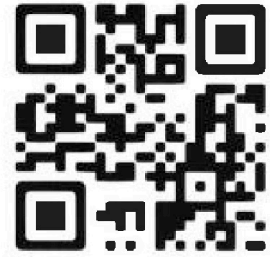




Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

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.

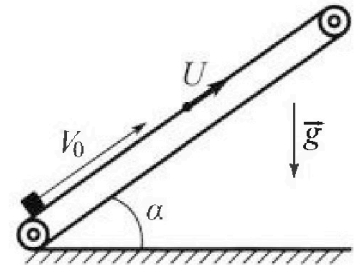
2) На каком расстоянии S от точки старта находится стенка?

Ускорение свободно го 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.).

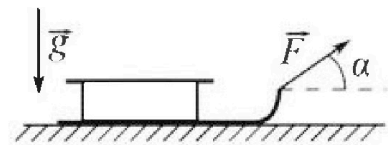
2) Через какое время T_1 после старта скорость коробки во втором опыте будет равна $U = 1$ м/с?

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.

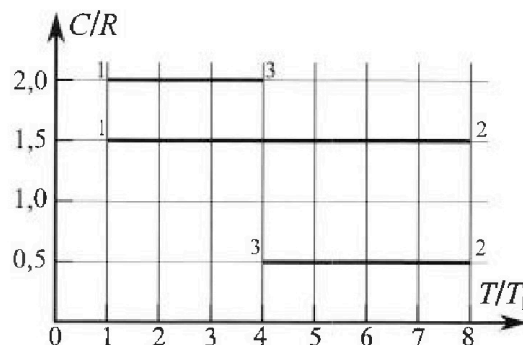
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

Вариант 10-02

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



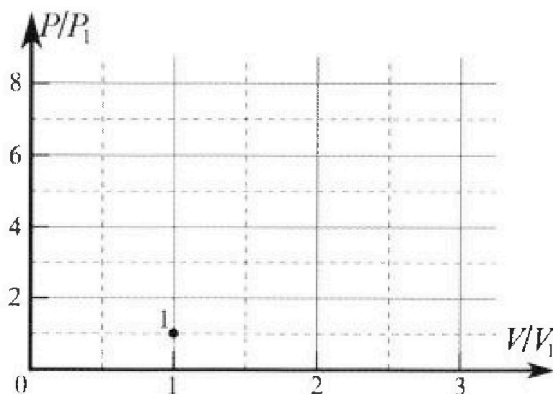
4. Тепловой двигатель работает по циклу 1-2-3-1. Рабочее вещество – один моль одноатомного идеального газа. Для вычисления КПД цикла ученик десятого класса построил график зависимости молярной теплоемкости C газа (в единицах универсальной газовой постоянной) от температуры в процессах: 1-2, 2-3, 3-1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

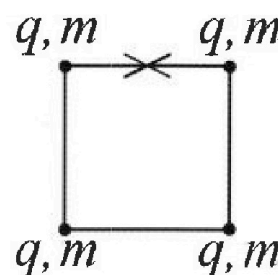
1) Найдите абсолютную величину $|q|$ заряда каждого шарика.

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.

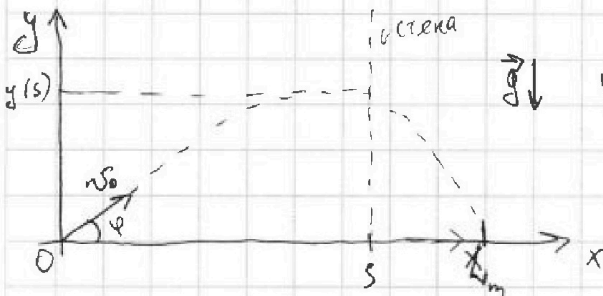
Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

1 2 3 4 5 6 7

МФТИ

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

№ 1.



Рассмотрим бросок тела со скоростью v_0 под углом φ к горизонту. Введем координ. Ox и верт. Oy , где точка $(0; 0)$ — точка броска

Зависимость координат тела от времени:

$$\begin{cases} x(t) = v_0 \cdot \cos \varphi \cdot t \\ y(t) = v_0 \cdot \sin \varphi \cdot t - \frac{gt^2}{2} \end{cases}$$

~~Решение~~

Пусть t_0 — время всего полета $\Rightarrow y(t_0) = 0 \Rightarrow v_0 \cdot \sin \varphi \cdot t_0 - \frac{gt_0^2}{2} = 0$. Так $t_0 \neq 0$, то $v_0 \cdot \sin \varphi - \frac{gt_0}{2} = 0 \Rightarrow t_0 = \frac{2v_0 \cdot \sin \varphi}{g}$

$$\Rightarrow L_m = x(t_0) = v_0 \cdot \cos \varphi \cdot \frac{2v_0 \cdot \sin \varphi}{g} = \frac{v_0^2 \cdot \sin 2\varphi}{g} \text{ — дальность полета}$$

Из уравнения $x(t)$ выразим $t = \frac{x}{v_0 \cos \varphi}$. Подставим в $y(t)$, получим $y(x)$.

$$y(x) = v_0 \cdot \sin \varphi \cdot \frac{x}{v_0 \cos \varphi} - \frac{g \cdot x^2}{2v_0^2 \cdot \cos^2 \varphi} = x \cdot \operatorname{tg} \varphi - \frac{g}{2v_0^2} \cdot (1 + \operatorname{tg}^2 \varphi) \cdot x^2$$

Перейдем к задаче: 1) мы знаем, что $L_m = L = 20 \text{ м}$ при $\varphi = \alpha = 45^\circ$

$$\Rightarrow L = \frac{v_0^2 \cdot \sin 2\alpha}{g} \Rightarrow v_0 = \sqrt{\frac{gL}{\sin 2\alpha}}; \quad v_0 = \sqrt{\frac{10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot 20 \text{ м}}{1}} = \underline{\underline{10\sqrt{2} \frac{\text{м}}{\text{с}}}}$$

2) При изменении угла броска φ величина $y(S)$, т.е. высота удара о стену, имеет максимум $H = 3,6 \text{ м}$

$$\Rightarrow S \cdot \operatorname{tg} \varphi - \frac{g}{2v_0^2} \cdot (1 + \operatorname{tg}^2 \varphi) \cdot S^2 \leq H, \text{ при чем равенство достигается}$$

$$- \operatorname{tg}^2 \varphi \cdot \frac{gS^2}{2v_0^2} + S \cdot \operatorname{tg} \varphi - \frac{gS^2}{2v_0^2} \leq H \quad \text{В левой части пер. ва параболы выведем внизу относительно } \operatorname{tg} \varphi \text{ (} S, g, v_0 = \text{const)}$$

$\Rightarrow H$ — значение этой параболы в ее вершине. Вершина: $\operatorname{tg} \varphi_0 = \frac{S}{-\frac{gS^2}{v_0^2}} = \frac{v_0^2 S}{gS^2} = \frac{v_0^2}{gS}$

$$\Rightarrow H = - \frac{v_0^4 S^2}{g^2 S^2} \cdot \frac{g}{2v_0^2} + S \cdot \frac{v_0^2}{gS} - \frac{gS^2}{2v_0^2} = - \frac{v_0^2}{2g} + \frac{v_0^2}{g} - \frac{gS^2}{2v_0^2} = \frac{v_0^2}{2g} - \frac{gS^2}{2v_0^2}$$

$$\frac{gS^2}{2v_0^2} = \frac{v_0^2}{2g} - H \Rightarrow S^2 = \frac{v_0^2}{2g} \cdot \frac{2v_0^2}{g} - H \cdot \frac{2v_0^2}{g} = \frac{v_0^4}{g^2} \left(\frac{v_0^2}{g^2} - \frac{2H}{g} \right)$$

$$\Rightarrow S = v_0 \cdot \sqrt{\frac{v_0^2}{g^2} - \frac{2H}{g}}; \quad S = 10\sqrt{2} \frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot \sqrt{\frac{200 \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}}{100 \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}} - \frac{2 \cdot 3,6 \text{ м}}{10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}}} = 10\sqrt{2} \frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot \sqrt{1,28} = 10\sqrt{2} \cdot \sqrt{0,8} \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$= 2 \cdot 10 \cdot 0,8 \frac{\text{м}}{\text{с}} = 16 \text{ м.}$$

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

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

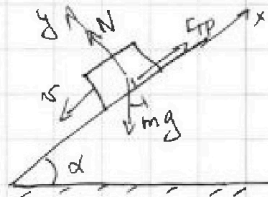
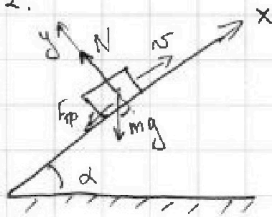
1 2 3 4 5 6 7



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



N2.



Введем Ox вдоль наклонной плоскости, $Oy \perp Ox$.

Когда коробка находится на ленте, на неё действуют 3 силы:

вертикальная сила тяжести mg , сила реакции опоры ленты $\vec{N} \uparrow Oy$, сила трения $F_{тр}$, направленная вдоль Ox , её направление зависит от скорости коробки.

вне зависимости от скорости ленты и коробки по Oy коробка должна находиться \Rightarrow

по 2-3 законам Ньютона в проекции на Oy $N - mg \cdot \cos \alpha = 0 \Rightarrow N = mg \cdot \cos \alpha$.

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

Если коробка относительно ленты движется вверх (по Ox), то сила трения будет направлена против Ox . Тогда по 2-3 законам Ньютона в проекции на Ox $-F_{тр} - mg \cdot \sin \alpha = m \cdot a_{bx}$, где m - масса коробки, a_{bx} - проекция ускорения коробки (в ИСО ленты) на Ox в данном случае. В рассматриваемом случае коробка едет $\Rightarrow F_{тр} = \mu mg \cos \alpha \Rightarrow a_{bx} = -\mu g \cos \alpha + g \sin \alpha$

Если коробка движется против Ox от ленты, то $F_{тр}$ направлена по Ox , $|F_{тр}| = \mu mg \cos \alpha \Rightarrow$ по 2-3 законам Ньютона в пр. или на Ox $F_{тр} - mg \sin \alpha = m g (\mu \cos \alpha - \sin \alpha) = m a_{bx}$, a_{bx} - проекция ускор. коробки на Ox в этом случае $\Rightarrow a_{bx} = g (\mu \cos \alpha - \sin \alpha)$

по условию $\sin \alpha = 0,6$, угол явно острый \Rightarrow по ОТГ $\cos \alpha = \sqrt{1 - 0,36} = 0,8$

$\Rightarrow a_{bx} = g \cdot (0,5 \cdot 0,8 - 0,6) = -0,2g < 0 \Rightarrow$ случай покаа коробки на ленте невозможен, т.к. в нём $F_{тр} \leq \mu mg \cos \alpha$, направлена так же \Rightarrow ускорение будет не больше a_{bx} , т.е. < 0 . которое должно быть 0

1) Зависимость скорости коробки от времени до её остановки и разворота:

$v(t) = v_0 + a_{bx} t = v_0 - g(\mu \cos \alpha + \sin \alpha) t$ по закону равноус. движения

\Rightarrow остановка произойдет через время t_1 , $v(t_1) = 0 \Rightarrow t_1 = \frac{v_0}{g(\mu \cos \alpha + \sin \alpha)} = \frac{v_0}{a_{bx}}$

$$t_1 = \frac{6 \frac{m}{c}}{10 \frac{m}{c^2} \cdot (0,5 \cdot 0,8 + 0,6)} = 0,6 c < T = 1 c$$

до остановки коробка пройдет путь $S(t_1) = v_0 \cdot t_1 + \frac{a_{bx} \cdot t_1^2}{2} = \frac{v_0^2}{-a_{bx}} + \frac{a_{bx} \cdot v_0^2}{2 a_{bx}^2} = \frac{v_0^2}{-2 a_{bx}} = \frac{v_0^2}{2g(\mu \cos \alpha + \sin \alpha)}$

$$S(t_1) = \frac{36 \frac{m^2}{c^2}}{2 \cdot 10 \frac{m}{c^2} \cdot (0,5 \cdot 0,8 + 0,6)} = 1,8 \text{ м} = S_1$$

после остановки коробка продолжит движение, по уже вниз. Зависимость пройден. пути от времени после остановки: $S_2(t_2) = \frac{1 a_{bx} \cdot t_2^2}{2}$, т.к. $a_{bx} \uparrow$ скорость

$S = S_1 + S_2(t_2)$, где $t_2 = T - t_1 = 1 c - 0,6 c = 0,4 c$.

$$\Rightarrow S_2(t_2) = \frac{0,2 \cdot 10 \frac{m}{c^2} \cdot 0,4^2 c^2}{2} = 0,16 \text{ м} \Rightarrow S = 1,8 \text{ м} + 0,16 \text{ м} = \underline{\underline{1,96 \text{ м}}}$$

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!

№2 - продолжение

2) При движении ленте соотношения, записанные в п.1 будут верны, но в ИСО ленто, т.е. движущаяся со скоростью u по Ox .

в ЛСО скорость коробки будет u , либо если скорость в ИСО равна 0, либо если в ИСО скорость коробки равна $2u$ и направлена против Ox .

Первый случай достигается через время $t_1 = 0,6$ с (см. п.1)

Зависимость модуля скорости коробки от времени после её разворота (в ИСО) будет $v_2(t) = |a_{nx}| t \Rightarrow$ через время t_1' после разворота $v_2(t_1') = 2u = |a_{nx}| t_1' = 0,2g t_1'$

$$\Rightarrow t_1' = \frac{2u}{0,2g} = \frac{2 \cdot 1 \frac{m}{s}}{2 \cdot 0,2 \cdot 10 \frac{m}{s^2}} = 1 \text{ с}$$

\Rightarrow скорость коробки во втором случае в ЛСО будет равна u через $t_1 = 0,6$ с и через $t_1 + t_1' = 0,6 + 1$ с = 1,6 с.

3) скорость коробки обратиться в 0 в ЛСО во втором случае, когда в ИСО лента скорости коробки будет направлена "вниз" и равна u по модулю, т.е. после разворота, через время t_2 : $v_2(t_2) = 0,2g \cdot t_2 = u \Rightarrow t_2 = \frac{u}{0,2g}$

До разворота в ИСО коробка проедет $L_1 = u \cdot t_1 + v_0 \cdot t_1 + \frac{a_{nx} t_1^2}{2} = u \cdot t_1 + S_1$

по Ox ; после разворота в ЛСО смещение по Ox дообучение скорости $L_2 = u \cdot t_2 + \frac{a_{nx} t_2^2}{2}$

$$L = L_1 + L_2 = u \left(t_1 + \frac{u}{0,2g} \right) + S_1 - \frac{a_{nx} \cdot u^2}{2 \cdot 0,2g \cdot 0,2g}$$

$$L = 1 \frac{m}{s} \cdot \left(0,6 \text{ с} + \frac{1 \frac{m}{s}}{0,2 \cdot 10 \frac{m}{s^2}} \right) - \frac{1 \frac{m^2}{s^2}}{2 \cdot 0,2 \cdot 10 \frac{m}{s^2}} = 1,1 \text{ м} - 0,25 \text{ м} = 0,85 \text{ м}$$

Ответ: 1) $1,96 \text{ м} = S$; 2) $T_1 = 0,6$ с и $T_1 = 1,6$ с; 3) $L = 0,85 \text{ м}$.

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,

решение которой представлено на странице:

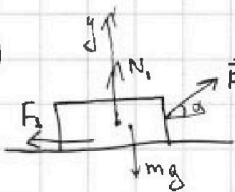
1 2 3 4 5 6 7



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

№3

I)



Когда сила направлена под углом к горизонту, на блок действуют: сила F , сила тяжести mg вниз, сила норм. реакции опоры N_1 вверх и сила трения $F_1 = \mu N_1$, направленная горизонт. против направления движения.

По вертик. ОУ блок покоится \Rightarrow по 2-3 Ньютона впр. на ОУ $N_1 + F \cdot \sin \alpha - mg = m \cdot 0$

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

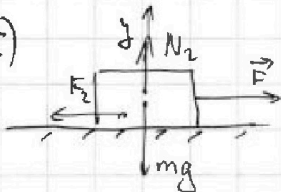
$$\Rightarrow F_1 = \mu mg - \mu F \sin \alpha$$

Пусть разрыв происходит на пути l , при этом силы mg и N_1 не совершают работы, т.к. направлены \perp смещению \Rightarrow по т.о кинетической энергии

$$K = F \cdot l \cdot \cos \alpha - F_1 \cdot l = F \cdot l \cdot \cos \alpha - \mu mg l + \mu F \sin \alpha \cdot l$$

↑ работа силы F ↑ работа силы трения

II)



Когда сила F горизонтально, всё аналогично: по ОУ $N_2 - mg = 0 \Rightarrow N_2 = mg$ - сила норм. реакции опоры; $F_2 = \mu N_2 = \mu mg$ - сила трения в том случае.

по т.о кинетической энергии $K = F \cdot l - F_2 \cdot l = F \cdot l - \mu mg l$

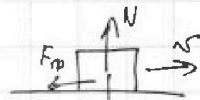
↑ работа силы F ↑ работа силы трения

1) Итого, получаем систему уравнений: $\begin{cases} K = l \cdot (F \cdot \cos \alpha + \mu F \sin \alpha - \mu mg) \\ K = l \cdot (F - \mu mg) \end{cases}$

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

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

2) После прекращения действия силы F :



на блок действует mg , вверх - сила норм. реакции опоры N и сила трения $F_{тр}$ против скорости. По вертикали блок покоится $\Rightarrow N - mg = m \cdot 0$ по 2-3 Ньютона $\Rightarrow N = mg$, $F_{тр} = \mu N = \mu mg$ при движении.

При движении до остановки работу совершает только сила трения

$$\Rightarrow \text{по т.о кин. энергии } \overset{\text{после остановки кин. энергия } = 0}{K} - k = -F_{тр} \cdot S = -\mu mg S \Rightarrow k = \mu mg S \Rightarrow S = \frac{k}{\mu mg} = \frac{k \cdot \sin \alpha}{(1 - \cos \alpha) mg}$$

Вот ответ

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

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!

№4.

ν - кол. молей газа, т.е. $\nu = 4$ моль; ν_2 - количество молей \Rightarrow кол-во степеней свободы \Rightarrow

1) по I началу термодинамики

$$\Delta U_{31} = \nu_2 \nu_1 - \nu_3 = \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_3)$$

ν_2 - темп. в процессе 3-1

$$Q_{31} = \Delta U_{31} - A_{31}$$

подведенное к газу тепло \Rightarrow изм. внутренней энергии газа в процессе 3-1.

$$Q_{31} = \nu \cdot c_{31} (T_2 - T_3) \text{ где } c_{31} \text{ - мол. теплоемкость в процессе 3-1}$$

$$\Rightarrow (T_2 - T_3) \cdot c_{31} = \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_3) - A_{31} \Rightarrow A_{31} = \frac{3}{2} \nu R T_1 \left(\frac{T_2}{T_1} + 1 \right) - \nu \cdot c_{31} T_1 \left(\frac{T_2}{T_1} + 1 \right)$$

найдем из графика.

$$A_{12} = \nu R \left(\frac{3}{2} T_1 \left(\frac{T_2}{T_1} + 1 \right) - \frac{c_{12}}{R} \right)$$

$$A_{23} = 1 \text{ моль} \cdot 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot \left(\frac{3}{2} \cdot 200 \text{ К} \cdot (4 + 1) - 2 \right)$$

$$A_{31} = \nu R T_1 \left(\frac{T_2}{T_1} + 1 \right) \left(\frac{3}{2} - \frac{c_{31}}{R} \right); \quad A_{31} = 1 \text{ моль} \cdot 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot 200 \text{ К} \cdot (4 + 1) \cdot \left(\frac{3}{2} - 2,0 \right) = -2,5 \text{ кДж}$$

2) Обозначим A_{ij}^* - работа газа в процессе $i \rightarrow j$, Q_{ij} - подведенное тепло, ΔU_{ij} - изм. внутренней энергии в процессе $i \rightarrow j$, c_{ij} - мол. теплоемкость в этом процессе, T_i - темп. в состоянии i ;

\Rightarrow по втор. началу термодинамики и I началу термодинамики:

$$\begin{cases} \nu \cdot c_{12} \cdot (T_2 - T_1) = Q_{12} = \Delta U_{12} + A_{12}^* = \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_1) + A_{12}^* \\ \nu \cdot c_{23} \cdot (T_3 - T_2) = Q_{23} = \Delta U_{23} + A_{23}^* = \frac{3}{2} \nu R (T_3 - T_2) + A_{23}^* \\ \nu \cdot c_{31} \cdot (T_1 - T_3) = Q_{31} = \Delta U_{31} + A_{31}^* = \frac{3}{2} \nu R (T_1 - T_3) + A_{31}^* \end{cases} \quad (*)$$

$T_2 - T_1 > 0$, $T_3 - T_2$ и $T_1 - T_3 < 0$, все $c > 0 \Rightarrow Q_{12} > 0$, $Q_{23}, Q_{31} < 0$.

$$\Rightarrow \eta = \frac{A_{12}^* + A_{23}^* + A_{31}^*}{Q_{12}} \quad Q_{12} = \nu \cdot c_{12} \cdot T_1 \left(\frac{T_2}{T_1} - 1 \right)$$

Все в уравнение, запишем выше, аналогично: $A_{ij}^* = (T_j - T_i) \cdot \nu R \left(\frac{c_{ij}}{R} - \frac{3}{2} \right) = T_i \cdot \left(\frac{T_j - T_i}{T_i} \right) \cdot \nu R \left(\frac{c_{ij}}{R} - \frac{3}{2} \right)$

$$\Rightarrow \eta = \frac{T_1 \cdot \nu R \left(\left(\frac{T_2}{T_1} - 1 \right) \cdot \left(\frac{c_{12}}{R} - \frac{3}{2} \right) + \left(\frac{T_3}{T_1} - \frac{T_2}{T_1} \right) \cdot \left(\frac{c_{23}}{R} - \frac{3}{2} \right) + \left(\frac{T_1}{T_1} - \frac{T_3}{T_1} \right) \cdot \left(\frac{c_{31}}{R} - \frac{3}{2} \right) \right)}{T_1 \cdot \nu R \cdot \frac{c_{12}}{R} \left(\frac{T_2}{T_1} - 1 \right)}$$

\leftarrow все нулевые отменены берем из графика.

$$\eta = \frac{(8-1) \cdot (1,5-1,5) + (4-8) \cdot (0,5-1,5) + (1-4) \cdot (2-1,5)}{1,5 \cdot (4-1)} = \frac{4-3,2}{2,5} = \frac{8}{25}$$

3) При вычислении η заметили, что $A_{12}^* = 0 \Rightarrow$ процесс 1-2 изохорический ($V_2 = V_1$) $\Rightarrow \frac{p_2}{p_1} = 1$

$$\Rightarrow \Delta U_{12} = \frac{3}{2} (p_2 V_2 - p_1 V_1) = \frac{3}{2} p_1 V_1 \left(\frac{p_2}{p_1} - 1 \right) = \frac{3}{2} \nu R T_1 \cdot \left(\frac{p_2}{p_1} - 1 \right) = \frac{3}{2} \nu R T_1 \cdot \left(\frac{T_2}{T_1} - 1 \right) \text{ с уравнением}$$

$$\Rightarrow \frac{p_2}{p_1} = \frac{T_2}{T_1} = 8$$

Запишем уравнение, аналогичное (*), в дифференциальной форме:

$$\nu \cdot c \cdot dT = dQ = \frac{3}{2} \nu R dT + dA^* \text{ , придем к уравнению процесса } c = \text{const}$$

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,

решение которой представлено на странице:

1 2 3 4 5 6 7



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

УЧ-процесс

~~УЧ-процесс~~

$$\Rightarrow c = \frac{3}{2} R + \frac{dA^*}{dT} = \text{const} \Rightarrow \frac{dA^*}{dT} = \frac{2c - 3R}{2} = \text{const}$$

Энергетическое уравнение состояния: $p dV + V dp = \nu R dT \Rightarrow \nu dT = \frac{p dV + V dp}{R}$

$$\Rightarrow \frac{2}{2c - 3R} = \frac{p dV + V dp}{R \cdot dA^*} \quad dA^* = p dV$$

$$\Rightarrow \frac{2R}{2c - 3R} = \frac{p dV + V dp}{p dV} = 1 + \frac{V dp}{p dV} \Rightarrow \frac{V dp}{p dV} = \frac{2R - 2c}{2c - 3R} = \text{const} = -n$$

$$\Rightarrow V dp = -n \cdot p dV \Rightarrow V dp + n \cdot p dV = 0 \quad | \cdot V^{n-1}$$

$$d(V^n \cdot p) = V^n \cdot dp + n \cdot V^{n-1} \cdot dV \cdot p = 0$$

$$\Rightarrow p \cdot V^n = \text{const}, \text{ где } n = \frac{5R - 2c}{2c - 3R} = \frac{5 - 2 \frac{c}{R}}{2 \frac{c}{R} - 3}$$

Уравнение процессов 2-3 и 3-1

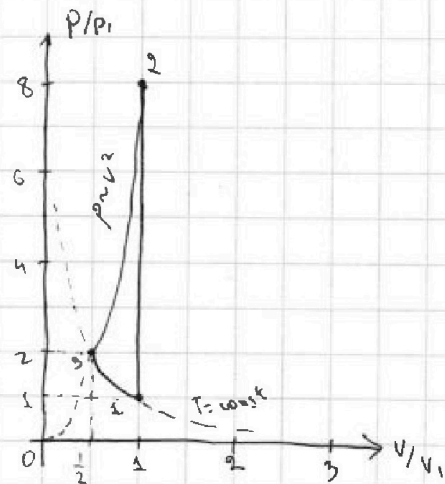
$$\Rightarrow \frac{p_2}{p_1} \cdot \frac{V_2^{n_2}}{V_1^{n_2}} = \frac{p_3}{p_1} \cdot \frac{V_3^{n_2}}{V_1^{n_2}}, \text{ где } n_2 = \frac{5 - 2 \frac{c_{23}}{R}}{2 \frac{c_{23}}{R} - 3} = \frac{5 - 2 \cdot 0.5}{2 \cdot 0.5 - 3} = \frac{5 - 1}{1 - 3} = -2 \Rightarrow p \sim V^2 \text{ пр. 2-3}$$

$$\Rightarrow 8 \cdot 1^{-2} = \frac{p_3}{p_1} \cdot \left(\frac{V_3}{V_1}\right)^{-2} = 8 \quad (1)$$

$$\frac{p_3}{p_1} \cdot \left(\frac{V_3}{V_1}\right)^{n_3} = \frac{p_1}{p_1} \cdot \left(\frac{V_1}{V_1}\right)^{n_3} = 1, \text{ где } n_3 = \frac{5 - 2 \frac{c_{31}}{R}}{2 \frac{c_{31}}{R} - 3} = \frac{5 - 2 \cdot 2}{2 \cdot 2 - 3} = \frac{5 - 4}{4 - 3} = \frac{1}{1} = 1$$

$$\Rightarrow \frac{p_3}{p_1} \cdot \frac{V_3}{V_1} = 1 \quad (2) \Rightarrow 3-3 \text{ - изотерма}$$

Разделим (2) на (1): $\frac{\frac{p_3}{p_1} \cdot \frac{V_3}{V_1}}{\frac{p_3}{p_1} \cdot \left(\frac{V_3}{V_1}\right)^{-2}} = \frac{1}{8} = \left(\frac{V_3}{V_1}\right)^3 \Rightarrow \frac{V_3}{V_1} = \frac{1}{2} \Rightarrow \frac{p_3}{p_1} = \frac{1}{1/2} = 2.$



Ответ: 1) $A_{31} = 2.5 \text{ кДж}$; 2) $\eta = \frac{5}{24}$; 3) см.

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

Отметьте крестиком номер задачи,

решение которой представлено на странице:

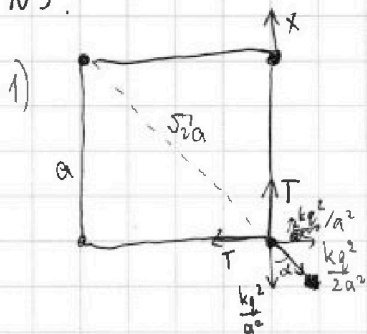
- 1 2 3 4 5 6 7

МФТИ

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



N5.



Рассмотрим один шарик. На него действуют 2 силы натяжения нитей T (вдоль нитей) и 3 силы Кулона:

$\frac{kq^2}{2a^2}$ со стороны диагонали противоположного

и $\frac{kq^2}{a^2}$ со стороны каждого из соседей. ($k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$)

Направления сил как на рисунке, т.е. заряды одноименные.

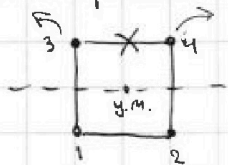
Шарики исходно покоятся \Rightarrow сумма сил, действующих на каждый, ~~в~~ в проекции на Ox (вдоль одной стороны) равна нулю $\Rightarrow T - \frac{kq^2}{a^2} - \frac{kq^2}{2a^2} \cdot \cos\alpha = 0$, где $\alpha = 45^\circ$.

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

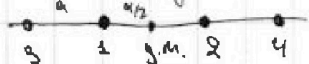
$$\Rightarrow |q| = 4a \sqrt{\frac{T\pi\epsilon_0}{4+\sqrt{2}}}$$

2) Наме перемещения нити на систему из шариков и нитей не действуют внешние силы.

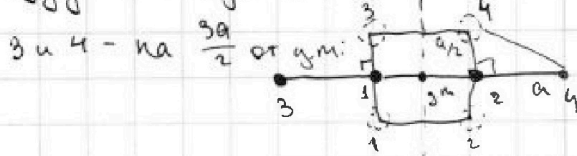
Кроме того, картинка обладает симметрией \Rightarrow центр масс шариков покоится, шарики не выходят из начальной плоскости.



И т.к. шарики 1 и 2, 3 и 4 будут двигаться симметрично, все шарики могут лечь на одну прямую, только если это "средняя линия" исходного квадрата (или положение себидиаг, невозможна)



Т.к. шарики имеют заряды один. знака, то каждое 2, сходящее нитью, отталкивается друг от друга \Rightarrow когда шарики встретятся в ряд, все нити будут натянуты, т.е. расстояние $(2)-(3) = a - (3)-(2) = (2)-(1) \Rightarrow 2$ и 1 удалятся на $\frac{a}{2}$ от ц.м.,



При этом 1 и 2 лежат на стороне исходного квадрата \Rightarrow по 1. Пифагора (см. рис.)

$$d^2 = \left(\frac{a}{2}\right)^2 + a^2 = \frac{5}{4}a^2 \Rightarrow d = \frac{\sqrt{5}a}{2}$$

Более того, т.к. "1-2" будет по сути жестким скрепленным симметричным от. вертик. осн, то 1 и 2 будут до встречи 6 нитью двигаться по сторонам исходного квадрата.

Сила взаимодействия зарядов потенциальна \Rightarrow их работу над 2 шариками можно попытаться найти как. потенциал и потенциал в нити. Сила натяжения нити 1-2 \perp движению 1 шарика \Rightarrow ее работа 0.

Отв. 1) $|q| = 4a \sqrt{\frac{T\pi\epsilon_0}{4+\sqrt{2}}}$; 3) $d = \frac{\sqrt{5}a}{2}$.

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

1
 2
 3
 4
 5
 6
 7



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

Черновик

$$\eta = 1 - \frac{c_{12} \cdot (8-4) + c_{13} \cdot (4-1)}{c_{12} \cdot (8-1)} = 1 - \frac{0.5 \cdot 4 + 2 \cdot 3}{1.5 \cdot 7} = 1 - \frac{8 \cdot 2}{21} = \frac{21-16}{21} = \frac{5}{21} \approx \frac{1}{3}$$

$$Q_{12} = 2R \cdot 1.5 \cdot T_1 \cdot 7, \quad \Delta U_{12} = \frac{3}{2} 2R T_1 \cdot 7 \Rightarrow A_{12}^X = 2R T_1 \cdot 7$$

$$Q_{23} = 2R T_1 \cdot 0.5 \cdot (-4); \quad \Delta U_{23} = \frac{3}{2} 2R T_1 \cdot (-4) \Rightarrow A_{23}^X = 2R T_1 \cdot (-2+6)$$

$$Q_{31} = 2R T_1 \cdot 2 \cdot (-3); \quad \Delta U_{31} = \frac{3}{2} 2R T_1 \cdot (-3) \Rightarrow A_{31}^X = 2R T_1 \cdot (-6 + \frac{9}{2})$$

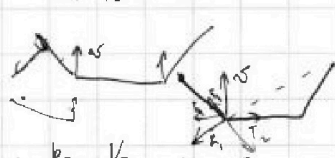
$$1 - \frac{2 \cdot 8}{21} = \frac{21-16}{21} = \frac{5}{21}$$

$$\frac{21}{2} - 8 = 4 - \frac{3}{2} \quad 21-16 = 5 \rightarrow$$

$$\Delta U_{12} = \frac{3}{2} (p_2 - p_1) V_1$$

$$\Delta U_{12} = \frac{3}{2} p_1 V_1 \left(\frac{p_2}{p_1} - 1 \right) = \frac{3}{2} 2R T_1$$

$$\frac{3}{2} 2R T_1 \cdot (-4) = \frac{3}{2} (p_3 V_3 - p_2 V_2) \Rightarrow -4 = \frac{p_3}{p_1} \cdot \frac{V_3}{V_1} - 8 \Rightarrow \frac{p_3}{p_1} \cdot \frac{V_3}{V_1} = 4$$



$$C = \frac{Q}{\Delta T} = \frac{\frac{3}{2} 2R \Delta T + A}{\Delta T} = \frac{3}{2} R + \left(\frac{A}{\Delta T} \right) = \text{const}$$

$$\frac{dA}{\Delta T} = \frac{pdV}{\Delta T} = C - \frac{3}{2} R = \frac{2C-3R}{2}$$

$$pdV + V \cdot dp = 2R dT$$



$$1 + \frac{V dp}{pdV} = \frac{2R}{2C-3R}$$

$$\frac{V dp}{pdV} = \frac{2R-2C+3R}{2C-3R} = \frac{5R-2C}{2C-3R} = \text{const} = A$$

$$\frac{V dp}{pdV} = \frac{2R-2C+3R}{2C-3R} = \frac{5R-2C}{2C-3R}$$

$$\frac{pdV + V dp}{pdV} = \frac{2R}{2C-3R}$$

$$pV^n = \text{const}$$

$$p \cdot n \cdot V^{n-1} dV + V^n \cdot dp = 0$$

$$p \cdot n \cdot V^{n-1} dV = -V^n \cdot dp \quad | : V^n$$

$$n \cdot \frac{pdV}{V} = -dp \quad | : p$$

$$n \cdot \frac{dV}{V} = -\frac{dp}{p} \Rightarrow -\frac{dV \cdot p}{V \cdot dp} \cdot n = 1$$

$$\ln p = A \cdot \ln V$$

$$dp = A \cdot dV \cdot \frac{p}{V}$$



$$A_{23} = \frac{5-2 \cdot 0.5}{2 \cdot 0.5 - 3} = \frac{4}{-2} = -4$$

$$A_{31} = \frac{5-2 \cdot 2}{2 \cdot 2 - 2} = \frac{1}{2}$$

$$n = -\frac{V dp}{pdV} \quad \frac{V \cdot dp}{dV \cdot p} = \frac{V dV \cdot dp}{dV \cdot p \cdot dV}$$

$$\Rightarrow V dp = pdV \cdot \frac{V}{p}$$

$$V^{n+1} \cdot dp = dV \cdot V^n \cdot p$$

$$8 = 8 \cdot 1^4 = p_3 \cdot V_3^4$$

$$1 = 1 \cdot 1^4 = p_3 \cdot V_3^4 \Rightarrow V_3 = 8$$

$$V_3 = 8 = 2^3, p_3 = \frac{8^3}{2^3} = 2^3$$



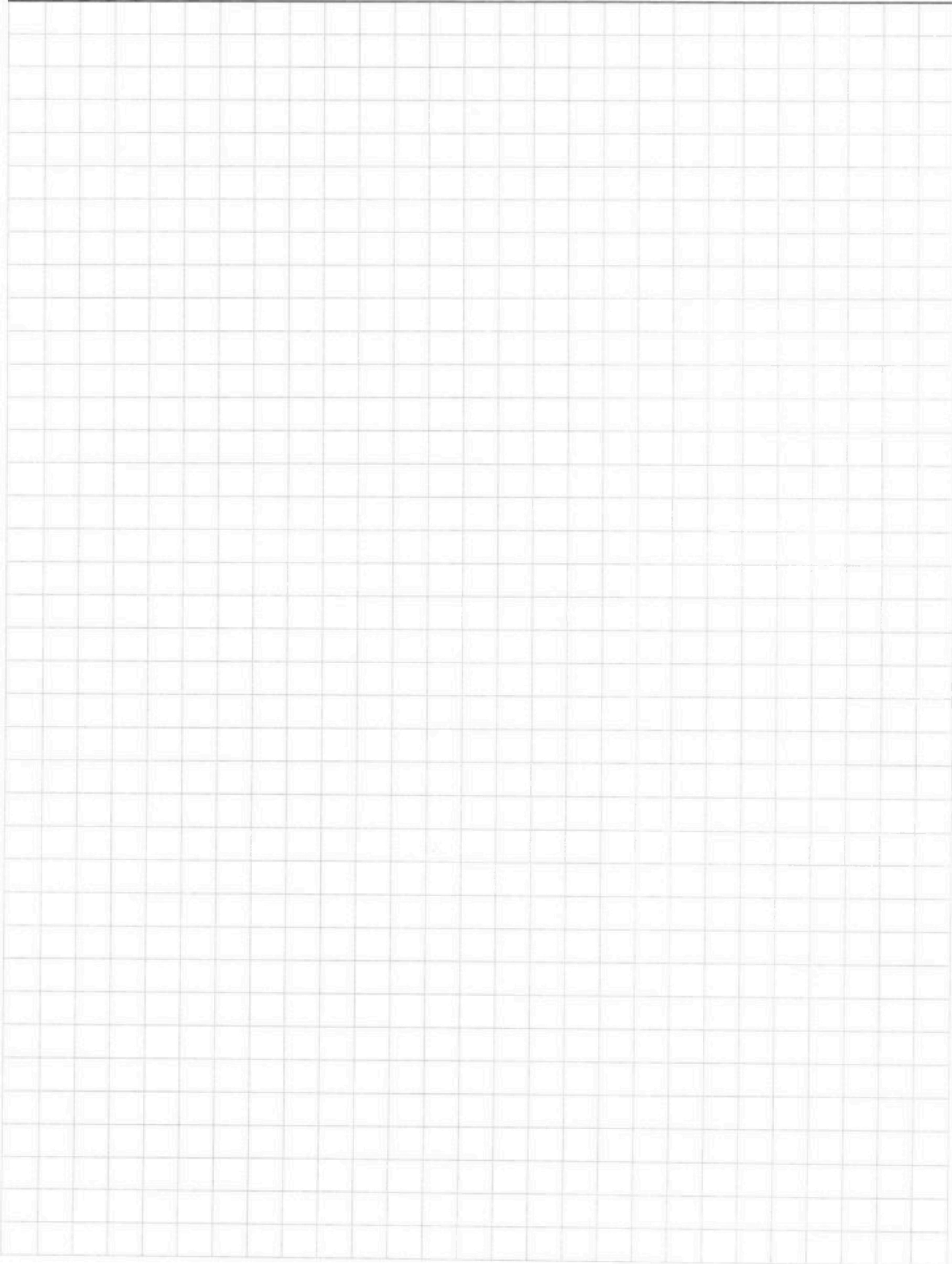
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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
<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!

