



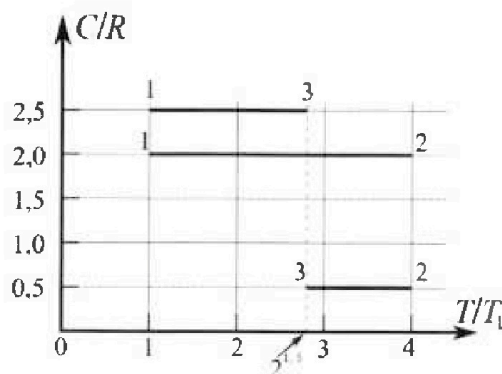
# Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

Вариант 10-01

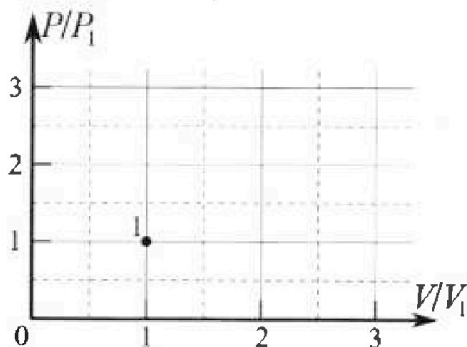
Во всех задачах, в ответах допустимы обыкновенные дроби и радикалы.



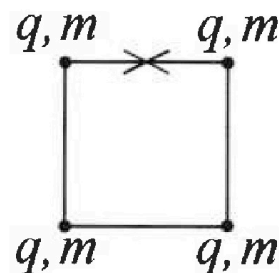
4. Тепловой двигатель работает по циклу 1-2-3-1. Рабочее вещество – один моль одноатомного идеального газа. Для вычисления КПД цикла ученик десятого класса построил график зависимости молярной теплоемкости  $C$  газа (в единицах универсальной газовой постоянной  $R$ ) от температуры в процессах: 1-2,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

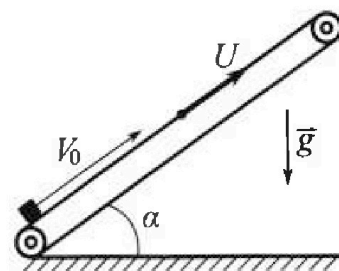
1) Найдите начальную скорость  $V_0$  мяча.

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.

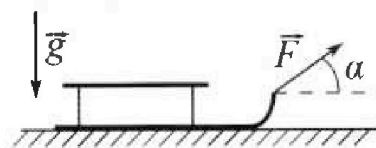
В первом случае санки тянут, действуя постоянной по модулю силой, направленной под углом  $\alpha$  к горизонту (см. рис.).

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.





|                                     |                          |                          |                          |                          |                          |                          |
|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 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!

№1

На высоте максимального подъема скорость тела  $v_1$  равна 0:  $v_1 = 0$ . Скорость через время  $T$  ширится как  $v_1 = v_0 - gT \Rightarrow v_0 = v_1 + gT = 0 + 10 \cdot 2 = 20 \frac{m}{c}$

Пусть мячик запускают под углом  $\alpha$  к горизонту, а об стенку он ударится через время  $t$ . Тогда  $S = v_{0x} t = v_0 t \cdot \cos \alpha$ , где  $v_{0x}$  - проекция скорости  $v_0$  на ось, параллельную горизонту (ось  $x$ ). Высота, на которой мячик ударится об стенку  $h$ , она равна  $h = v_{0y} t - \frac{gt^2}{2}$ , где  $v_{0y}$  - проекция скорости  $v_0$  на ось  $y$ , перпендикулярную горизонту:  $h = v_0 t \cdot \sin \alpha - \frac{gt^2}{2}$

$$\text{Из } S = v_0 t \cdot \cos \alpha, t = \frac{S}{v_0 \cdot \cos \alpha}$$

$$\begin{aligned} h &= v_0 \cdot \sin \alpha \cdot \frac{S}{v_0 \cdot \cos \alpha} - \frac{g}{2} \cdot \left( \frac{S}{v_0 \cdot \cos \alpha} \right)^2 = S \cdot \tan \alpha - \frac{gS^2}{2v_0^2 \cdot \cos^2 \alpha} \\ &= \frac{2v_0^2 \cdot \sin \alpha \cos \alpha - gS^2}{2v_0^2 \cdot \cos^2 \alpha} = \frac{S \sin \alpha}{\cos^2 \alpha} - \frac{gS^2}{2v_0^2 \cdot \cos^2 \alpha} = \frac{S}{\cos^2 \alpha} \left( \sin \alpha - \frac{gS}{2v_0^2} \right) \\ &= \frac{S}{\cos^2 \alpha} \left( \frac{2v_0^2 \cdot \sin \alpha \cos \alpha - gS}{2v_0^2} \right) = \frac{S}{\cos^2 \alpha} \cdot \frac{v_0^2 \cdot \sin 2\alpha - gS}{2v_0^2} = \frac{v_0^2 \cdot \sin 2\alpha - gS}{2v_0^2 \cdot \cos^2 \alpha} \\ &= \frac{v_0^2 \cdot \sin 2\alpha - gS}{2v_0^2 - 2v_0^2 \cdot \sin^2 \alpha} = \frac{8000 \sin 2\alpha - 4000}{200 - 800 \cdot \sin^2 \alpha} = \frac{10 \sin 2\alpha - 5}{1 - \sin^2 \alpha} \end{aligned}$$

В каком условии  $\alpha$  может принимать значения от  $0^\circ$  до  $90^\circ$ .

Высота удара будет максимальна, если в этот момент будет достигаться максимальная высота полета  $\Rightarrow v$  скорость по оси  $y$   $v_y$  равна 0.

$$\begin{aligned} v_y &= v_{0y} - gt = v_0 \cdot \sin \alpha - g \frac{S}{v_0 \cdot \cos \alpha} = 0 \Rightarrow v_0^2 \sin \alpha \cos \alpha = gS \Rightarrow \sin 2\alpha = \frac{2gS}{v_0^2} \\ &= \frac{2 \cdot 10 \cdot 20}{20^2} = 1 \Rightarrow \alpha = 45^\circ \text{ Высота } h = \frac{10 \cdot \sin(2 \cdot 45^\circ) - 5}{1 - \sin^2 45^\circ} = \frac{5}{0.5} = 10 \text{ м} \end{aligned}$$

Ответ: 10 м,  $20 \frac{m}{c}$ .



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

$$= 6 \frac{u}{c^2}.$$

До остановки тело пройдет  $S_1 = \frac{v_0^2}{2a} = \frac{4^2}{2 \cdot 10} = \frac{16}{20} = 0,8 \text{ м}$ . После  
остановки нужно пройти еще  $S_2 = S - S_1 = 1 - 0,8 = 0,2 \text{ м}$  за время  $\tau_1$ :

$$S_2 = \frac{a_1 \tau_1^2}{2} + 0 \cdot \tau_1 \Rightarrow \tau_1 = \sqrt{\frac{2S_2}{a_1}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,2}{6}} = \sqrt{\frac{0,2}{3}} = \sqrt{\frac{1}{15}}$$

$$\text{После } T = \tau + \tau_1 = 0,4 + \sqrt{\frac{1}{15}} \text{ с} = \frac{2}{5} + \frac{2}{2\sqrt{15}} = \frac{2\sqrt{15} + 5}{5\sqrt{15}} \text{ с}$$

Во второй раз отныне до тех пор пока скорости коробки не станут равны  $2 \frac{u}{c}$   
(пока она не остановится отныне. лентой), у неё будет ускорение  $a$ , после этого  $a_1$ .

В первый раз скорости и у коробки будет на высоте расстояния

$$L = \frac{v_0^2 - u^2}{2a} = \frac{4^2 - 2^2}{2 \cdot 10} = \frac{12}{20} = 0,6 \text{ м}. \text{ После этого тем будет продолжаться}$$

с постоянным ускорением  $a_1$ , след-но второй раз скорость коробки станет  
равной и также на расстоянии  $L = 0,6 \text{ м}$ . После достигнутой скорости и

коробка будет продолжать скакать по ленте и приобретет скорости 0 на  
расстоянии  $S = \frac{u^2}{2a_1} = \frac{2^2}{2 \cdot 6} = \frac{4}{12} = \frac{1}{3} \text{ м}$  от точки, где скорость стала 0.

$$\text{След-но } H = (L + S) \cdot \sin \alpha = 0,8 \cdot (0,6 + \frac{1}{3}) = 0,8 \cdot \frac{1 + 1,8}{3} = \frac{2,8 \cdot 0,8}{3} = \frac{2,24}{3} =$$

$$= \frac{224}{300} = \frac{112}{150} = \frac{56}{75} \text{ м}$$

$$\text{Ответ: } \frac{2\sqrt{3} + \sqrt{5}}{5\sqrt{3}} \text{ с; } 0,6 \text{ м; } \frac{56}{75} \text{ м.}$$



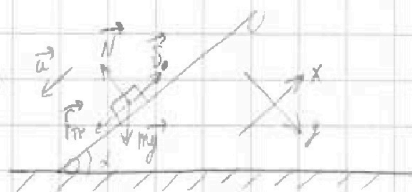
|                          |                                     |                          |                          |                          |                          |                          |
|--------------------------|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------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



№2

Рассмотрим конкретный случай. Обозначим ось  $x$  вдоль,  
параллельно и перпендикулярно трапеции.



Запишем 2 закона Ньютона и его проекции на ось:

$\vec{a}m = m\vec{g} + \vec{N} + \vec{F}_{тр}$ , где  $m$  - масса груза,  $a$  - ускорение,  $N$  - сила реакции  
опоры,  $F_{тр}$  - сила трения.

$$Oy: 0 = mg \cos \alpha - N$$

$$Ox: -am = -mg \sin \alpha - F_{тр}, \text{ но } F_{тр} = \mu N$$

$$\text{Тогда } am = mg \sin \alpha + \mu mg \cos \alpha \Rightarrow a = g \sin \alpha + \mu g \cos \alpha$$

где  $\cos \alpha = \sqrt{1 - \sin^2 \alpha} = \sqrt{1 - 0.8^2} = 0.6$ . Когда тело остановится и начнет скатываться,  
то ускорение поменяется. Это произойдет через время  $T$ , т.е.

$$0 = v_0 - aT \Rightarrow T = \frac{v_0}{a} = \frac{v_0}{g \sin \alpha + \mu g \cos \alpha} = \frac{10 \cdot 0.8 + \frac{1}{2} \cdot 0.6 \cdot 10}{8 + 2} = 0.4 \text{ с.}$$

Тело не пройдет расстояние  $S$  за время  $T$ , где  $S = v_0 T - \frac{aT^2}{2}$  (формула  
для случая, когда ~~расстояние~~ путь пройден до остановки)

$$S = v_0 T - \frac{aT^2}{2} (g \sin \alpha + \mu g \cos \alpha) \Rightarrow 1 = 4T - 5T^2 \Rightarrow 5T^2 - 4T + 1 = 0$$

$D = \Delta 16 - 20 = -4 < 0 \Rightarrow$  тело остановится и поскользнет обратно до того,  
как пройдет  $S$ .

После остановки сила трения поменяет свое направление, следовательно ускорение  
будет иметь вид  $a_1 = \frac{mg \sin \alpha - F_{тр}}{m} = g \sin \alpha - \mu g \cos \alpha = 0.8 \cdot 10 - \frac{1}{2} \cdot 10 \cdot 0.6 =$

|                          |                          |                                     |                          |                          |                          |                          |
|--------------------------|--------------------------|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 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"/> |

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

Получа  $a_1 m - a_2 m = F \cos \alpha - \mu m g + \mu F \sin \alpha - (F - \mu m g)$

$$0 = F \cos \alpha + \mu F \sin \alpha - F$$

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

Рассмотрим движение после достижения скорости  $v_0$ .

Запишем 2 закона Ньютона и его проекции на те же оси:

$$\vec{a}_2 m = m \vec{g} + \vec{N}_3 + \vec{F}_{\text{тр}3}, \text{ где } a_2, N_3 \text{ и } F_{\text{тр}3} \text{ соответственно}$$

ускорение, сила реакции опоры и сила трения для этого случая.

$$Oy: 0 = N_3 - m g \Rightarrow N_3 = m g$$

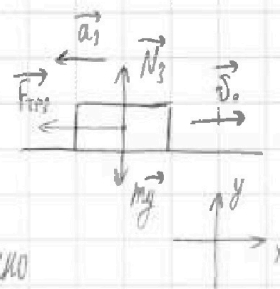
$$Ox: a_2 m = F_{\text{тр}3}, \text{ где } F_{\text{тр}3} = \mu N_3 = \mu m g$$

$$a_2 = \mu g = \frac{(1 - \cos \alpha) g}{\sin \alpha}$$

Поскольку сила приобретает скорость 0 через:

$$0 = v_0 - a_2 T \Rightarrow T = \frac{v_0}{a_2} = \frac{v_0}{\mu g} = \frac{v_0 \sin \alpha}{g (1 - \cos \alpha)}$$

Ответ:  $\frac{1 - \cos \alpha}{\sin \alpha} ; \frac{v_0 \sin \alpha}{g (1 - \cos \alpha)}$



На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,

решение которой представлено на странице:



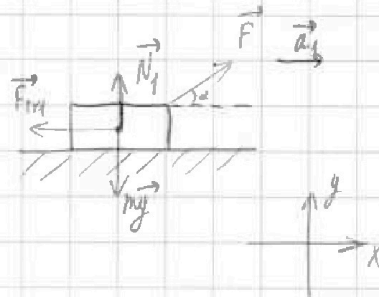
ЛМФТИ

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



№3

Рассмотрим первый случай. Запишем 2 закона Ньютона и проецируем на ось  $x$  (параллельную горизонту) и на ось  $y$  (перпендикулярную горизонту).



$\vec{a}_1 m = \vec{F} + m\vec{g} + \vec{N}_1 + \vec{F}_{тр1}$ , где  $F$  - сила, с которой тянут,  $N_1$  - сила реакции опоры,  $m$  - масса саней,  $a_1$  - ускорение в этом случае,  $F_{тр1}$  - сила трения в этом случае.

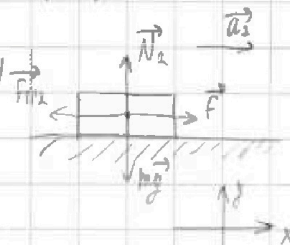
$$Oy: 0 = N_1 + F \sin \alpha - mg \Rightarrow N_1 = mg - F \sin \alpha$$

$$Ox: a_1 m = F \cos \alpha - F_{тр1}, \text{ но } F_{тр1} \leq \mu N_1$$

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

Для второго случая: запишем 2 закона Ньютона и проецируем на те же оси.

$$\vec{a}_2 m = \vec{N}_2 + m\vec{g} + \vec{F}_{тр2} + \vec{F}, \text{ где } a_2, N_2 \text{ и } F_{тр2} \text{ соответственно}$$



ускорение, сила реакции опоры и сила трения для этого случая

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

$$Ox: a_2 m = F - F_{тр2}, \text{ но } F_{тр2} \leq \mu N_2$$

$$a_2 m = F - \mu mg$$

Пусть в обоих случаях разгон от 0 до  $s_0$  шел шле время  $\tau$ . Тогда:

$$\left. \begin{aligned} s_0 &= 0 + a_1 \tau^2 \\ s_0 &= 0 + a_2 \tau^2 \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{s_0}{\tau^2} = a_1 = a_2$$



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!

Известно, что площади под участками графика должны быть равны работе на этих участках, а разность площадей - разность работ.

$$A_{12} = \frac{3}{2} JKT_1, \frac{3}{2} P_1 V_1, V_2 P_2 = 4 P_1 V_1.$$

Этой условию соответствует прямая из точки

(1; 1) в точку (2; 2). Чтобы найти точку, которая соответствует 2 и 3

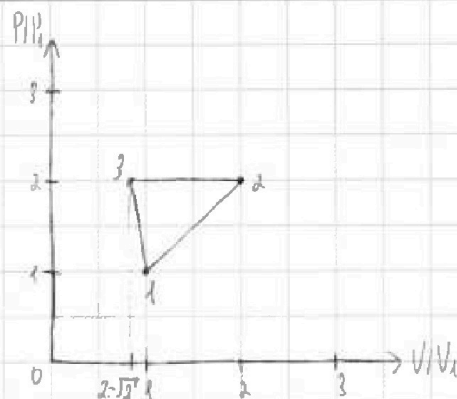
состояния, сделаем следующие:  $V_2 P_2 - V_1 P_1 = 3 V_1 P_1$ ,  $A = \frac{V_2 P_2 - V_1 P_1}{A_{12}} \leq 2$ ,

след-но <sup>работа</sup> занимает  $\frac{1}{2}$  части площади, след-но график - прямая под углом  $45^\circ$ , 2 (2; 2).

$$V_3 P_3 - V_2 P_2 \leq V_1 P_1 (2^{15} - 4), \frac{V_3 P_3 - V_2 P_2}{A_{23}} = \frac{V_1 P_1 (2^{15} - 4)}{V_1 P_1 (2^{15} - 4)} \leq 1, \text{ след-но}$$

работа занимает всю площадь под графиком (давление не меняется). Это возможно только при 3 (2-√2; 2), так как работа отрицательная.

$$\text{Ответ: } 4986 \text{ Дж; } \frac{4\sqrt{2} - 3,5}{6}.$$



На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:



МФТИ

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



№4

Получаемое тепло  $Q$  равно  $Q = C \Delta T$ , Изменение внутренней энергии  $\Delta U = \frac{1}{2} \nu R \Delta T$ .  
Работа газа  $A$  равна:  $Q = A + \Delta U \Rightarrow A = Q - \Delta U = C \Delta T - \frac{1}{2} \nu R \Delta T =$   
 $= \Delta T (C - \frac{1}{2} R)$

Найдем ответ на первый вопрос:  $A_{12} = \nu \Delta T_{12} (C_{12} - \frac{1}{2} R) = \nu (4T_1 - T_1) \cdot$   
 $(2R - \frac{3}{2} R) = \frac{3}{2} \nu R T_1 = \frac{3}{2} \cdot 1 \cdot 8,31 \cdot 400 = 600 \cdot 8,31 = 4986 \text{ Дж}$

Найдем работу газа в процессах 2-3 и 3-1.

$A_{23} = \nu \Delta T_{23} (C_{23} - \frac{1}{2} R) = \nu (4T_1 - 2^{45} T_1) (0,5R - \frac{3}{2} R) =$   
 $= -\nu R T_1 (4 - 2^{\frac{9}{2}}) = -\nu R T_1 (4 - 2\sqrt{2}) = \nu R T_1 (2\sqrt{2} - 4)$

$A_{31} = \nu \Delta T_{31} (C_{31} - \frac{1}{2} R) = \nu (2^{45} T_1 - T_1) (2,5R - \frac{3}{2} R) = \nu R T_1 (2^{45} - 1)$

Общая работа газа за цикл:  $A_0 = A_{12} + A_{23} + A_{31} = \frac{3}{2} \nu R T_1 + 2^{45} \nu R T_1 -$   
 $- 4 \nu R T_1 + 2^{\frac{9}{2}} \nu R T_1 - \nu R T_1 = 2^{\frac{9}{2}} \nu R T_1 - \frac{3}{2} \nu R T_1 = \nu R T_1 (4\sqrt{2} - 3,5) =$   
 $= (4\sqrt{2} - 3,5) \cdot 8,31 \cdot 400 = 2524 (4\sqrt{2} - 3,5)$

Из графика видно, что газ получает тепло только на процессе 1-2, следовательно  
все полученное тепло  $Q_0 = \nu C_{12} \Delta T_{12} = \nu \cdot 2R \cdot 3T_1 = 6 \nu R T_1$

Отсюда  $\eta = \frac{A_0}{Q_0} = \frac{(4\sqrt{2} - 3,5) \nu R T_1}{6 \nu R T_1} = \frac{4\sqrt{2} - 3,5}{6} \approx$

Построим график цикла в координатах  $(P/P_1, V/V_1)$ .

Запишем уравнение Менделеева-Клапейрона (далее УМК) для состояний 1, 2 и 3:

$V_1 P_1 = \nu R T_1, V_2 P_2 = \nu R T_2 = 4 \nu R T_1, V_3 P_3 = \nu R T_3 = 2^{45} \nu R T_1$

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи.

решение которой представлено на странице:

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

№5

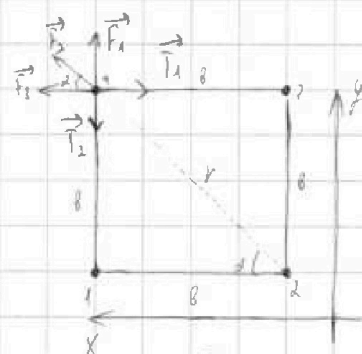
Заметим, что в силу симметрии, все силы, действующие на шарики, со стороны других шариков и нитей равны, а сила натяжения каждой нити равна  $T$ .

Тогда достаточно рассмотреть только один шарик, например левый верхний.

Запишем второй закон Ньютона и его проекции на указанные

оси для этого шарика (здесь проецируем шарик, как показано

на рисунке).



$\vec{a}_m = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \vec{T}_1 + \vec{T}_2$ , где  $F_1, F_2$  и  $F_3$  — силы со стороны шаров 1, 2 и 3 соответственно,  $T_1 = T_2 = T$  — сила натяжения нити, угол 2 — угол между стороной квадрата и ее диагональю ( $45^\circ$ ).

$$Oy: 0 = F_1 + F_2 \cdot \sin 2 - T_2$$

$$Ox: 0 = F_3 + F_2 \cdot \cos 2 - T_1$$

$$F_1 = k \frac{q^2}{a^2}, F_2 = k \frac{q^2}{r^2}, F_3 = k \frac{q^2}{a^2}, r^2 = 2a^2 \text{ (по т. Пифагора)}$$

$$\Rightarrow F_2 = k \frac{q^2}{2a^2} \Rightarrow T = F_1 + F_2 \cdot \sin 2 = k \frac{q^2}{a^2} + k \frac{q^2}{2a^2} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} = k \frac{q^2}{a^2} \left(1 + \frac{\sqrt{2}}{4}\right)$$

$$= \frac{kq^2(4+\sqrt{2})}{4a^2}$$

$$\text{Скорость: } 4 \frac{mv^2}{2} = 4 k \frac{q^2}{a} + 2 k \frac{q^2}{\sqrt{2}a} - 3C3 \text{ для системы}$$

$$2mv^2 = 4 k \frac{q^2}{a} (4 + \sqrt{2}) \Rightarrow v = \sqrt{\frac{kq^2(4+\sqrt{2})}{2ma}}$$

$d = \sqrt{a^2 + \frac{a^2}{4}} = \frac{\sqrt{5}}{2}a$ , т.к. заряд  $1a$  и  $2$  и  $4$  — вниз, а заряд  $3$  — вверх.

$$\text{Ответ: } \frac{kq^2(4+\sqrt{2})}{4a^2}, \sqrt{\frac{kq^2(4+\sqrt{2})}{2ma}}, \frac{\sqrt{5}}{2}a$$



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!

$$\begin{array}{r} \times 28 \\ 8 \\ \hline 224 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 280 \\ 56 \\ \hline 224 \end{array}$$

$$N = mg \cos \alpha$$

$$dm = \rho \cdot g \cdot h \cdot d - g \cdot m \cdot \cos \alpha$$

$$a = g \cdot \sin \alpha - g \cdot \cos \alpha \cdot \frac{1}{3}$$

$$T = h \cdot N \cdot d$$

$$a = 2,56$$

$$m = N \quad a_m = F - \mu m$$

$$N = mg \cos \alpha \quad a_m = F \cos \alpha - \mu m + \mu F \sin \alpha$$

$$0 = F - F \cos \alpha - \mu F \sin \alpha$$

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

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

$$\frac{1}{2} (1 - 2 + \sqrt{2}) (1 + 2)$$

$$= \frac{1}{2} (\sqrt{2} - 1)$$

$$m = \mu m$$

$$a_0 = \frac{1 - \cos \alpha}{\sin \alpha} g$$

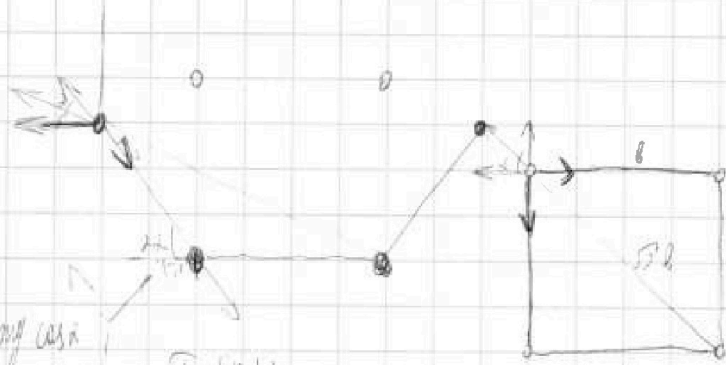
$$T = \frac{v_0}{a} \cdot \frac{v_0 g \sin \alpha}{g \sin \alpha - a}$$

$$am = T \sin 2\alpha - F_1 \sin 2\alpha - F_2 \sin \alpha$$

$$T = F_1 + F_2 \cos 2\alpha + F_2 \cos 2\alpha \quad 2(2 - \sqrt{2})$$

$$am = F_2 \sin 2\alpha \cos \alpha + F_2 \sin 2\alpha \cos 2\alpha - F_2 \sin \alpha$$

$$2 \cdot (2 - \sqrt{2})$$



$$F = k$$

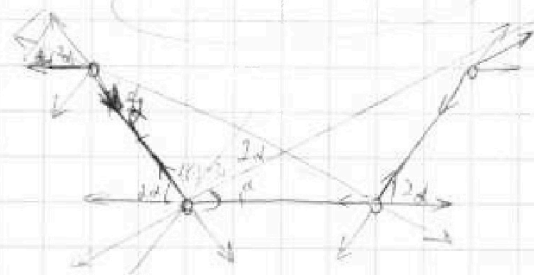
$$0 = T - k \frac{q^2}{l^2} - k \frac{q^2}{2l^2}$$

$$T = k \frac{2q^2}{2l} = \frac{2kq^2}{2l}$$

$$\sqrt{1 + \sin^2 2\alpha}$$

$$= \sqrt{1 - (2 \sin \alpha \cos \alpha)^2}$$

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



$$am = F_1 + F_2 \cos 2\alpha$$

$$+ F_2 \cos 2\alpha - T$$

$$am = F_1 + T$$

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!



$$\Delta Q = \Delta A + \Delta U$$

$$A = C U \Delta T - \frac{1}{2} J R \Delta T$$

$$= 2 R J \Delta T = \frac{2}{3} J R \Delta T$$

$$= \frac{1}{3} J R \Delta T = \frac{1}{3} \cdot 0,1 \cdot 1 \cdot 2 \cdot 1000 = 600 \text{ Дж}$$

$$A = C U \Delta T - \frac{1}{2} J R \Delta T = J \Delta T \left( C - \frac{1}{2} R \right)$$

$$A_2 = 1 \cdot T_1 (4 - 2^{15}) \left( 0,5 R - \frac{2}{2} R \right) = - R T_1 (4 - 2^{15}) = - \frac{1}{2} C U \Delta T$$

$$= - 2 R T_1 (2 - \sqrt{2})$$

$$A_3 = 1 \cdot T_1 (2^{15} - 1) (0,5 R - 1,5 R) = T_1 R (2^{15} - 1)$$

$$A_0 = 1,5 R T_1 + 4 R T_1 + 2 \sqrt{2} R T_1 + 2 \sqrt{2} R T_1 - R T_1$$

$$= - 3,5 R T_1 + 4 \sqrt{2} R T_1 = R T_1 (4 \sqrt{2} - 3,5)$$

$$\eta = \frac{A_0}{Q_1} = \frac{R T_1 (4 \sqrt{2} - 3,5)}{6 R T_1} = \frac{4 \sqrt{2} - 3,5}{6} \approx \frac{4(1,41 - 1)}{6}$$

$$P_1 U_1 = J R T_1$$

$$\frac{2}{3} P_1 U_1$$

$$P_2 U_2$$

$$P_2 U_2 = J R T_2 = 4 J R T_1$$

$$P_2 U_2 = 4 P_1 U_1$$

$$P_2 U_2 = J R T_2 = 2^{15} J R T_1 = \sqrt{2} J R T_1$$

$$P_1 U_1 = J R T_1$$

$$\frac{3 \omega^2}{2} = \frac{2 m \omega^2}{5} \cdot \frac{m \omega^2}{5}$$

$$\frac{1,5 - 2}{2} \cdot (2 - 1) P_1 U_1 = J R T_2 (2^{15} - 1)$$

$$A + \Delta U = Q$$

$$A = Q - \Delta U$$

$$(2 - 1)(2)$$



$$\begin{array}{r} \times 834 \\ 608 \\ \hline 498600 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} \times 834 \\ 4 \\ \hline 2524 \end{array}$$

$$\frac{2}{3} m R^2 \cdot R^2 = \frac{7}{2} m R^2$$

$$\frac{2}{3} m R^2 + m R^2 = \frac{5}{2} m R^2$$

$$\frac{2}{5} m R^2$$