

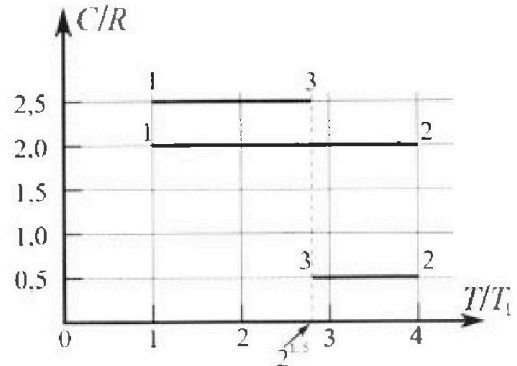
# Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

## Вариант 10-01

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



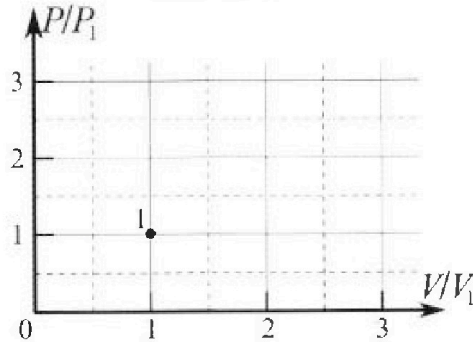
4. Тепловой двигатель работает по циклу 1-2-3-1. Рабочее вещество – один моль одноатомного идеального газа. Для вычисления КПД цикла ученик десятого класса построил график зависимости молярной теплоемкости  $C$  газа (в единицах универсальной газовой постоянной  $R$ ) от температуры в процессах: 1-2,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



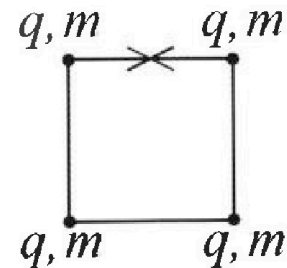
1) Найдите работу  $A_{1-2}$  газа в процессе 1-2.

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

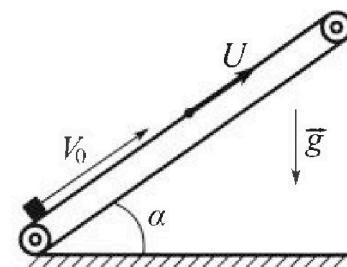
Во всех задачах, в ответах допустимы обыкновенные дроби и радикалы.



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 воздуха 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

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

МФТИ



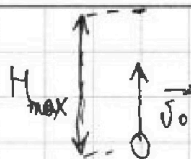
1)  $v_{H \max}$  макс высоте = 0  $\Rightarrow$

$$\Rightarrow v_0 - gt \uparrow (t \text{ подъема}) = v_H = 0$$

$$v_0 = gt \uparrow$$

~~$v_0 = gt$~~

$$t \uparrow = T \Rightarrow v_0 = gT \Rightarrow v_0 = 10 \cdot 2 = 20 \text{ (м/с)}$$



2) мы знаем что высота удара

мяча о стенку ( $h_{\max}$ ) максима-

льна  $\Rightarrow$  самый эффективный

удар - удар, когда мяч касается

стенки  ~~$v_x$~~  на максимальной высоте подъема  $\Rightarrow$

$\Rightarrow v_x$  ( $v_x$  ~~в момент удара~~)  $v_y$  ( $v$  по вертикали) мяча в момент

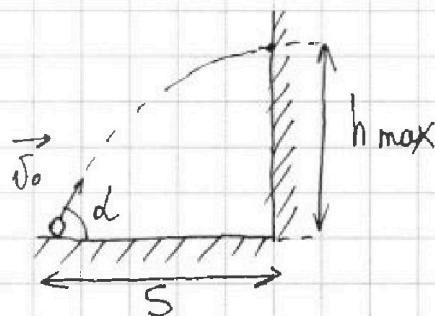
удара = 0.

$$t \text{ (время до удара)} \cdot v_{0x} \text{ (начальная } v \text{ по горизонтали)} = S$$

$$t \cdot v_{0y} - \frac{gt^2}{2} = h_{\max}$$

при этом  $t = \frac{v_{0y}}{g}$  (так  $v_y$  в момент удара = 0)  $\Rightarrow$

$$\Rightarrow \begin{cases} \frac{v_{0y} v_{0x}}{g} = S \\ \frac{v_{0y}^2}{g} - \frac{g \cdot v_{0y}^2}{2g^2} = h_{\max} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} S = \frac{v_{0y} v_{0x}}{g} \\ h_{\max} = \frac{v_{0y}^2}{2g} \end{cases}$$



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!

Из наших соображений  $\Rightarrow$  Если бы стекла отсутствовало, то дальность полета  $L$  составила бы  $2S$ , т.к. сопротивление воздуха мало  $h_{\max}$  достигается в середине полета.

$$L = 40 \text{ м}$$
$$L = v_{0x} \cdot t_{\text{полета}} = 2t$$

$$h_{\max} = \frac{v_{0y}^2}{2g}$$

$$v_{0x} = v_0 \cdot \cos \alpha$$

$$v_{0y} = v_0 \cdot \sin \alpha$$

$$h_{\max} = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g}$$

$$L = v_0 \cos \alpha \cdot \frac{2v_0 \sin \alpha}{g} = \frac{2v_0^2 \sin \alpha \cos \alpha}{g} = 40$$

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

$$\Rightarrow \sqrt{\sin^2 \alpha - \sin^4 \alpha} = \frac{1}{2} \Rightarrow \sin^2 \alpha - \sin^4 \alpha = \frac{1}{4}$$

$$\Rightarrow -t^2 + t - \frac{1}{4} = 0 \Rightarrow t^2 - t + \frac{1}{4} = 0, D = 1 - 1 = 0, t = \frac{1}{2} \Rightarrow \sin^2 \alpha = \frac{1}{2}$$

$$\Rightarrow \sin \alpha = \frac{1}{\sqrt{2}} \Rightarrow \alpha = 45^\circ \Rightarrow h_{\max} = \frac{20^2 \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{2}}\right)^2}{2 \cdot 10} = \frac{400 \cdot \frac{1}{2}}{20} = 10 \text{ (м)}$$

Ответ:  $v_0 = 20 \text{ м/с}$ ,  $h_{\max} = 10 \text{ м}$

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!

1)  $m$  - масса коробки

$\vec{R}$  (результатирующая всех сил,  
прикладанных к коробке) =  $\vec{N} + \vec{F}_{\text{тр}} + m\vec{g}$

$$\begin{cases} \text{Ox: } F_{\text{тр}} + mg \sin \alpha = ma, \text{ где} \\ a - \text{ускорение коробки} \end{cases}$$

$$\begin{cases} \text{Oy: } N - mg \cos \alpha = 0 \end{cases}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} \mu N + mg \sin \alpha = ma \\ N = mg \cos \alpha \end{cases}$$

$$\Rightarrow \mu mg \cos \alpha + mg \sin \alpha = ma$$

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

$$S_n = v_0 T - \frac{aT^2}{2} \Rightarrow aT^2 - 2v_0 T + 2S_n = 0 \quad \text{где } S_n - \text{пройденный путь.}$$

$$\Rightarrow g(\mu \sqrt{1 - \sin^2 \alpha} + \sin \alpha) T^2 - 2v_0 T + 2S_n = 0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 10 \cdot \left( \frac{1}{3} \sqrt{1 - 0,8^2} + 0,8 \right) T^2 - 2 \cdot 4 T + 2 \cdot 1 = 0$$

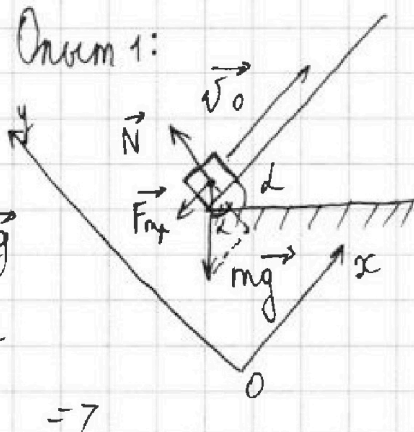
Перед решением уравнения проверим, успеет ли коробка пройти

$S_n = S = 1 \text{ м}$  перед <sup>1-ой</sup> остановкой:

$$\begin{cases} S_{\text{осм}}(S_{\text{до } 1\text{-ой остановки}}) = v_0 t_{\text{осм}} - \frac{a t_{\text{осм}}^2}{2} \Rightarrow \\ t_{\text{осм}} = \frac{v_0}{a} \end{cases}$$

$$\Rightarrow S_{\text{осм}} = \frac{v_0^2}{a} - \frac{a \cdot v_0^2}{2a^2} = \frac{v_0^2}{2a} = \frac{v_0^2}{2 \cdot g(\mu \sqrt{1 - \sin^2 \alpha} + \sin \alpha)}$$

$$S_{\text{осм}} = \frac{4^2}{2 \cdot 10 \cdot \left( \frac{1}{3} \sqrt{1 - 0,8^2} + 0,8 \right)} = \frac{16}{2 \cdot 10 \cdot \left( \frac{0,6}{3} + 0,8 \right)} = \frac{16}{2 \cdot 10 \cdot 1} = 0,8 \text{ м}$$



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!

$S=1\text{ м}$  коробка пойдет выше до 1-ой остановки и мы можем решить полученное уравнение

$$10 \cdot \left( \frac{1}{3} \sqrt{1-0,8^2} + 0,8 \right) T^2 - 2 \cdot 4 T + 2 \cdot 1 = 0$$

$$10 \cdot \left( \frac{0,6}{3} + 0,8 \right) T^2 - 8 T + 2 = 0 \Rightarrow 10 T^2 - 8 T + 2 = 0 \Rightarrow$$

$$= 7,5 T^2 - 4 T + 1 = 0, \quad D = 16 - 20$$

коробка не успеет пройти  $S=1\text{ м}$  до 1-ой остановки  $\Rightarrow S_{\text{ост}} = 0,8\text{ м}$ , м.к.

то  $S' (S' = S - S_{\text{ост}}) = 0,2\text{ м}$

$$S' = \frac{at'^2}{2} \Rightarrow t' = \sqrt{\frac{2S'}{a}}$$

$\left( t' \text{ — время } - t \text{ прохождения } S' \right) + \frac{at'^2}{2}$   
 $v_0 = 0$  в момент остановки

$$\Rightarrow S' = \frac{at'^2}{2} \Rightarrow t' = \sqrt{\frac{2S'}{a}} \Rightarrow t' = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,2}{10}} =$$

$$a = 10 \cdot \left( \frac{1}{3} \sqrt{1-0,8^2} + 0,8 \right) = 10 \text{ м/с}^2 \Rightarrow \sqrt{0,04} = 0,2 \text{ (с)}$$

$$T = t_{\text{ост}} + t' = \frac{v_0}{a} + t' \Rightarrow T = \frac{4}{10} + 0,2 = 0,6 \text{ (с)}$$

2) Мы понимаем, что пока коробка движется "вверх" до предела эластичности,  $F_{\text{тр}}$  будет "тянуть" её вниз.

После того, как коробка станет  $= 0$ ,  $F_{\text{тр}}$  будет тянуть её "вверх"

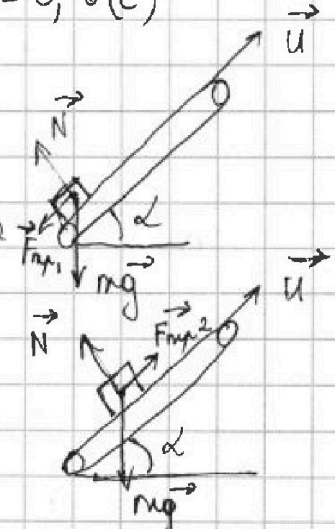
$$F_{\text{тр}} = \mu \cdot N \Rightarrow mg \cos \alpha \Rightarrow F_{\text{тр}1} = F_{\text{тр}2} = F_{\text{тр}} \text{ из первого опыта}$$

$\downarrow$  const

Сним 2:

до момента, когда коробка не станет  $= 2\text{ м/с}$

после:



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!

$\Rightarrow a_1$  (до момента когда  $v$  коробки  $v = u$ ) =  $a$  из первого опыта  $= 10 \text{ м/с}^2$

$$\begin{cases} L = v_0 t_1 - \frac{a t_1^2}{2} \\ t_1 = \frac{v_0 - u}{a} \end{cases} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow L = \frac{v_0^2 - v_0 u}{a} - \frac{a(v_0 - u)^2}{2a^2} = \frac{v_0(v_0 - u)}{a} - \frac{(v_0 - u)^2}{2a}$$

$$L = \frac{4 \cdot (4 - 2)}{10} - \frac{(4 - 2)^2}{2 \cdot 10} = \frac{8}{10} - \frac{4}{20} = \frac{8}{10} - \frac{2}{10} = \frac{6}{10} \text{ (м)}$$

3) Рассмотрим движение коробки после  $t_1$ : вверх.

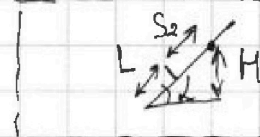
$a_2$  (а коробки после  $t_1$ ) =  $a_{\text{max}}$  (в результате  $F_{\text{max}}$ ) -  $a_{\text{up}}$  (в результате  $F_{\text{up}}$ )  $\Rightarrow a_2 = g \sin \alpha - \mu g \cos \alpha =$

$$\Rightarrow a_2 = 10 \cdot 0,8 - \frac{1}{3} \cdot 10 \cdot \sqrt{1 - 0,8^2} = \frac{8}{3} - 2 = \frac{2}{3} \text{ (м/с}^2)$$

(при этом  $a_2$  направлена „вниз“)

$$S_2 (S \text{ после } t_1 \text{ до 1-ой остановки}) = u t_2 - \frac{a_2 t_2^2}{2}$$
$$\left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} \Rightarrow S_2 = \frac{u^2}{a_2} - \frac{a_2 \cdot u^2}{2a_2^2} = \frac{u^2}{2a_2}$$
$$t_2 = \frac{u}{a_2}$$

$$S_2 = \frac{2^2}{2 \cdot \frac{2}{3}} = \frac{4}{\frac{4}{3}} = \frac{1}{3}$$



$$H = (L + S_2) \cdot \sin \alpha \Rightarrow H = \left( \frac{6}{10} + \frac{1}{3} \right) \cdot \frac{8}{10} = \frac{18 + 10}{30} \cdot \frac{8}{10} =$$
$$= \frac{28}{30} \cdot \frac{8}{10} = \frac{14}{15} \cdot \frac{4}{5} = \frac{56}{75}$$

$$\text{Ответ: } T = \frac{6}{10} \text{ с}, L = \frac{6}{10} \text{ м}, H = \frac{56}{75} \text{ м}$$

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!



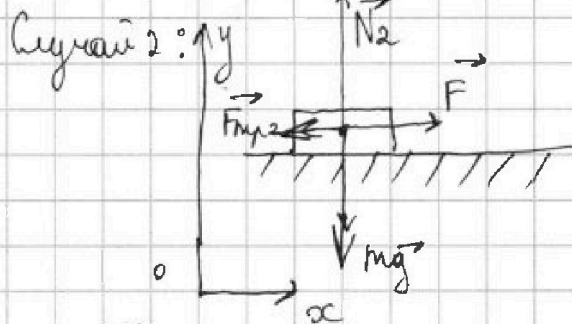
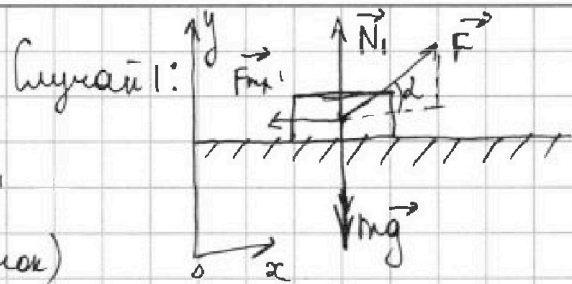
1) В первом случае  $\vec{R}_1$  (результирующая всех сил приложенных к санкам) +  $\vec{N}_1 + \vec{F} + m\vec{g} + \vec{F}_{\text{тр}1}$

$$Ox: F \cdot \cos \alpha - F_{\text{тр}1} = ma_1 \quad (m - \text{масса санок})$$

$$Oy: N_1 + F \sin \alpha - mg = 0$$

$$a_1 = \frac{F \cos \alpha - F_{\text{тр}1}}{m}$$

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



Во втором случае  $\vec{R}_2 = \vec{N}_2 + \vec{F} + m\vec{g} + \vec{F}_{\text{тр}2}$

$$Ox: F - F_{\text{тр}2} = ma_2 \quad \Rightarrow \quad a_2 = \frac{F - F_{\text{тр}2}}{m}$$

$$Oy: N_2 - mg = 0 \quad \Rightarrow \quad N_2 = mg$$

Время и конечная скорость разгона саночков в обоих случаях  $\Rightarrow$

$$\Rightarrow a_1 = a_2 \Rightarrow \frac{F \cos \alpha - F_{\text{тр}1}}{m} = \frac{F - F_{\text{тр}2}}{m} \Rightarrow F \cos \alpha - F_{\text{тр}1} = F - F_{\text{тр}2}$$

$$F_{\text{тр}} = \mu N$$

$$F_{\text{тр}1} = \mu (mg - F \sin \alpha); \quad F_{\text{тр}2} = \mu mg$$

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

$$\Rightarrow \mu (mg) - \mu (mg - F \sin \alpha) = F - F \cos \alpha \Rightarrow \mu = \frac{F - F \cos \alpha}{mg - mg + F \sin \alpha}$$

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

2) Найти  $a_2$  (ускорение санок после прекращения



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 checked="" 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!

действует сила  $F$ :

$$\vec{R}_3 = \vec{N}_3 + m\vec{g} + \vec{F}_{\text{тр}3}$$

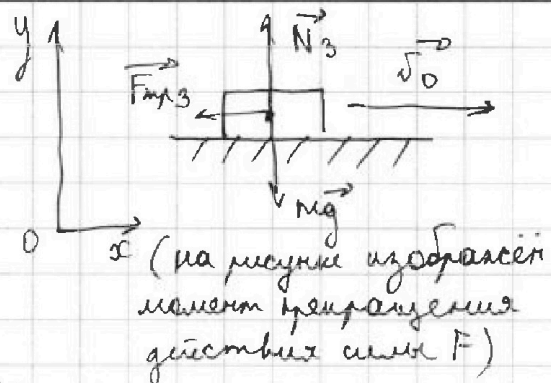
$$Ox: F_{\text{тр}3} = ma_3$$

$$Oy: N_3 - mg = 0 \Rightarrow N_3 = mg \quad || \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \mu N_3 = ma_3 \Rightarrow \mu mg = ma_3 \Rightarrow a_3 = \mu g$$

$$T = \frac{v_0}{a_3} \Rightarrow T = \frac{v_0}{\mu g} = \frac{v_0}{g \left( \frac{1 - \cos \alpha}{\sin \alpha} \right)} = \frac{v_0 \sin \alpha}{g - g \cos \alpha}$$

$$\text{Ответ: } \mu = \frac{1 - \cos \alpha}{\sin \alpha}, \quad T = \frac{v_0 \sin \alpha}{g - g \cos \alpha}$$



На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

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

$$1) \text{ Процесс } 1-2: \Delta T_{12} = 3T_1; C_{12} = 2R (\text{мольная теплоемкость}) \Rightarrow$$
$$\Rightarrow \frac{Q_{12}}{\Delta T_{12}} = \frac{Q_{12}}{3T_1} = 2 \nu R \Rightarrow \frac{A_{12} + \Delta U_{12}}{3T_1} = 2 \nu R \Rightarrow$$

$$\Rightarrow A_{12} = 6 \nu R T_1 - \Delta U_{12} = 6 \nu R T_1 - \frac{i}{2} \nu R \Delta T_{12} = 6 \nu R T_1 - \frac{i}{2} \nu R \cdot 3T_1$$

$$\nu = 1 \text{ моль}, i = 3, T_1 = 400^\circ \text{K}, R = 8,31 \text{ Дж/моль}\cdot\text{K}$$

$$\Downarrow$$
$$A_{12} = 6 \cdot 1 \cdot 8,31 \cdot 400 - \frac{3}{2} \cdot 1 \cdot 8,31 \cdot 3 \cdot 400 =$$
$$= 8,31 \cdot 400 \left( 6 - \frac{3 \cdot 3}{2} \right) = 1,5 \cdot 400 \cdot 8,31 = 600 \cdot 8,31 =$$
$$= 4986 \text{ (Дж)}$$

$$2) \frac{1}{\eta} = \frac{Q_{12} + Q_{23} + Q_{31}}{A_{12} + A_{23} + A_{31}} \Rightarrow \eta = \frac{A_{12} + A_{23} + A_{31}}{Q_{12} + Q_{23} + Q_{31}}$$

$$\frac{Q_{12}}{\Delta T_{12}} = A_{12} + \Delta U_{12} \Rightarrow \frac{i}{2} \nu R \Delta T = \Delta U_{12} = \frac{3}{2} R \cdot 3T_1 \Rightarrow \Delta U_{12} = \frac{3 \cdot 8,31 \cdot 3 \cdot 400}{2}$$
$$= 9 \cdot 8,31 \cdot 200 =$$

$$\frac{Q_{12}}{\Delta T_{12}} = 2 \nu R \Rightarrow Q_{12} = 2 \nu R \cdot 3T_1 \Rightarrow Q_{12} = 2 \cdot 1 \cdot 8,31 \cdot 3 \cdot 400 =$$
$$= 6 \cdot 400 \cdot 8,31 = 19944 \text{ (Дж)}$$

$$\frac{Q_{23}}{\Delta T_{23}} = C_{23} \cdot \nu = 0,5 \nu R \Rightarrow Q_{23} = \frac{1}{2} \nu R \cdot T_1 \cdot (4 - 2^{1,5}) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow Q_{23} = \frac{1 \cdot 8,31 \cdot 400 \cdot (4 - 2^{1,5})}{2} = 1662 \cdot (4 - 2^{1,5})$$

$$A_{23} = Q_{23} - \Delta U_{23} \Rightarrow A_{23} = \frac{1}{2} \nu R T_1 (4 - 2^{1,5}) - \frac{3}{2} \cdot 1 \cdot 8,31 \cdot T_1 (4 - 2^{1,5})$$

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

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,

решение которой представлено на странице:



1  2  3  4  5  6  7

**МФТИ**

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

$$\Rightarrow A_{23} = -3324 \cdot (4 - 2^{15})$$

$$\frac{Q_{31}}{\Delta T_{31}} = C_{31} \cdot \nu \Rightarrow Q_{31} = 2,5 R \nu \cdot \Delta T_{31} = 2,5 \nu R \cdot T_1 \cdot (2^{15} - 1) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow Q_{31} = 2,5 \cdot 1 \cdot 8,31 \cdot 400 \cdot (2^{15} - 1) = 8310 \cdot (2^{15} - 1) \quad (\text{Дж})$$

$$A_{31} = Q_{31} - \Delta U_{31} = 2,5 \nu R T_1 (2^{15} - 1) - \frac{3}{2} \nu R T_1 (2^{15} - 1) =$$

$$= \frac{2,5}{2,5 - \frac{3}{2}} \cdot \frac{Q_{31}}{2,5} \Rightarrow \frac{A_{31}}{Q_{31}} = \frac{2,5 - \frac{3}{2}}{2,5} Q_{31} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow A_{31} = \frac{5 - \frac{3}{2}}{\frac{5}{2}} Q_{31} = \frac{2}{5} Q_{31} \Rightarrow A_{31} = 0,4 \cdot 8310 \cdot (2^{15} - 1) =$$

$$= 3324 \cdot (2^{15} - 1) \quad (\text{Дж})$$

$$\eta = \frac{A}{Q} = \frac{19944 + 1662 \cdot (4 - 2^{15}) + 8310 \cdot (2^{15} - 1)}{4986 - 3324(4 - 2^{15}) + 3324(2^{15} - 1)}$$

$$= \frac{19944 + 6648 - 1662\sqrt{8} + 8310\sqrt{8} - 8310}{4986 - 13296 + 3324\sqrt{8} + 3324\sqrt{8} - 3324}$$

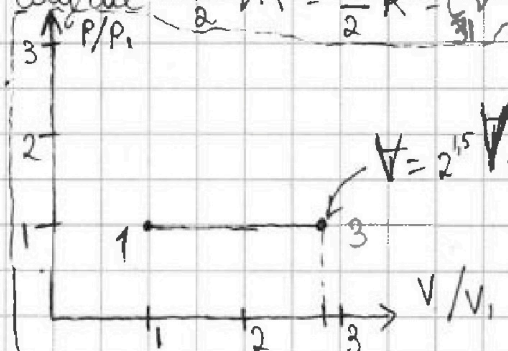
$$= \frac{18282 + 6648\sqrt{8}}{6648\sqrt{8} - 11634} \Rightarrow \eta = \frac{6648\sqrt{8} - 11634}{18282 + 6648\sqrt{8}}$$

$$3) C_{p,n} (\text{кво газа при } p = \text{const}) = \frac{Q}{\Delta T} = \frac{A + \Delta U}{\Delta T} = \frac{p \Delta V + \frac{i}{2} \nu R \Delta T}{\Delta T} =$$

$$= \nu R \frac{\Delta V}{\Delta T} + \frac{i}{2} \nu R \frac{\Delta T}{\Delta T} = \text{в нашем случае} = \frac{5}{2} \nu R = \frac{5}{2} R = C_{p,m}$$

$\Rightarrow$  процесс 3-1 - изохорный

$$\Delta U_{31} = p_1 \cdot \Delta V$$



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!

$$U_1 = \sqrt{RT_1} \Rightarrow U_1 = 1,8,31 \cdot 400 = 3324$$

$$U_3 = \sqrt{RT_3} \Rightarrow U_3 = 1,8,31 \cdot 400 \cdot \sqrt{8} = 3324\sqrt{8} \quad || \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \text{м.к } p_1 = p_3 \Rightarrow V_3 = V_1 \sqrt{8} \quad \cancel{= 3324}$$

$$\text{Ответ: } A_{12} = 4986 \text{ Дж, } l = \frac{6648\sqrt{8} - 11634}{18282 + 6648\sqrt{8}}$$



На одной странице можно оформлять только одну задачу.

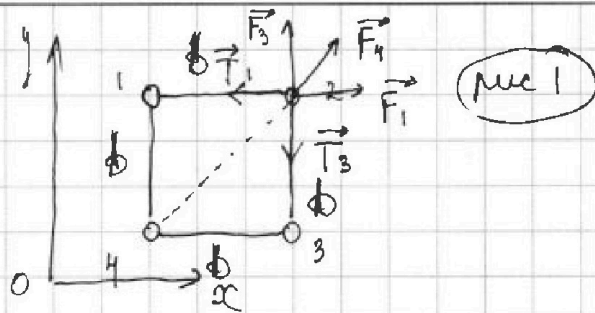
Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

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!

1) Изобразим на рисунке  
силы, действующие на 1 шарик,  
при этом не будем изображать



силу тяжести, т.к. для решения пункта 1 она не нужна, т.к.  
все шарики летят с одинаковой скоростью и  $F_{тяж}$  не влияет  
на направление их движения.

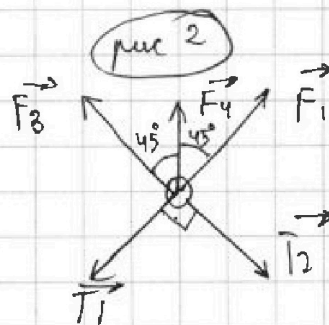
Относительно других шариков, шарик 2 находится в покое  $\Rightarrow$

$\Rightarrow \vec{R}$  (результатирующая всех сил, действующих на шарик, за  
исключением  $F_{тяж}$ ) =  $\vec{F}_3$  (взаимодействие с шариком 3) +  
+  $\vec{F}_4$  (с шариком 4) +  $\vec{F}_1$  (... с шариком 1) +  $\vec{T}_1$  (натяжение нити  
между шариками 12) +  $\vec{T}_3$  (... шариками 23)

~~Вывод~~ Найдем сумму  $\vec{F}_3, \vec{F}_4$  и  $\vec{F}_1$ : ясно что их резуль-  
тирующая направлена от шарика 4, т.к. горизонталь-  
ные составляющие сил  $F_3$  и  $F_1$  равны друг другу, а вертикаль-  
ная составляющая  $F_4 = 0$ , см рис 2)

$\vec{R}_1$  (сумма сил  $\vec{F}_3, \vec{F}_4$  и  $\vec{F}_1$ ) направ-  
лена вверх и ~~Вывод~~ ее модуль

$R_1 = F_4 + F_1 \cdot \sin 45 + F_3 \sin 45$  (это  
квадрат)



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!

$\vec{R}_2$  (сумма  $\vec{T}_1$  и  $\vec{T}_3$ ) направлена „вниз“ и её модуль  $R_2 = \sqrt{T_1^2 + T_3^2}$ , а т.к. система симметрична, то все  $F$  равны  $T$  и  $\Rightarrow R_2 = T\sqrt{2}$

т.к.  $a$  заряда  $= 0 \Rightarrow R_1 = R_2 \Rightarrow F_4 + \frac{F_1}{\sqrt{2}} + \frac{F_3}{\sqrt{2}} = T\sqrt{2} \Rightarrow$

$$\Rightarrow T = \frac{F_4 + \frac{F_1}{\sqrt{2}} + \frac{F_3}{\sqrt{2}}}{\sqrt{2}} = \frac{F_4\sqrt{2} + F_1 + F_3}{2}$$

$$F_4 = \frac{kq^2}{(b\sqrt{2})^2} \quad \left( \begin{array}{l} \text{диагональ квадрата} \\ \text{со стороной } b \end{array} \right) = \frac{kq^2}{2b^2} \quad \Rightarrow$$

$$F_1 = F_3 = \frac{kq^2}{b^2}$$

$$\Rightarrow T = \frac{\frac{kq^2 \cdot \sqrt{2}}{2b^2} + \frac{kq^2}{b^2} + \frac{kq^2}{b^2}}{2} = \frac{\frac{kq^2}{b^2\sqrt{2}} + \frac{2kq^2}{b^2}}{2} =$$

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

2) когда все шарики окажутся на одной высоте

$E_n$  (потенциальная энергия) всех шариков будет  $\neq$  одинакова.

$\Downarrow$  Рассмотрим шарик 1: относительно шара 4 он обладает

$E_n = mg \cdot b \Rightarrow$  когда они окажутся на одной высоте (это и есть попарная оптимизация  $\sqrt{\text{зарядов}}$ )

будет высота  $\frac{b}{2}$ , т.к. силы натяжения нитей будут

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!



1)  $C_p$  (при постоянном  $p$ ) =  $C_v$  (при постоянном  $V$ ) +  $R$

$C_n$  ("наша" - теплоемкость всего газа массой  $m_n$ ) =  $Q/\Delta T$

=  $\frac{Q}{\Delta T} \xrightarrow{A+\Delta U} = \frac{\nu R \Delta T + \frac{i}{2} \nu R \Delta T}{\Delta T} = (1 + \frac{i}{2}) \nu R$  при  $p = \text{const}$ ,

при  $V = \text{const}$   $A = 0 \Rightarrow \frac{Q}{\Delta T} = \frac{\frac{i}{2} \nu R \Delta T}{\Delta T} = \frac{i}{2} \nu R$

$C_p$  (при постоянном  $p$ ) =  $\frac{5}{2} C_v$  (при постоянном  $V$ )

наша ситуация, потому что  $i$  в нашей ситуации = 3,  $\nu = 1 \text{ моль}$

$C_p = \frac{5}{3} C_v$

$C_p = \frac{5}{2} \nu R \Rightarrow C_{pn} = \frac{5}{2} R$  ( $C_{pn}$  - теплоемкость всего газа при  $p = \text{const}$ )

$C_v = \frac{3}{2} \nu R \Rightarrow C_{vn} = \frac{3}{2} R$  ( $C_{vn}$  - наша теплоемкость всего нашего газа при  $V = \text{const}$ )

$\frac{\nu \nu^2}{2} = \nu g \frac{\nu^2}{2} \Rightarrow \nu^2 = g \nu$

процесс 3-1 - изобарный ( $C_{31n} = 2,5R$ )

Процесс 1-2:  $\Delta T_{12} = 3T_1$ ,  $C_{12}$  (наша  $C$  в процессе 1-2) =

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

$\Rightarrow \frac{A_{12} + \Delta U_{12}}{3T_1} = 2R \Rightarrow A_{12} = 6RT_1 - \Delta U_{12}$

$\Rightarrow A_{12} = 6RT_1 - \frac{3}{2} R \cdot 3T_1 = 6RT_1 - 4,5RT_1 = 1,5RT_1$

$T_1 = 400 \text{ K}$ ,  $R = 8,31 \text{ Дж/моль}\cdot\text{К}$

$\Rightarrow A_{12} = 1,5 \cdot 8,31 \cdot 400 = 600 \cdot 8,31$