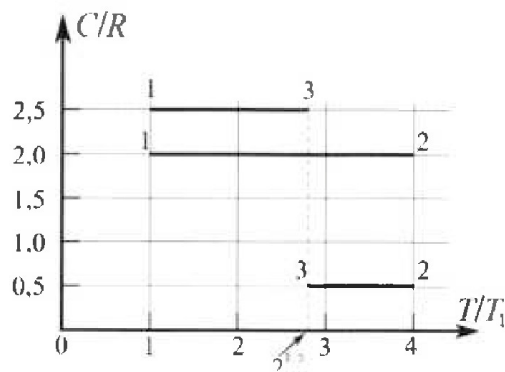


Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

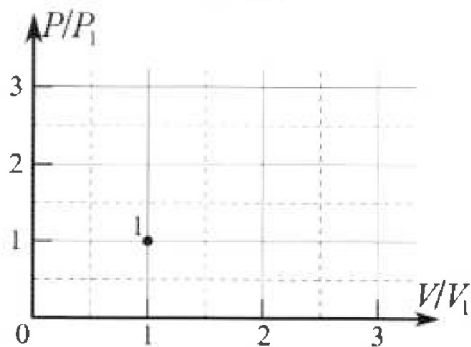
Вариант 10-01

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

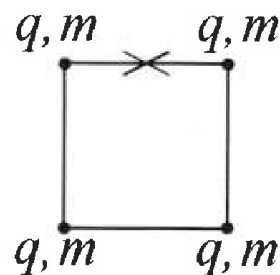
4. Тепловой двигатель работает по циклу 1-2-3-1. Рабочее вещество – один моль одноатомного идеального газа. Для вычисления КПД цикла ученик десятого класса построил график зависимости молярной теплоемкости C газа (в единицах универсальной газовой постоянной R) от температуры в процессах: 1-2, 2-3, 3-1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



- 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 расстоянии d от точки старта будет находиться в этот момент любой из двух шариков, изначально расположенных сверху (на рисунке)?

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



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.

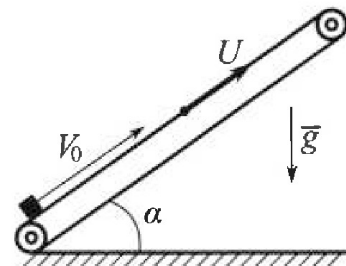
1) Найдите начальную скорость V_0 мяча.

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/с². Мяч движется в плоскости перпендикулярной стенке. Сопротивление 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/с². 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.

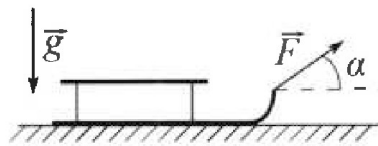
В первом случае санки тянут, действуя постоянной по модулю силой, направленной под углом α к горизонту (см. рис.).

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.



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!



N1.

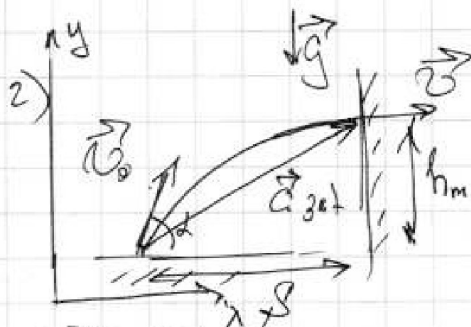
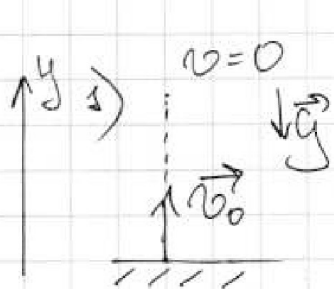
$$T = 2c$$

$$g = 10 \text{ м/с}^2$$

$$S = 20 \text{ м}$$

1) $v_0 = ?$

2) $h_m = ?$



Для 1): $\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{g}t$

1) ОУ: $0 = v_0 - gT \Rightarrow v_0 = gT = 10 \cdot 2 = \underline{\underline{20 \text{ м/с}}}$

Для достижения h_m необходимо, чтобы перед ударом вертикальная составляющая скорости поднялась до нуля, т.е. $\vec{v} \perp \vec{g}$

$$\vec{S} = \vec{v}_0 t + \frac{\vec{g}t^2}{2}$$

2) ОХ: $S = v_0 \cos \alpha t \Rightarrow t = \frac{S}{v_0 \cos \alpha}$

3) ОУ: $h_m = v_0 \sin \alpha t - \frac{gt^2}{2} \Rightarrow h_m = \frac{gt^2}{2} \Rightarrow$

4) $v_0 \sin \alpha = gt$, тогда $2y = 0 \Rightarrow h_m = \frac{gS^2}{2v_0^2 \cos^2 \alpha} (*)$

$$2gS^2 = v^2 - v_0^2$$

5) ОУ: $-2gh_m = -v_0^2 \sin^2 \alpha \Rightarrow v_0^2 \sin^2 \alpha = 2gh_m (**)$

(*) + (**): $v_0^2 = \frac{gS^2}{2h_m} + 2gh_m \Rightarrow 4gh_m^2 - 2v_0^2 h_m + gS^2 = 0$

$$\Rightarrow h_m = \frac{v_0^2 \pm \sqrt{v_0^4 - 4gS^2}}{4g} = \frac{20^2 \pm \sqrt{400 \cdot 400 - 4 \cdot 100 \cdot 400}}{4 \cdot 10}$$

$$\Rightarrow \boxed{h_m = 10 \text{ м}}, h_m = \frac{v_0^2}{4g} = \frac{gT^2}{4g} = \underline{\underline{\frac{gT^2}{4}}}$$

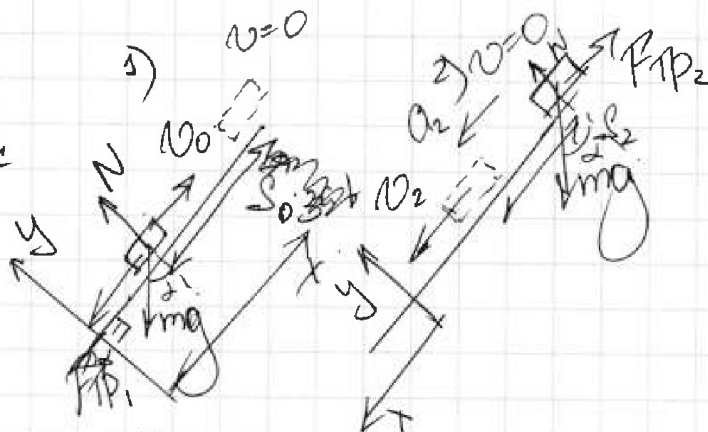
Ответ: 2) $h_m = 10 \text{ м}$, 1) $v_0 = 20 \text{ м/с}$

1	2	3	4	5	6	7
☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐

N2.
 $\sin \alpha = 0.8$
 $v_0 = 4 \text{ м/с}$
 $\mu = \frac{1}{3}$
 $S = 1 \text{ м}$

- 1) T - ?
 2) $u = 2 \text{ м/с}$
 L - ?

- 3) H - ?
 $g = 10 \text{ м/с}^2$



1. S_0 - расстояние, которое проехала коробка вдоль плоскости до своей остановки.

Посмотрим, проедет ли $S = 1 \text{ м}$ до своей остановки.

II 3-й закон Ньютона (для 1):

$$m\vec{a}_1 = m\vec{g} + \vec{N} + \vec{F}_{тр}$$

1) Oy : $0 = N - mg \cos \alpha \Rightarrow N = mg \cos \alpha$, т.е. сила реакции есть, то $F_{тр1} = F_{тр2} = \mu N = \mu mg \cos \alpha$

2) Ox : $ma_{1x} = -mg \sin \alpha - \mu mg \cos \alpha \Rightarrow a_1 = g(\sin \alpha + \mu \cos \alpha) = g \cdot (\frac{8}{10} + \frac{1}{3} \cdot \frac{6}{10}) = g$.

$$2aS = v^2 - v_0^2$$

3) Ox : $-2aS_0 = 0 - v_0^2 \Rightarrow S_0 = \frac{v_0^2}{2a} = \frac{v_0^2}{2g} = \frac{4^2}{2 \cdot 10} = \frac{16}{20} = 0.8 \text{ м}$ - не хватит скорости, чтобы проехать

$S_1 = 1 \text{ м}$ до остановки. Значит, коробка развернется и поедет в другом направлении.

II 3-й закон Ньютона (для 2):

$$m\vec{a}_2 = \vec{N} + \vec{F}_{тр2} + m\vec{g}$$

4) Oy : $0 = N - mg \cos \alpha \Rightarrow N = mg \cos \alpha$

5) Ox : $ma_2 = mg \sin \alpha - F_{тр2}$

Пускай есть скольжение, тогда $F_{тр2} = \mu mg \cos \alpha$

$$ma_1 = mg(\sin \alpha - \mu \cos \alpha) > 0 \Rightarrow \text{скольжение есть!}$$

т.е. $a_2 = g(\sin \alpha - \mu \cos \alpha) = g \cdot (\frac{8}{10} - \frac{1}{3} \cdot \frac{6}{10}) = 0.6g$.



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!

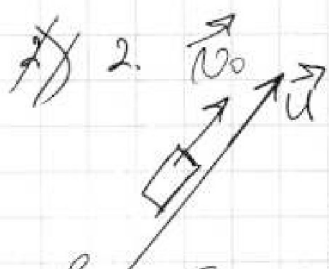
N2. Продолжение

Т.к. $S_0 < S_1$, то необходимо еще проехать $S_2 = S_1 - S_0$

$$6) \frac{S_1 - S_0}{\frac{1}{2}at_2^2} = \frac{a_2 t_2^2}{2} \Rightarrow t_2 = \sqrt{\frac{2(S_1 - S_0)}{a_2}} = \sqrt{\frac{2 \cdot (1 - 0,8)}{0,6g}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,2}{0,6 \cdot 10}} = \sqrt{\frac{0,4}{6}} = \frac{2}{\sqrt{15}} \approx \frac{2}{3,87} \approx 0,515 \text{ с}$$

1). Дл. 1): $v_0 = a_1 t_1 \Rightarrow t_1 = \frac{v_0}{a_1} = \frac{2}{10} = 0,2 \text{ с}$

т.о. $T = t_1 + t_2 = 0,25 + 0,4 = 0,65 \text{ с}$



Перейдем в СО, связанную с транспортом. В ней транспорт неподвижен.

$\vec{v}_{отн} = \vec{v}_0 - \vec{u}$ - относительная скорость коробки по транспорту. Эта скорость не

в лабораторной СО! Дл. перехода в ЛСО: $\vec{v}_{абс} = \vec{v}_{отн} + \vec{v}_{пер}$. Нам просят, чтобы $|\vec{v}_{абс}| = u$, а $\vec{v}_{пер} = u$ - скорость транспорта.

Т.к. в задаче не сказано в какую сторону направлено $\vec{v}_{абс}$, возможны 2 случая: 1) 2)

Т.к. Дл. 1):

$|\vec{v}_{абс}| = u$

т.к. направление $\vec{v}_{абс}$ совпадает с направлением скорости u

$\vec{v}_{абс} = \vec{v}_{отн} + \vec{v}_{пер}$

х: $v_{абс, x} = v_{отн, x} + v_{пер, x} = u \Rightarrow v_{отн, x} = 0$, т.о.

$v_{отн}$ должна быть равна 0, когда коробка проехала L_1 отн. транспорта; из полученного ранее

$a_1 = g$, т.о.

$2a_1 S = v^2 - v_0^2$

б) 0х: $-2g L_1 = 0 - \omega_1^2$, где

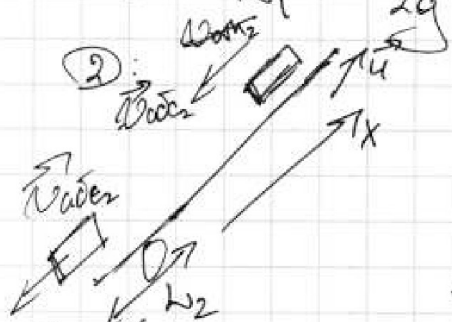
$\omega_1 = v_0 - u = 2 \text{ м/с}$ - скорость, с которой потянет движение коробки относительно транспорта (у точки старта)

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!

№2. Продолжение

т.о. $L_1 = \frac{(v_0 - u)^2}{2g} = \frac{(4 - 2)^2}{2 \cdot 10} = \frac{4}{2 \cdot 10} = \frac{2}{10} = \underline{\underline{0,2 \text{ м}}}$ (выше т. старта)



$v_{\text{отн}2}$ направим в другую сторону

$$\vec{v}_{\text{отн}2} = \vec{v}_{\text{отн}1} + \vec{v}_{\text{пер}}$$

ОХ: $-\frac{g}{2} t^2 = v_{\text{отн}1x} + u \Rightarrow$

$$\Rightarrow v_{\text{отн}1x} = -2u, \quad |v_{\text{отн}1x}| = 2u = 4 \text{ м/с}$$

$v_2 = v_0 - u$ - скорость, с которой космось движение у точки старта. Из найденного ранее $a_1 = g$

$2a_1 S = v^2 - v_0^2$ (Предположим, что т. старта - это т. старта, т.е. $v_{\text{отн}2} = 2u$ здесь ниже т. старта)

9) ОЗ: $2a_1 L_2 = v_{\text{отн}2}^2 - v_2^2 \Rightarrow$
 $\Rightarrow 2g L_2 = 4u^2 - (v_0 - u)^2 \Rightarrow L_2 = \frac{4u^2 - (v_0 - u)^2}{2g} =$
 $= \frac{4 \cdot 2^2 - (4 - 2)^2}{2 \cdot 10} = \frac{16 - 4}{20} = \frac{12}{20} = \frac{6}{10} = \underline{\underline{0,6 \text{ м}}}$ (ниже т. старта)

3. по условию, $v_{\text{отн}} = 0$. $\vec{v}_{\text{отн}} = \vec{v}_{\text{отн}x} + \vec{v}_{\text{пер}}$

ОХ: $0 = v_{\text{отн}x} + u \Rightarrow v_{\text{отн}x} = -u$, т.е. $|v_{\text{отн}x}| = u$ (вниз по склону)
 $v = v_0 - u$ - скорость, с которой космось движением от т. старта.

Из ранее найденного, $a_1 = g$ - ускорение при движении по склону

$2a_1 S = v^2 - v_0^2$

10) ОХ: $-2gL = v_{\text{отн}}^2 - v^2 \Rightarrow L = \frac{v^2 - v_{\text{отн}}^2}{2g} =$
 $= \frac{(v_0 - u)^2 - u^2}{2g} = \frac{(4 - 2)^2 - 2^2}{2g} = 0$, т.о.

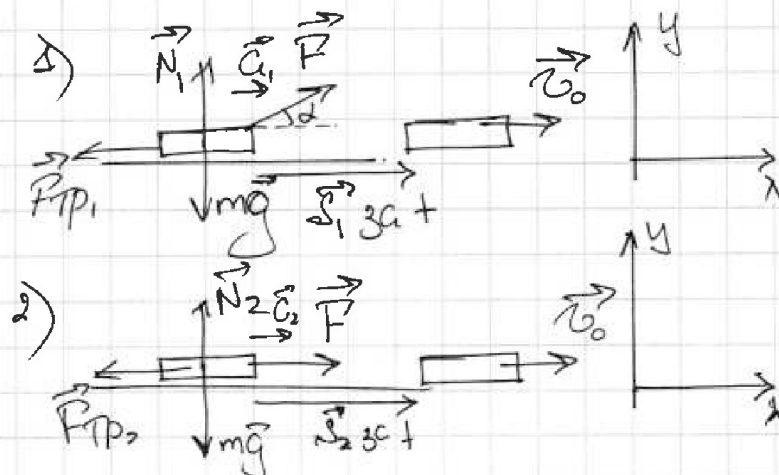
$L = 0$

Ответ: 1) $T = 0,65 \text{ с}$; 2) $L_1 = 0,2 \text{ м}$; $L_2 = 0,6 \text{ м}$; $K = 0$.

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐

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

N3.
 $v_0, t_1 = t_2 = t$
 $F_1 = F_2 = F$
 μ, g
 1) $\mu = ?$
 2) $T = ?$



II 3-й Ньютона для 1):
 $m\vec{a}_1 = m\vec{g} + \vec{N}_1 + \vec{F}_{тр1} + \vec{F}$

1) Oy: $0 = -mg + N_1 + F \sin \alpha \Rightarrow N_1 = mg - F \sin \alpha$
 2) OX: $ma_1 = F \cos \alpha - F_{тр1}$
 т.к. скольжение есть, то $F_{тр1} = F_{тр\max} = \mu N_1 =$
 $= \mu mg - \mu F \sin \alpha$, тогда:
 $ma_1 = F \cos \alpha - \mu mg + \mu F \sin \alpha (*)$

II 3-й Ньютона для 2):
 $m\vec{a}_2 = m\vec{g} + \vec{N}_2 + \vec{F} + \vec{F}_{тр2}$

3) Oy: $0 = -mg + N_2 \Rightarrow N_2 = mg$
 4) OX: $ma_2 = F - F_{тр2}$
 т.к. скольжение есть, то $F_{тр2} = F_{тр\max} = \mu N_2 = \mu mg$,
 тогда: $ma_2 = F - \mu mg (**)$

По условию тела за одно и то же время из состоя-
 ния покоя разогнались на одну и ту же скорость v_0 ,
 тогда $v_0 = a_1 t \Rightarrow a_1 = a_2$

т.о. можно приравнять левые части выражений

(*) и (**): $F \cos \alpha - \mu mg + \mu F \sin \alpha = F - \mu mg \Rightarrow$

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

После на блок перестает действовать сила F , но т.к. тело скользит, то $F_{тр} = F_{тр\max} = \mu N$, $\mu = \tan \frac{\alpha}{2}$

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

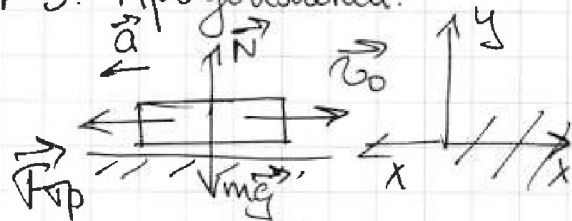
Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

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!

№3. Продолжение.



II 2-й закон:

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

5) Oy : $0 = N - mg \Rightarrow N = mg$, $F_{тр} = F_{тр\max} = \mu N = \mu mg$

6) Ox : $ma = F_{тр} = \mu mg \Rightarrow a = \mu g$

Из кинематики равноуск. движения:

$$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a}t$$

1) Ox : $0 = -v_0 + at \Rightarrow T = \frac{v_0}{a} = \frac{v_0}{\mu g} = \frac{v_0}{g \tan \frac{\alpha}{2}}$

Отсюда: 1) $\mu = \tan \frac{\alpha}{2}$, $T = \frac{v_0}{g \tan \frac{\alpha}{2}}$

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐

N_4
 $D = 1 \text{ ммоль}$
 $\bar{\epsilon} = \frac{3}{2} \quad \bar{\epsilon} = 3$
 $T_1 = 400 \text{ К}$
 $R = 8,31 \text{ Дж/моль} \cdot \text{К}$

1) $A_{12} = ?$

2) $\eta = ?$

3) $(P/P_1, V/V_1) = \dots$ $Q_{12} = C_{12} \Delta T = \dots$

$\Rightarrow 1) Q_{12} = 2R \Delta T (4T_1 - T_1) = 6UR T_1$

2) $Q_{12} = A_{12} + \Delta U_{12}$; $\Delta U_{12} = \frac{3}{2} UR (T_2 - T_1)$
 т.к. газ одноатомный, т.о. $\Delta U_{12} = \frac{3}{2} UR (4T_1 - T_1) =$

$= \frac{9}{2} UR T_1$, тогда $A_{12} = Q_{12} - \Delta U_{12} = 6UR T_1 -$

$-\frac{9}{2} UR T_1 = UR T_1 \left(\frac{12}{2} - \frac{9}{2} \right) =$

$= \frac{3}{2} UR T_1 \Rightarrow A_{12} = \frac{3}{2} UR T_1 = \frac{3}{2} \cdot 8,31 \cdot 400 \approx$

$\approx 25 \cdot 200 = 5 \text{ кДж}$

3) $\eta = 1 - \frac{|Q_{out}|}{Q_{non}}$

4) $Q_{out} = Q_{23} + Q_{31} = \frac{R}{2} \Delta T (2\sqrt{2}T_1 - 4T_1) + \frac{5}{2} UR (T_1 - 2\sqrt{2}T_1) =$

$= UR T_1 \left(\sqrt{2} - 2 + \frac{5}{2} - \frac{5\sqrt{2}}{2} \right) = UR T_1 \left(-\frac{3}{2}\sqrt{2} + \frac{1}{2} \right)$

5) $Q_{non} = Q_{12} = 6UR T_1$

т.о. $\eta = 1 - \frac{(4\sqrt{2} - \frac{1}{2})UR T_1}{6UR T_1} = 1 - \frac{8\sqrt{2} - 1}{12} = \frac{12 - 8\sqrt{2} + 1}{12} =$

$= \frac{13 - 8\sqrt{2}}{12} = \frac{13 - 11,2}{12} \approx \frac{1,8}{12} = \frac{0,3}{2} =$

$= \frac{3}{20}$

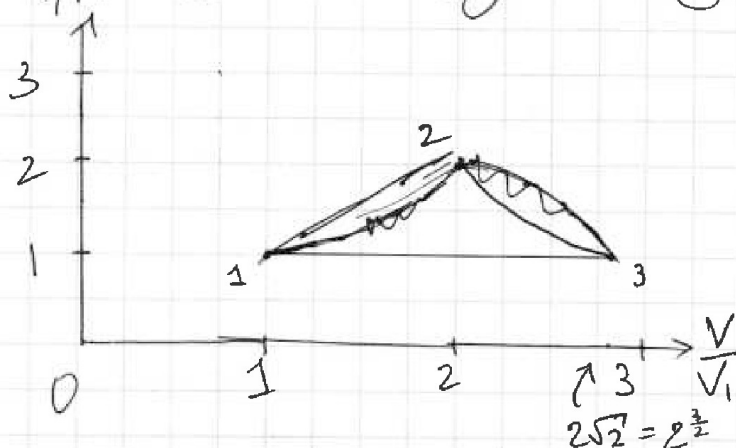
1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐

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

N4. Продолжение
ур-н Менделеева-Клапейрона для с. 1, 2, 3.

т.д.: 6) $P_1 V_1 = \nu R T_1$
 7) $P_2 V_2 = \nu R T_2 = 4 \nu R T_1 \Rightarrow P_2 V_2 = 4 P_1 V_1$
 8) $P_3 V_3 = \nu R \cdot 2\sqrt{2} T_1 \Rightarrow P_3 V_3 = 2\sqrt{2} P_1 V_1$
 $\Rightarrow P_2 V_2 = \sqrt{2} P_3 V_3$

Заметим, что процесс 1-3 (3-1) - изобарный,
т.к. $C = \frac{5}{2} = C_p = C_v + R = \frac{5}{2} R$, т.о. $P_1 = P_3$, тогда
 $V_3 = 2\sqrt{2} V_1$ (из выше полученного)
 $2\sqrt{2} \approx 2.14 \approx 2.8$



Рассчитаем теплоемкость: $\delta Q = c \nu dT = \delta A + dU$
 $\Rightarrow C = \frac{\delta A}{\nu dT} + \frac{dU}{\nu dT} = \frac{3 \nu R dT}{2 \nu dT} + \frac{p dV}{\nu dT} \Rightarrow$
 $\Rightarrow C = \frac{3}{2} R + \frac{p dV}{\nu dT}$ (для 2-3): $C = \frac{1}{2} R \Rightarrow$

$\Rightarrow \frac{p dV}{\nu dT} = -R \Rightarrow p dV = -\nu R dT$

для (1-2): $C = 2R \Rightarrow \frac{R}{2} = \frac{p dV}{\nu dT} \Rightarrow 2 p dV = \nu R dT$

для (1-3): $C = \frac{5}{2} R \Rightarrow p dV = \nu R dT$

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!



№4. Процесс сжатия
из ур-ия состояния $pV = \nu RT \Rightarrow$
 $\Rightarrow \frac{pV}{p dV} = \frac{\nu RT}{\nu R dT}, \text{ т.е. } \frac{dV}{V} = \frac{dT}{T}.$

если ур-е: $\frac{dp}{p} + \frac{dV}{V} = \frac{dT}{T}$

Дие (2-3): $\frac{p dV}{pV} = - \frac{\nu R dT}{\nu RT} \Rightarrow \frac{dV}{V} + \frac{dT}{T} = 0$

$\frac{dp}{p} + \frac{dV}{V} = \frac{dT}{T} \Rightarrow \frac{dp}{p} = - \frac{2dV}{V} \Rightarrow \frac{p}{V} = - \frac{dp}{2dV}$

Дие (1-2): $\frac{2p dV}{pV} = \frac{\nu R dT}{\nu RT} \Rightarrow \frac{2dV}{V} = \frac{dT}{T}$

$\frac{dp}{p} + \frac{dV}{V} = \frac{dT}{T} \Rightarrow \frac{dp}{p} = \frac{dV}{V} \Rightarrow \frac{p}{V} = \frac{dp}{dV}$

~~изотермический~~

$\frac{dp}{p} + \frac{dV}{V} = \frac{dT}{T} = 0$ изотерма

1-2: перейдем к конечным приращением

$\frac{P_1}{V_1} = \frac{P_2 - P_1}{V_2 - V_1} \Rightarrow \frac{V_2 - V_1}{V_1} = \frac{P_2 - P_1}{P_1} - 1 \Rightarrow \frac{V_2}{V_1} = \frac{P_2}{P_1} \Rightarrow$

$\Rightarrow P_1 V_2 = P_2 V_1 \Rightarrow V_2^2 P_1 P_2 = 4 P_1 P_2 V_1^2 \Rightarrow$

$\Rightarrow V_2 = 2V_1$

2-3: $\frac{p}{V} = - \frac{dp}{2dV} \Rightarrow \frac{p_2}{V_2} = - \frac{(P_3 - P_2)}{2(V_3 - V_2)} \Rightarrow$
 $\Rightarrow 2 \frac{V_3}{V_2} - 2 = - \frac{P_3}{P_2} + 1 \Rightarrow 2 \frac{V_3}{V_2} + \frac{P_3}{P_2} = 3$



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!

N₂. Продолжение.

Т.к. $V_2 = 2V_1$, то $P_2 = 2P_1$, зная выполненное
равенство площадей под графиками и их отно-
шения друг к другу

Ответ: 1) $A_{12} = 5 \text{ кДж}$; 2) $\eta = \frac{3}{20}$.

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

Отметьте крестиком номер задачи.

решение которой представлено на странице:

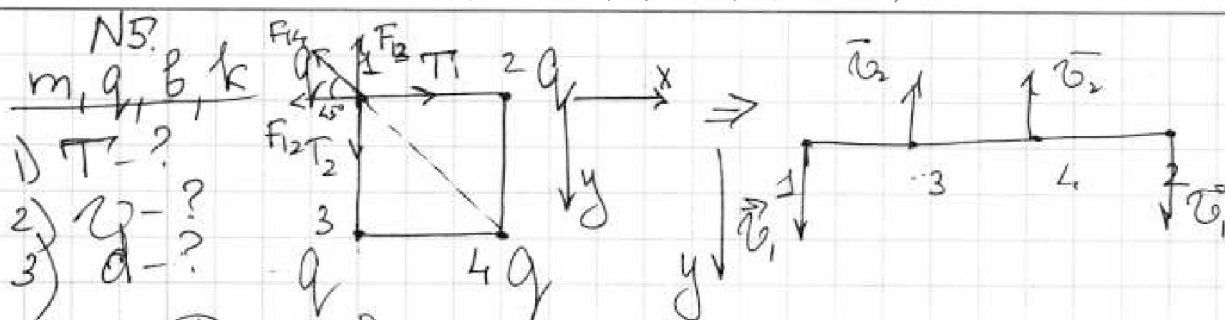
1 2 3 4 5 6 7

☐ ☐ ☐ ☐ ☒ ☐ ☐



МФТИ

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



Рассмотрим связь между α и β для любой α и β .

$$1) \quad |F_{12}| = |F_{13}| = \frac{kq^2}{b^2}$$

$$2) \quad F_{14} = \frac{kq^2}{(b\sqrt{2})^2} = \frac{kq^2}{2b^2}$$

$$\vec{F}_{12} + \vec{F}_{14} + \vec{F}_{13} + \vec{T}_1 + \vec{T}_2 =$$

3) OX: $T_1 - \frac{kq^2}{2b^2} \cdot \cos 45^\circ - \frac{kq^2}{b^2} = 0 \Rightarrow T_1 = \frac{kq^2}{b^2} \left(\frac{\sqrt{2}}{4} + 1 \right) \Rightarrow$

$$\Rightarrow T_1 = \frac{1 \text{ kg}^2}{4 \text{ kg}^2} (4 + \sqrt{2})$$

4) $\text{oy: } T_2 = \frac{kg^2}{6^2} = \frac{kg^2}{26^2} \cdot \sin 60^\circ \rightarrow T_2 = \frac{kg^2}{48^2} (4 + \sqrt{2})$

т.о. все кривые в силу симметрии все кривые равны

$$T = \frac{kg^2}{4b^2} (4 + \sqrt{2})$$

$\vec{P}_1 = 0$ - касательный импульс

$$\vec{P}_2 = 2m\vec{v}_1 + 2m\vec{v}_2$$

В силу симметрии $U_1 = U_2 = U$, и $U_3 = U_4 = U_2$
т.к. внешних сил нет, то импульс сохраняется

5) a) $\vec{p}_2 - \vec{p}_1 = \vec{F}_{el} \Delta t$
 $2m v_1 - 2m v_2 = 0 \Rightarrow v_1 = v_2 = v$

по теореме о линейной функции:

$$\Delta W_{\text{кин}} = A_{F_{\text{эл}}} = -\Delta W_{\text{эл.зн}} \rightarrow \frac{4\pi\epsilon_0 v^2}{2} - 0 + W_{n_2} - W_{n_1} = 0,$$

где W_n - полная энергия взаимодействия зарядов

Получим w_{n_1} и w_{n_2} :

$$6) W_{n_1} = \frac{1}{\sqrt{2}g} \cdot 2 + \frac{1}{g} \cdot 4 = \frac{1}{g} (4 + \sqrt{2})$$

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!

N5. Продолжение.

$$W_{n2} = \frac{kq^2}{3b} + \frac{kq^2}{2b} + \frac{kq^2}{b} + \frac{kq^2}{b} + \frac{kq^2}{2b} + \frac{kq^2}{b} = \frac{3kq^2}{b} + \frac{2kq^2}{2b} + \frac{kq^2}{3b} =$$

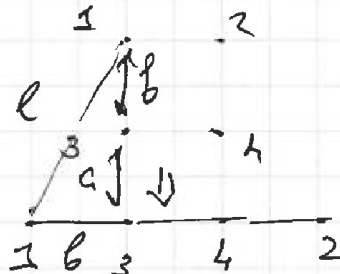
$$= \frac{kq^2}{b} \left(4 + \frac{1}{3} \right) \quad \text{т.о.} \quad 2m\phi^2 = \frac{kq^2}{b} (4 + \sqrt{2}) - \frac{kq^2}{b} \left(4 + \frac{1}{3} \right) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 2m\phi^2 = \frac{kq^2}{b} \left(\sqrt{2} - \frac{1}{3} \right) = \frac{kq^2}{3b} (3\sqrt{2} - 1) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow v^2 = \frac{kq^2}{6mb} (3\sqrt{2} - 1) \Rightarrow \boxed{v = \sqrt{\frac{kq^2}{6mb} (3\sqrt{2} - 1)}}$$

3. В силу симметрии точки 3 и 4 остаются
друг под другом:

$$l = \sqrt{(b+a)^2 + b^2}$$



Ответ: 1) $\frac{kq^2}{4b^2} (4 + \sqrt{2})$; 2) $\sqrt{\frac{kq^2}{6mb} (3\sqrt{2} - 1)}$

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

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

МФТИ

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



Черновик.

N1.

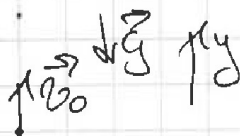
$$T = 2c$$

$$g = 10^7 c^2$$

$$1) v_0 = ?$$

$$2) h_{\text{max}} = ?$$

$$v = 0$$

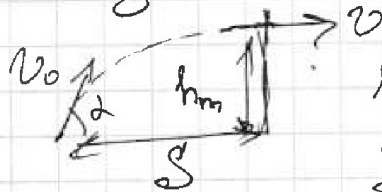


$$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{g}t$$

$$oy: 0 = v_0 - gt \Rightarrow$$

$$\Rightarrow v_0 = gT = 2 \cdot 10 = 20^7 c$$

2.



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

$$s = v_0 \cos \alpha t$$

$$v_0 \sin \alpha t = gt$$

$$h_m = \frac{gt^2}{2}$$

$$s^2 = v_0^2 \cos^2 \alpha t$$

$$\frac{s^2}{t^2} = v_0^2 \sin^2 \alpha$$

$$\frac{s^2}{t^2} + g^2 t^2 = v_0^2 \Rightarrow \frac{s^2}{t^2} + g^2 t^2 = v_0^2$$

$$t^2 = \frac{v_0^2 \pm \sqrt{v_0^4 - 4g^2 s^2}}{2g^2} = \frac{v_0^2 \pm \sqrt{20^4 - 4 \cdot 10^2 \cdot 20^2}}{2 \cdot 10^2}$$

$$= \frac{\pm \sqrt{20 \cdot 20 \cdot 2000 - 20 \cdot 20 \cdot 4000} + 4000}{2 \cdot 10^2} = \frac{2c}{2 \cdot 10^2}$$

$$\sin \frac{\alpha}{2} = \sqrt{\frac{1 - \cos \alpha}{2}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 2 \sin^2 \frac{\alpha}{2} = 1 - \cos \alpha$$

$$\frac{2 \sin^2 \frac{\alpha}{2}}{\sin \alpha} =$$

$$= \frac{2 \sin \frac{\alpha}{2} \cdot \sin \frac{\alpha}{2}}{2 \sin \frac{\alpha}{2} \cdot \cos \frac{\alpha}{2}} = \frac{1}{\cos \frac{\alpha}{2}}$$

N2.

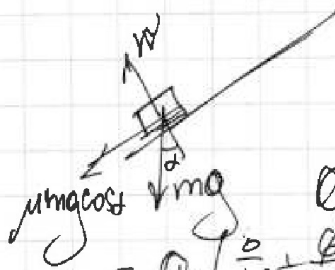
$$\sin \alpha = 0,8$$

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

$$v_0 = 4^7 c$$

$$1) T_1 = ?$$

$$S = 1m$$



Омечено:

$$2cS = v_0^2 \Rightarrow$$

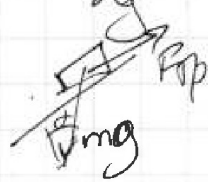
$$a = g(\sin \alpha + \mu \cos \alpha) =$$

$$= g \left(\frac{0,8}{10} + \frac{0,8}{10} \cdot \frac{4}{3} \right) = g$$

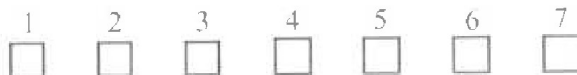
$$\Rightarrow 2gS = v_0^2 \Rightarrow S = \frac{v_0^2}{2g} = \frac{4^2}{2 \cdot 10} =$$

$$= \frac{16}{20} = 0,8m - \text{так и есть}$$

$$T_1 = \frac{v_0}{g} = \frac{4}{10} = 0,4c$$



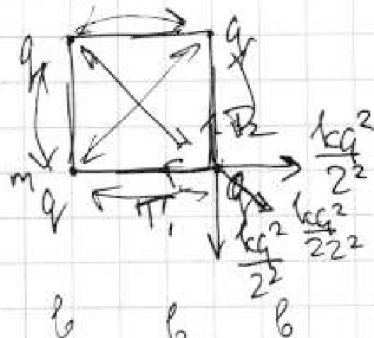
$$\Rightarrow h_m = S + g_d - \frac{g}{2} \frac{v_0^2}{v_0^2} (1 + g^2)$$



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



Упродолж.



$$1) \pi = \frac{\frac{1}{2} \pi^2}{2^2} + \frac{\frac{1}{2} \pi^2}{2^2} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} = \frac{\frac{1}{2} \pi^2}{4^2} (4 + \sqrt{2})$$

$$2) W_{n_1} = \frac{kq^2}{2} \cdot 4 + 2 \cdot \frac{kq^2}{\sqrt{2}^2} = \left(\frac{kq^2}{2} (4 + \sqrt{2}) \right)$$

$$W_{n_2} = \frac{100^2}{2} + \frac{100^2}{2.2} + \frac{100^2}{3.3} + \frac{100^2}{4.2} +$$

$$\frac{kq^2}{2} + \frac{kq^2}{27} + \frac{kq^2}{32} + \frac{kq^2}{2} + \frac{kq^2}{22} =$$

$$= \frac{3kg^2}{2} + \frac{3kg^2}{22} + \frac{2kg^2}{32} + \frac{kg^2}{52} = 26$$

$$= \frac{10a^2}{7} \left(3 + \frac{3}{2} + \frac{2}{3} + \frac{1}{4} \right) = \frac{36+18+8+3}{12} = \frac{65}{12}$$

$$= 5 \frac{5}{12} \approx 5 \quad \frac{65}{12} \sqrt{4+\sqrt{2}} \quad \frac{289}{144} - 2$$

$$v^2 + 2gh_m = v_0^2$$

$$h_m = \frac{a+2}{b}$$

$$s = vt \Rightarrow t = \frac{s}{v}$$

$$\Rightarrow 4q^2 h_m^2 + 220^2 h_m - q^2 = 0$$

$$\log 2^2 = \frac{-400 + \sqrt{400 \cdot 400 + 400 \cdot 400}}{40 \cdot 10}$$

$$\frac{400(\sqrt{2}-1)}{40} = 10(\sqrt{2}-1) \approx 0.41 \cdot 10 = 4.1 \text{ m} <$$

$$v_0^2 = 2gh \Rightarrow h = \frac{v_0^2}{2g} = \frac{4 \cdot 20^2}{2 \cdot 10} = 80 \text{ m}$$

$$v = v_0 \cos \alpha \quad \text{and} \quad \frac{2gh_m}{v_0^2} = \sin^2 \alpha \Rightarrow \sin^2 \alpha = \frac{2gh_m}{v_0^2} =$$

$$\frac{2 \cdot 10 \cdot 10 (\sqrt{2} - 1)}{20 \cdot 20} = \frac{\sqrt{2} - 1}{2} \approx \frac{0.4}{2} \approx 0.2$$

$$h_{\max} = \frac{v_0^2}{g} \cdot \sin 2\theta = \frac{20 \cdot 20}{10} = 40 \text{ m}$$

$$\begin{array}{r} \text{K}_2\text{O} \\ + \\ \text{H}_2\text{SO}_4 \\ \hline \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O} \end{array}$$



NI. $M_1 = \frac{150}{0.52}$

$$2h_m = g \frac{S}{v_0^2 - 2gh_m}$$

$$\frac{1}{2} \frac{1}{2} \frac{1}{2}$$

$$= \frac{1}{6} \frac{16g^2}{(4 + \sqrt{2})} = \frac{8g^2}{3(4 + \sqrt{2})}$$

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!



$$h_m = S \cdot \operatorname{tg} \alpha - \frac{g S^2}{2 v_0^2} + g^2 - \frac{g S^2}{2 v_0^2} \cdot 1$$

$$h_m = 20 \operatorname{tg} \alpha - \frac{10 \cdot 400}{2 \cdot 400} + g^2 - \frac{10 \cdot 400}{2 \cdot 400}$$

$$h_m = 20 \operatorname{tg} \alpha - 5 \operatorname{tg}^2 \alpha - 5 \Rightarrow 5 \operatorname{tg}^2 \alpha - 20 \operatorname{tg} \alpha + h_m + 5 = 0$$

$$\operatorname{tg}^2 \alpha - 4 \operatorname{tg} \alpha + \left(\frac{h_m}{5} + 1 \right) = 0$$

$$D = \left(\frac{4}{2} \right)^2 - \frac{h_m}{5} + 1 \Rightarrow 4 + 1 = \frac{h_m}{5} \Rightarrow h_m = 25$$

$$h_m = \frac{v_0^2 \cdot \sin^2 \alpha}{2g} = \frac{400 \cdot \frac{1}{4}}{2 \cdot 10} = 10 \text{ m}$$

$$\operatorname{tg} \alpha = 2$$

$$v = v_0 \cos \alpha \quad 2gh_m = v_0^2 \sin^2 \alpha$$

$$h_m = \frac{g t^2}{2}$$

$$v \cdot \cos \alpha = S \Rightarrow t = \frac{S}{v \cos \alpha} = \frac{S}{v_0 \cos^2 \alpha}$$

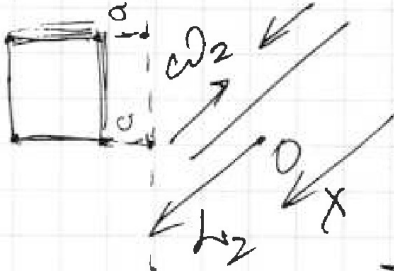
$$v = v_0 \cos \alpha$$

$$h_m = \frac{g S^2}{2 v_0^2 \cos^2 \alpha} \Rightarrow \begin{cases} v_0^2 \cos^2 \alpha = \frac{g S^2}{2 h_m} \\ v_0^2 \sin^2 \alpha = 2 g h_m \end{cases} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow v_0^2 = \frac{g S^2}{2 h_m} + 2 g h_m \Rightarrow 2 h_m v_0^2 = g S^2 + 4 g h_m^2$$

$$4 g h_m^2 - 2 v_0^2 h_m + g S^2 = 0$$

$$v_0^2 = \frac{2 g h_m \pm \sqrt{4 g^2 h_m^2 - 4 g S^2}}{4 g} = \frac{v_0^2}{4 g} = \frac{400}{4 \cdot 10} = 10$$



$$2 \vec{a} \vec{S} = v^2 - \omega^2$$

$$2 g h_2 = \frac{4^2 - 4}{2 \cdot 10} = \frac{16 - 4}{20} = \frac{12}{20} = \frac{6}{10}$$

$$C_p V dT = \delta Q + \Delta U$$

$$C_p = \frac{\delta Q}{dT} + \frac{\Delta U}{dT} =$$

$$v_{\text{св}} = v_{\text{св}} + v_{\text{св}} = 0$$

$$x: 0 = v_{\text{св}x} + U \Rightarrow v_{\text{св}x} = -U$$

$$2 \vec{a} \vec{h} = v^2 - \omega^2$$

$$p dV = \delta Q dT$$

$$\delta Q = \delta Q + \Delta U =$$

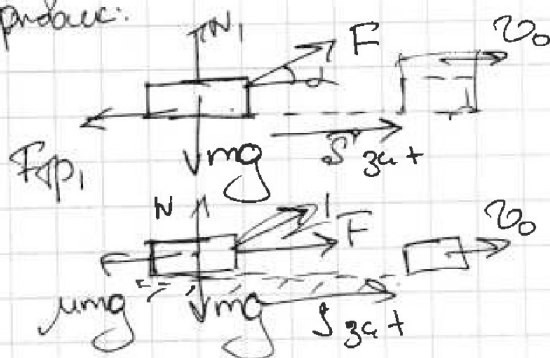
$$C = \frac{3}{2} R - R = \frac{p dV}{dT} + \frac{3 U R dT}{2 dT} = \frac{3}{2} R$$

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

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

черновик:

1.



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

$$F_{sp} = \mu mg - \mu F \sin \alpha$$

$$F_{x1} = F \cos \alpha - \mu mg + \mu F \sin \alpha$$

$$F_{x1} = F_{x2}$$

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

$$1 = \cos \alpha + \mu \sin \alpha \Rightarrow$$

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

2.

$$v_0 = aT$$

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

$$v_0 = \mu g T \Rightarrow$$

$$T = \frac{v_0 \sin \alpha}{(1 - \cos \alpha) g}$$

$C = \text{const}$ -
- постоянный
процесс

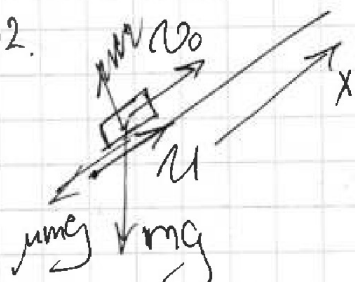
$$p_1 V_1 = \nu R T_1$$

$$p_2 V_2 = \nu R \cdot 4 T_1$$

$$p_2 V_2 = 4 p_1 V_1$$

N2.

2.



в СО пассажира:

$$\vec{v}_{\text{отн}} = \vec{v}_0 - \vec{u}$$

$$1) \text{ x: } v_{\text{отн}x} = v_0 - u = 2 \text{ м/с}$$

$$2) v_{\text{отн}} = 0 \Rightarrow T = \frac{2}{10} = 0,2 \text{ с}$$

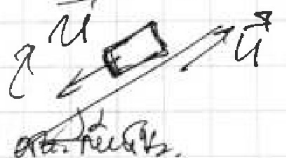
$$v_{\text{отн}} = 0 \Rightarrow v_{\text{отн}} = v_{\text{от}} + v_{\text{отн}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \text{x: } v_{\text{отн}} = u = 2 \text{ м/с}$$

$$v_{\text{отн}}^2 = 2 g S \Rightarrow S = \frac{v_{\text{отн}}^2}{2g} = \frac{4}{2 \cdot 10} = 0,2 \text{ м} = L$$

$$h = \frac{g T^2}{2} = \frac{10 \cdot 0,04}{2} = 0,2 \text{ м} \Rightarrow h = L, \Delta h = 0,16 \text{ м}$$

3.



в СО пассажира

$$L = 0,2 \text{ м}, h = L \sin \alpha = 0,16 \text{ м}$$

$$a = g(\sin \alpha - \mu \cos \alpha) = 6 \text{ м/с}^2$$

$$\Delta h = \frac{1}{3} \cdot 0,8 = \frac{1}{3} \cdot \frac{4}{5} = \frac{4}{15} \text{ м}$$

$$v^2 = 2 a \Delta h \Rightarrow \Delta h = \frac{v^2}{2a} = \frac{1/3}{2 \cdot 6} = \frac{1}{36}$$

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

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

МФТИ

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

Черновик.

$$2^{\frac{3}{2}} = \sqrt[3]{8} = 2\sqrt{2} = 2 \cdot 1,41 \approx 3.$$

№1. 1) $A_{12} =$

$$C_{\mu} = 2R \cdot \Delta T = \Delta Q$$

$$Q_{12} = C_{\mu} \Delta T = 2R \Delta T (4T_1 - T_1) = 6R \Delta T_1 = A_{12} + \Delta U_{12}$$

$$\Delta U_{12} = \frac{3}{2} R \Delta T (4T_1 - T_1) = \frac{9}{2} R \Delta T_1 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow A_{12} = \frac{12 R \Delta T_1}{2} - \frac{9 R \Delta T_1}{2} \Rightarrow \boxed{A_{12} = \frac{3}{2} R \Delta T_1}$$

2.

$$\zeta = 1 - \frac{|Q_{\text{out}}|}{Q_{\text{in}}}$$

$$Q_{\text{out}} = Q_{23} + Q_{31} = -\frac{1}{2} R \Delta T (4T_1 - 2\sqrt{2}T_1) + \frac{5}{2} R \Delta T (T_1 - 2\sqrt{2}T_1)$$

$$= -2 R \Delta T_1 + \sqrt{2} R \Delta T_1 - 5\sqrt{2} R \Delta T_1 + \frac{5}{2} R \Delta T_1 =$$

$$= \frac{R \Delta T_1}{2} - 4\sqrt{2} R \Delta T_1 = R \Delta T_1 \left(\frac{1}{2} - 4\sqrt{2} \right) = \frac{R \Delta T_1}{2} \cdot \left(\frac{1 - 8\sqrt{2}}{2} \right)$$

$$Q_{\text{in}} = Q_{12} = 6 R \Delta T_1$$

$$\zeta = 1 - \frac{6 R \Delta T_1 \left| \frac{1 - 8\sqrt{2}}{2} \right|}{2 \cdot 6 R \Delta T_1} = \frac{8 \times 1,4}{1,4 \times 1,8} = \frac{1,12}{1,26} = \frac{112}{126} = \frac{8}{9} \approx 0,89$$

$$= \frac{12 - 8\sqrt{2} + 1}{12 - 8\sqrt{2}} = \frac{13 - 8\sqrt{2}}{12 - 8\sqrt{2}} \approx \frac{13 - 11,2}{12 - 11,2} = \frac{1,8}{0,8} = 2,25$$

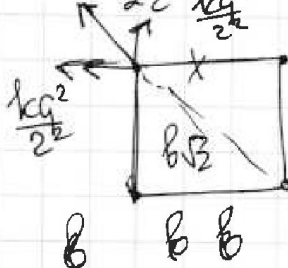
$$\approx \frac{1,2}{0,8} = 1,5$$

№3.

$$P_1 V_1 = R T_1$$

$$P_2 V_2 = R T_2$$

$$1. T_2 = \frac{k g^2 (4 + \sqrt{2})}{42^2}$$

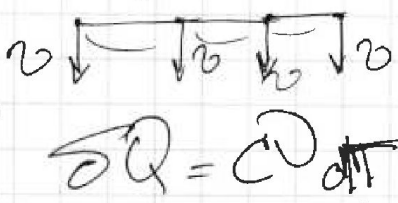


$$T_1 = \frac{k g^2}{2^2} + \frac{k g^2 \cdot \sqrt{2}}{2^2} = \frac{k g^2}{2^2} \left(1 + \frac{\sqrt{2}}{2} \right)$$

2.

$$\frac{4 m v^2}{2} + W_{n2} - W_{n1} = 0$$

$$W_n = \frac{k g^2}{2}$$



$$1 - \frac{5}{2} = -\frac{3}{2}$$

$$2^{\frac{15}{2}} = 2^{\frac{3}{2}}$$

$$\sqrt{2} =$$

$$= 2\sqrt{2}$$

$$8 \cdot 1,4^3$$

$$\times 1,8$$

$$\approx 1,2$$