Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

Вариант 10-02

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

1. Футболист наносит удар по мячу, лежащему на горизонтальной площадке. Вектор начальной скорости мяча образует угол $\alpha = 45^0$ с горизонтальной плоскостью. Горизонтальное перемещение мяча за время полета $L = 20$ м.

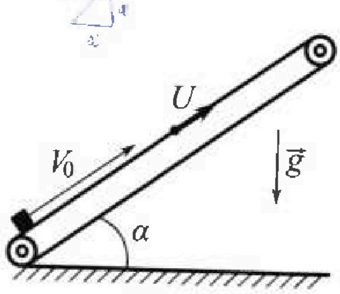
1) Найдите начальную скорость V_0 мяча.

Если футболист направляет мяч под различными углами к горизонту, из той же точки с начальной скоростью V_0 к высокой вертикальной стенке, то наибольшая высота, на которой происходит соударение мяча со стенкой, равна $H = 3{,}6$ м.

2) На каком расстоянии S от точки старта находится стенка?

Уск орение свободного падения g =10 м/с^2. Мяч движется в плоскости перпендикулярной стенке. Сопротивление воздуха считайте пренебрежимо малым.

2. Лента транспортера, предназначенного для подъема грузов, образует с горизонтальной плоскостью угол α такой, что $\sin\alpha = 0{,}6$ (см. рис.). *В первом опыте* небольшую коробку ставят на *покоящуюся* ленту транспортера и сообщают коробке начальную скорость $V_0 = 6$ м/с. Коэффициент трения скольжения коробки по ленте $\mu = 0{,}5$. Движение коробки прямолинейное.



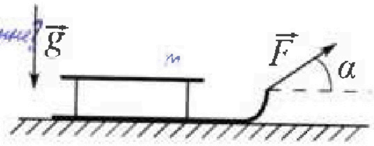
1) Какой путь S пройдет коробка в первом опыте к моменту времени $T = 1$ с?

Во втором опыте коробку ставят на ленту транспортера, *движущуюся* со скоростью $U = 1$ м/с, и сообщают коробке скорость $V_0 = 6$ м/с (см. рис.).

2) Через какое вр емя T_1 после старта скорость коробки *во втором опыте* будет равна $U = 1$ м/с?

3) На каком расстоянии L от точки старта скорость коробки обратится в ноль *во втором опыте*? 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 кинетической энергии K на одинаковых участках пути. -) на одинаковых перемещениях



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 кинетической энергии K действие внешней силы прекращается.

1) Найдите коэффициент μ трения скольжения санок по горизонтальной поверхности.

2) Найдите перемещение S санок в процессе торможения до остановки. Ускорение свободного падения g.

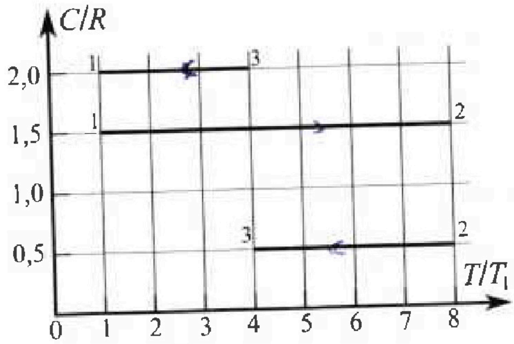
Санки находятся на горизонтальной поверхности. Движение санок прямолинейное.

Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

Вариант 10-02

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) от температуры в процессах: 1-2, 2-3, 3-1(см. рис.). Температура газа в состоянии 1 равна $T_1 = 200$ К,
универсальная газовая постоянная $R = 8{,}31$ Дж/(моль·К).



1) Найдите работу A_{31} внешних сил над газом в процессе 3-1.

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.

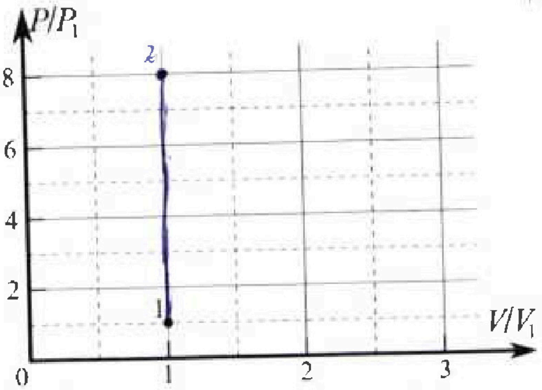
$Q = \frac{3}{2} p_1$

$Q = \frac{3}{2} (p_2 V_2 - p_1 V_1)$

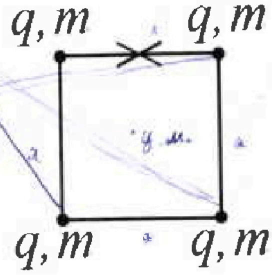
$Q = \frac{3}{2} V_1 (p_2 - p_1) = \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_1)$

$Q = \frac{3}{2} p_1 (V_1 - V_2) + p_1 (V_1 - V_2) = \frac{5}{2}$

$C_p = C_v + R$



5. Четыре заряженных шарика связаны легкими нерастяжимыми нитями так, что шарики находятся в вершинах квадрата со стороной a (см. рис.). Сила натяжения каждой нити T.



1) Найдите абсолютную величину $|q|$ заряда каждого шарика.

Одну нить пережигают.

2) Найдите кинетическую энергию K 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)?

Эле ктрическая постоянная ε_0. Действие сил тяжести считайте пренебрежимо малым.

$2{,}5 = 3{,}5 \cdot h$

$h = \frac{2{,}5}{3{,}5} = \frac{5}{7}$

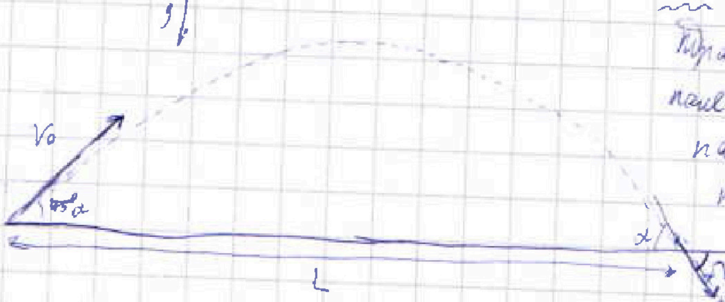
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.
Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

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!

Задача №1

[1 из 10]



$t_п$ - время полного полета

Траектория полёта в поле силы тяжести - парабола. За время полёта верт. сост. скорости мяча $V_0 \sin\alpha$ изменится на противоположный:

$$-V_0 \sin\alpha = V_0 \sin\alpha - g t_п,$$

$$t_п = \frac{2V_0 \sin\alpha}{g}$$

$V_0 \cos\alpha$ - гориз. сост. скор. мяча на протяже. всего полета:

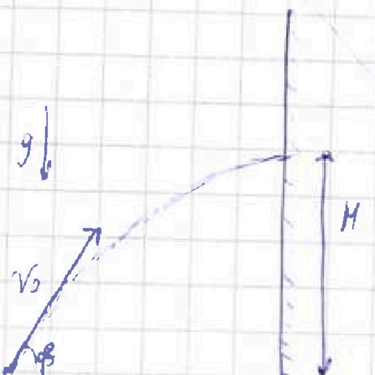
$$L = V_0 \cdot \cos\alpha \cdot t_п;$$

$$L = V_0 \cdot \cos\alpha \cdot \frac{2V_0 \sin\alpha}{g} \Rightarrow L = \frac{2V_0^2 \cos\alpha \cdot \sin\alpha}{g}$$

$$V_0 = \sqrt{\frac{L \cdot g}{2\cos\alpha \sin\alpha}} = \sqrt{\frac{20м \cdot 10\frac{м}{с^2}}{2 \cdot \cos 45^\circ \cdot \sin 45^\circ}} = \sqrt{\frac{200\frac{м^2}{с^2}}{2 \cdot \frac{1}{\sqrt2} \cdot \frac{1}{\sqrt2}}} = \sqrt{200}\frac{м}{с}$$

$\boxed{Отв. V_0 = 10\sqrt{2}\frac{м}{с}}$

~~Отв. $V_0 = 20\frac{м}{с}$~~



Наибольшая возможная высота - на вершине параболы траектории, т.е. в момент, когда мяч ударяется о стену в момент, когда верт. сост. его скорости равна нулю.

$t_{ст}$ - время полета до стены
β - угол который нач. скр. мяча с горизонтом.

$$0 = V_0 \sin\beta - g t_{ст};$$

$$t_{ст} = \frac{V_0 \sin\beta}{g}$$

$$H = V_0 \sin\beta \, t_{ст} - \frac{g t_{ст}^2}{2};$$

$$H = V_0 \sin\beta \frac{V_0 \sin\beta}{g} - \frac{g}{2}\frac{V_0^2 \sin^2\beta}{g^2}$$

$$H = \frac{1}{2}\frac{V_0^2 \sin^2\beta}{g}$$

(продолж. на след. странице)

1 из 10

Задача №1 продолжение

$$H = \frac{1}{2}\frac{V_0^2 \cdot \sin^2\beta}{g}, \Rightarrow \sin\beta = \sqrt{\frac{2H\cdot g}{V_0^2}} = \sqrt{\frac{2\cdot 3{,}6\cdot 10}{(10\sqrt{2})^2}} = \sqrt{\frac{72}{200}}$$

$$t_{ст} = \frac{V_0 \cdot \sin\beta}{g},$$

$V_0 \cdot \cos\beta$ – горизонт. сост. скор. мяча в этом случае.

$$S = V_0 \cdot \cos\beta \cdot t_{ст}$$

$$S = V_0 \cdot \sqrt{1-\sin^2\beta} \cdot \frac{V_0}{g} \sin\beta = \frac{V_0^2}{g}\sqrt{1-\sin^2\beta}\cdot\sin\beta = \frac{(10\sqrt{2})^2}{10}\sqrt{1-\frac{72}{200}}\cdot\sqrt{\frac{72}{200}} =$$

$$= \frac{200}{10}\sqrt{\frac{128}{200}}\sqrt{\frac{72}{200}} = \frac{\sqrt{128\cdot 72}}{10} =$$

$$= \frac{\sqrt{4\cdot 8\cdot 4\cdot 8^2}}{10} = \frac{4\cdot 8}{10}\cdot 2\sqrt{2} = 6{,}4\sqrt{2}\,м.$$

$$\boxed{Отв: S = 6{,}4\sqrt{2}\,м}$$

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

1 [ ] 2 [x] 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

Задача №2

1)

Пусть m - масса коробки

$\cos\alpha = \sqrt{1-\sin^2\alpha} = \sqrt{1-\frac{36}{100}} = \sqrt{\frac{64}{100}} = 0{,}8$

S - искомый путь за время T

При скольжении сила трения равна $F_{тр.} = \mu m g \cos\alpha$

~~Коробка движется вверх~~

Пока коробка движется вверх

(2ой з-н Н на ось сонапр. с транспортёром)

уск. коробки при движ. вверх

$ma_1 = mg\cdot\sin\alpha + \mu m g\cos\alpha$

$a_1 = g(\sin\alpha + \mu\cos\alpha) = g(0{,}6 + 0{,}5\cdot 0{,}8) = g\cdot 1$

$t_\uparrow$ - время подъёма коробки (т.е. до её остановки)

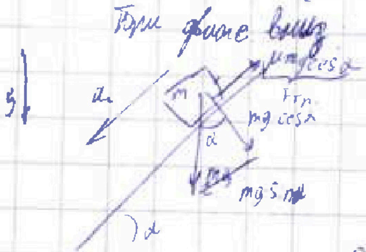
$0 = V_0 - a_1 t_\uparrow$, $t_\uparrow = \frac{V_0}{g} = \frac{6}{10} = 0{,}6\ с$

$T = 1\ с$, т.е. коробка будет спускаться ещё $t_\downarrow = T - t_\uparrow = 0{,}4$ вниз.

$S_п$ - путь при подъёме

$S_п = V_0\cdot t_\uparrow - \frac{a_1 t_\uparrow^2}{2}$

При движ. вниз



(2ой з-н Н на ось с транспортёром)

уск. при движ. вниз

$ma_2 = mg\sin\alpha - \mu m g\cdot\cos\alpha$

$a_2 = g(\sin\alpha - \mu\cos\alpha) = g(0{,}6 - 0{,}5\cdot 0{,}8) = 0{,}2g$

$S_{сп}$ - путь при спуске.

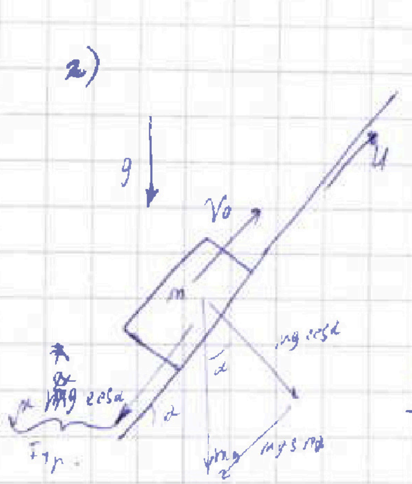
$S_{сп} = \frac{a_2 t_\downarrow^2}{2} = \frac{0{,}2g\cdot t_\downarrow^2}{2}$

$S = S_п + S_{сп} = \left(V_0 t_\uparrow - \frac{g\cdot t_\uparrow^2}{2}\right) + \left(\frac{0{,}2g\cdot t_\downarrow^2}{2}\right) = \left(6\cdot 0{,}6 - \frac{10\cdot 0{,}6^2}{2}\right) + \frac{0{,}2\cdot 10\cdot 0{,}4^2}{2} =$

$= 3{,}6 - 5\cdot 0{,}36 + 0{,}16 = 0{,}52 - 1{,}8 = 0{,}34\ м.$

$\boxed{Отв.\ S = 0{,}34\ м}$

2)



Скор. коробки станет U, т.е. равняться скорости транспортёра, т.е. перестанет скользить отн. транспортёра (т.е. на транспортёре коробка остановится)

Коробка до этого момента движется отн. транспортёра вверх, т.е. с уск. $a_1 = g$ по отн. тр-ра.

нач. скор. коробки отн. тр-ра. $(ma_1 = mg\sin\alpha + \mu m g\cos\alpha)$

$0 = (V_0 - U) - a_1 T_1$

$T_1 = \frac{V_0 - U}{a_1} = \frac{6-1}{10} = 0{,}5\ с$ $\boxed{Отв.\ T_1 = 0{,}5\ с}$

Продолжение на след. листе.

Задача №2 продолжение.

№ 4 из 10

3) Перейдём в с.о. транспортёра. В ней нужный нам момент нулевой скорости коробки — момент, когда её скорость — U (напр. вниз, с.о. тр-ра)

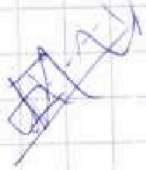
Пока скор. (отн. тр-ра) направл. вверх (против движения) (меньше от U до 0) коробка тормозит с уск. $a_1 = g$ и проходит путь L_1 и это занимает время t_1.

Пока скор. коробки отн. тр-ра меняется от 0 до U вниз, она движ. с уск. $a_2 = 0{,}2g$ и проходит путь L_2 за время t_2.

L_1 и L_2 — отн. тр-ра.

$$0 = (V_0 - U) - a_1 t_1;$$

$$t_1 = \frac{V_0 - U}{g}$$



$$L_1 = (V_0 - U)\,t_1 - \frac{a_1 \cdot t_1^2}{2} = \frac{1}{2}\frac{(V_0 - U)^2}{g}$$

$$U = 0 + a_2 \cdot t_2 \quad ; \quad t_2 = \frac{U}{0{,}2g}$$

$$L_2 = \frac{a_2 \cdot t_2^2}{2} = \frac{U^2}{2 \cdot 0{,}2g}$$

$$\overset{\text{искомое общ. смещение}}{L} = \underbrace{(L_1 - L_2)}_{\text{смещ. отн. тр-ра}} + \overbrace{U \cdot (t_1 + t_2)}^{\text{смещение самого тр-ра}} = \frac{1}{2}\frac{(V_0 - U)^2}{g} - \frac{U^2}{2\,0{,}2g} + U\left(\frac{V - U}{g} + \frac{U}{0{,}2g}\right)$$

$$L = \frac{(6-1)^2}{2 \cdot 10} - \frac{1^2}{2\,0{,}2 \cdot 10} + 1 \cdot \left(\frac{6-1}{10} + \frac{1}{0{,}2 \cdot 10}\right) = 1{,}25 - \frac{1}{4} + 0{,}5 + \frac{1}{2} = 1{,}75\,м.$$

$$\boxed{\text{Отв: } L = 1{,}75\,м.}$$

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

1 ☐ 2 ☐ 3 ☒ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐

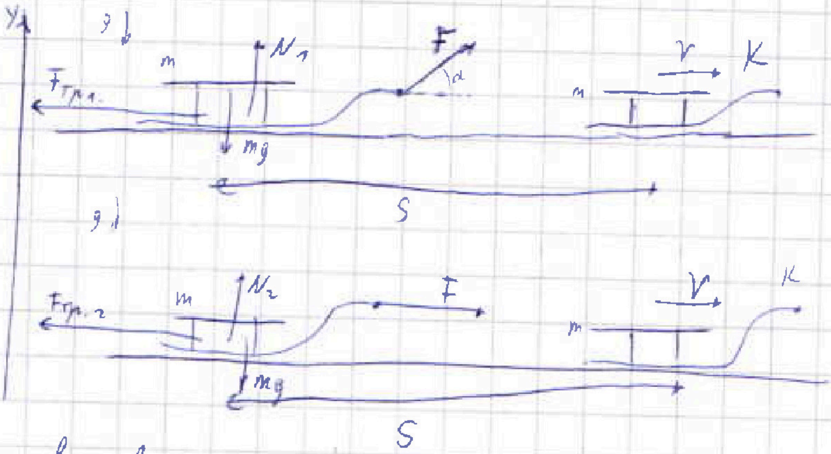
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

Задача № 3

V - скор. санок, соотв. кин. эн. K (Л 5 из 10)

$K = \frac{mV^2}{2}$

Пусть S - длина участка пути разгона



в первом случае сила норм. реакции опоры $N_1 \neq \cancel{F}$, а сила трения $F_{тр1} = \mu N_1$

ОY 2-ой з. Н) $-mg + N_1 + F\sin\alpha = 0$

$$N_1 = mg - F\sin\alpha$$

$$F_{тр1} = \mu N_1 = \mu(mg - F\sin\alpha)$$

во втором случае сила норм. реакции опоры N_2, а сила трения $F_{тр2} = \mu N_2$

~~Fтр~~ ОY 2-ой з. Н) $-mg + N_2 \cancel{*} = 0$

$$N_2 = mg$$

$$F_{тр2} = \mu N_2 = \mu mg$$

~~1 сл.~~ З.С.Э для 1-го сл.)

(1) $F \cdot \cos\alpha \cdot S - F_{тр1} \cdot S = K$ (изм. кин. эн. равно сумм. работе внешних сил)

$$F \cdot \cos\alpha - \mu(mg - F\sin\alpha) = \frac{K}{S}$$

З.С.Э для 2-го сл.)

(2) $F \cdot S - F_{тр2} \cdot S = K$

$$F - \mu mg = \frac{K}{S}$$

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

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

$$\mu F\sin\alpha = F(1 - \cos\alpha)$$

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

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

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

Задача № 3 продолжение.

(1) $F \cdot \cos\alpha \cdot S - F_{тр_1} \cdot S = K$

(2) $F \cdot S - F_{тр_2} \cdot S = K$

$$F = \frac{K - F_{тр_2} \cdot S}{S}$$

подстав. в (1)

$$\left(\frac{K}{S} - F_{тр_2}\right)\cos\alpha \cdot S - F_{тр_1} \cdot S = K;$$

$$\frac{K}{S}\cos\alpha \cdot S - F_{тр_2} \cdot \cos\alpha \cdot S - F_{тр_1} \cdot S = K$$

$$S\left(\frac{K}{S}\cos\alpha - F_{тр_2}\cos\alpha - F_{тр_1}\right) = K$$

$$S\left(\frac{K}{S}\cos\alpha - \mu mg - \mu(mg + - F \cdot \sin\alpha)\right) = K$$

$$S\left(\frac{K}{S}\cos\alpha - \mu mg - \mu\left(mg - \left(\frac{K}{S} - F_{тр_2}\right)\sin\alpha\right)\right) = K;$$

$$S\left(\frac{K}{S}\cos\alpha - \mu mg - \mu\left(mg - \frac{K}{S}\sin\alpha + \mu mg \sin\alpha\right)\right) = K$$

$$S\left(\frac{K}{S}\cos\alpha - \mu mg - \mu mg - \mu\frac{K}{S}\sin\alpha + \mu^2 mg\sin\alpha\right) = K$$

$$\mu K \sin\alpha + S\left(\frac{K}{S}\cos\alpha - 2\mu mg + \mu^2 mg \sin\alpha\right) = K$$

$$S\left(\frac{K}{S}\cos\alpha + \mu mg(\mu\sin\alpha - 2)\right) = K(1 + \mu\sin\alpha)$$

$$S = \frac{K(1 + \mu\sin\alpha)}{K\cos\alpha - \mu mg(2 - \mu\sin\alpha)}$$

Отв. $S = \dfrac{K(1 + \mu\sin\alpha)}{K\cos\alpha - \mu mg(2 - \mu\sin\alpha)}$

$$S\,\mu mg(\mu\sin\alpha - 2) = K(1 + \mu\sin\alpha - \cos\alpha)$$

$$K\cos\alpha + S\left(-\mu mg - \mu mg + \frac{K}{S}\sin\alpha - \mu^2 mg\sin\alpha\right) = K$$

$$K\cos\alpha + K\sin\alpha + S(-2\mu mg - \mu^2 mg\sin\alpha) = K$$

$$S = \frac{K(1 - \cos\alpha - \sin\alpha)}{-\mu mg(2 + \mu\sin\alpha)} = \frac{K(\cos\alpha + \sin\alpha - 1)}{mg\frac{1-\cos\alpha}{\sin\alpha}\left(2 + \frac{1-\cos\alpha}{\sin\alpha}\sin\alpha\right)} = \frac{K(\cos\alpha + \sin\alpha - 1)\sin\alpha}{(1 - \cos\alpha)(3 - \cos\alpha)}$$

$$\boxed{\text{Отв. } S = \frac{K(\cos\alpha + \sin\alpha - 1)\sin\alpha}{mg(1 - \cos\alpha)(3 - \cos\alpha)}}$$

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

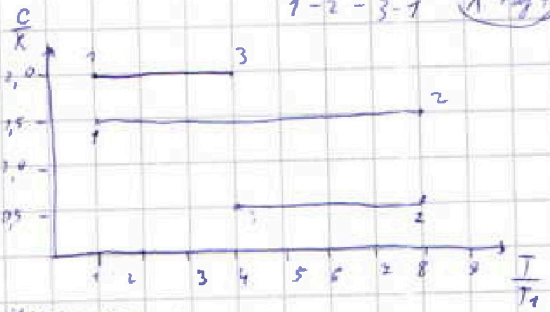
1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☒ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐

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

МФТИ

1 - 2 - 3 - 1

Задача № 4 $\nu = 1$ моль



Пусть $p_1, V_1, T_1, p_2 V_2, T_2, p_3 V_3 T_3$ — давл, объём, темп. в соотв. состояния (точках) в цикле.

$T_3 = 4T_1$; $T_2 = 8T_1$

1-3) Q_{13} — ~~под~~ отв. газу кол-во теплоты на участке 1-3

$\cancel{Q_{13} = \Delta U_{13} + A_{13}}$ изм. внутр. эн. газа на 1-3;

$Q_{13} = \Delta U_{13} - A_{31}$ работа вн. сил над газом

$Q_{13} = C_{13}\cdot\nu\cdot(T_1 - T_3) = 2R\cdot\nu\cdot(T_1 - 4T_1) = -6R\nu T_1$

$\Delta U_{13} = \frac{3}{2}\nu R T_1 - \frac{3}{2}\nu R T_3 = \frac{3}{2}\nu R(T_1 - 4T_1) = -\frac{9}{2}\nu R T_1$

$A_{31} = \Delta U_{13} - Q_{13} = -\frac{9}{2}\nu R T_1 - (-6\nu R T_1) = 1{,}5\nu R T_1 = 1{,}5\cdot 1\cdot 8{,}31\cdot 200$ Дж.

работа самого газа (отрицательна)

$A'_{13} = -A_{31} = -1{,}5\nu R T_1$

Отв: $\boxed{A_{31} = 1{,}5\nu R T_1 = \cancel{300\cdot 8{,}31}\ 24{,}93 \text{ Дж}}$

Заметим, что на участке 1-2 темп. растёт, т.е. тепло подводится, а на участках 2-3 и 3-1 — темп. падает, т.е. тепло отводится.

~~2-3)~~ 1-2) $Q_{12} = \Delta U_{12} + A_{12}$;

$Q_{12} = C_{12}\cdot\nu\cdot(T_2 - T_1) = 1{,}5R\cdot\nu(8T_1 - T_1) = 10{,}5R\nu T_1$

$\Delta U_{12} = \frac{3}{2}\nu R T_2 - \frac{3}{2}\nu R T_1 = \frac{3}{2}\nu R(8T_1 - T_1) = 10{,}5 R T_1$

$A_{12} = Q_{12} - \Delta U_{12} = 10{,}5\nu R T_1 - 10{,}5\nu R T_1 = 0$ => 1-2 — изохорический процесс. $V_1 = V_2$

2-3) $Q_{23} = \Delta U_{23} + A_{23}$

$Q_{23} = C_{23}\nu(T_3 - T_2) = 0{,}5R\nu(4T_1 - 8T_1) = -2R\nu T_1$

$\Delta U_{23} = \frac{3}{2}\nu R T_3 - \frac{3}{2}\nu R T_2 = \frac{3}{2}\nu R(4T_1 - 8T_1) = -6RT_1$

$A_{23} = Q_{23} - \Delta U_{23} = -2R\nu T_1 - (-6R\nu T_1) = 4R\nu T_1$

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

Задача № 4 продолжение.

полезная работа соверш. за цикл.

$$A_n^{ц} = A_{23} + A_{31} = 4R\nu T_1 - 1,5\nu RT_1 = 2,5\nu RT_1$$

кол-во подводимого тепла за цикл

$$Q^{ц}_{затр.} = Q_{12} = 10,5 R\nu T_1$$

$$\eta = \frac{A_n}{Q_{затр.}} = \frac{2,5\cdot \nu RT_1}{10,5\nu RT_1} = \frac{5}{21}$$

Ответ $\boxed{\eta = \frac{5}{21}}$

1-2 — изохора, т.к. $V_1 = V_2$

$p_1V_1 = \nu RT_1$, $p_2V_1 = \nu RT_2$ $\Rightarrow$ $\frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2}$ $\Rightarrow$ $p_2 = \frac{T_2}{T_1}p_1 = \frac{8T_1}{T_1}\cdot p_1$

$T_3 = 4T_1$

$p_3V_3 = 4p_1V_1$

$p_1V_1 = \nu RT_1$

$p_2V_2 = \nu RT_2$ $\Rightarrow$ $p_1V_1 = \nu RT_1$, $p_3V_3 = 4\nu RT_1$

$p_3V_3 = \nu RT_3$

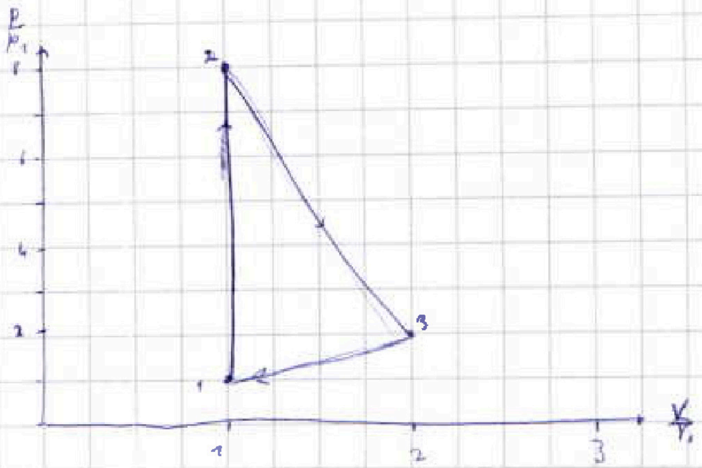
Эти процессы — политропные. $\Rightarrow$ $p_2V_1^{b} = p_3V_3^{b}$ и $p_3V_3^{a} = p_1V_1^{a}$, где b — показатель политропы 2-3, a — показатель политропы 3-1

Работа в процессе — площадь под графиком $p(V)$

$$b = \frac{C_{23}}{C_V} = \frac{0,5R}{1,5R} = \frac{1}{3}$$

$$a = \frac{C_{31}}{C_V} = \frac{2R}{1,5R} = \frac{4}{3}$$

$$\begin{cases} 8p_1\cdot V_1^{\frac{1}{3}} = p_3\cdot V_3^{\frac{1}{3}} \\ p_3V_3^{\frac{4}{3}} = p_1V_1^{\frac{4}{3}} \\ p_3V_3 = 4p_1V_1 \end{cases}$$



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

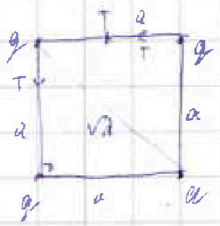
1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐

МФТИ

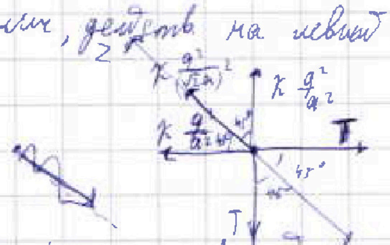
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

Задача №5 k – кулоновская постоянная

Понятно, что раз нити натянуты, то шарики ~~[illegible]~~ отталкиваются друг от друга.



Расм. силы, действ. на левый верхний шарик:



Т.к. шарик покоится, равнодействующая всех сил равна нулю. Распишем силы на ось oZ проходящую через диагональ квадрата.

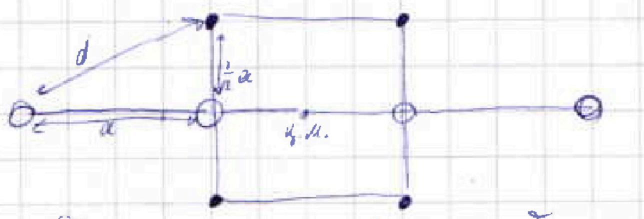
$$OZ: \quad k\frac{q^2}{(\sqrt{2}a)^2} + k\frac{q^2}{a^2}\cos45^\circ + k\frac{q^2}{a^2}\cos45^\circ - T\cos45^\circ - T\cos45^\circ = 0,$$

$$k q^2\left(\frac{1}{2a^2} + \frac{2}{a^2}\cos45\right) = 2T\cos45^\circ$$

$$k\frac{q^2}{a^2}\left(\frac{1}{2} + \frac{2}{\sqrt{2}}\cdot\frac{1}{\sqrt{2}}\right) = 2\cdot\frac{1}{\sqrt{2}}T,$$

$$k\frac{q^2}{a^2}\left(\frac{1}{2} + \sqrt{2}\right) = \sqrt{2}\cdot T \Rightarrow \quad q^2 = \frac{\sqrt{2}\cdot T a^2}{k\left(\frac{1}{2}+\sqrt{2}\right)} \Rightarrow \boxed{\text{Отв. } q = \sqrt{\frac{\sqrt{2}T}{k\left(\frac{1}{2}+\sqrt{2}\right)}}\,a}$$

Т.к. внешних сил нет $\Rightarrow$ центр. масс системы неподвижен.
После ~~раз~~ пережигания верхней нитки шарики будут стараться занять положения максимального удаления друг от друга, т.е. выстроятся в линию (по крайним шарикам). Центр. масс при этом не смещается.



$$d = \sqrt{\left(\frac{1}{2}a\right)^2 + a^2} = a\sqrt{1{,}25}$$

$$\text{Отв. } d = \sqrt{1{,}25}\,a.$$

Положение шариков на одной прямой – ~~[illegible]~~ устойчивое положение, т.е. положение минимума потенциальной энергии.

На одной странице можно оформлять **только одну задачу.**

Отметьте крестиком номер задачи,

решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
				X		

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

МФТИ