = \frac{V_3}{V_2}\cdot\frac{T_2}{T_3} = \frac{V_3}{V_2}\cdot\sqrt{2}$

$\cancel{P_2 = P_1\frac{V_3}{V_2}\cdot\sqrt{2} = \frac{V_1}{V_2}\cdot 4}$

$\frac{P_2}{P_1} = \frac{V_1}{V_2}\cdot\frac{T_2}{T_1} = \frac{V_1}{V_2}\cdot 4$

$A_{12} = 1{,}5\nu RT_1 = 1{,}5P_1V_1$

~~Предположим, что процесс линейный. Тогда~~

$A_{23} = (4-2\sqrt{2})\nu RT_1 = (4-2\sqrt{2})P_1V_1 = 2(2-\sqrt{2})P_1V_1$

Подбором по площади найдём точку 2.

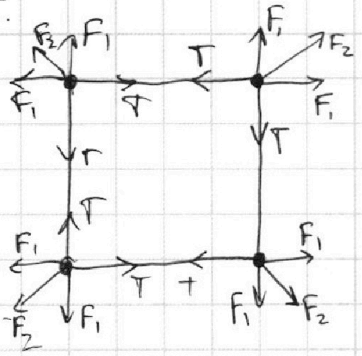
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.
Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☒ 6 ☐ 7 ☐

МФТИ

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

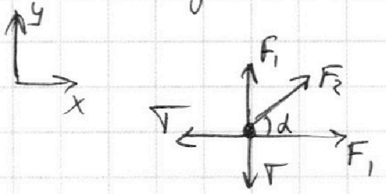
№5.



1) Рассмотрим 1 шарик отдельно:

Т.к. картинка симметрична, то $\alpha = 45^\circ$ и все силы ~~одинаковые~~ натяжения равны

$\alpha = 45^\circ$



II з-н Ньютона:

O_x: $F_1 + F_2 \cdot \cos\alpha = T$

O_y: $F_1 + F_2 \sin\alpha = T$

F_1 – сила, действующая на шарик со стороны соседнего, F_2 – со стороны дальнего

$$F_1 = k \cdot \frac{q \cdot q}{b^2} = \frac{kq^2}{b^2}$$

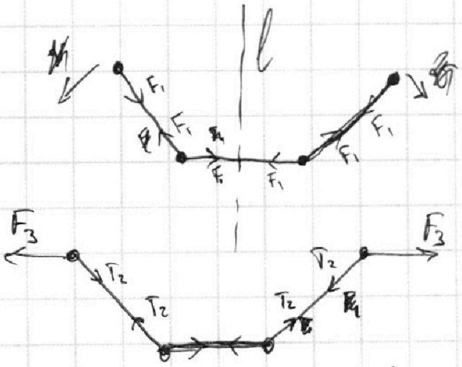
$$F_2 = k \cdot \frac{q \cdot q}{b^2 + b^2} = \frac{kq^2}{2b^2}$$

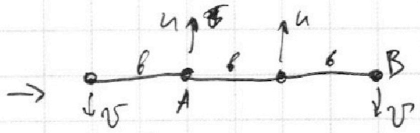
$$T = F_1 + F_2 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2}$$

$$T = \frac{kq^2}{b^2} + \frac{kq^2}{2b^2} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} = \frac{kq^2}{b^2}\left(1 + \frac{\sqrt{2}}{4}\right)$$

Ответ: 1) $T = \frac{kq^2}{b^2}\left(1 + \frac{\sqrt{2}}{4}\right)$

2) Т.к. картинка симметрична, то все шары будут двигаться симметрично относительно оси l:





ЗСИ:

$0 = mu - mv$

$u = v$

для осей вдоль которых движутся пары шаров.

ЗСЭ отн. т.А:

$~~2 \cdot \frac{kq}{b} + \frac{kq}{\sqrt{2}b} = ~~$

$~~0 = 2\frac{mv^2}{2} + \frac{2mu^2}{2} + \left(\frac{kq}{b\sqrt{}}\right) - kq~~$

На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.
Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☒ 6 ☐ 7 ☐

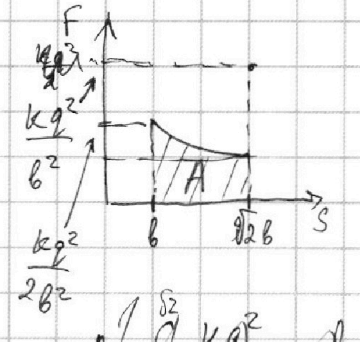
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

МФТИ

ЗСЭ: ~~отн.~~

$$2\cdot\frac{mv^2}{2}+2\cdot\frac{mu^2}{2}=\cancel{2\cdot\frac{kq^2}{b^2}\;2\cdot\frac{kq^2}{\ }}\;2A$$

$A=$



S - расстояние между шаром A и шаром B.
F - сила, действующая на шар B

$$A=\int_1^{\sqrt{2}}\frac{kq^2}{b}=\ln\sqrt{2}\,\frac{kq^2}{b}$$

На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.
Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1 2 3 4 5 6 7

МФТИ

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.
Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

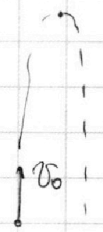
1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

МФТИ

Черновик. №1.

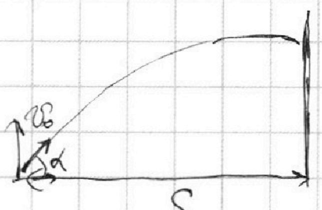
$\frac{1}{\cos^2\alpha} = tg^2\alpha + 1$



$v_0 - gT = 0$

$v_0 = gT$

$20 \frac{м}{с}$



S

$v_0 \cos\alpha \cdot t = S \Rightarrow t = \frac{S}{v_0 \cos\alpha}$

$S \cdot tg\alpha - \frac{gS^2}{2v_0^2} \cdot (tg^2\alpha + 1) = h$

$v_0 t \cdot \sin\alpha - \frac{gt^2}{2} = h$

Замена:

$n = tg\alpha$

$\cancel{v_0} \cdot \frac{S}{\cancel{v_0}\cos\alpha} \cdot \sin\alpha - g \cdot \frac{S^2}{2v_0^2\cos^2\alpha} = h$

$S \cdot n - \frac{gS^2}{2v_0^2} \cdot n^2 = h + \frac{gS^2}{2v_0^2}$

$S \cdot tg\alpha - \frac{gS^2}{2v_0^2} \cdot \frac{1}{\cos^2\alpha} = h$

$n^2 \cdot \frac{gS^2}{2v_0^2} - S \cdot n - h - \frac{gS^2}{2v_0^2} = 0$

$-\frac{gS^2}{2v_0^2} \cdot tg^2\alpha + S \cdot tg\alpha - \frac{gS^2}{2v_0^2} = h$

$D = S^2 - 4 \cdot \frac{gS^2}{}$

$\left(-\frac{gS^2}{2v_0^2} \cdot x^2 + S \cdot x - \frac{gS^2}{2v_0^2}\right)' =$

$= -2 \cdot \frac{gS^2}{2v_0^2} x + S = 0$

$\frac{v_0^2}{gS} = \frac{400}{10 \cdot 20} = 2 = tg\alpha$

$\frac{gS^2}{v_0^2} x = S$

$\frac{16}{20} = \frac{4}{5} = 0{,}8$

$x = \frac{S v_0^2}{gS^2} = \frac{v_0^2}{gS}$

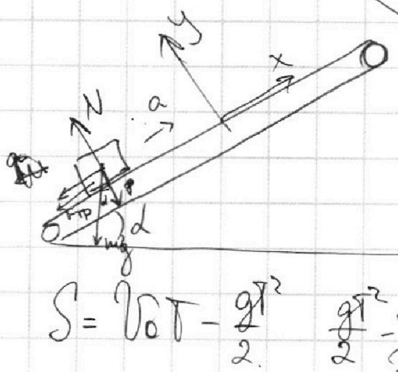
$h = -2\frac{gS^2}{v_0^2} + 2S - \frac{gS^2}{2v_0^2}$

$20 - 0{,}8 = 19{,}2$

$h = 2S - 2{,}5\frac{gS^2}{2v_0^2}$

$40м - 2{,}5 \cdot \frac{10 \cdot 400}{400} = 15м.$

№2.



$N = mg\cos\alpha$

$F_{тр} = \mu N = \mu mg\cos\alpha$

$ma = -F_{тр} - mg\sin\alpha = -\mu mg\cos\alpha - mg\sin\alpha$

$a = -g(\mu\cos\alpha + \sin\alpha) = -g$

$S = v_0 T - \frac{gT^2}{2}$

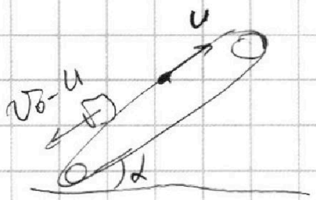
$\frac{gT^2}{2} - v_0 T + S = 0$

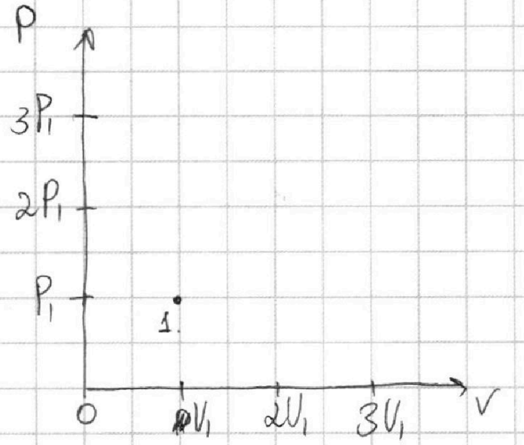
$D = v_0^2 + 2gS = 16 + 20 = 36.$

На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.
Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1 2 3 4 5 6 7

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!





Пр 1–3:

$\frac{\Delta(PV)}{\Delta T} = const$

$\frac{P\Delta V}{\Delta T} = const$

$\frac{\Delta V}{\Delta T} = const$

$C = \frac{\Delta Q}{\Delta T} = \frac{\Delta(PV)}{\Delta T} + \frac{3}{2}\nu R$

$C_p = \frac{P\Delta V}{\Delta T} + \frac{3}{2}\nu R = \frac{5}{2}\nu R$ Пр. 31 – изобара

$3{,}5 \times 3 = 10{,}5$

$PV = \nu RT$

$P(V+\Delta V) = \nu R(T+\Delta T)$

$\Rightarrow P\Delta V = \nu R\Delta T$

$\frac{(м/с)^3 \cdot c^4}{(м/с)^2} = \frac{м^3 \cdot c^{-3}}{м^2 c^{-2}} = м$

~~A_{12}~~

$Q_{12} = A_{12} + \frac{3}{2}\nu R\Delta T_{12}$ $\Delta T_{12} = 3T_1$

$A_{12} = \nu C \cdot \Delta T_{12} - \frac{3}{2}\nu R\Delta T_{12} =$

$= 2\nu R\Delta T_{12} - 1{,}5\nu R\Delta T_{12} = 0{,}5\nu R\Delta T_{12} =$

$= 1{,}5\nu RT_1$

$\frac{P_1V_1}{P_2V_2} = \frac{T_1}{T_2} = \frac{1}{4} \Rightarrow \frac{PV_1}{V_2} = \frac{1}{4}$

$V_2 = 4V_1$

№5.