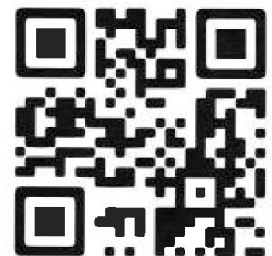




Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

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.

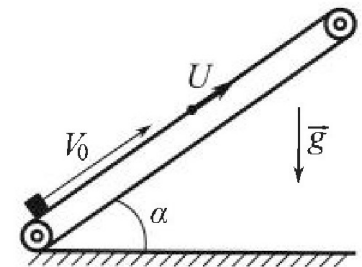
2) На каком расстоянии S от точки старта находится стенка?

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.).

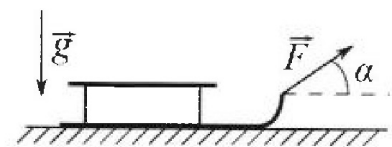
2) Через какое время T_1 после старта скорость коробки во втором опыте будет равна $U = 1$ м/с?

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 .

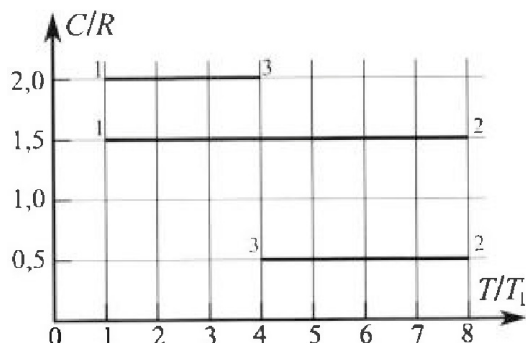
Санки находятся на горизонтальной поверхности. Движение санок прямолинейное.

Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

Вариант 10-02

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

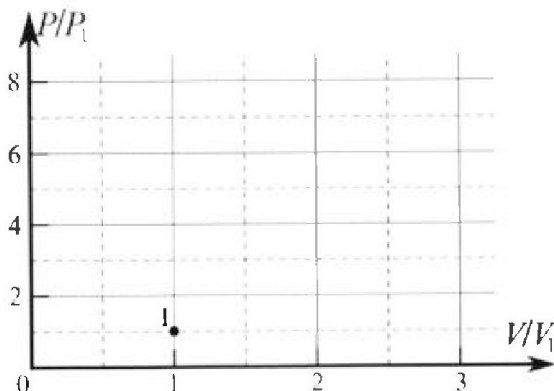
4. Тепловой двигатель работает по циклу 1-2-3-1. Рабочее вещество – один моль одноатомного идеального газа. Для вычисления КПД цикла ученик десятого класса построил график зависимости молярной теплоемкости C газа (в единицах универсальной газовой постоянной) от температуры в процессах: 1-2, 2-3, 3-1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

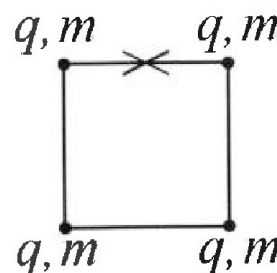
1) Найдите абсолютную величину $|q|$ заряда каждого шарика.

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.



1	2	3	4	5	6	7
☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐

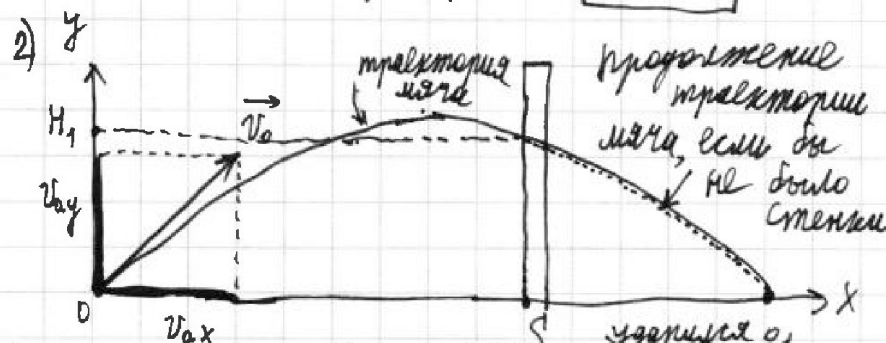
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



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 $\sin 2\alpha = 2 \sin \alpha \cos \alpha$), откуда $v_0 = \sqrt{\frac{gL}{\sin 2\alpha}} = \sqrt{\frac{10 \cdot 20}{\sin(2 \cdot 45^\circ)}} = \sqrt{\frac{200 \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}}{\sin 90^\circ}} = \sqrt{\frac{200 \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}}{1}} = 10\sqrt{2} \frac{\text{м}}{\text{с}}$



$g_x = 0$; $g_y = -g$. Если мяч коснулся стенки через время $T_{\text{уд.}}$, то $y_{\text{уд.}} = H_1$ и $x_{\text{уд.}} = L$.

фиксированные
Введем оси x и y , как и в пункте 1. Тогда $v_{0x} = v_0 \cos \beta$ (пусть начальная скорость $\vec{v}_0$ 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:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

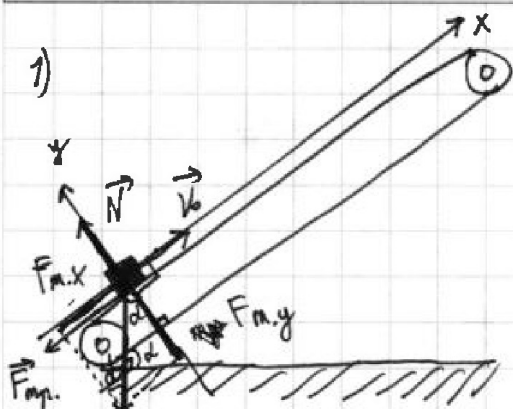
$$S = \sqrt{\frac{2 v_0^2}{g} \left(\frac{v_0^2}{2 g} - H \right)} = \text{по пункту 1: } v_0 = 10\sqrt{2} \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$= \sqrt{40 \cdot 6,4} = \sqrt{256 \text{ м}^2} = 16 \text{ м}$$

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

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

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

из (2): $N = mg \cos \alpha \Rightarrow F_{fr} = \mu mg \cos \alpha$. Тогда в (1):

$$m a_x = -mg \sin \alpha - \mu mg \cos \alpha, \text{ откуда } a_x = -g (\sin \alpha + \mu \cos \alpha).$$

Найдем путь $S_{1,max}$, пройденный коробкой до прекращения
движения вверх: $S_{1,max} = \frac{V_{k,x}^2 - V_0^2}{2a_x} = \frac{0 - V_0^2}{2a_x}$ (так как $V_{k,x} = 0$)
 $= \frac{V_0^2}{2g (\sin \alpha + \mu \cos \alpha)} = \frac{36 \frac{m^2}{c^2}}{2 \cdot 10 \frac{m}{c^2} (0,6 + 0,5)} = \frac{36 \frac{m}{c}}{20 \cdot 1,1} = \frac{36 \frac{m}{c}}{22} = 1,636 \frac{m}{c}$

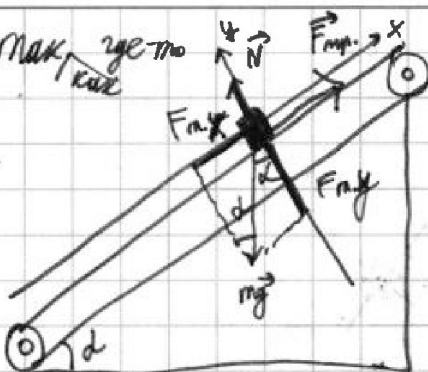
через (3) предп., что коробка не двигалась вниз)
Заведя время T : $V_{k,x} = V_{0,x} + a_x T = V_0 - g (\sin \alpha + \mu \cos \alpha) T =$
 $= 6 \frac{m}{c} - 10 \frac{m}{c} \cdot (0,6 + 0,5) \cdot T = 6 \frac{m}{c} - 11 T$ (из основного тригонометриче-
ского тождества) $\sqrt{1 - \sin^2 \alpha} = 0,8$
 $= 6 \frac{m}{c} - 10 \frac{m}{c} \cdot 0,5 \cdot \sqrt{1 - 0,36} = 6 \frac{m}{c} - 5 \frac{m}{c} \cdot 0,8 = 6 \frac{m}{c} - 4 \frac{m}{c} = 2 \frac{m}{c}$

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

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!

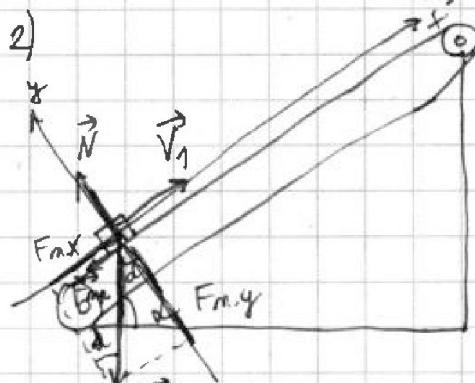
Попадём $S_{1.верх}$: $S_{1.верх} = \frac{-V_0^2}{2a_x}$ (так, что-то
коробка остановилась) $= \frac{36 \frac{м^2}{с^2}}{2 \cdot 10 \frac{м}{с^2} (0,6 + 0,5 \cdot 0,8)} =$
 $= \frac{V_0^2}{g(\sin \alpha + \mu \cos \alpha)} = \frac{36 \frac{м^2}{с^2}}{10 \frac{м}{с^2} (0,6 + 0,5 \cdot 0,8)} =$
 $= 3,6 м.$



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

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

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



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

по модулю $a_{0,x} = -g(\sin \alpha + \mu \cos \alpha) = -10 \frac{м}{с^2} (0,6 + 0,5 \cdot 0,8) = -10 \frac{м}{с^2}$.
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
☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐

МОТИ

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

В этой системе со 1 коробка установится через $T_{\text{вст.}} = \frac{0 - v_{1x}}{a_x} = \frac{5 \frac{\text{м}}{\text{с}}}{10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}} = 0,5 \text{ с}$. Но тогда в ЛСО коробка то есть со скоростью $u = 1 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ 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 $a_{n,x} = (g \cos \alpha - \sin \alpha) g = -2 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$. Если в ЛСО коробка примет нулевую скорость, то в со 1 коробка будет двигаться вниз (по наклонной) со скоростью $u = 1 \frac{\text{м}}{\text{с}} \Rightarrow$

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

$$\Rightarrow L = |S_{\text{со1},x} + S_{\text{тр},x}| = |(S_{\text{вст},x} + S_{\text{изл},x}) + u(T_1 + T_2)| =$$

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

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

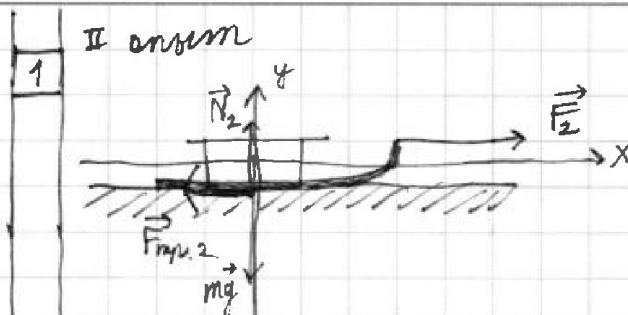
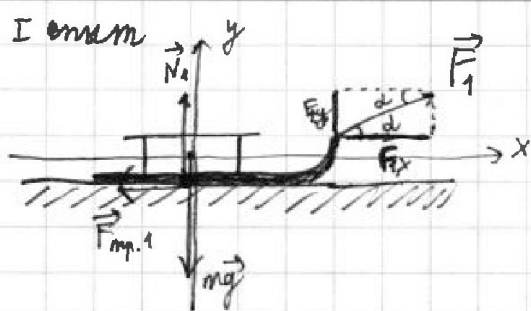
$$= \left| \left(\left(2,5 \frac{\text{м}}{\text{с}} - 1,25 \frac{\text{м}}{\text{с}} \right) - 0,25 \frac{\text{м}}{\text{с}} \right) + 1 \frac{\text{м}}{\text{с}} \right| =$$

$$= \left| (2,5 \frac{\text{м}}{\text{с}} - 1,25 \frac{\text{м}}{\text{с}}) - 0,25 \frac{\text{м}}{\text{с}} + 1 \frac{\text{м}}{\text{с}} \right| = \boxed{2 \text{ м}}$$

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

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!



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

По II закону Ньютона для санок в ICO:

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

В проекциях на оси x и y :

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

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

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 ICO:

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

В проекциях на оси x и y :

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

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

Из (4): $N_2 = mg \Rightarrow$ в (3):

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

$$K = \frac{m v_{kx}^2}{2} \Leftrightarrow v_{kx} = \sqrt{\frac{2K}{m}} \Rightarrow \text{Скорость по трению} = \frac{v_{kx}^2 - v_{ax}^2}{2a_x} = \frac{v_{kx}^2}{2a_x} =$$

$= \frac{K}{m a_x}$. По условию участки пути одинаковые $\Rightarrow$ мы

справедливо брали один и тот же μ , а так же $F_{тр.1} =$

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

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

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

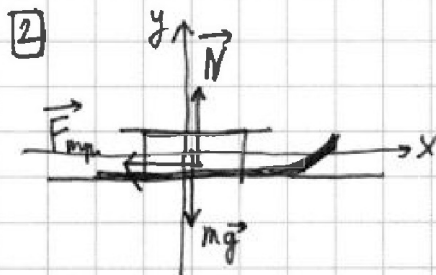
Отметьте крестиком номер задачи,

решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐

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, применим II закон Ньютона для
 санок в ИСО в проекциях на:

как $\vec{V}_k \cdot |\vec{V}_k| > 0$ $-\mu N = (\text{из 5}) - \mu mg$

$$\begin{cases} \text{ось } x: m a_x = -F_{тр.} = (\text{закон Кулона - Ампертона, так}) \\ \text{ось } y: 0 = -mg + N \Leftrightarrow N = mg \quad (5) \end{cases}$$

Значит $a_x = -\mu g \Rightarrow S' = \int_{-V_k^2}^{0} V_{k.x} dx \rightarrow V$ (так как в конце
 санки останавливаются)

$$\frac{-V_k^2}{2a_x} = - \frac{\frac{2k}{m}}{2(-\mu g)} = \boxed{\frac{k}{\mu mg}}$$

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

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!

На участке 1→2:

$$\Delta U_{12} = \frac{i}{2} \nu R (T_2 - T_1) \quad (\nu = 1 \text{ моль}, i = 3 \text{ — степень свободы газа; } T_1 - \text{температура в состоянии 1, по графику из условия: } T_2 = 8 T_1)$$

$$= \frac{3}{2} \nu R (8 T_1 - T_1) = \frac{21}{2} \nu R T_1$$

$$Q_{12} = C_{12} \nu (T_2 - T_1) \quad (C_{12} - \text{мольная теплоемкость газа на участке } 1 \rightarrow 2, \text{ по графику: } C_{12} = \frac{3}{2} R)$$

$$= \frac{21}{2} \nu R T_1 \quad (\text{по графику, теплота всё время процесса } 1 \rightarrow 2 \text{ подводилась})$$

На участке 2→3:

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

$$= \frac{3}{2} \nu R (4 T_1 - 8 T_1) = -6 \nu R T_1$$

$$Q_{23} = C_{23} \nu (T_3 - T_2) \quad (C_{23} - \text{мольная теплоемкость газа на участке } 2 \rightarrow 3, \text{ по графику: } C_{23} = \frac{R}{2})$$

$$= \frac{R}{2} \nu (4 T_1 - 8 T_1) = -2 \nu R T_1 \quad (\text{по графику, теплота всё время процесса } 2 \rightarrow 3 \text{ отводилась})$$

На участке 3→1:

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

$$Q_{31} = C_{31} \nu (T_1 - T_3) \quad (C_{31} - \text{мольная теплоемкость газа на участке } 3 \rightarrow 1, \text{ по графику: } C_{31} = 2 R)$$

$$= 2 R \nu (T_1 - 4 T_1) = -6 \nu R T_1 \quad (\text{по графику, теплота всё время процесса } 3 \rightarrow 1 \text{ отводилась}).$$

Применим I закон термодинамики:

$$\begin{cases} Q_{12} = \Delta U_{12} + A_{12} \Leftrightarrow A_{12} = Q_{12} - \Delta U_{12} = 0 \\ Q_{23} = \Delta U_{23} + A_{23} \Leftrightarrow A_{23} = Q_{23} - \Delta U_{23} = 4 \nu R T_1 \\ Q_{31} = \Delta U_{31} + A_{31} \Leftrightarrow A_{31} = Q_{31} - \Delta U_{31} = -3.5 \nu R T_1 \end{cases}$$

$$1) A_{31} = -A_{г.31} = 1.5 \nu R T_1 = \frac{3}{2} \cdot 1 \cdot 10^{-2} \cdot 8.31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot 100 \text{ К} = 12.465 \text{ Дж}$$

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

$$= \frac{1.5}{10.5} = \frac{1}{7}$$

ответ к 2

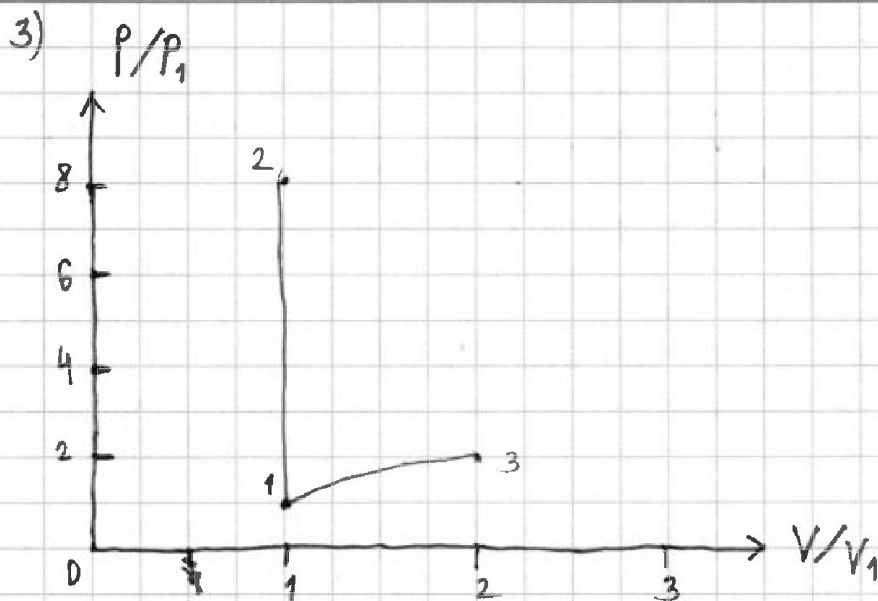
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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. Порча QR-кода недопустима!



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

$\Leftrightarrow p_2 = 8p_1$

Запишем: $(p + \Delta p)(V + \Delta V) = \nu R(T + \Delta T)$

Получим: $p\Delta V + V\Delta p \approx \nu R\Delta T \Leftrightarrow \frac{V}{\Delta p} \Delta p + \frac{\Delta V}{V} = \frac{\Delta T}{T}$ По

$p\Delta V = \frac{\nu R\Delta T}{2} \text{ (з.м.)} \quad \left(\text{где } \nu R\Delta T = A_r + \frac{3}{2}R\Delta T \right)$

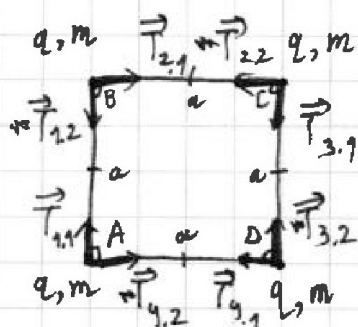
$2 \cdot \frac{\Delta V}{V} = \frac{\Delta T}{T} \Rightarrow \frac{\Delta p}{p} = \frac{\Delta V}{V} \Rightarrow p_3 = 4p_1 = p_1 \cdot \frac{T_3}{T_1}$

$\Rightarrow p \sim V \Rightarrow p_3 = 2p_1 \text{ и } V_3 = 2V_1 \text{ (} z=1.4 \text{)}$

$z \rightarrow 3$ не учтен

1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☒ 6 ☐ 7 ☐

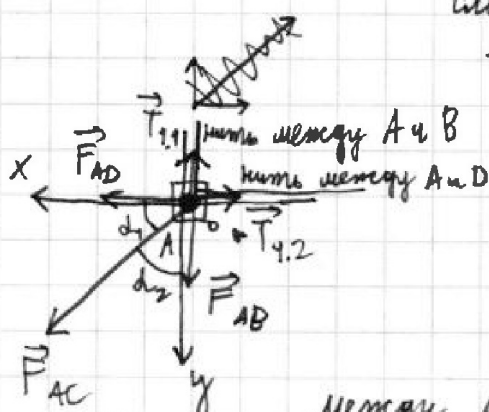
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



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

Рассмотрим силы электромагнитной
природы, действующие на шарик A (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 шаром заряди шариков A и
B 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 A и D действует отталкивающая сила,
равная по модулю $F_{AD} = \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 a^2}$. А между A и C 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

и вертикальных углов находим $d_1 = a \cos 45^\circ = \frac{a}{\sqrt{2}} = d_2$.
По II закону Ньютона для шарика A имеем:

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

$$\begin{cases} \text{ось } x: 0 = 0 - T + F_{AD} + 0 + F_{AC} \cos \alpha_1 \Leftrightarrow T = \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 a^2} + \frac{q^2}{8\pi\epsilon_0 a^2} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} & (1) \\ \text{ось } y: 0 = -T + 0 + 0 + F_{AB} + F_{AC} \cos \alpha_2 \Leftrightarrow T = \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 a^2} + \frac{q^2}{8\pi\epsilon_0 a^2} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} & (2) \end{cases}$$

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

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

отв. 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
☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐

МФТИ

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, ^{кроме как} силы реакции опор и тяжести, компенсируют друг друга. Значит ^{какое} центр

тяжести системы ~~окажется~~ останется на том же месте, где и был, то есть посередине квадрата

Если ~~система~~ шары одной массы симметричны относительно центра квадрата. В силу симметрии

система относительно L_1 (см. слева), шары

A и B, а также C и D, будут симметричны

друг относительно друга. Заметим, что

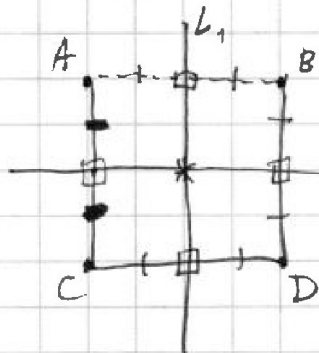
если шары оказываются на одной

прямой, то и ^{новый} центр тяжести

оказывается на этой же прямой... и

совпадает с прежним $\Rightarrow$ Все шары

будут лежать на прямой L_2 .





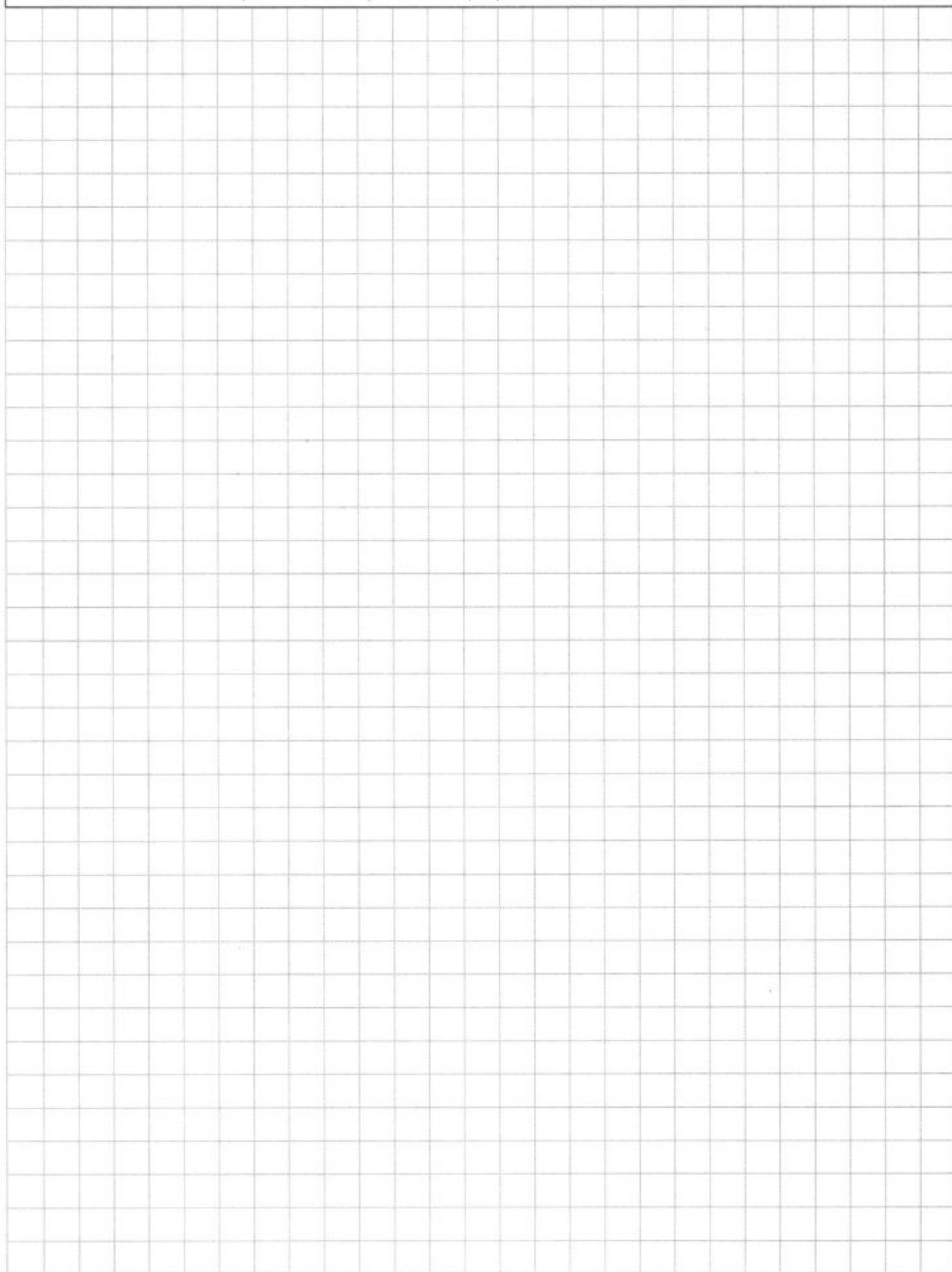
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

 **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
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

МФТИ

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

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

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

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

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

$$\Delta T = -\frac{p \Delta V}{R}$$

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

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

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

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

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

$$\Delta p \Delta V$$

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

$$k_p + k_v = k_T$$

$$pV = RT$$

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

$$k_p k_v pV = -RT k_T$$

$$k_p + k_v = k_T$$

$$k_v pV = RT k_T$$

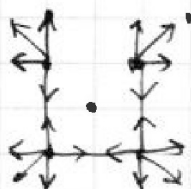
$$p - 2 \frac{p}{V} V + \Delta V$$

$$-k_v = k_T$$

$$2k_v = k_T$$

$$k_p = k_v$$

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



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

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

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

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

$$? \sin \alpha$$

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!

