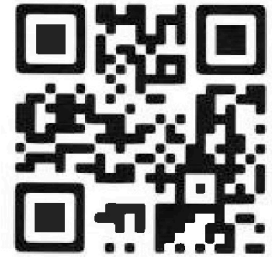


Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

Вариант 10-02

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



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

1) Найдите начальную скорость V_0 мяча.

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

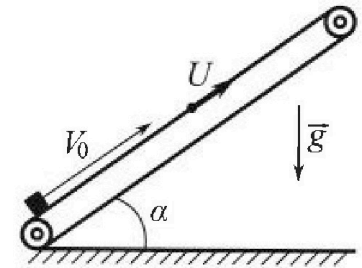
2) На каком расстоянии S от точки старта находится стенка?

Ускорение свободного падения $g = 10$ м/с². Мяч движется в плоскости перпендикулярной стенке. Сопротивление воздуха считайте пренебрежимо малым.

2. Лента транспортера, предназначенного для подъема грузов, образует с горизонтальной плоскостью угол α такой, что $\sin \alpha = 0,6$ (см. рис.).

В первом опыте небольшую коробку ставят на покоящуюся ленту транспортера и сообщают коробке начальную скорость $V_0 = 6$ м/с. Коэффициент трения скольжения коробки по ленте $\mu = 0,5$.

Движение коробки прямолинейное.



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

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

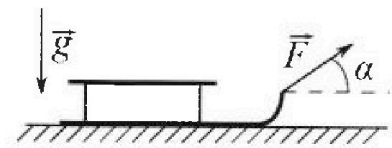
2) Через какое время T_1 после старта скорость коробки во втором опыте будет равна $U = 1$ м/с?

3) На каком расстоянии L от точки старта скорость коробки обратится в ноль во втором опыте? Ускорение свободного падения $g = 10$ м/с². Все кинематические величины измерены в лабораторной системе отсчета.

3. Санки дважды разгоняют из состояния покоя до одной и той же кинетической энергии K на одинаковых участках пути.

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

Во втором случае такая же по модулю сила, приложенная к санкам, направлена горизонтально. После достижения кинетической энергии K действие внешней силы прекращается.



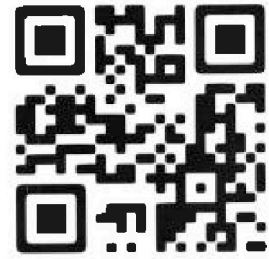
1) Найдите коэффициент μ трения скольжения санок по горизонтальной поверхности.

2) Найдите перемещение S санок в процессе торможения до остановки. Ускорение свободного падения g . Санки находятся на горизонтальной поверхности. Движение санок прямолинейное.

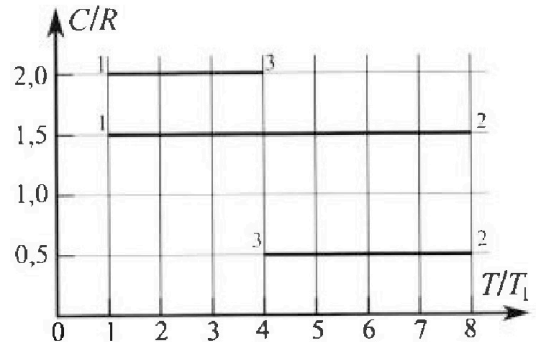
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

Вариант 10-02

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



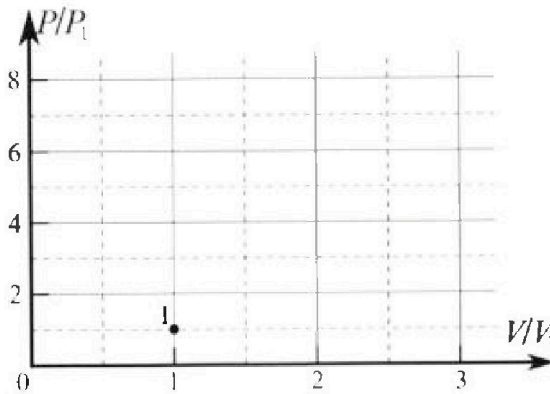
4. Тепловой двигатель работает по циклу 1-2-3-1. Рабочее вещество – один моль одноатомного идеального газа. Для вычисления КПД цикла ученик десятого класса построил график зависимости молярной теплоемкости C газа (в единицах универсальной газовой постоянной) от температуры в процессах: 1-2, 2-3, 3-1 (см. рис.). Температура газа в состоянии 1 равна $T_1 = 200$ К, универсальная газовая постоянная $R = 8,31$ Дж/(моль·К).



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

2) Найдите КПД η цикла.

3) Постройте график цикла в координатах $(P/P_1, V/V_1)$, где P_1 и V_1 давление и объём в состоянии 1. Для построения графика перенесите шаблон (см. ниже) в чистовик своей работы. Точка 1 на графике соответствует состоянию 1 газа в цикле.



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

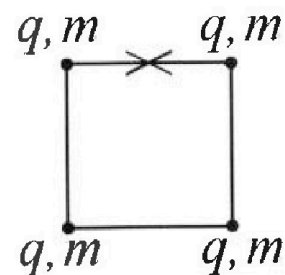
1) Найдите абсолютную величину $|q|$ заряда каждого шарика.

Одну нить пережигают.

2) Найдите кинетическую энергию K любого, выбранного Вами шарика, в тот момент, когда шарики будут находиться на одной прямой.

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

Электрическая постоянная ϵ_0 . Действие сил тяжести считайте пренебрежимо малым.



На одной странице можно оформлять только одну задачу.

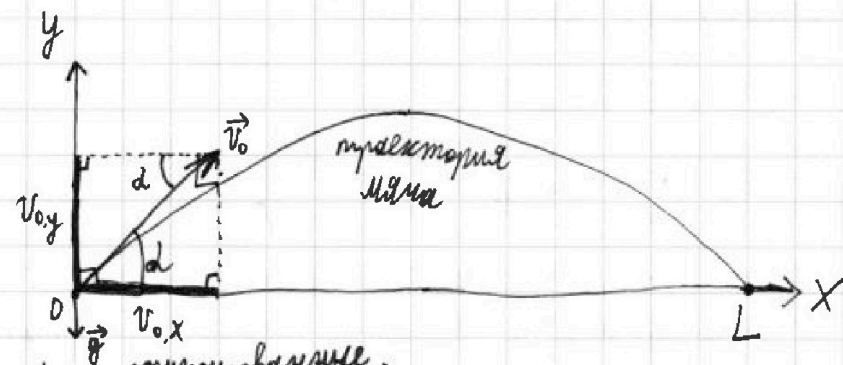
Отметьте крестиком номер задачи,

решение которой представлено на странице:

1 2 3 4 5 6 7



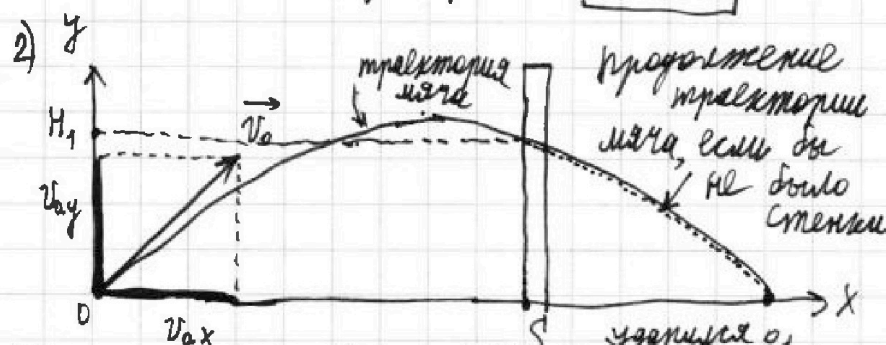
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



1) Введем фиксированные оси x (горизонтальная, направленная вдоль поверхности площадки) и y (вертикальная, направленная перпендикулярно площадке от нее). Тогда $v_{0x} = v_0 \cos \alpha$; $v_{0y} = v_0 \sin \alpha$ (см. выше); $g_x = 0$ (так как g (ускорение свободного падения) направлено вниз, перпендикулярно площадке); $g_y = -g$. Если мяч упал через время $t_{\text{пад}}$, то $y_{\text{пад}} = 0$ и $x_{\text{пад}} = L$. Запишем кинематические уравнения:

$$\begin{cases} x_{\text{пад}} = v_{0x} t_{\text{пад}} + \frac{g_x t_{\text{пад}}^2}{2} \Leftrightarrow L = v_0 \cos \alpha \cdot t_{\text{пад}} & (1) \\ y_{\text{пад}} = v_{0y} t_{\text{пад}} + \frac{g_y t_{\text{пад}}^2}{2} \Leftrightarrow 0 = t_{\text{пад}} \left(v_0 \sin \alpha - \frac{g t_{\text{пад}}}{2} \right) & (2) \end{cases}$$

Из (2): $t_{\text{пад}} \neq 0 \Rightarrow 0 = v_0 \sin \alpha - \frac{g t_{\text{пад}}}{2}$, откуда $t_{\text{пад}} = \frac{2v_0 \sin \alpha}{g}$.
 Подставим $t_{\text{пад}}$ в (1): $L = v_0 \cos \alpha \cdot \frac{2v_0 \sin \alpha}{g} = \frac{2v_0^2 \sin \alpha \cos \alpha}{g}$ (так как $\sin 2\alpha = 2 \sin \alpha \cos \alpha$)
 $\Rightarrow v_0 = \sqrt{\frac{gL}{\sin 2\alpha}} = \sqrt{\frac{10 \cdot 20}{\sin(2 \cdot 45^\circ)}} = \sqrt{\frac{200 \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}}{1}} = 10\sqrt{2} \frac{\text{м}}{\text{с}}$



$g_x = 0$; $g_y = -g$. Если мяч коснулся стены через время $t_{\text{уп}}$, то $y_{\text{уп}} = H_2$ и $x_{\text{уп}} = L$.

фиксированные

Введем оси x и y , как и в пункте 1. Тогда $v_{0x} = v_0 \cos \beta$ (пусть начальная скорость v_0 направлена под углом $\beta \in (0; 90^\circ)$); $v_{0y} = v_0 \sin \beta$.

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!

Затем запишем кинематические уравнения:

$$\begin{cases} X_{\text{гг}} = v_{0x} t_{\text{гг}} + \frac{g_x t_{\text{гг}}^2}{2} \Leftrightarrow S = v_0 t_{\text{гг}} \cos \beta \quad (1) \\ Y_{\text{гг}} = v_{0y} t_{\text{гг}} + \frac{g_y t_{\text{гг}}^2}{2} \Leftrightarrow H_1 = v_0 t_{\text{гг}} \sin \beta - \frac{g t_{\text{гг}}^2}{2} \quad (2) \end{cases}$$

Нужно отметить, что $H_1 > 0$, иначе или $H < 0$ (то есть или "превыситя под площадь"), или $H_1 = 0$ (данный случай нас не интересует).

$$\text{Из (1): } t_{\text{гг}} = \frac{S}{v_0 \cos \beta}. \text{ Тогда в (2): } H_1 = v_0 \cdot \frac{S}{v_0 \cos \beta} \cdot \sin \beta - \frac{g}{2} \cdot \frac{S^2}{v_0^2 \cos^2 \beta} = S \left(\frac{\sin \beta}{\cos \beta} - \frac{g S}{2 v_0^2 \cos^2 \beta} \right) =$$

$$= S \left(\operatorname{tg} \beta \text{ (по определению)} - \frac{g S}{2 v_0^2} \cdot \text{(по следствию из основного тригонометрического тождества)} (1 + \operatorname{tg}^2 \beta) \right) = S \left(\operatorname{tg} \beta + \frac{g S}{2 v_0^2} \right) = S \left(\frac{g S}{2 v_0^2} (\operatorname{tg} \beta + \frac{v_0^2}{g S}) + \left(\frac{g S}{2 v_0^2} - \frac{v_0^2}{2 g S} \right) \right) =$$

$$= \frac{g S^2}{2 v_0^2} (\operatorname{tg} \beta + \frac{v_0^2}{g S}) = S \left(-\frac{g S}{2 v_0^2} \operatorname{tg}^2 \beta + \operatorname{tg} \beta - \frac{g S}{2 v_0^2} \right) =$$

$$= \left(-\frac{g S^2}{2 v_0^2} (\operatorname{tg} \beta - \frac{v_0^2}{g S})^2 + \frac{v_0^2}{2 g} \right) - \frac{g S^2}{2 v_0^2} =$$

$$= -\frac{g S^2}{2 v_0^2} (\operatorname{tg} \beta - \frac{v_0^2}{g S})^2 + \frac{v_0^2}{2 g} \left(\frac{v_0^2}{2 g} - \frac{g S^2}{2 v_0^2} \right) \leq \frac{v_0^2}{2 g} - \frac{g S^2}{2 v_0^2}$$

$$\left(\text{при } \operatorname{tg} \beta = \frac{v_0^2}{g S} \right) \Rightarrow H = \frac{v_0^2}{2 g} - \frac{g S^2}{2 v_0^2}, \text{ откуда } S = \frac{v_0^2}{g} \left(\frac{v_0^2}{2 g} - H \right) =$$

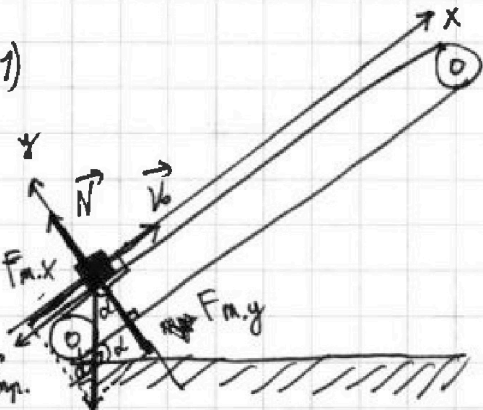
(по пункту: $v_0 = 10\sqrt{2} \frac{\text{м}}{\text{с}}$)

$$S = \sqrt{\frac{2 v_0^2}{g} \left(\frac{v_0^2}{2 g} - H \right)} = \text{(по пункту 1: } v_0 = 10\sqrt{2} \frac{\text{м}}{\text{с}}) = \sqrt{40 \cdot 6,4} = \sqrt{256 \text{ м}^2} = 16 \text{ м}$$

Ответ: 1) $v_0 = 10\sqrt{2} \frac{\text{м}}{\text{с}}$; 2) $S = 16 \text{ м}$

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!



фиксированные

Введем оси x и y : см. слева. Тогда $F_{m,x} = -mg \sin \alpha$; $F_{m,y} = -mg \cos \alpha$; $N_x = 0$; $N_y = N$; $F_{fr,x} = \pm F_{fr}$ (в зависимости от направления движения коробки); $F_{fr,y} = 0$. Здесь m - масса коробки; F_m - сила тяжести коробки; N - сила реакции опоры; F_{fr} - сила трения. Все эти 3 силы действуют на коробку. В начале движения

1. $[F_{fr,x} = -F_{fr}]$, так как $F_{fr,0} \downarrow \vec{v}_0 \uparrow x$. Так как $\vec{v}_0 > 0$, то по закону Кулона-Амонта: $F_{fr} = \mu N$. Отсюда, что коробка не перестанет двигаться вверх, а $[]$ - до того, как $v = 0$, как коробка не остановится. По II закону Ньютона: $m \vec{a}_0 = m \vec{g} + \vec{N} + \vec{F}_{fr}$.

$$\begin{cases} m a_x = -mg \sin \alpha + F_{fr,x} \\ m a_y = F_{m,y} + N_y + F_{fr,y} \end{cases} \begin{cases} \text{(в проекции на ось } x) \\ \text{(в проекции на ось } y) \end{cases}$$

$$\begin{cases} m a_x = -mg \sin \alpha - F_{fr} \quad (1) \\ 0 \text{ (так как поверхность не деформируется)} = -mg \cos \alpha + N \quad (2) \end{cases}$$

из (2): $N = mg \cos \alpha \Rightarrow F_{fr} = \mu mg \cos \alpha$. Тогда в (1): $m a_x = -mg \sin \alpha - \mu mg \cos \alpha$, откуда $a_x = -g(\sin \alpha + \mu \cos \alpha)$.

Найдем путь $S_{1,max}$, пройденный коробкой до прекращения движения вверх: $S_{1,max} = \frac{v_{k,x}^2 - v_{0,x}^2}{2a_x} = \frac{0 - v_0^2}{2a_x} = \frac{v_0^2}{2g(\sin \alpha + \mu \cos \alpha)}$

численно (подставив) $\frac{36}{2 \cdot 10 \cdot (0,6 + 0,5 \cdot \sqrt{1 - 0,36})} = \frac{36}{20 \cdot (0,6 + 0,5 \cdot 0,8)} = \frac{36}{20 \cdot 1,0} = 1,8 \text{ м}$

через (2) предп. что коробка не фиксирована вниз) $v_{k,x} = v_{0,x} + a_x t = v_0 - g(\sin \alpha + \mu \cos \alpha) t = 6 \frac{\text{м}}{\text{с}} - 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot (0,6 + 0,5 \cdot \sqrt{1 - 0,36}) t = 6 \frac{\text{м}}{\text{с}} - 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot 1,0 t = 6 - 10t$

подставив) $\sqrt{1 - \sin^2 \alpha} = 0,5 \cdot \sqrt{1 - 0,36} = 0,5 \cdot 0,8 = 0,4 \text{ м/с} \quad (2)$

Получили, что коробка двигалась вверх, остановилась и либо начала двигаться вниз, значит $S_{1,одн} = S_{1,вверх} + S_{1,вниз}$, где $S_{1,вниз} > 0$ или осталась повисеть.

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

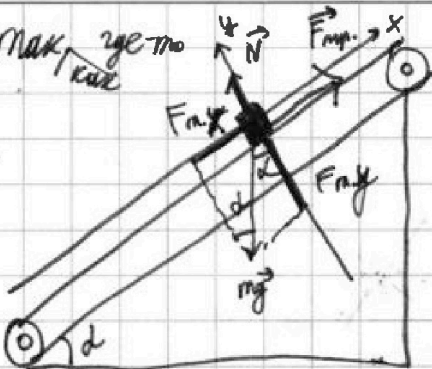
Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

- 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!

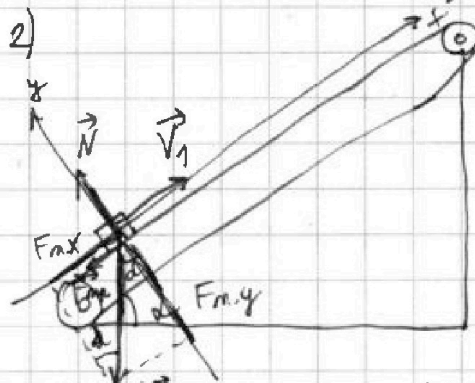
Поэтому $S_{1, \text{вверх}}: S_{1, \text{вверх}} = \frac{-V_{0x}^2}{2a_x}$ (Мак. скорость)
 коробка остановилась) $= \frac{36 \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}}{2 \cdot 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} (0,6 + 0,5 \cdot 0,8)}$
 $= \frac{V_0^2}{g(\sin \alpha + \mu \cos \alpha)} = \frac{10^2}{10(0,6 + 0,5 \cdot 0,8)}$
 $= 3,6 \text{ м.}$



Рассмотрим момент остановки коробки (см. справа): $m\vec{g}$ и \vec{N} не изменились, а $F_{\text{тр}}$ направлена не даёт ускорения коробке вниз. Действительно, без $F_{\text{тр}}$: $F_{\text{равн.д}} = N_x + F_{n,x} = -mg \sin \alpha = -m \cdot 6 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$. Из закона Кулона - Амонтона: $F_{\text{тр},x} \leq \mu N = 0,5 \cdot mg \cos \alpha = m \cdot 0,5 \cdot 8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} = m \cdot 4 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$. Так как $F_{\text{равн.д}} + F_{\text{тр},x, \text{max}} < 0$ коробка начнет скатываться вниз. Аналогично применим II з. Н. для коробки:

~~Макс~~ $a_{n,x} = -mg \sin \alpha + F_{\text{тр},x} = -mg \sin \alpha + \mu mg \cos \alpha$,
 откуда $a_{n,x} = (\mu \cos \alpha - \sin \alpha)g = (0,5 \cdot 0,8 - 0,6) \cdot 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} = -2 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$
 $S_{1, \text{вниз}} = \frac{|a_{n,x}| \cdot (T - \frac{V_0}{|a_{n,x}|})^2}{2} = \frac{2 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot (10 - \frac{6 \frac{\text{м}}{\text{с}}}{2 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}})^2}{2} = \frac{2 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot (10 - 3)^2}{2} = 1 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot (10 - 3)^2 = 49 \text{ м}$
 $= 1 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot (10 - \frac{6 \frac{\text{м}}{\text{с}}}{2 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}})^2 = 1 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot (10 - 3,6)^2 = 0,16 \text{ м}$

Значит $S_{1, \text{общ}} = (3,6 + 0,16) \text{ м} = \boxed{3,76 \text{ м}}$



Рассмотрим СО1, в которой x и y определены, как в пункте 1, но точка начала координат движется вдоль траектории со скоростью. В этой системе отсчёта начальная скорость коробки равна V_1 по модулю $V_1 = V_0 - u = 5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ ($V_0 > u \Rightarrow V_{1,x} = |V_1| = 5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Аналогично

покажем $a_{n,x} = -g(\sin \alpha + \mu \cos \alpha) = -10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} (0,6 + 0,5 \cdot 0,8) = -10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$.
 Везде [Смысл те же; СО1 - это ИСО], и только $\vec{V}_1 \neq \vec{V}_0$, но $V_{1,x} > 0$, как и $V_{0,x}$.

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!

В этой системе СО1 коробка устанавливается через $T_{\text{вст}} = \frac{D - v_{1x}}{a_x} = \frac{5 \frac{\mu}{\text{с}} \cdot 1 \text{с}}{10 \frac{\mu}{\text{с}^2} \cdot 2} = 0,5 \text{с}$. Но тогда в СО2 коробка то есть со скоростью $u = 1 \frac{\mu}{\text{с}}$

будет двигаться со скоростью транспортера $\Rightarrow T_1 = T_{\text{вст}} = \boxed{0,5 \text{с}}$

3) Далее аналогично ^{пункту 1} рассматриваем скатывание коробки.

Поскольку $\angle \alpha = 30^\circ$, то $a_{n,x} = (\mu \cos \alpha - \sin \alpha) g = -2 \frac{\mu}{\text{с}^2}$. Если в СО2 коробка примет нулевую скорость, то в СО1 коробка будет двигаться вниз (по наклонной) со скоростью $u = 1 \frac{\mu}{\text{с}}$

\Rightarrow это произойдет через $T_2 = \frac{u}{a_{n,x}} = \frac{1 \frac{\mu}{\text{с}}}{-2 \frac{\mu}{\text{с}^2}} = 0,5 \text{с}$

$\Rightarrow L = |S_{\text{СО1},x} + S_{\text{тр},x}| = |(S_{\text{вст},x} + S_{\text{скат},x}) + u(T_1 + T_2)| =$

$$= \left| \left(\frac{a_{v,x} T_1^2}{2} + \frac{a_{n,x} T_2^2}{2} \right) + 1 \frac{\mu}{\text{с}} \cdot 1 \text{с} \right| =$$

$$= \left| \left(\left(5 \frac{\mu}{\text{с}} \cdot 0,5 \text{с} \right) + \frac{a_{n,x} T_2^2}{2} \right) + 1 \frac{\mu}{\text{с}} \cdot 1 \text{с} \right| =$$

$$= \left| \left(\left(5 \frac{\mu}{\text{с}} \cdot 0,5 \text{с} - \frac{10 \frac{\mu}{\text{с}^2} \cdot 0,25 \text{с}^2}{2} \right) + 1 \frac{\mu}{\text{с}} \cdot 1 \text{с} \right) \right| =$$

$$= \left| \left((2,5 \mu - 1,25 \mu) + 1 \mu \right) \right| = \boxed{2 \mu}$$

Ответ: 1) $S = 3,75 \mu$; 2) $T_1 = 0,5 \text{с}$; 3) $L = 2 \mu$

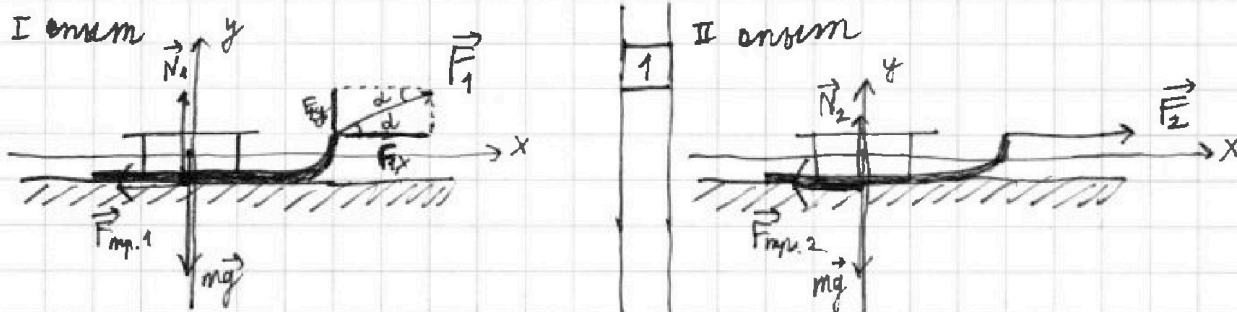
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

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!



Так как мы разобрали в обеих ситуациях санки до максимальной скорости, то по закону Хука-Ампера: $|F_{mp}| = \mu N$ (в обо I и II случаях), то есть $F_{mp.1x} = \mu N_{1y}$; $F_{mp.2x} = \mu N_{2y}$; $F_{mp.1y} = F_{mp.2y} = 0$. В I и II случаях: $F_{m.x} = 0$ (F_m - сила тяжести санок) = $N_{1x} = N_{2x}$; $F_{m.y} = -mg$. В I случае, $N_{1y} = N_1$; $N_{2y} = N_2$; $F_{1x} = F \cos \alpha$; $F_{1y} = F \sin \alpha$; $F_{2x} = F$; $F_{2y} = 0$. Введем фиксированные оси x и y .

По II закону Ньютона для санок в I СО:

$$m \vec{a}_1 = m \vec{g} + \vec{N}_1 + \vec{F}_{mp.1} + \vec{F}_1$$

В проекциях на оси x и y :

$$\begin{cases} m a_{1,x} = F_{m,x} + N_{1x} + F_{mp.1,x} + F_{1,x} \\ m a_{1,y} = F_{m,y} + N_{1,y} + F_{mp.1,y} + F_{1,y} \end{cases}$$

$$\begin{cases} m a_{1,x} = -F_{mp.1} + F \cos \alpha & (1) \\ 0 = -mg + N_1 + F \sin \alpha & (2) \end{cases}$$

Из (2): $N_1 = mg - F \sin \alpha \Rightarrow$ в (1):

$$m a_{1,x} = -\mu (mg - F \sin \alpha) + F \cos \alpha, \text{ откуда } a_{1,x} = -\mu g + \frac{F(\cos \alpha + \mu \sin \alpha)}{m}$$

По II закону Ньютона для санок в II СО:

$$m \vec{a}_2 = m \vec{g} + \vec{N}_2 + \vec{F}_{mp.2} + \vec{F}_2$$

В проекциях на оси x и y :

$$\begin{cases} m a_{2,x} = F_{m,x} + N_{2,x} + F_{mp.2,x} + F_{2,x} \\ m a_{2,y} = F_{m,y} + N_{2,y} + F_{mp.2,y} + F_{2,y} \end{cases}$$

$$\begin{cases} m a_{2,x} = -F_{mp.2} + F & (3) \\ 0 = -mg + N_2 & (4) \end{cases}$$

Из (4): $N_2 = mg \Rightarrow$ в (3):

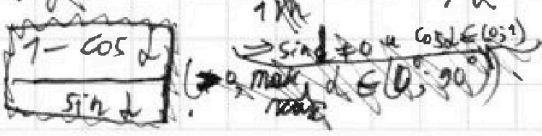
$$m a_{2,x} = -\mu mg + F, \text{ откуда } a_{2,x} = -\mu g + \frac{F}{m}$$

$$K = \frac{m v_{k,x}^2}{2} \Leftrightarrow v_{k,x} = \sqrt{\frac{2K}{m}} \Rightarrow \int_{mp.г.г.г.} = \frac{v_{k,x}^2 - v_{0,x}^2}{2a_x} = \frac{v_{k,x}^2}{2a_x} \Big|_{(m.k. \neq 0)}$$

$= \frac{K}{m a_x}$. По условию участки пути одинаковые \Rightarrow $m a_x$ справедливы для обоих и тогда же μ , а также $\int_{mp.г.г.г.} =$

$$= \int_{mp.г.г.г.} \Leftrightarrow a_{x,1} = a_{x,2} \Leftrightarrow -\mu g + \frac{F(\cos \alpha + \mu \sin \alpha)}{m} = -\mu g + \frac{F}{m}$$

$$\Leftrightarrow \cos \alpha + \mu \sin \alpha = 1 \Leftrightarrow \mu = \frac{1 - \cos \alpha}{\sin \alpha} \Rightarrow \mu = \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \text{ (на мн.з.)}$$



На одной странице можно оформлять только одну задачу.

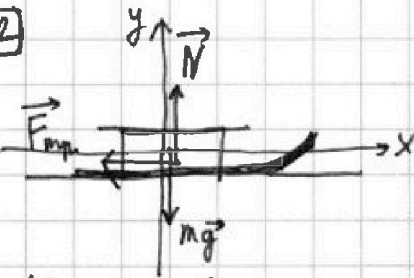
Отметьте крестиком номер задачи,

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!



Аналогично вводим x оси x и y .
 Так как F больше не действует,
 но (считаем) \rightarrow

Аналогично $F_{m,x} = N_x = F_{тр,y} = 0;$

$F_{m,y} = -mg; N_y = N; F_{тр,x} = -F_{тр}.$

Так как $v_{k,x} > 0$, а $F_{тр} \uparrow \vec{v}_k$.

Как и в пункте 1, применяем II закон Ньютона для
 санок в $1CO$ в проекциях на:

ось x : $m a_x = -F_{тр} = (\text{закон Кулона - Ампертона, так как } |\vec{v}_k| > 0) -\mu N = (\text{из 5}) -\mu mg,$
 ось y : $0 = -mg + N \Leftrightarrow N = mg$ (5)

Значит $a_x = -\mu g \Rightarrow S = \int_{-v_k}^{0} v_{k,x} dx$ (так как в конце санки останавливаются)
 $\frac{-v_k^2}{2a_x} = -\frac{\frac{2k}{m}}{2(-\mu g)} = \frac{k}{\mu mg}$

Ответ: 1) $\mu = \frac{1 - \cos \alpha}{\sin \alpha}$; 2) $S = \frac{k}{\mu mg}$

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!

На участке 1→2:

$$\Delta U_{12} = \frac{i}{2} \nu R (T_2 - T_1) \quad (\nu = 1 \text{ моль}, \nu - \text{количество одностатного идеального газа} \Rightarrow i = 3, i - \text{степени свободы газа}; T_1 - \text{температура в состоянии 2, по графику из условия}; T_2 = 8 T_1) = \frac{3}{2} \nu R (8 T_1 - T_1) = \frac{21}{2} \nu R T_1$$

$$Q_{12} = C_{12} \nu (T_2 - T_1) \quad (C_{12} - \text{мольная теплоемкость газа на участке } 1 \rightarrow 2, \text{ по графику: } C_{12} = \frac{3}{2} R) = \frac{3}{2} R \cdot \nu \cdot (8 T_1 - T_1) = \frac{21}{2} \nu R T_1 \quad (\text{по графику, теплота всё время процесса } 1 \rightarrow 2 \text{ подводилась})$$

На участке 2→3:

$$\Delta U_{23} = \frac{i}{2} \nu R (T_3 - T_2) \quad (T_3 - \text{температура газа в состоянии 3, по графику: } T_3 = 4 T_1) = \frac{3}{2} \nu R (4 T_1 - 8 T_1) = -6 \nu R T_1$$

$$Q_{23} = C_{23} \nu (T_3 - T_2) \quad (C_{23} - \text{мольная теплоемкость газа на участке } 2 \rightarrow 3, \text{ по графику: } C_{23} = \frac{R}{2}) = \frac{R}{2} \cdot \nu \cdot (4 T_1 - 8 T_1) = -2 \nu R T_1 \quad (\text{по графику, теплота всё время процесса } 2 \rightarrow 3 \text{ отводилась})$$

На участке 3→1:

$$\Delta U_{31} = \frac{i}{2} \nu R (T_1 - T_3) = \frac{3}{2} \nu R (T_1 - 4 T_1) = -\frac{9}{2} \nu R T_1$$

$$Q_{31} = C_{31} \nu (T_1 - T_3) \quad (C_{31} - \text{мольная теплоемкость газа на участке } 3 \rightarrow 1, \text{ по графику: } C_{31} = 2R) = 2R \cdot \nu \cdot (T_1 - 4 T_1) = -6 \nu R T_1 \quad (\text{по графику, теплота всё время процесса } 3 \rightarrow 1 \text{ отводилась}).$$

Применим I закон термодинамики:

$$\begin{cases} Q_{12} = \Delta U_{12} + A_{12} \Leftrightarrow A_{12} = Q_{12} - \Delta U_{12} = 0 \\ Q_{23} = \Delta U_{23} + A_{23} \Leftrightarrow A_{23} = Q_{23} - \Delta U_{23} = 4 \nu R T_1 \\ Q_{31} = \Delta U_{31} + A_{31} \Leftrightarrow A_{31} = Q_{31} - \Delta U_{31} = -3,5 \nu R T_1 \end{cases} \Rightarrow A_{\text{общ}} = A_{12} + A_{23} + A_{31} = 2,5 \nu R T_1$$

$$1) A_{31} = -A_{г.31} = 1,5 \nu R T_1 = \frac{3}{2} \cdot 1 \text{ моль} \cdot 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot 300 \text{ К} = 2993 \text{ Дж} \quad \text{ответ к 1}$$

$$2) \eta = \frac{A_{\text{общ}}}{Q_+} \quad (Q_+ - \text{сумма теплоты на участках, где теплота только подводилась} \Rightarrow Q_+ = Q_{12} = \frac{21}{2} \nu R T_1) = \frac{2,5 \nu R T_1}{\frac{21}{2} \nu R T_1} = \frac{5}{21}$$

ответ к 2

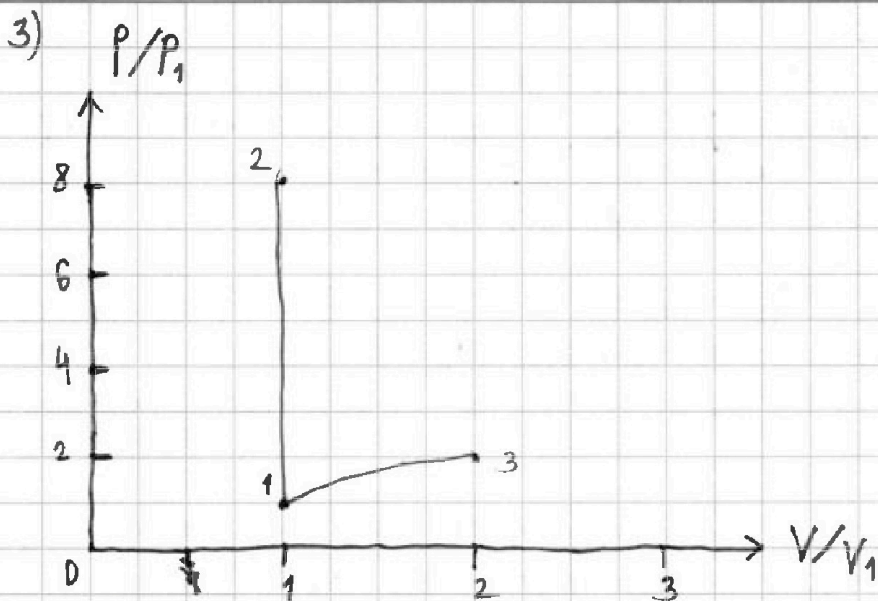
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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. Печать QR-кода обязательна!



По условию: $C_{12} = \frac{3}{2}R = \frac{6}{2}R \Rightarrow V_{1 \rightarrow 2} = \text{const} \Rightarrow \frac{p_2}{T_2} = 8 \frac{p_1}{T_1}$ (з.м.) \Leftrightarrow

$\Leftrightarrow p_2 = 8p_1$

Закон идеального газа: $(p + \Delta p)(V + \Delta V) = \nu R(T + \Delta T)$

Получим: $p\Delta V + V\Delta p \approx \nu R\Delta T \Leftrightarrow \frac{p}{\Delta p} + \frac{V}{\Delta V} = \frac{\Delta T}{T}$ (з.м.)

$p\Delta V = \frac{\nu R\Delta T}{2}$ (з.м.) $\Delta T = \frac{2p\Delta V}{\nu R} = \frac{2p\Delta V}{R}$

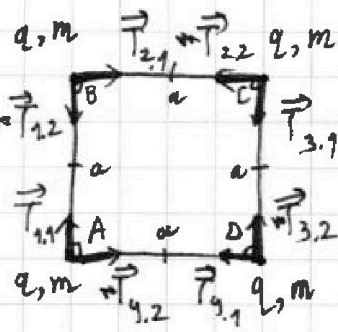
$2 \cdot \frac{\Delta V}{V} = \frac{\Delta T}{T} \Rightarrow \frac{\Delta p}{p} = \frac{\Delta V}{V} \Rightarrow p_3 = 4p_1 = p_1 \cdot \frac{T_3}{T_1}$

$\Rightarrow p \sim V \Rightarrow p_3 = 2p_1$ и $V_3 = 2V_1$ ($2 = \sqrt{4}$)

$Z \rightarrow 3$ не уместно

1 2 3 4 5 6 7

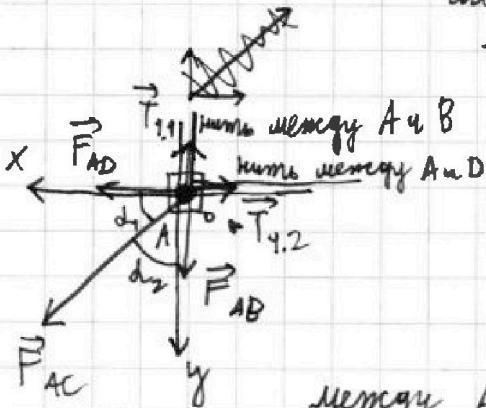
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



1) Введем обозначения шариков: см. слева. На рис.: $|T_{1,1}| = |T_{2,1}| = |T_{3,1}| = |T_{4,1}| = T$. Пользуемся тем, что сила натяжения канатной нити одинакова во всех точках.

Рассмотрим силы электромагнитной природы, действующие на шарик А (С остальными рассмотрим аналогично).

Введем фиксированные оси x и y : см. слева. Тогда $T_{1,x} = T_{4,2,y} = 0$; $T_{1,y} = -T_{4,1} = -T$; $T_{1,2,x} = -T_{4,2} = -T$.



Между шариками заряды шариков А и В равны \Rightarrow одного знака \Rightarrow между ними действует отталкивающая сила, равная по модулю $F_{AB} =$ (по закону Кулона) $\frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 a^2}$. Аналогично

между А и D действует отталкивающая сила, равная по модулю $F_{AD} = \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 a^2}$. А между А и С действует отталкивающая сила, равная по модулю $F_{AC} = \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 b^2}$, где b — длина диагонали квадрата $a \times a$. По теореме Пифагора: $b = \sqrt{a^2 + a^2} = a\sqrt{2} \Rightarrow F_{AC} = \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 (a\sqrt{2})^2} = \frac{q^2}{8\pi\epsilon_0 a^2}$. Из квадрата

на \angle вертикальных углов находим $d_1 = a \operatorname{ctg} \frac{a}{a} = 45^\circ = d_2$. Также по II закону Ньютона для шарика А в лев.:

$\vec{D} = \vec{T}_{1,1} + \vec{T}_{1,2} + \vec{F}_{AD} + \vec{F}_{AB} + \vec{F}_{AC}$. Запишем II з.н. в проекциях на:

$$\begin{cases} \text{ось } x: 0 = 0 - T + F_{AD} + 0 + F_{AC} \cos d_1 \Leftrightarrow T = \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 a^2} + \frac{q^2}{8\pi\epsilon_0 a^2} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} & (1) \\ \text{ось } y: 0 = -T + 0 + 0 + F_{AB} + F_{AC} \cos d_2 \Leftrightarrow T = \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 a^2} + \frac{q^2}{8\pi\epsilon_0 a^2} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} & (2) \end{cases}$$

Как видим, (1) и (2) идентичны. Из (1): $|q| =$

$$= \sqrt{\frac{T}{\frac{1}{4\pi\epsilon_0 a^2} + \frac{\sqrt{2}}{16\pi\epsilon_0 a^2}}} = \sqrt{\frac{16\pi\epsilon_0 a^2 T}{4 + \sqrt{2}}} = \sqrt{\frac{16\pi\epsilon_0 a^2 T (4 - \sqrt{2})}{16 - 2}} = 4a \sqrt{\frac{\pi\epsilon_0 T (4 - \sqrt{2})}{14}}$$

ответ к 1

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,

решение которой представлено на странице:



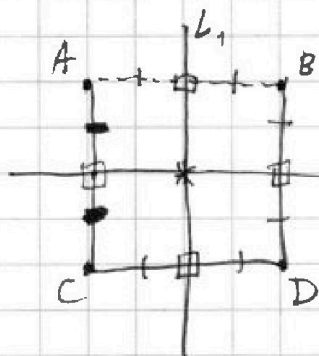
1	2	3	4	5	6	7
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>



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

3) Заметим, что на систему шариков с нитями не действуют ^{внешние} внешние силы, ^{действующие} ~~возникают~~ силы реакции опор и тяжести компенсируют друг друга. Значит ^{центр} ~~центр~~ ^{тяжести} ~~тяжести~~ ^{каждого} ~~каждого~~ ^{шарика} ~~шарика~~ системы ~~окажется~~ ~~останется~~ на той же

месте, где и был, то есть посередине квадрата (ведь ~~система~~ шарики одной массы симметричны относительно центра квадрата). В силу симметрии



система относительно L_1 (см. слева), шарик А и В, а также С и D, будут симметричны друг относительно друга. Заметим, что если шарик ^{оказываются} ~~оказываются~~ ^{на одной} ~~на одной~~ ^{прямой} ~~прямой~~, то и ^{новый} ~~новый~~ ^{центр} ~~центр~~ ^{тяжести} ~~тяжести~~ оказывается на этой же прямой... и совпадает с ~~третьим~~ ^{центром} ~~центром~~ \Rightarrow Все шарикки будут лежать на прямой L_2 .



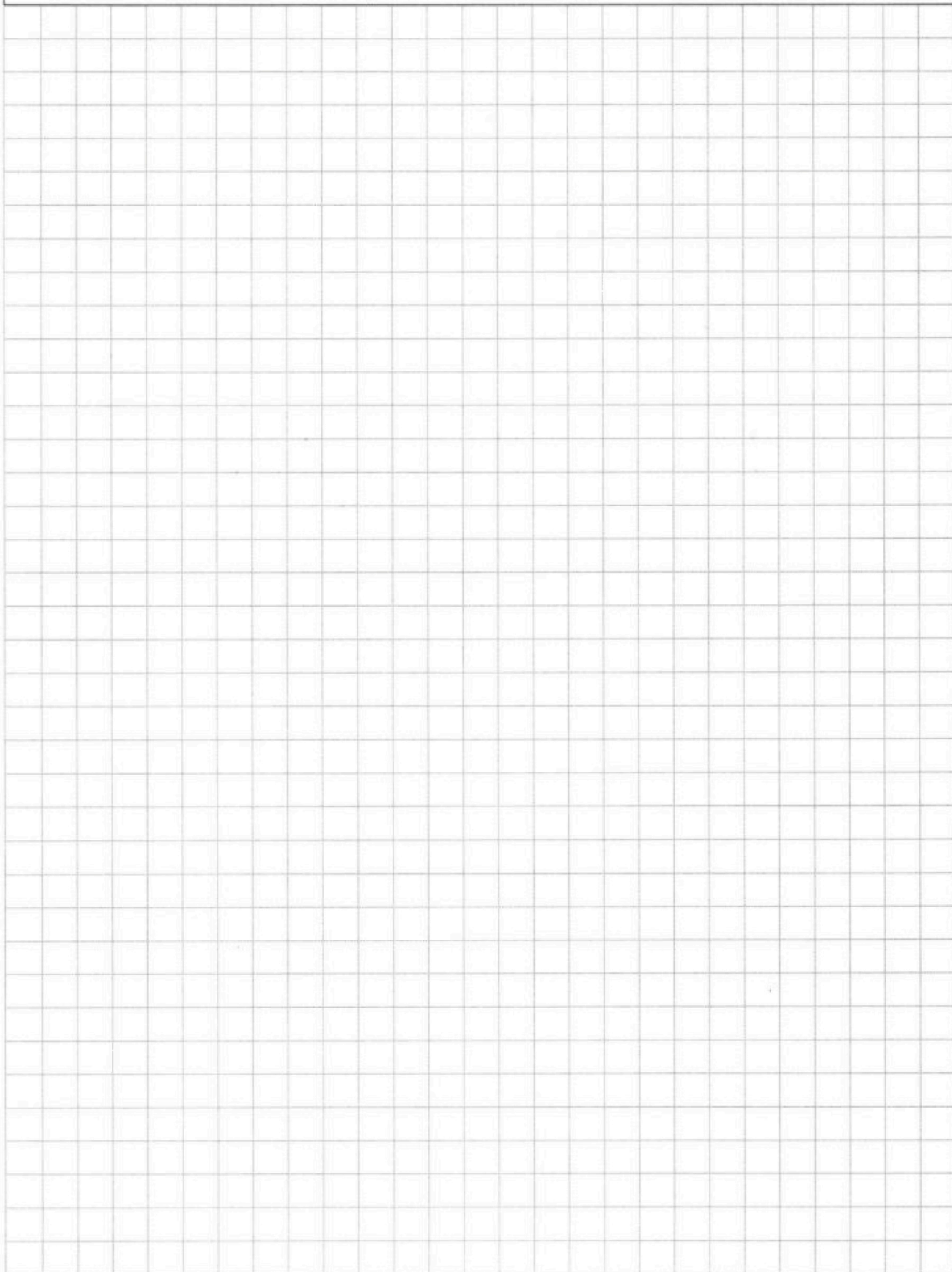
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
<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!



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!



$$1 \rightarrow 2: C = \frac{3R}{2} \Rightarrow V = \text{const} \Rightarrow p_2 = 8p_1$$

$$2 \rightarrow 3: \frac{R}{2} \Delta T = A_{\Delta T} + \frac{3R}{2} \Delta T$$

$$A_{\Delta T} = -R \Delta T$$

$$(p + \Delta p)(V) = -R \Delta T \quad \Delta T = -\frac{p \Delta V}{R}$$

$$(p + \Delta p)(V + \Delta V) = p R (T + \Delta T)$$

$$\frac{\Delta p}{p} + \frac{\Delta V}{V} = \frac{\Delta T}{T}$$

$$\frac{\Delta p}{p} + \frac{\Delta V}{V} = \frac{\Delta T}{T}$$

$$p \Delta V = -R \Delta T$$

$$\frac{\Delta p}{p} + \frac{\Delta V}{V} = -\frac{p \Delta V}{RT}$$

$$\Delta p \Delta V$$

$$V = \frac{\Delta V}{-\left(\frac{\Delta p}{p} + \frac{p \Delta V}{RT}\right)}$$

$$k_p + k_v = k_T$$

$$pV = RT$$

$$A_{\Delta T} = \frac{R \Delta T}{2}$$

$$k_v p V = -RT k_T$$

$$k_p + k_v = k_T$$

$$k_v p V = RT k_T$$

$$p - 2 \frac{p}{V} V + \Delta V$$

$$-k_v = k_T$$

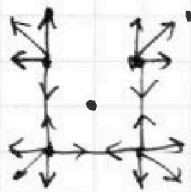
$$2k_v = k_T$$

$$p - 2 \frac{p}{V} V + \Delta V$$

$$k_p = -2k_v$$

$$k_p = k_v$$

$$\frac{\Delta p}{p} = \frac{\Delta V}{V}$$



$$\frac{\sin \alpha}{1 + \cos \alpha} ?$$

$$\frac{1 - \cos \alpha}{\sin \alpha} ? \quad \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha}$$

$$\frac{1 - \cos \alpha}{\sin \alpha} ? \quad \frac{\sin \frac{\alpha}{2}}{\cos \frac{\alpha}{2}}$$

$$\cos \frac{\alpha}{2} - 2 \cos \frac{3\alpha}{2} + \cos \frac{\alpha}{2} ?$$

? ~~scribble~~

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!

