

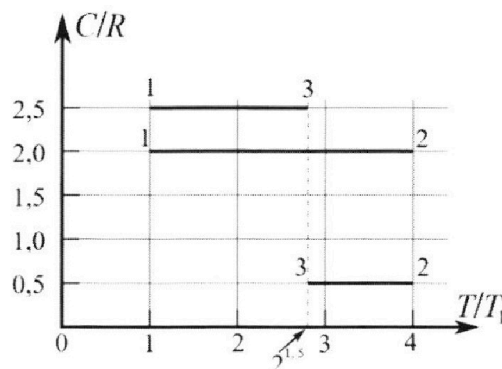
# Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

## Вариант 10-01

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



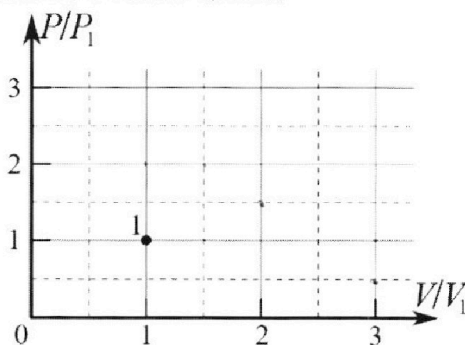
4. Тепловой двигатель работает по циклу 1-2-3-1. Рабочее вещество – один моль одноатомного идеального газа. Для вычисления КПД цикла ученик десятого класса построил график зависимости молярной теплоемкости  $C$  газа (в единицах универсальной газовой постоянной  $R$ ) от температуры в процессах: 1-2, 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  $\eta$  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.



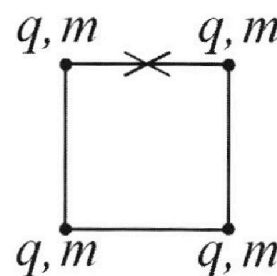
5. Четыре заряженных шарика связаны легкими нерастяжимыми нитями так, что шарики находятся в вершинах квадрата со стороной  $b$  (см. рис.). Масса каждого шарика  $m$ , заряд  $q$ .

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.

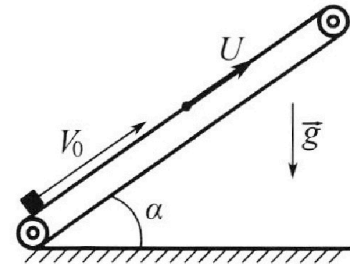
1) Найдите начальную скорость  $V_0$  мяча.

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/с<sup>2</sup>. Мяч движется в плоскости перпендикулярной стенке. Сопротивление во здуха считайте пренебрежимо малым. Все высоты отсчитываются от точки старта.

2. Лента транспортера, предназначенного для подъема грузов, образует с горизонтальной плоскостью угол  $\alpha$  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<sup>2</sup>. 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.

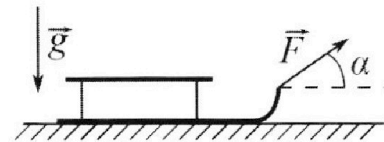
В первом случае санки тянут, действуя постоянной по модулю силой, направленной под углом  $\alpha$  к горизонту (см. рис.).

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  $\mu$  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.



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

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

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

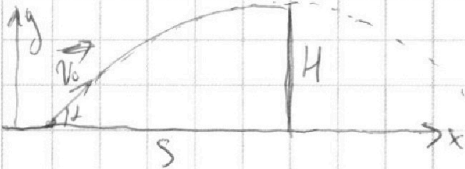
 МФТИ

21

$$1) 0 = v_0 - gT \Rightarrow v_0 = gT = 20 \frac{m}{c}$$

2) Чтобы лет шарик максимально высоко от стены, в момент удара от стены он должен

быть в максимальной высоте своей траектории:



$$(1) x: S = v_0 \cos \alpha \cdot T$$

$$(2) y: H = v_0 \sin \alpha \cdot T - \frac{gT^2}{2}$$

$$(3) T = \frac{v_0 \sin \alpha}{g}$$

$\alpha$  - угол к горизонту

$T$  - время полета от стены

$$\text{Из (1): } S = \frac{v_0^2 \cdot \sin 2\alpha}{2g} \Rightarrow \sin 2\alpha = \frac{2Sg}{v_0^2} = \frac{20 \cdot 20}{20^2} = 1 \Rightarrow \alpha = 45^\circ$$

$$H = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{g} - \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g} = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g} = \frac{20^2 \cdot 1}{20 \cdot 2} = 10 \text{ м}$$

Ответ: 1)  $v_0 = 20 \frac{m}{c}$  2)  $H = 10 \text{ м}$

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

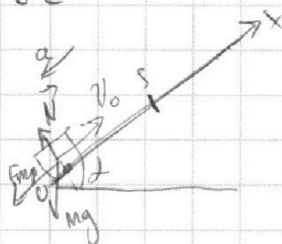
Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

1  2  3  4  5  6  7

**МФТИ**

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

u2



$$F_{\text{frp}} = \mu N = \mu mg \cos \alpha$$

После ~~разрыва~~ какой максимальной путь пройдет коробка до остановки ( $v=0$ ):

ЗСЭ:

$$\cos \alpha = \sqrt{1 - \sin^2 \alpha} = \sqrt{1 - 0,8^2} = 0,6$$

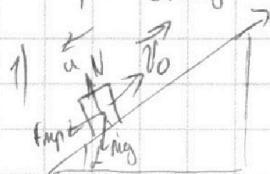
$$mg s_1 \sin \alpha - \frac{mv_0^2}{2} = -\mu mg \cos \alpha s_1$$

= 0,6

$$s_1 g \sin \alpha = \frac{v_0^2}{2} = s_1 (g \sin \alpha + \mu g \cos \alpha)$$

$$s_1 = \frac{v_0^2}{g \cdot 2 (\sin \alpha + \mu \cos \alpha)} = \frac{16}{20 (0,8 + 0,2)} = 0,8 \text{ м}$$

Это меньше, чем  $S=1$  м, поэтому блок сначала пройдет вверх на 0,8 м, а затем скатится на 0,2 м вниз.



$$x: ma = \cos \mu mg + mg \sin \alpha \quad a = g(\mu \cos \alpha + \sin \alpha) = g \left( \frac{1}{3} \cdot \frac{3}{5} + \frac{4}{5} \right) = g$$

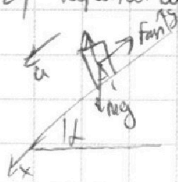
$$y: N = mg \cos \alpha$$

$$s_1 = v_0 t_1 - \frac{at_1^2}{2}$$

$$0,8 = 4t_1 - 5 \cdot t_1^2 \Rightarrow 5t_1^2 - 4t_1 + 0,8 = 0$$

$$D = 16 - 4 \cdot 5 \cdot 0,8 = 0 \Rightarrow t_1 = \frac{4}{2 \cdot 5} = 0,4 \text{ с}$$

2) коробка скатится вниз:  $s_2 = S - s_1 = 0,2$  м



$$ma = mg \sin \alpha - \mu mg \cos \alpha \Rightarrow a = g(\sin \alpha - \mu \cos \alpha) = g(0,8 - 0,2) = 0,6g$$

$$s_2 = \frac{at_2^2}{2} \Rightarrow t_2 = \sqrt{\frac{2s_2}{a}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,2}{0,6g}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,2}{6}} = \sqrt{\frac{2}{30}} = \sqrt{\frac{1}{15}} \text{ с}$$

$$T = t_1 + t_2 = 0,4 + \sqrt{\frac{1}{15}} \text{ с}$$

- 1  2  3  4  5  6  7

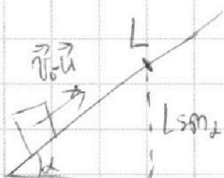
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



2) (прокручено)

2) Перемещен в С.О., взяв начало системы координат. Тогда скорость коробки составит  $\vec{v} = \vec{v}_0 - \vec{u}$ .

Когда в момент  $t_0$  скорость коробки будет равна 0, то в ЛСО скорость будет  $u = 2 \text{ м/с}$



ЗСЗ:

$$mgL \sin \alpha - \frac{m(v_0 - u)^2}{2} = A_{тр}$$

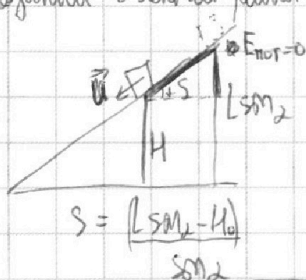
$$mgL \sin \alpha - \frac{m(v_0 - u)^2}{2} = -\mu mg \cos \alpha \cdot L$$

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

$$Lg(\sin \alpha + \mu \cos \alpha) = \frac{(v_0 - u)^2}{2}$$

$$L = \frac{(v_0 - u)^2}{2g(\sin \alpha + \mu \cos \alpha)} = \frac{(4 - 2)^2}{2 \cdot 9.8(0.8 + 0.2)} = \frac{2^2}{20} = \frac{1}{5} = 0.2 \text{ м}$$

3) Когда в ЛСО скорость коробки равна 0, но скорость в С.О., взятый с началом равна  $u = 2 \text{ м/с}$  и направлена вниз, вверх левее



ЗСЗ:

$$mgL \sin \alpha \Rightarrow mg u_0 + \frac{m u^2}{2} - mgL \sin \alpha = A_{тр} - \mu mg \cos \alpha \cdot s$$

$$g u_0 + \frac{u^2}{2} - gL \sin \alpha = -\mu g \cos \alpha \frac{L \sin \alpha - u_0}{\sin \alpha}$$

$$g u_0 + \mu g \cos \alpha L - \mu g \frac{u_0}{\sin \alpha} = -\frac{u^2}{2} + gL \sin \alpha$$

$$u_0 g \left(1 - \frac{\mu}{\sin \alpha}\right) = -\frac{u^2}{2} + gL(\sin \alpha - \mu \cos \alpha)$$

$$u_0 = \frac{-u^2}{2g \left(1 - \frac{\mu}{\sin \alpha}\right)} + \frac{L(\sin \alpha - \mu \cos \alpha)}{\left(1 - \frac{\mu}{\sin \alpha}\right)}$$

$$= \frac{-4}{20 \left(1 - \frac{0.2}{0.8}\right)} + \frac{0.2(0.8 - 0.2)}{(1 - 0.25)}$$

$$= -\frac{4}{15} + \frac{4}{25} = -\frac{8}{75} \text{ м}$$

$$u = L \sin \alpha + u_0 =$$

$$= \frac{4}{25} - \frac{8}{75} = \frac{4}{75} \text{ м}$$

Ответ: 1)  $4 + \sqrt{\frac{1}{15}}$  с 2)  $L = 0.2 \text{ м}$  3)  $u = \frac{4}{75} \text{ м}$

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

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

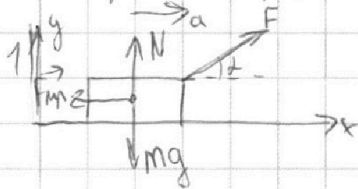
1  2  3  4  5  6  7

МФТИ

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

13

1) Как начальная скорость ролика, чтобы развить скорость  $v$  за определенное время, нужно иметь определенное ускорение  $\Rightarrow$  в формулах ускорения определенное

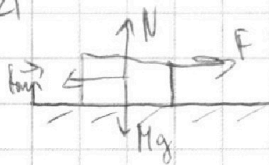


$$x: ma_x = F \cos \alpha - \mu N$$

$$y: mg = N + F \sin \alpha \Rightarrow N = mg - F \sin \alpha$$

$$a_x = \frac{F \cos \alpha - \mu mg + \mu F \sin \alpha}{m}$$

2)



$$x: ma_2 = F - \mu N \Rightarrow a_2 = \frac{F - \mu mg}{m}$$

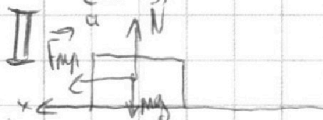
$$y: N = mg$$

$$a_1 = a_2 \Rightarrow F - \mu mg = F \cos \alpha - \mu mg + \mu F \sin \alpha \Rightarrow F = F \cos \alpha + \mu F \sin \alpha$$

Получим:

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

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



1)  $a = \frac{\mu mg}{m} = \mu g$  2)  $v = v_0 - aT$

Ответ:  $T = \frac{v_0}{a} = \frac{v_0}{g} \cdot \frac{\sin \alpha}{1 - \cos \alpha}$

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!

уч

$$Q_1 = Q_{12} = 2R \cdot 3T_1V$$

$$2) \eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}, \text{ где: } Q_2 = Q_{23} + Q_{31} = 0,5R(4-2\sqrt{2})T_1 + 2,5R(2\sqrt{2}-1)T_1 = \\ = R(2-\sqrt{2})T_1 + 2,5R(2\sqrt{2}-1)T_1$$

$$\eta = \frac{6RT_1V - (2-\sqrt{2})RT_1V - 2,5RT_1V(2\sqrt{2}-1)}{6RT_1V} = \frac{6-2+\sqrt{2}-2,5\sqrt{2}+2,5}{6} = \\ = \frac{6,5-4\sqrt{2}}{6} \approx 0,2 \Rightarrow \underline{20\%} \quad \text{Ответ: 2) } \eta = 20\%$$

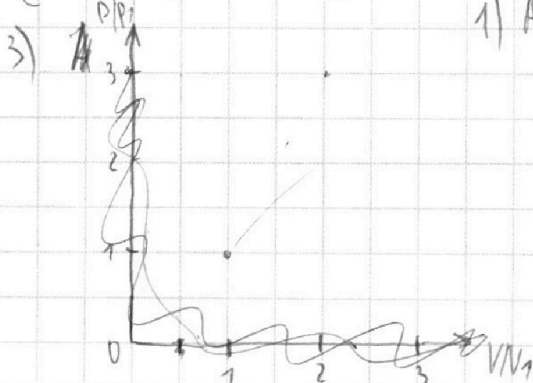
$$1) Q_{12} = \Delta U_{12} + A_{12} \Rightarrow A_{12} = Q_{12} - \Delta U_{12} \Rightarrow A_{12} = 3VRT_1(2 - \frac{3}{2}) = \frac{3}{2}VRT_1 = \frac{3}{2} \cdot 18,31 \cdot 400 =$$

$$Q_{12} = \nu C_{12} \Delta T = 2R \cdot 3T_1V \quad \nearrow$$

$$= 4986 \text{ Дж}$$

$$\Delta U_{12} = \frac{3}{2} \nu R \Delta T = \frac{3}{2} \nu R \cdot 3T_1$$

Ответ: 1)  $A_{12} = 4986 \text{ Дж}$



$$1) A_{12} = \frac{3}{2} \nu RT_1 = \frac{3}{2} p_1 V_1 \quad \text{Так как известно только давление и объём}$$

у процесса 1-2

$$A_{23} = -\frac{1}{2} \nu RT_1(4-2\sqrt{2}) + \frac{3}{2} \nu RT_1(4-2\sqrt{2}) = \nu RT_1(4-2\sqrt{2})$$

$$A_{31} = -\frac{5}{2} \nu RT_1(2\sqrt{2}-1) + \frac{3}{2} \nu RT_1(2\sqrt{2}-1) = -\nu RT_1(2\sqrt{2}-1)$$

$$A_{31} =$$

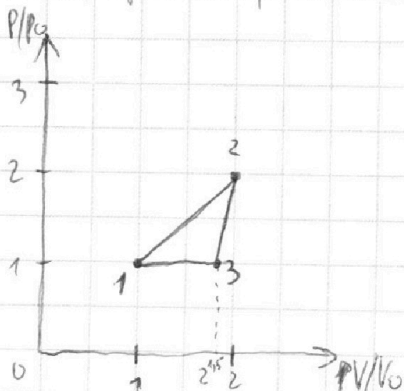
$$= -\nu RT_1(2\sqrt{2}-1)$$

↓  
Всего совершена работа

2) В процессе 1-2 температура увеличилась в 4 раза  $\Rightarrow PV$  увеличилась в 4 раза

в процессе 1-3 температура увеличилась в  $2\sqrt{2}$  раза (по сравнению с  $T_1$ )  $\Rightarrow PV$  увеличилась в  $2\sqrt{2}$  раза

Поэтому утверждение, что во всех процессах совершается работа  $\Rightarrow V \neq \text{const}$ .



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

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

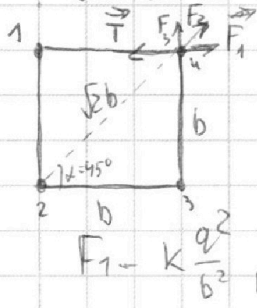
1  2  3  4  5  6  7



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

25

1) В силу симметрии все перемещения имеют одинаковые  
 Исследуем силу Купера, действующую на шарик

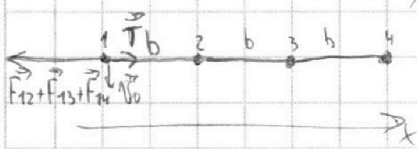


$$F = F_1 + F_2 \cos 45^\circ = F \left( 1 + \frac{\sqrt{2}}{2} \right) = F \cdot 2.707$$

$$T = F_1 + F_2 \cos 45^\circ = k \frac{q^2}{b^2} + \frac{kq^2 \sqrt{2}}{2b^2} = \frac{kq^2}{b^2} \left( 1 + \frac{\sqrt{2}}{2} \right)$$

$$F_1 = k \frac{q^2}{b^2}, F_2 = \frac{kq^2}{2b^2}$$

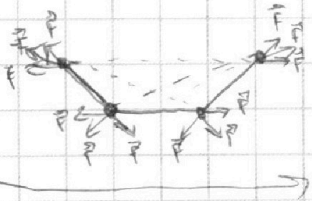
2) Найдем скорость шарика (используем закон сохранения энергии относительно центра)



$$\frac{a_{\text{уп}}}{b} = T \quad T = k \frac{q^2}{b^2} + k \frac{q^2}{4b^2} + k \frac{q^2}{9b^2} = \frac{kq^2}{b^2} \cdot \frac{49}{36}$$

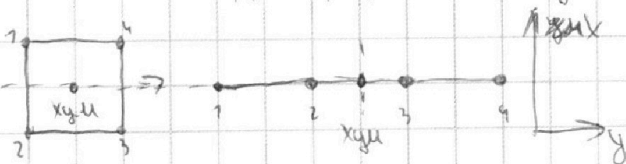
$$v = \sqrt{\frac{b \cdot T}{m}} = \sqrt{\frac{kq^2 \cdot 49}{mb \cdot 36}} = \frac{7}{6} q \sqrt{\frac{k}{mb}}$$

3) Рассмотрим систему в центральный момент:



Видно, что в силу симметрии результирующая сила на центральный шарик равна 0  $\Rightarrow$  система будет двигаться только в горизонтальном направлении

Внешних сил, действующих на систему нет  $\Rightarrow$  центр масс не будет смещаться:



Положим шарик в центре по оси x:

$$x = \frac{b}{2}$$

По оси y:  $y = b$

$$\Rightarrow d = \sqrt{\frac{b^2}{4} + b^2} = \frac{\sqrt{5}}{2} b$$

Ответ: 1)  $T = \frac{kq^2}{b^2} \left( 1 + \frac{\sqrt{2}}{2} \right)$  2)  $v = \frac{7}{6} q \sqrt{\frac{k}{mb}}$  3)  $d = \frac{\sqrt{5}}{2} b$



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

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

- 1  2  3  4  5  6  7



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



$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$$

$$Q_1 = Q_{31} + Q_{12} = 2R \cdot 3T_1$$

$$Q_2 = Q_{31} + Q_{23} = 2,5RT_1(\sqrt{8}-1) + 0,5RT_1(4-\sqrt{8}) = 2RT_1\sqrt{8} - 0,5RT_1$$

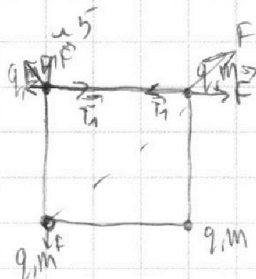
$$\eta = \frac{2R \cdot 3T_1 + 0,5RT_1 - 2,5RT_1\sqrt{2}}{2R \cdot 3T_1} = \frac{6 + 0,5 - 4\sqrt{2}}{6} \approx 0,2 \Rightarrow 20\%$$

$1,4 - 0,9 \approx 0,2 \Rightarrow 20\%$

$$\Delta U = \frac{3}{2} \nu R \Delta T = C_{12} \Delta T$$

$$\frac{3}{2} (\nu_2 R T_2 - \nu_1 R T_1) = C_{12} T_2 - C_{12} T_1$$

$$p_2 V_2 - p_1 V_1 = \frac{2}{3} \nu R T_1$$



$T_1 = T_2 = T_3 = T_4 = T$

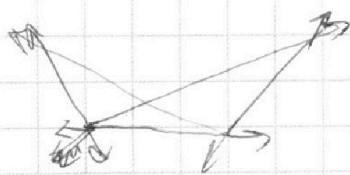
$F_1 T = k \nu_1 R T = k \nu_2 R T$

$A_{12} = \frac{3}{2} p_1 V_1$

$C_{12}$

$3 = 3 - 1 \cdot 6 \cdot \frac{1}{2}$

831  
6  
4986



$A_{23} = Q - \Delta U = \frac{1}{2} R (4 - 2\sqrt{2}) V - \frac{3}{2} \nu R (4 - 2\sqrt{2})$

$A_{31} = 2,5 \nu R (2\sqrt{2} - 1) - \frac{3}{2} \nu R T_1 (2\sqrt{2} - 1) = 2 \nu R (2 - \sqrt{2}) T_1$

$$\nu R T_1 (2\sqrt{2} - 1)$$

$$4 \nu R T_1 - 2\sqrt{2} \nu R T_1$$

$$2\sqrt{2} - 1$$

$$4 - 2\sqrt{2}$$

$$49$$

$$25 + 49$$

$$1 + \frac{\sqrt{2}}{4}$$



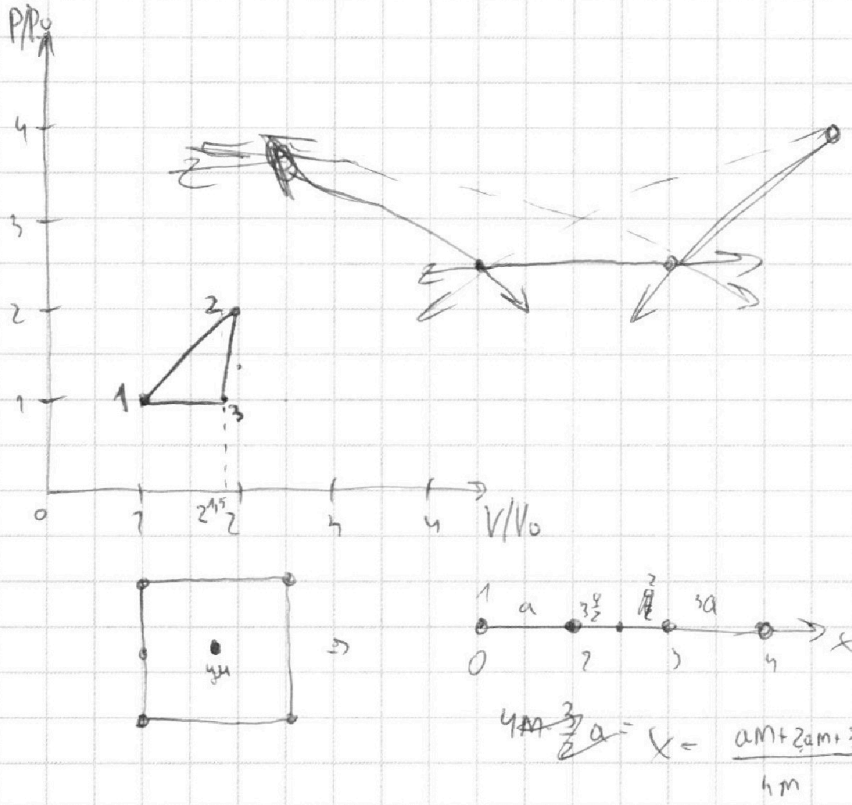
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**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
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>



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

