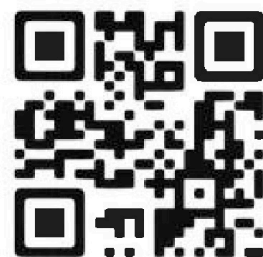




Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

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.

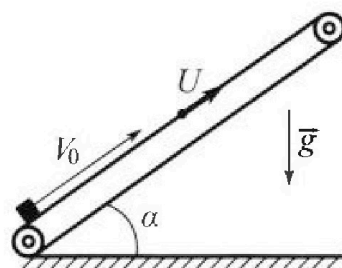
2) На каком расстоянии S от точки старта находится стенка?

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.).

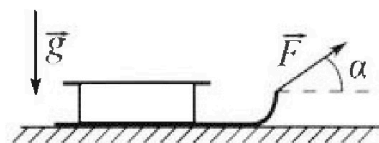
2) Через какое время T_1 после старта скорость коробки во втором опыте будет равна $U = 1$ м/с?

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.

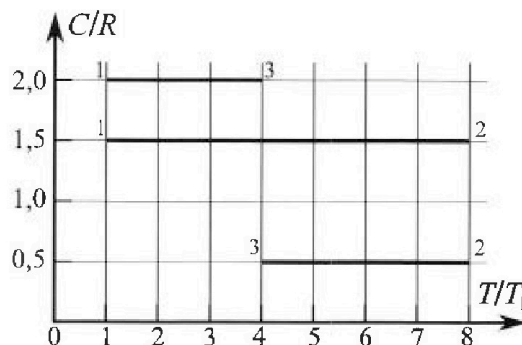
2) Найдите перемещение S санок в процессе торможения до остановки. Ускорение свободного падения g . Санки находятся на горизонтальной поверхности. Движение санок прямолинейное.

Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

Вариант 10-02

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

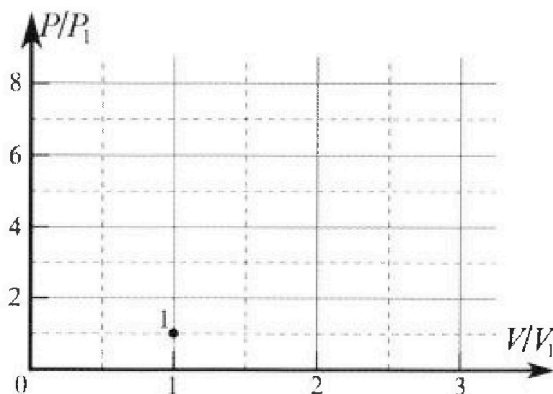
4. Тепловой двигатель работает по циклу 1-2-3-1. Рабочее вещество – один моль одноатомного идеального газа. Для вычисления КПД цикла ученик десятого класса построил график зависимости молярной теплоемкости C газа (в единицах универсальной газовой постоянной) от температуры в процессах: 1-2, 2-3, 3-1 (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 объем в состоянии 1. Для построения графика перенесите шаблон (см. ниже) в чистовик своей работы. Точка 1 на графике соответствует состоянию 1 газа в цикле.



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

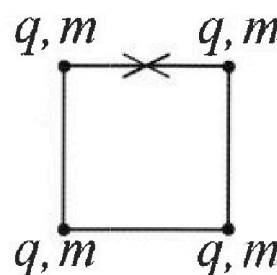
1) Найдите абсолютную величину $|q|$ заряда каждого шарика.

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)?

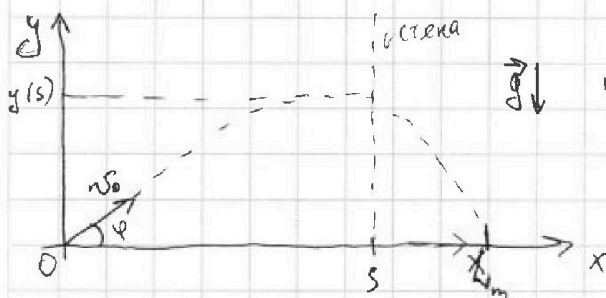
Электрическая постоянная ϵ_0 . Действие сил тяжести считайте пренебрежимо малым.



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.



Рассмотрим бросок мяча со скоростью v_0 под

углом φ к горизонту. Введём координ. Ox и Oy ,
где точка $(0; 0)$ — точка броска

Зависимость координат мяча от времени:

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

~~Решение~~

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

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

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

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

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

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

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

$$\Rightarrow S \cdot \tan \varphi - \frac{g}{2 v_0^2} \cdot (1 + \tan^2 \varphi) \cdot S^2 = H, \text{ при этом равенство достигается}$$

$$- \tan^2 \varphi \cdot \frac{g S^2}{2 v_0^2} + S \cdot \tan \varphi - \frac{g S^2}{2 v_0^2} = H \quad \text{В левой части пер. в. парабола ветвями}$$

$$\text{вниз относительно } \tan \varphi \quad (S, g, v_0 = \text{const})$$

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

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

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

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

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

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:

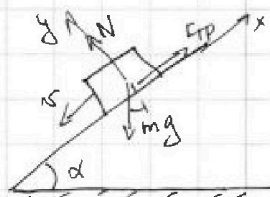
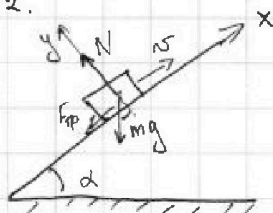
1	2	3	4	5	6	7
☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐

МФТИ

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Поря 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 покоиться $\Rightarrow$

по 2-3 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 Ньютона в проекции на Ox $-F_{тр} - mg \cdot \sin \alpha = m \cdot a_{ox}$,
где m - масса коробки, a_{ox} - проекция ускорения коробки (в ИСО ленты) на Ox в данном случае.
В рассматриваемом случае коробка едет $\Rightarrow F_{тр} = \mu mg \cos \alpha \Rightarrow a_{ox} = -\mu g \cos \alpha + g \sin \alpha$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

После остановки коробка продолжит движение, по уже **выш.** зависимости Прейден-
ного от времени после остановки: $S_2(t_2) = \frac{|a_{ox}| \cdot t_2^2}{2}$, т.е. $\vec{a}_{ox} \uparrow$ скорости
 $S = S_1 + S_2(t_2)$, где $t_2 = T - t_1 = 1 c - 0,6 c = 0,4 c$.

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

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!

№2 - продолжение

2) При движении ленте соотношения, записанные в п.1 будут верны, но в ИСО лентой, т.е. движущейся 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 $v_x(t) = |a_{\text{нх}}| t \Rightarrow$ через время t_1' после разворота $v_x(t_1') = 2u = |a_{\text{нх}}| t_1' = 0,2g t_1'$

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

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

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

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

по Ox ; после разворота в ЛСО смещение по Ox до обращения скорости $L_2 = u \cdot t_2 + \frac{a_{\text{нх}} t_2^2}{2}$

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

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

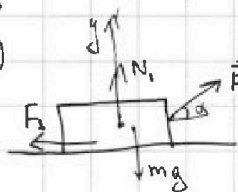
Ответ: 1) $1,96 \text{ м} = S$; 2) $T_1 = 0,6$ с и $T_1 = 1,6$ с; 3) $L = 0,85 \text{ м}$.

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 $F_t = \mu N_1$, направленная горизонт. против направления движения.

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

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

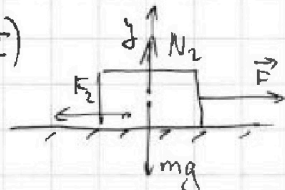
$$\Rightarrow F_t = \mu mg - \mu F \sin \alpha$$

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

$$K - 0 = F \cdot l \cdot \cos \alpha - F_t \cdot l = F \cdot l \cdot \cos \alpha - \mu mg l + \mu F \sin \alpha \cdot l$$

↑ работа силы F ↑ работа силы трения

II)



Когда сила F горизонтально, всё аналогично:

по ос. $N_2 - mg = 0 \Rightarrow N_2 = mg$ - сила норм. реакции опоры; $F_t = \mu N_2 = \mu mg$ - сила трения в этом случае.

$$K - 0 = F \cdot l - F_t \cdot l = F \cdot l - \mu mg l$$

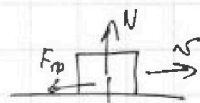
↑ работа силы F ↑ работа силы трения

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 $\Rightarrow N - mg = 0$ по 2-з. Ньютона $\Rightarrow N = mg$; $F_{тр} = \mu N = \mu mg$ при движении.

При движении до остановки работу совершает только сила трения

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

↑ после остановки кин. энергия = 0

Вот ответ

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

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!

N4.

ν - кол-во пар, т.е. $\nu = 4$ моль; ν_3 азота и ν_1 кислорода $\Rightarrow$ кол-во степеней свободы $\Rightarrow$

1) по I началу термодинамики

$$\Delta U_{31} = U_3 - U_1 = \frac{3}{2} \nu R (T_3 - T_1)$$

T_1 - темп. в нач. 3

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

полученное к концу газа Q_{31} излучается в процессе 3-1.

$$Q_{31} = \nu \cdot C_{31} (T_3 - T_1) \text{ где } C_{31} \text{ - мол. теплоемкость в процессе 3-1}$$

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

найдем из графика.

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

$$A_{31} = 1 \text{ моль} \cdot 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot (200 \text{ К} \cdot (4 + 1) - 1,5 \cdot 200 \text{ К} \cdot (4 + 1))$$

$$A_{31} = \nu R T_1 \left(\frac{T_3}{T_1} + 1 \right) \left(\frac{3}{2} - \frac{C_{31}}{R} \right); \quad A_{31} = 1 \text{ моль} \cdot 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot 200 \text{ К} \cdot (4 + 1) \cdot \left(\frac{3}{2} - 1,5 \right) =$$

$\approx 2,5 \text{ кДж}$

2) Обозначим A_{ij}^* - работа газа в процессе $i-j$, Q_{ij}^* - полученное 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 2 началу термодинамики и I началу термодинамики:

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

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

$$\Rightarrow \eta = \frac{A_{12}^* + A_{23}^* + A_{31}^*}{Q_{12}}$$

$$Q_{12} = \nu \cdot C_{12} \cdot T_1 \left(\frac{T_2}{T_1} - 1 \right)$$

Все 3 уравнения, записанные выше, аналогичны: $A_{ij}^* = (T_j - T_i) \cdot \nu R \left(\frac{C_{ij}}{R} - \frac{3}{2} \right) = T_i \cdot \left(\frac{T_j}{T_i} - 1 \right) \cdot \nu R \left(\frac{C_{ij}}{R} - \frac{3}{2} \right)$

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

$\leftarrow$ все пункты отменим, берем из графика.

$$\eta = \frac{(8-1) \cdot (1,5-1,5) + (4-8) \cdot (0,5-1,5) + (1-4) \cdot (2-1,5)}{1,5 \cdot (4-1)} = \frac{4-3,5}{1,5 \cdot 3} = \frac{0,5}{4,5} = \frac{1}{9}$$

3) При вычислении η заметили, что $A_{12}^* = 0 \Rightarrow$ процесс 1-2 изохорический ($V_2 = V_1$) $\Rightarrow \frac{p_2}{p_1} = \frac{T_2}{T_1}$

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

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

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

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

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐

МФТИ

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

н-процесс

~~н-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: $p dV + V dp = n R dT \Rightarrow n dT = \frac{p dV + V dp}{R}$

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

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

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

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

$$\Rightarrow p \cdot V^{n+1} = \text{const}, \text{ где } n = \frac{2c-3R}{2R} = \frac{5-2 \cdot \frac{5}{2}}{2 \cdot \frac{5}{2} - 3}$$

уравнение процессов 2-3 и 3-1

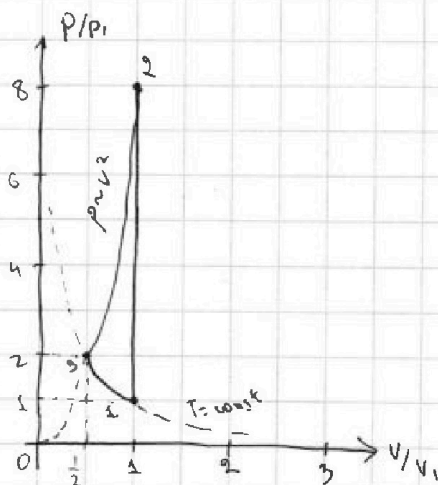
$$\Rightarrow \frac{p_2}{p_1} \cdot \frac{V_2^{n_2}}{V_1^{n_2}} = \frac{p_3}{p_1} \cdot \frac{V_3^{n_2}}{V_1^{n_2}}, \text{ где } n_2 = \frac{5-2 \cdot \frac{5}{2}}{2 \cdot \frac{5}{2} - 3} = \frac{5-2 \cdot 0.5}{2 \cdot 0.5 - 3} = \frac{5-1}{1-3} = -2 \Rightarrow p \sim V^{2-3}$$

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

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

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

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



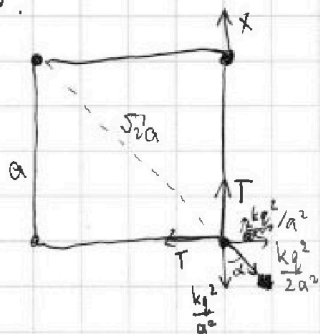
Ответ: 1) $A_{31} = 2.5 \text{ кДж}$; 2) $\eta = \frac{5}{2.5}$; 3) см.

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!

N5.

1)



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

$\frac{kq^2}{2a^2}$ со стороны диагонально 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.

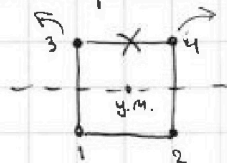
Шарики исходно покоятся $\Rightarrow$ сумма сил, действующих на каждый, ~~вдоль~~ в направлении Ox (вдоль одной стороны) равна нулю $\Rightarrow T - \frac{kq^2}{a^2} - \frac{kq^2}{2a^2} \cdot \cos\alpha = 0$, где $\alpha = 45^\circ$.

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

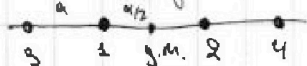
$$\Rightarrow |q| = 4a \sqrt{\frac{T\pi\epsilon_0}{4+\sqrt{2}}}$$

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

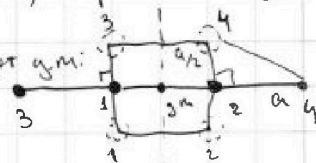
Кроме того, картинка обладает симметрией $\Rightarrow$ центр масс шариков покоится, шарики не выходят из начальной плоскости.



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 продолжение ее) $\rightarrow$ симметрия, равновесие



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 $(2-3) = a = (3-4) = (2-1) \Rightarrow 2$ 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. Пирсона (см. рис.)

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

Более того, т.к. "1-2" будет по сути жестким скрепленным, симметричным от. вертик. оси, то 1 и 2 будут до встречи в нить двигаться по сторонам исходного квадрата. Сила взаимодействия зарядов потенциальна $\Rightarrow$ их работу над 2 шариками можно попытаться найти через кин. положение и положение внешних. Сила натяжения нити 1-2 $\perp$ движению 2 шарика $\Rightarrow$ ее работа 0.

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

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,

решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

МФТИ

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

Черновик

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$\Rightarrow V dp \approx p dV \quad | \cdot \frac{V}{p}$$

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

$$A_{23} = \frac{5-2 \cdot 0.5}{2 \cdot 0.5-3} = \frac{4}{-1.5} = -4$$

$$A_{31} = \frac{5-2 \cdot 2}{2 \cdot 2-3} = \frac{1}{1} = 1$$

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

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

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



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

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1

☐

2

☐

3

☐

4

☐

5

☐

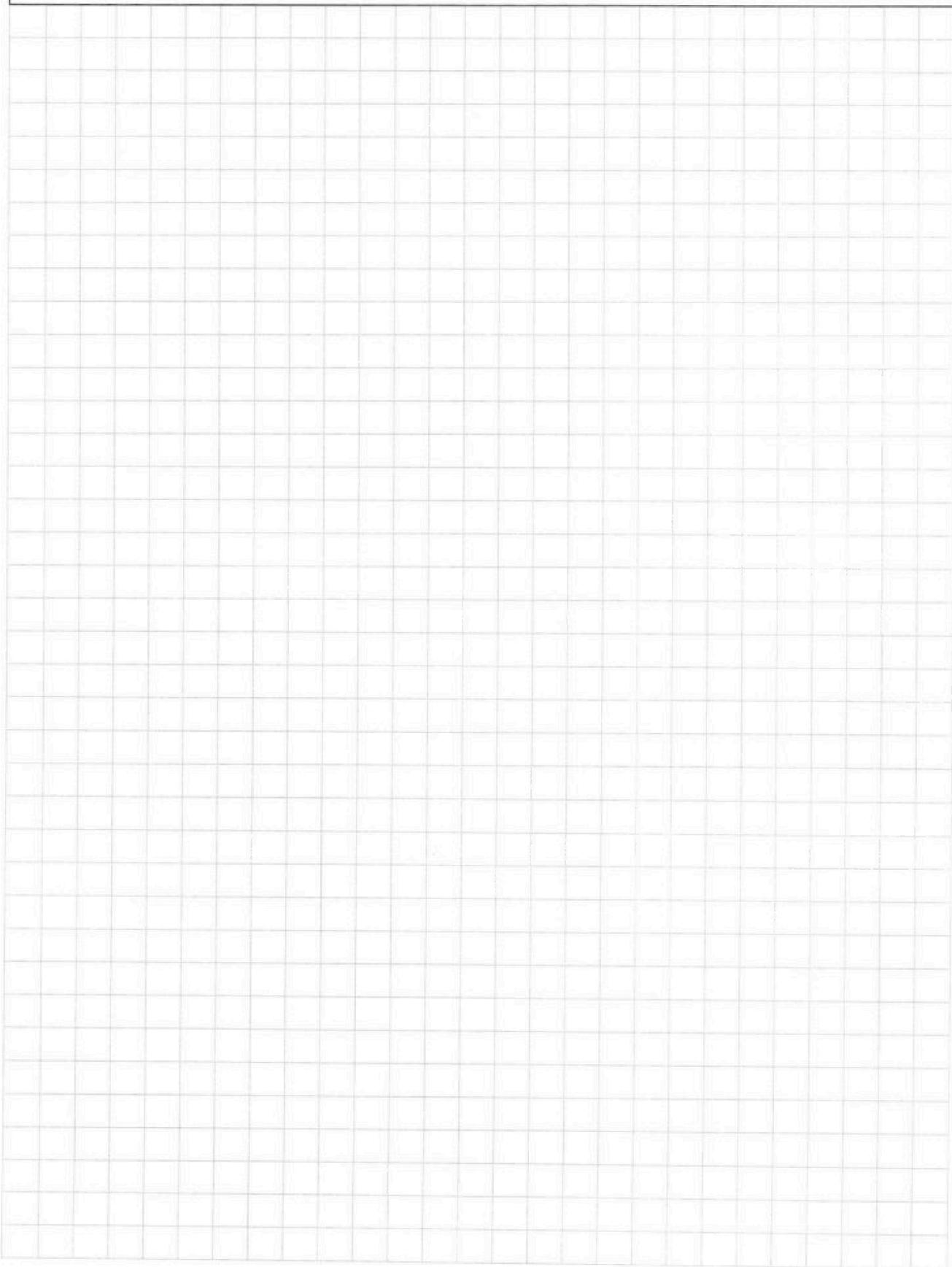
6

☐

7

☐

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Печать 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
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐



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

