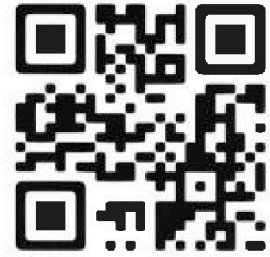




Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

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.

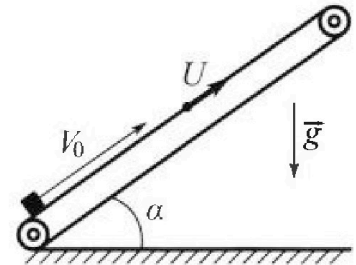
2) На каком расстоянии S от точки старта находится стенка?

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.).

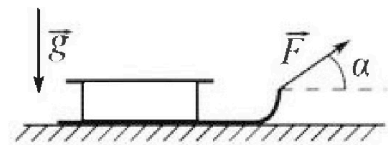
2) Через какое время T_1 после старта скорость коробки во втором опыте будет равна $U = 1$ м/с?

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.

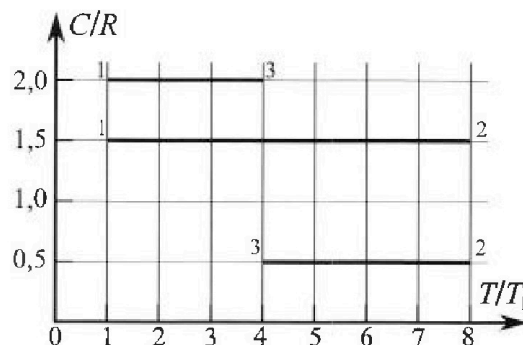
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

Вариант 10-02

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



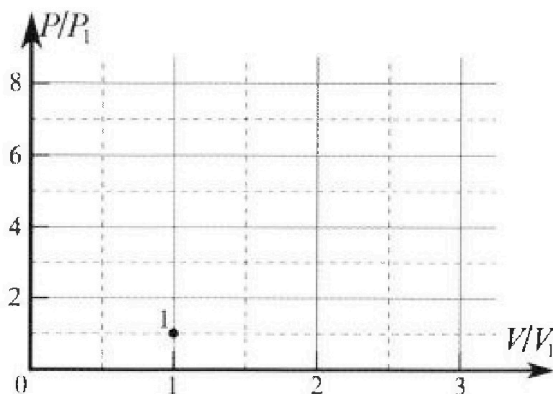
4. Тепловой двигатель работает по циклу 1-2-3-1. Рабочее вещество – один моль одноатомного идеального газа. Для вычисления КПД цикла ученик десятого класса построил график зависимости молярной теплоемкости C газа (в единицах универсальной газовой постоянной) от температуры в процессах: 1-2, 2-3, 3-1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

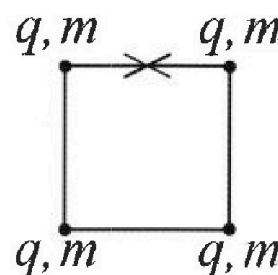
1) Найдите абсолютную величину $|q|$ заряда каждого шарика.

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.

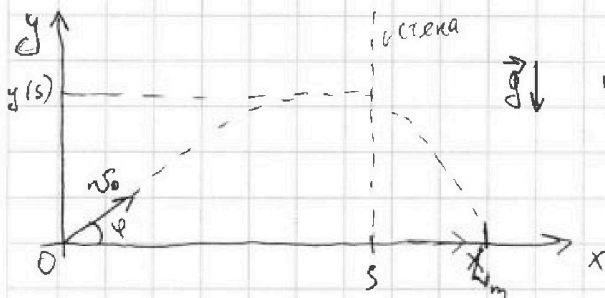
Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

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. Введём 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 полёта $\Rightarrow y(t_0) = 0 \Rightarrow v_0 \cdot \sin \varphi \cdot t_0 - \frac{gt_0^2}{2} = 0$. Так $t_0 \neq 0$, то $v_0 \cdot \sin \varphi - \frac{gt_0}{2} = 0 \Rightarrow t_0 = \frac{2v_0 \cdot \sin \varphi}{g}$

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

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

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

Перейдём 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 $H = 3,6 \text{ м}$

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

$$- \operatorname{tg}^2 \varphi \cdot \frac{gS^2}{2v_0^2} + S \cdot \operatorname{tg} \varphi - \frac{gS^2}{2v_0^2} \leq H. \text{ В левой части пер. чл. парабола ветвей вверх близ отношению к } \operatorname{tg} \varphi (S, g, v_0 = \text{const})$$

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

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

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

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

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

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.

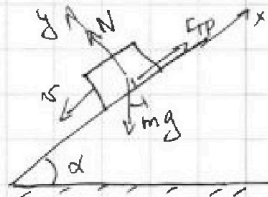
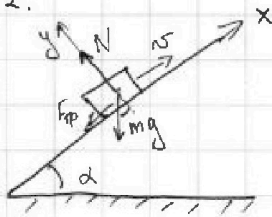
Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

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 $\vec{N} \uparrow \perp Oy$, сила трения $F_{тр}$, направленная вдоль Ox , её направление зависит от скорости коробки.

вне зависимости от скорости ленты и коробки по Oy коробка должна покоиться \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 , $v(t_1) = 0 \Rightarrow t_1 = \frac{v_0}{g(\mu \cos \alpha + \sin \alpha)} = \frac{v_0}{a_{bx}}$

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

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 $t_2 = T - t_1 = 1 \text{ c} - 0,6 \text{ c} = 0,4 \text{ c}$.

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

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 $L_1 = u \cdot t_1 + v_0 \cdot t_1 + \frac{a_{nx} t_1^2}{2} = u \cdot t_1 + S_1$

после разворота в ЛСО смещение по Ox дообнушение 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) $T_1 = 0,6 \text{ с}$ и $T_1 = 1,6 \text{ с}$; 3) $L = 0,85 \text{ м}$.

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,

решение которой представлено на странице:

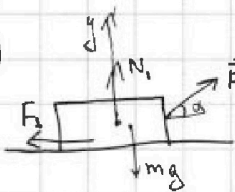
1 2 3 4 5 6 7



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 санки при движении действуют: сила F , сила тяжести mg вертикаль вниз, сила норм. реакции опоры N_1 вверх и сила трения $F_1 = \mu N_1$, направленная горизонт. против направления движения.

По вертик. ОУ санки покоятся \Rightarrow по 2-з. Ньютона впр. на ОУ $N_1 + F \cdot \sin \alpha - mg = m \cdot 0$

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

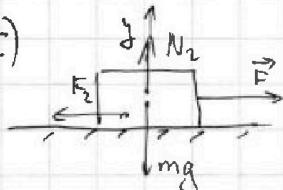
$$\Rightarrow F_1 = \mu mg - \mu F \sin \alpha$$

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

$$K_0 = F \cdot l \cdot \cos \alpha - F_1 \cdot l = F \cdot l \cdot \cos \alpha - \mu mg l + \mu F \sin \alpha \cdot l$$

↑ работа силы F ↑ работа силы трение

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 этом случае.

по т.о. кинетической энергии $K_0 = F \cdot l - F_2 \cdot l = F \cdot l - \mu mg l$

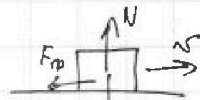
↑ работа силы F ↑ работа силы трение

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

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-во пар, т.е. $\nu = 4$ моль; ν_2 азота и ν_3 кислорода \Rightarrow кол-во степеней свободы $\nu = 3$

1) по I началу термодинамики

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

ν_2 - темп. азота

$$Q_{2-1} = \Delta U_{2-1} - A_{21}$$

подведенное к газу тепло Q_{2-1} изм. внутреннюю энергию газа в пр-се 2-1.

$$Q_{2-1} = \nu \cdot c_{31} (T_2 - T_3) \text{ где } c_{31} \text{ мол. теплоемкость в процессе 3-1}$$

$$\Rightarrow (T_2 - T_3) \cdot c_{31} = \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_3) - A_{21} \Rightarrow A_{21} = \frac{3}{2} \nu R T_1 \left(\frac{T_2}{T_1} - 1 \right) - \nu \cdot c_{31} T_1 \left(\frac{T_2}{T_1} - 1 \right)$$

найдем из графика.

$$A_{12} = \nu R \left(\frac{3}{2} T_1 \left(\frac{T_2}{T_1} - 1 \right) - \frac{c_{31}}{R} T_1 \left(\frac{T_2}{T_1} - 1 \right) \right)$$

$$A_{21} = 1 \text{ моль} \cdot 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot \left(\frac{3}{2} \cdot 200 \text{ К} \cdot (4 - 1) - 2,0 \cdot 200 \text{ К} \cdot (4 - 1) \right)$$

$$A_{21} = 200 \text{ К} \cdot T_1 \left(\frac{T_2}{T_1} - 1 \right) \left(\frac{3}{2} - \frac{c_{31}}{R} \right); \quad A_{21} = 1 \text{ моль} \cdot 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot 200 \text{ К} \cdot (4 - 1) \cdot \left(\frac{3}{2} - 2,0 \right) = -2,5 \text{ кДж}$$

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

\Rightarrow по ср. мол. теплоемкости 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: $A_{ij}^* = (T_j - T_i) \cdot \nu R \left(\frac{c_{ij}}{R} - \frac{3}{2} \right) = T_i \cdot \left(\frac{T_j}{T_i} - 1 \right) \cdot \nu R \left(\frac{c_{ij}}{R} - \frac{3}{2} \right)$

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

\leftarrow все нулевые отменены берем из графика.

$$\eta = \frac{(8-1) \cdot (1,5-1,5) + (4-8) \cdot (0,5-1,5) + (1-4) \cdot (2-1,5)}{1,5 \cdot (4-1)} = \frac{4-3,2}{2,5 \cdot 3} = \frac{8}{21}$$

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

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

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

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

$$\nu \cdot c \cdot dT = dQ = \frac{3}{2} \nu R dT + dA^*, \text{ придем в изохорическом процессе } c = \text{const}$$

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

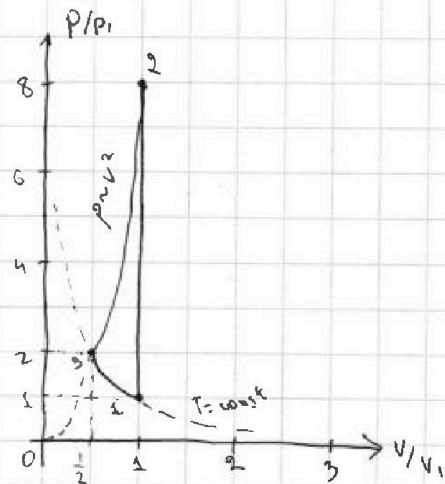
$$\Rightarrow \frac{p_2}{p_1} \cdot \frac{V_2^{n_2}}{V_1^{n_2}} = \frac{p_3}{p_1} \cdot \frac{V_3^{n_2}}{V_1^{n_2}}, \text{ где } n_2 = \frac{5 - 2 \frac{c_{23}}{R}}{2 \frac{c_{23}}{R} - 3} = \frac{5 - 2 \cdot 0,5}{2 \cdot 0,5 - 3} = \frac{5 - 1}{1 - 3} = -2 \Rightarrow p \sim V^2 \text{ пр. 2-3}$$

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

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

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

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,

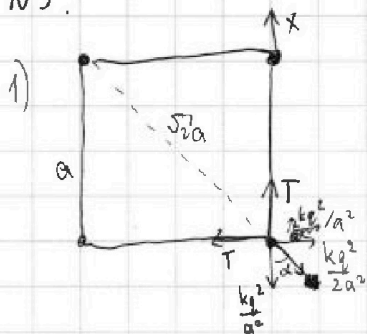
решение которой представлено на странице:

- 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.

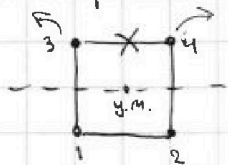
Шарики исходно покоятся \Rightarrow сумма сил, действующих на каждый, ~~в~~ в проекции на Ox (вдоль одной стороны) равна нулю $\Rightarrow T - \frac{kq^2}{a^2} - \frac{kq^2}{2a^2} \cdot \cos\alpha = 0$, где $\alpha = 45^\circ$.

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

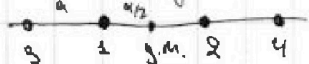
$$\Rightarrow |q| = 4a \sqrt{\frac{T\pi\epsilon_0}{4+\sqrt{2}}}$$

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

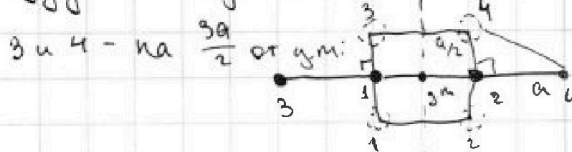
Кроме того, картинка обладает симметрией \Rightarrow центр масс шариков покоится, шарики не выходят из начальной плоскости.



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 ~~себеизвола, равношарика~~)



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 $(2)-(1) = a - (3)-(2) = (2)-(1) \Rightarrow 2$ и 1 удалятся на $\frac{a}{2}$ от ц.м.,



3 и 4 - на $\frac{3a}{2}$ 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 в нитью двигаться по сторонам исходного квадрата. Сила взаимодействия зарядов потенциальна \Rightarrow их работу над 2 шариками можно попытаться перекинуть в положение и положение внешних. Сила натяжения нити 1-2 \perp движению 1 шарика \Rightarrow ее работа 0.

Ответ: 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

$$\eta = 1 - \frac{c_{12} \cdot (8-4) + c_{13} \cdot (4-1)}{c_{12} \cdot (8-1)} = 1 - \frac{0,5 \cdot 4 + 2 \cdot 3}{1,5 \cdot 7} = 1 - \frac{8 \cdot 2}{21} = \frac{21-16}{21} = \frac{5}{21} \approx \frac{1}{3}$$

$$Q_{12} = 2R \cdot 1,5 \cdot T_1 \cdot 7, \quad \Delta U_{12} = \frac{3}{2} 2R T_1 \cdot 7 \Rightarrow A_{12}^X = 2R T_1 \cdot 7$$

$$Q_{23} = 2R T_1 \cdot 0,5 \cdot (-4); \quad \Delta U_{23} = \frac{3}{2} 2R T_1 \cdot (-4) \Rightarrow A_{23}^X = 2R T_1 \cdot (-2+6)$$

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

$1 - \frac{2 \cdot 8}{21} = \frac{21-16}{21} = \frac{5}{21}$
 $\frac{21}{2} - 8 = 4 - \frac{3}{2}$
 $21-16 = 5 \rightarrow$

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

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

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

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

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

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

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

$pV^n = \text{const}$
 $p \cdot n \cdot V^{n-1} dV + V^n \cdot dp = 0$
 $p \cdot n \cdot V^{n-1} dV = -V^n \cdot dp \quad | : V^n$
 $n \cdot \frac{pdV}{V} = -dp \quad | : p$
 $n \cdot \frac{dV}{V} = -\frac{dp}{p} \Rightarrow -\frac{dV \cdot p}{V \cdot dp} \cdot n = 1$

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

$$A_{23} = \frac{5 - 2 \cdot 0,5}{2 \cdot 0,5 - 3} = \frac{4}{-2} = -2$$

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

$8 = 8 \cdot 1^4 = p_3 \cdot V_3^4$
 $1 = 1 \cdot 1^4 = p_3 \cdot V_3^4$
 $\Rightarrow V_3 = 8$
 $V_3 = 8 = 2^3, p_3 = \frac{2^3}{2^3} = 1$

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

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



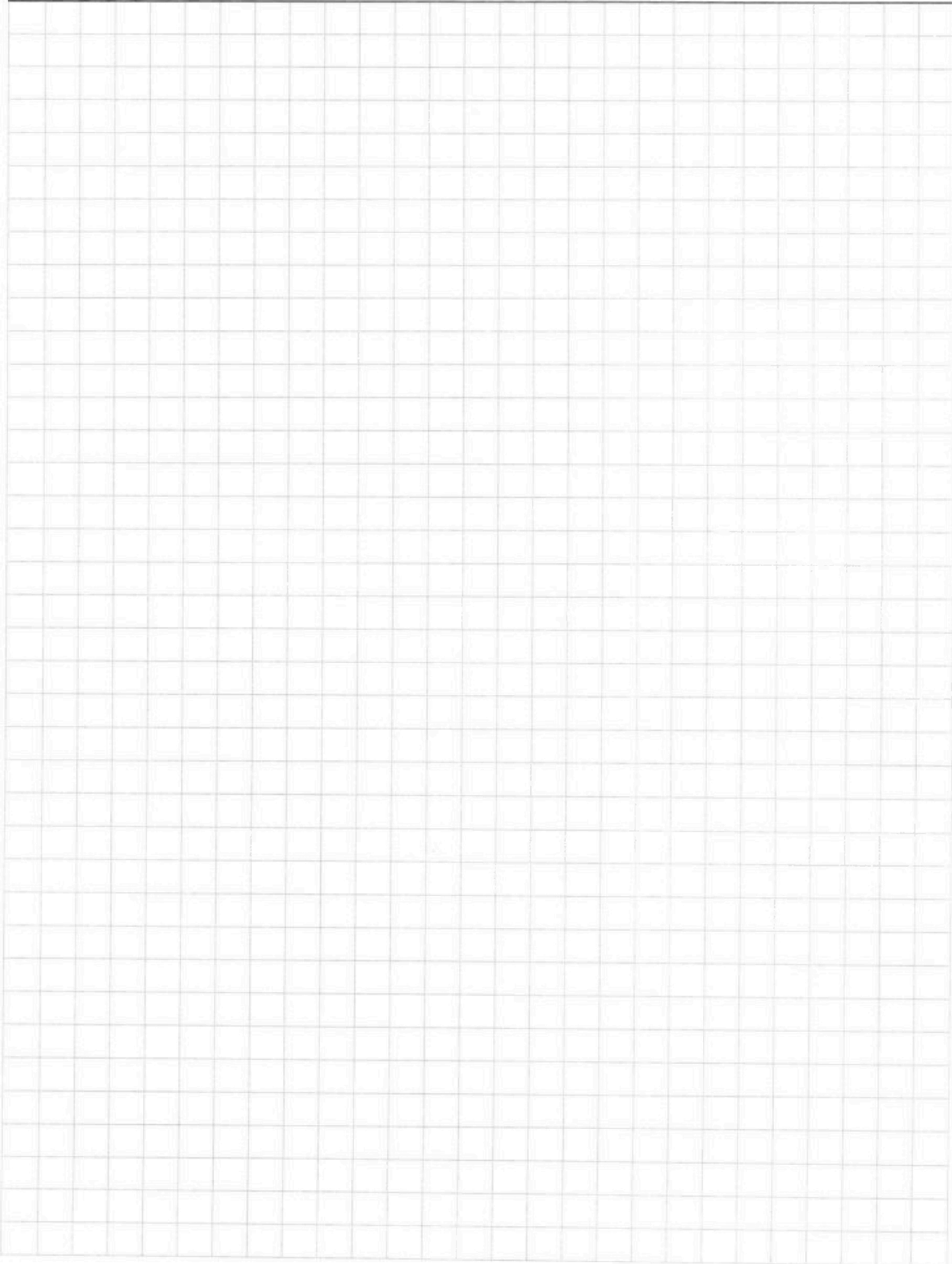
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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!

