



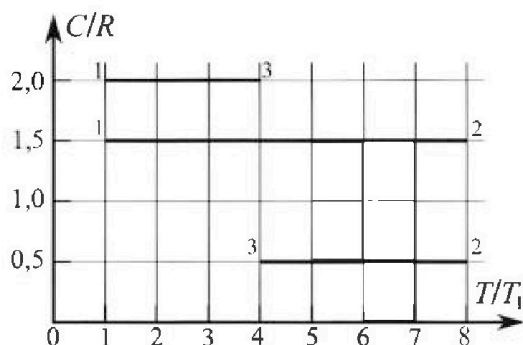
# Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

## Вариант 10-02



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

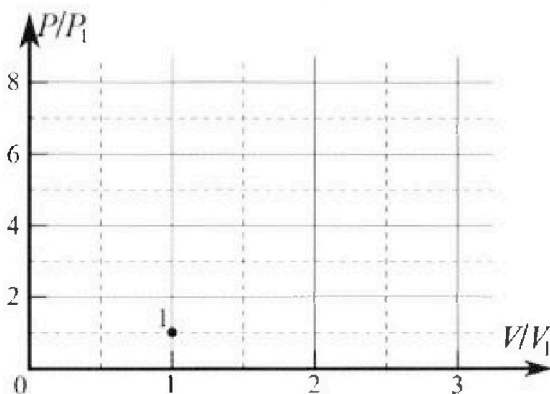
4. Тепловой двигатель работает по циклу 1-2-3-1. Рабочее вещество – один моль одноатомного идеального газа. Для вычисления КПД цикла ученик десятого класса построил график зависимости молярной теплоемкости  $C$  газа (в единицах универсальной газовой постоянной) от температуры в процессах: 1-2, 2-3,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

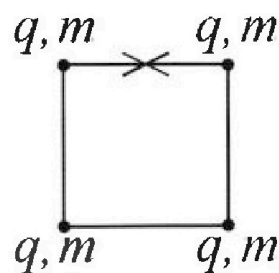
1) Найдите абсолютную величину  $|q|$  заряда каждого шарика.

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  $\epsilon_0$ . Действие сил тяжести считайте пренебрежимо малым.





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.

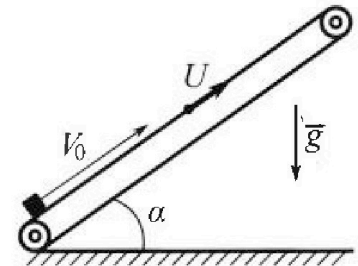
2) На каком расстоянии  $S$  от точки старта находится стенка?

Ускорение свободного падения  $g = 10$  м/с<sup>2</sup>. Мяч движется в плоскости перпендикулярной стенке. Сопротивление воздуха считайте пренебрежимо малым.

2. Лента транспортера, предназначенного для подъема грузов, образует с горизонтальной плоскостью угол  $\alpha$  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.).

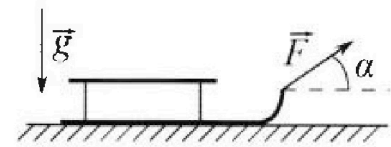
2) Через какое время  $T_1$  после старта скорость коробки во втором опыте будет равна  $U = 1$  м/с?

3) На каком расстоянии  $L$  от точки старта скорость коробки обратится в ноль во втором опыте? Ускорение свободного падения  $g = 10$  м/с<sup>2</sup>. 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  $\alpha$  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  $\mu$  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.

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) Выразим длину полета мяча  $L$  через время его полета  $t$ :

$$L = v_0 \cos \alpha \cdot t \quad (1), \text{ где } t \text{ можно найти из ур-ия}$$

координат для мяча:  $0 = 0 + v_0 \sin \alpha \cdot t - \frac{g t^2}{2}$ , откуда

$$t = \frac{2v_0 \sin \alpha}{g}. \text{ Подставим полученное выражение в (1):}$$

$$L = \frac{2v_0^2 \sin^2 \alpha}{g}, \text{ откуда } v_0 = \sqrt{\frac{Lg}{2 \sin^2 \alpha}} = 10\sqrt{2} \text{ м/с}$$

2)

Запишем систему для перемещений мяча из  $m(0,0)$  в

$$m(S, H): \begin{cases} H = 0 + v_0 \sin \alpha \cdot t_1 - \frac{g t_1^2}{2}, & \text{где } t_1 - \text{ время} \\ S = 0 + v_0 \cos \alpha \cdot t_1, & \text{перемещения.} \end{cases}$$

$$t_1 = \frac{S}{v_0 \cos \alpha}, \text{ тогда } H = S \tan \alpha - \frac{g S^2}{2v_0^2} \left( \frac{1}{\cos^2 \alpha} \right)$$

Получаем тем что  $H$ -максимальное, найдем

$$H'(L) = \frac{S}{\cos^2 \alpha} - \frac{g S^2}{2v_0^2} \cdot 2 \tan \alpha = 0, \text{ откуда } \tan \alpha = \frac{v_0^2}{g S},$$

когда получим ур-ие для  $S$ :

$$H = \frac{v_0^2}{g} - \frac{g S^2}{2v_0^2} \cdot \left( \frac{1}{\cos^2 \alpha \tan^2 \alpha} \right), \text{ где } \frac{1}{\cos^2 \alpha \tan^2 \alpha} = \frac{v_0^2}{g S^2}$$

Решив ур-ие, найдем  $S$ .

$$\text{При макс } \frac{v_0^2}{g S}: H = \frac{v_0^2}{g} - S, S = \frac{v_0^2}{g} - H = 16,4 \text{ м}$$



На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

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

МФТИ

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

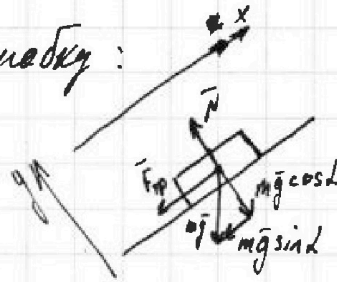
Найдем ускорение, действующее на коробку:

Запишем 2-й закон Ньютона ~~в проекциях~~:

$$\vec{F}_{\text{сп}} + \vec{N} + m\vec{g} = m\vec{a}$$

В проекциях на  $Ox$  и  $Oy$ :

$$\begin{cases} N - mg \cos \alpha = 0 & (Oy) \\ -F_{\text{сп}} - mg \sin \alpha = ma, & \text{отсюда} \end{cases}$$



$$a = -g(\sin \alpha + \mu \cos \alpha) = -10 \text{ м/с}^2$$

1)  $S = 0 + v_0 T + \frac{a T^2}{2} = 1 \text{ м}$

2) Перейдем в систему отсчета, связанную с конвейером,

тогда коробка должна будет останавливаться в ней:

$$0 = v_0 - u + a T_1, \quad T_1 = -\frac{v_0 - u}{a} = 0,5 \text{ с.}$$

3) Не выходя из той же системы отсчета, найдем

время  $T_2$  за которое тело приобретает скорость  $-u$ :

$$-u = v_0 - u + a T_2; \quad T_2 = -\frac{v_0}{a} = 0,6 \text{ с.}$$

Найдем расстояние  $L_1$ , пройденное телом:

$$L_1 = L' + u T_2 = (v_0 - u) T_2 + \frac{a T_2^2}{2} + u T_2 = 1,8 \text{ м}$$

Ответ: 1)  $S = v_0 T + \frac{a T^2}{2} = 1 \text{ м};$

2)  $T_1 = \frac{u - v_0}{a} = 0,5 \text{ с}$

3)  $L_1 = v_0 T_2 + \frac{a T_2^2}{2} = 1,8 \text{ м}$



1  2  3  4  5  6  7

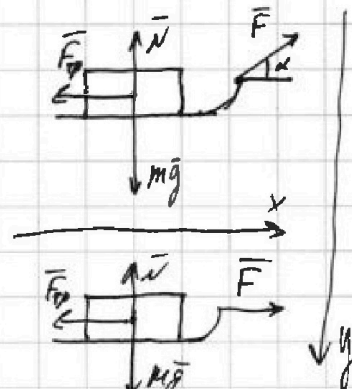
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



Метод Лагранжа II 3-х Ньютона для разгона санок в 2-х случаях:

$$I \begin{cases} mg - N - F \sin \alpha = 0 & (Oy) \\ F \cos \alpha - F_{\text{тр}} = ma_1 & (Ox) \end{cases}$$

$$II \begin{cases} mg - N = 0 & (Oy) \\ F - F_{\text{тр}} = ma_2 & (Ox) \end{cases}$$



Заметим, что касательные скорости санок  $v_1 = v_2$ ,

так как в обоих случаях санки приобретают кин. ж. К. =>

=> ускорения во время разгона тоже совпадают, т.к.  $L_1 = \frac{v_1^2}{2a_1} =$

$$= \frac{v_2^2}{2a_2} \Rightarrow a_1 = a_2 \text{ (т.к. нули при разгоне равны)}$$

1) Тогда справедливо будет:  $F \cos \alpha - \mu(mg - F \sin \alpha) = F - \mu mg$ ;

откуда  $\mu = \frac{1 - \cos \alpha}{\sin \alpha}$

2) Запишем СД для замедляющихся санок:

$$K = S \cdot F_{\text{тр}} ; S = \frac{K}{\mu mg}$$

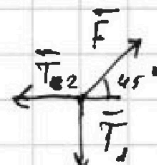
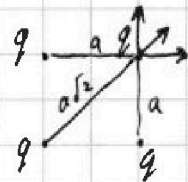
Ответ: 1)  $\mu = \frac{1 - \cos \alpha}{\sin \alpha}$  ; 2)  $S = \frac{K}{\mu mg}$

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!

1) В ползунке прицеплена суперпроводящая нить, найдем силу  $\vec{F}$ , действующую на 1 заряд:

$$\vec{F} = k \frac{q^2}{a^2} \cdot \sqrt{2} + k \frac{q^2}{2a^2}$$



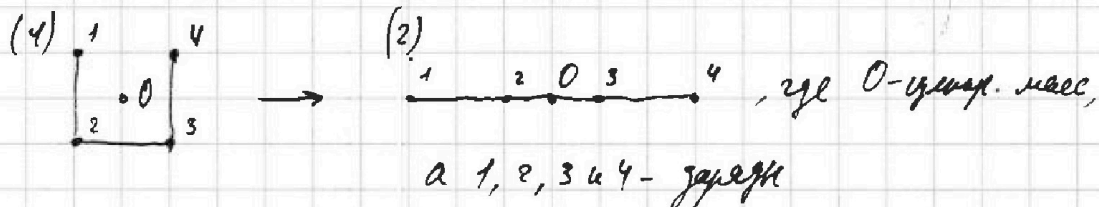
Запишем II з-н Ньютона для нити:  $\vec{F} + \vec{T}_1 + \vec{T}_2 = 0$

Тогда в проекции, получим:  $T = T_1 = F \sin 45^\circ =$

$$= k \frac{q^2}{a^2} \left( \sqrt{2} + \frac{1}{2} \right) \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} = \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 a^2} \left( 1 + \frac{\sqrt{2}}{4} \right), \text{ сила}$$

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

3) Ползунки  $d$ -ая центра масс системы, будем что ~~два~~ заряды перейдут из (1) в (2):



Тогда ~~ползунки~~, расстояние м.ч перейдет в состояние (2),

преобразов расстояние  $d = a \sqrt{1^2 + \left(\frac{1}{2}\right)^2} = \frac{a\sqrt{5}}{2}$

Ответ: 1)  $|q| = 4a \sqrt{\frac{\pi\epsilon_0 T}{4 + \sqrt{2}}}$

2)  $d = \frac{a\sqrt{5}}{2}$

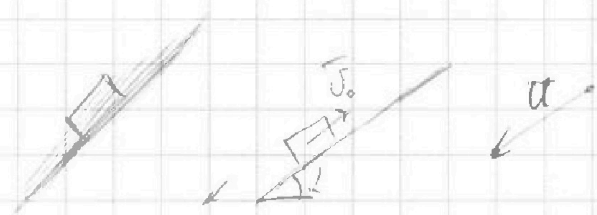
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

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!

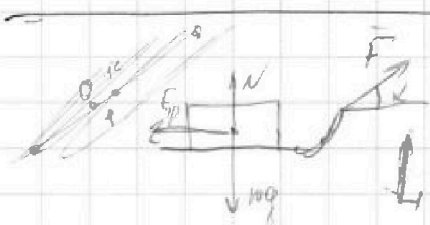


$$T_1 = \frac{v_0 - u}{a} = 0,5 \text{ c}$$

$$T_2 = \frac{u + v_0}{a} = 0,4 \text{ c}$$

$$L = L' + u T_2$$

$$L = v_0 T_2 + \frac{a T_2^2}{2} + u T_2 = 4,2 - 5 \cdot 0,49 + 0,4 = 6,09(0,6 - 3,5 + 1) = 3 \cdot 0,49 = 2,45 \text{ м}$$

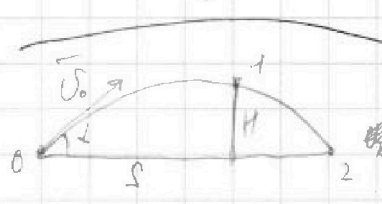


$$N = mg - F \sin \alpha \quad \therefore F \cos \alpha - \mu(mg - F \sin \alpha) = m a_1$$

$$L = \frac{v_0^2}{2 a_1} \quad K = \frac{m v_0^2}{2} = \frac{m v_0^2}{2} \quad v_1 = v_2 = v \quad a_1 = a_2 = a$$

$$F \cos \alpha - \mu(mg - F \sin \alpha) = \frac{v^2}{2 a_2} \quad N = mg \quad F_0 - \mu m g = m a_2$$

$$= F - \mu m g \quad F \cos \alpha - \mu F \sin \alpha = F \quad \cos \alpha - \mu \sin \alpha = 1 \quad \mu \sin \alpha = \frac{\cos \alpha - 1}{\sin \alpha}$$



$$t_1 = \frac{S}{v_0 \cos \alpha} \quad H = S \tan \alpha - \frac{g}{2} \left( \frac{S}{v_0 \cos \alpha} \right)^2$$

$$H = 0 + v_0 \sin \alpha \cdot t_1 - \frac{g t_1^2}{2} \quad H'(H) = S \tan \alpha - \frac{g S^2}{2 v_0^2 \cos^2 \alpha} \cdot \frac{2 \sin \alpha}{\cos^2 \alpha} = 0$$

$$S = 0 + v_0 \cos \alpha \cdot t_1 \quad \tan \alpha = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} \quad \frac{1}{\cos^2 \alpha} = \frac{1 + \tan^2 \alpha}{\cos^2 \alpha} \quad \tan \alpha = \frac{v_0^2}{g S}$$

$$H = \frac{v_0^2}{g} - \frac{g S^2}{2 v_0^2} \left( \frac{1 + \tan^2 \alpha}{\cos^2 \alpha} \right) \quad \frac{1}{\cos^2 \alpha} = \frac{1}{\sin^2 \alpha} \quad \frac{1}{\sin^2 \alpha} = \frac{1}{\sin^2 \alpha}$$



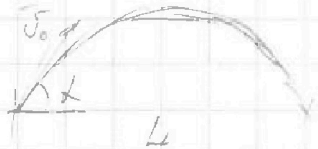
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

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!

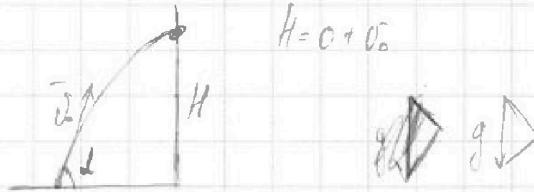


$$v_0 = \sqrt{\frac{Lg}{\sin 2\alpha}} = \sqrt{Lg} = 10\sqrt{3} \approx 17.3 \text{ м/с}$$

$$L = v_0 \cos \alpha \cdot t = \frac{2v_0^2 \sin \alpha \cos \alpha}{g}$$

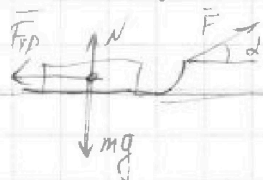
$$0 = 0 + v_0 \sin \alpha \cdot t - \frac{gt^2}{2}$$

$$t = \frac{2v_0 \sin \alpha}{g}$$



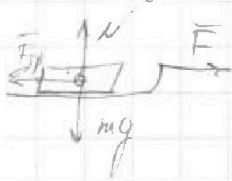
$$H = 0 + v_0 \sin \alpha \cdot t - \frac{gt^2}{2}$$

~~1 м/с~~  
~~4 м/с~~  
4 123  
5 123



$$I \quad \begin{cases} mg = N + F \sin \alpha \\ F \cos \alpha - \mu(mg - F \sin \alpha) = ma_1 \end{cases}$$

$$II \quad \begin{cases} N = mg \\ F - \mu mg = ma_2 \end{cases}$$



$$a = \mu g (\sin \alpha + \mu \cos \alpha) = g$$

$$k \frac{q^2}{a^2} = F_1 \Rightarrow \sqrt{2k \frac{q^2}{a^2} + k \frac{q^2}{2a^2}}$$

$$S = 0 + v_0 t - \frac{at^2}{2} = 6 - 5 = 1 \text{ м}$$

$$C_{m \Delta T} = \Delta U + A$$

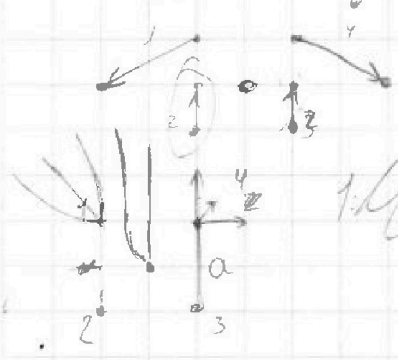
$$C_{m \Delta T} = \frac{3}{2} \nu R \Delta T + \int_{V_1}^{V_2} \frac{\nu R T}{V} dV =$$

$$\nu R = \nu R T$$

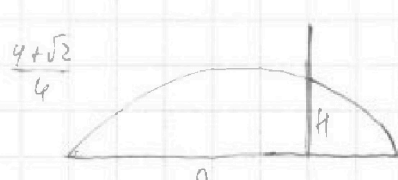
$$C_m = \frac{3}{2} \nu R + \nu R \ln \frac{V_2}{V_1}$$

$$C = \frac{\nu R}{m} \left( \frac{3}{2} + \ln \frac{V_2}{V_1} \right) = \frac{3}{2} + \ln \frac{V_2}{V_1}$$

$$v_0 T + \frac{a T^2}{2} = 6 \cdot 0.6 - 5 \cdot 0.36 = 0.6$$



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



$$\frac{4 + \sqrt{2}}{4}$$



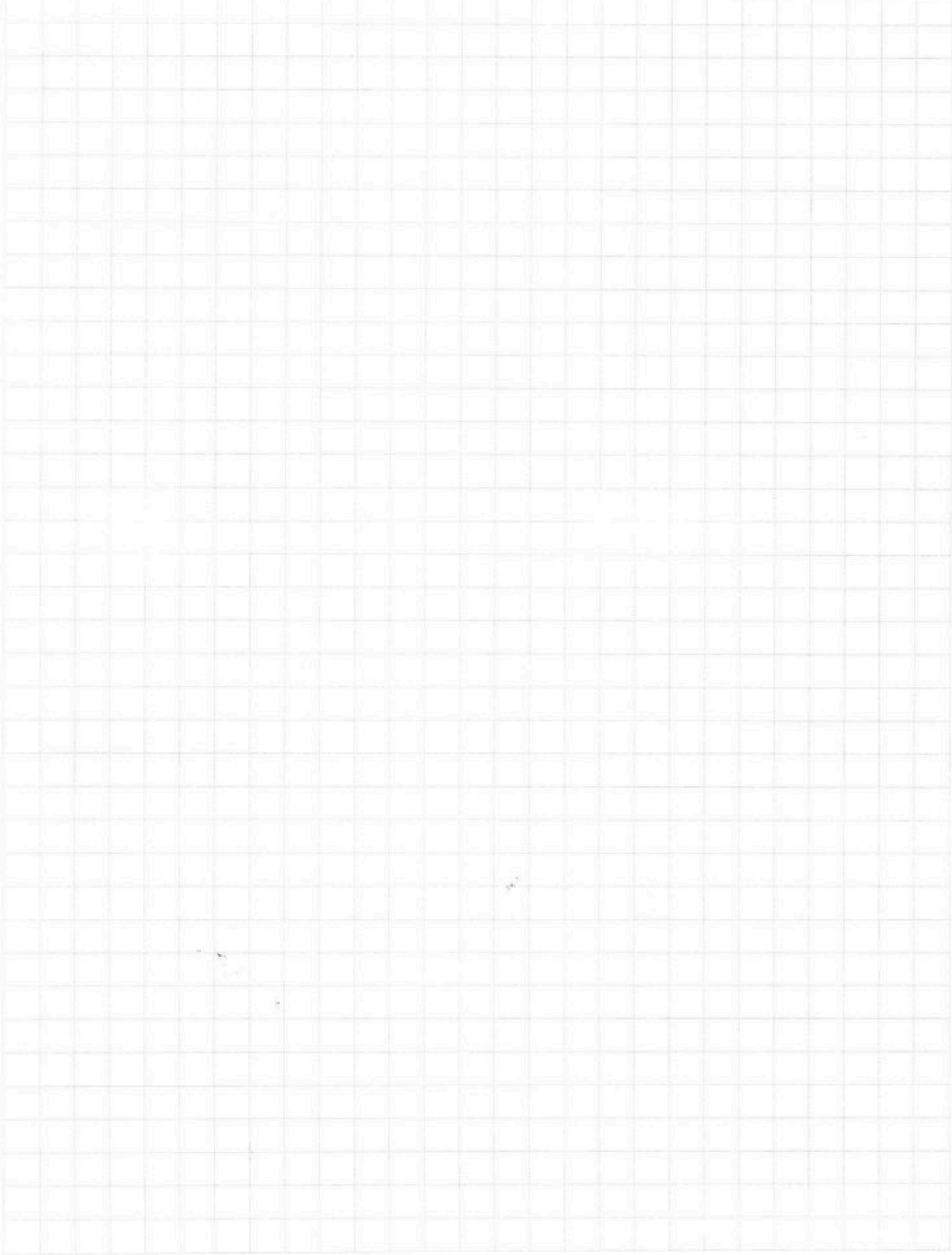
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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!





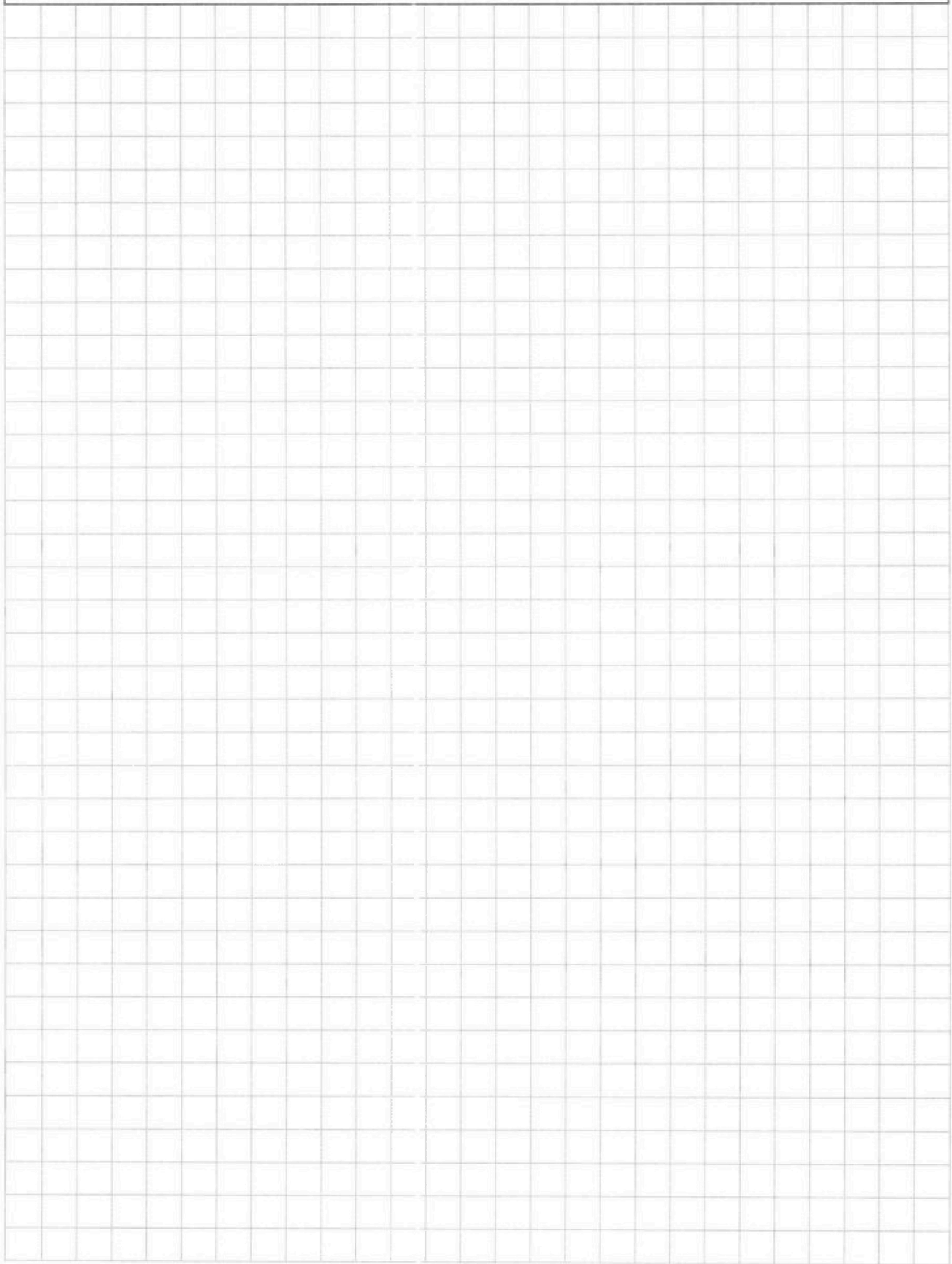
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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!







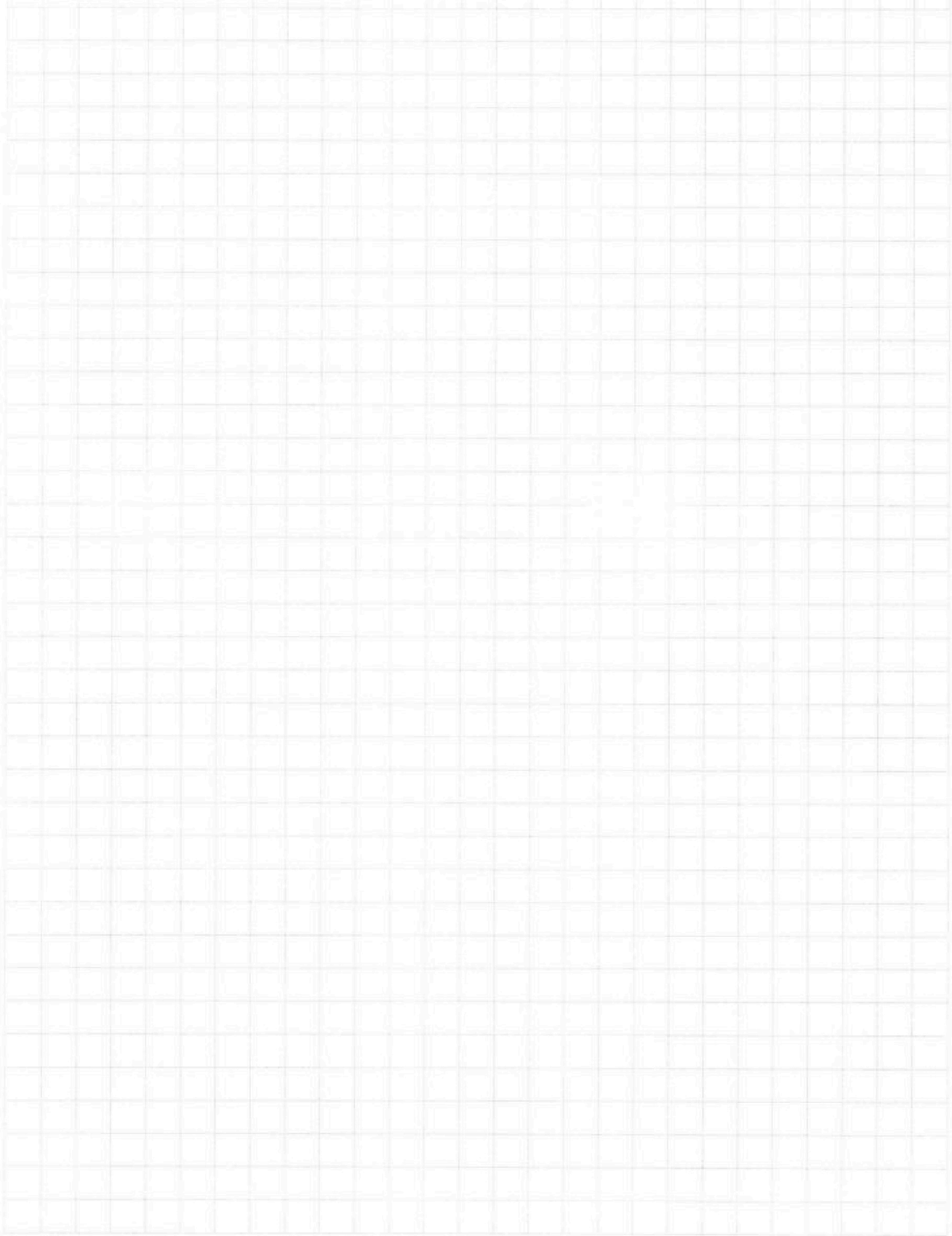
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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!

