



# 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.

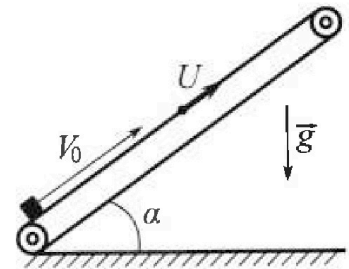
√2) На каком расстоянии  $S$  от точки старта находится стенка?

Ускорение своб одного 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

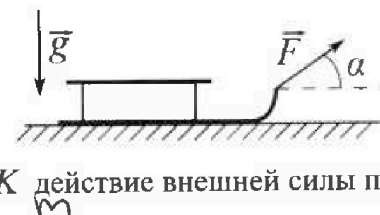
$$U = 1 \text{ м/с?}$$

√ 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.



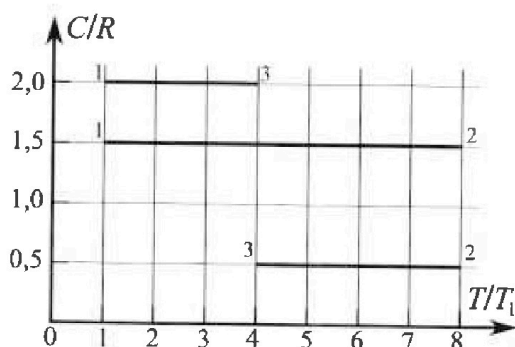
# Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

## Вариант 10-02



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

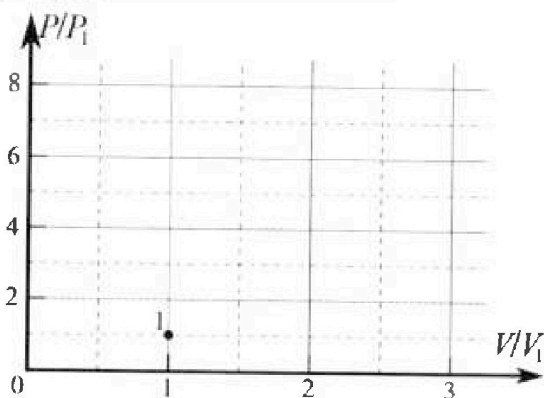
4. Тепловой двигатель работает по циклу 1-2-3-1. Рабочее вещество – один моль одноатомного идеального газа. Для вычисления КПД цикла ученик десятого класса построил график зависимости молярной теплоемкости  $C$  газа (в единицах универсальной газовой постоянной) от температуры в процессах: 1-2, 2-3,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

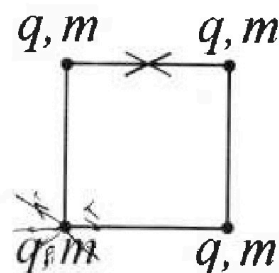
1) Найдите абсолютную величину  $|q|$  заряда каждого шарика.

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 вверху (на рисунке)?

Электрическая постоянная  $\epsilon_0$ . 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
<input checked="" type="checkbox"/>	<input 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!

№1.

$$h = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g}$$

$$v_0 = \sqrt{\frac{g h}{\sin 2\alpha}} = \sqrt{\frac{10 \cdot 20}{\sin 80^\circ}} \approx 10\sqrt{2} \frac{m}{c}$$

Пусть угол броска при котором  $H = 3,6m$  это  $\varphi$

(1)  $S = v_0 \cos \varphi \cdot t$ , где  $t$  - время полёта до урара от стены.

(2)  $H = v_0 \sin \varphi t - \frac{g t^2}{2}$

Также (3)  $v_0^2 t^2 = S^2 + H^2 + \frac{g^2 t^4}{4} + g t^2 H$  ~~по теореме Пифагора~~

из (1):  $t = \frac{S}{v_0 \cos \varphi}$  подставим в (2):

$$H = \frac{g \sin \varphi}{\cos \varphi} \cdot \frac{S^2}{2 v_0^2 \cos^2 \varphi} \Rightarrow 2 v_0^2 \cos^2 \varphi H = 2 v_0^2 g \sin \varphi \cos \varphi \frac{S^2}{2} - g \frac{S^2}{2}$$

$$2 v_0^2 \cos^2 \varphi H = v_0^2 g \sin 2\varphi \frac{S^2}{2} - g \frac{S^2}{2}$$

$$g \frac{S^2}{2} - \frac{v_0^2 g \sin 2\varphi}{2} \frac{S^2}{2} + \frac{2 v_0^2 \cos^2 \varphi}{g} H = 0$$

~~...~~ Т.к.  $H$  - максимум, то

$$H = \frac{v_0^2 \sin^2 \varphi}{2g}; \quad S = \frac{2 v_0^2 \sin \varphi \cos \varphi}{2g} \Rightarrow \text{подставим в ур-е.}$$

$$S^2 - \frac{v_0^2 \sin 2\varphi}{g} S + 4H \cdot \left( \frac{v_0^2}{2g} - \frac{v_0^2 \sin^2 \varphi}{2g} \right) = 0$$

$$S^2 - 2S^2 + 4H \left( \frac{v_0^2}{2g} - H \right) = 0$$

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

$$S = 2 \sqrt{H \left( \frac{v_0^2}{2g} - H \right)} = 2 \sqrt{3,6 \cdot \left( \frac{100 \cdot 2}{20 \cdot 2} - 3,6 \right)} \frac{m}{c}$$

$$= 2 \sqrt{3,6 \cdot 6,4} \frac{m}{c} = 2 \sqrt{\frac{36 \cdot 64}{100}} \frac{m}{c} = \frac{2 \cdot 6 \cdot 8}{10} \frac{m}{c} = 9,6 \frac{m}{c}$$

Ответ:  $v_0 = 10\sqrt{2} \frac{m}{c}$ ,  $S = 9,6 \frac{m}{c}$



На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

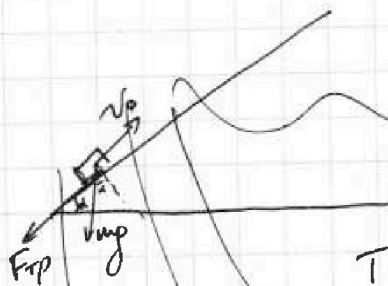


- 1  2  3  4  5  6  7

МФТИ

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

№2.



$F_{тр} = \mu mg \cos \alpha$  - сила трения скольж. не коробки  
 $S = v_0 T - \frac{(F_{тр})^2}{m} \frac{T^2}{2}$ , где  $m$  - масса коробки.

Тогда  $S = v_0 T - \mu g \cos \alpha \frac{T^2}{2}$ , т.к.  $\sin \alpha = 0,6$ , то

$\cos \alpha = \sqrt{1 - \sin^2 \alpha} = \sqrt{1 - 0,36} = \sqrt{0,64} = 0,8 \Rightarrow S = v_0 T - 0,5 \cdot 10 \frac{m}{c^2} \cdot 0,8 \cdot \frac{T^2}{2} = 6m - 2m = 4m$

$0,5 \cdot 10 \frac{m}{c^2} \cdot 0,8 \cdot \frac{T^2}{2} = 6m - 2m = 4m$

После того, как коробку поставят на ленту она будет двигаться со скоростью  $v_0$  и относительно земли, будет

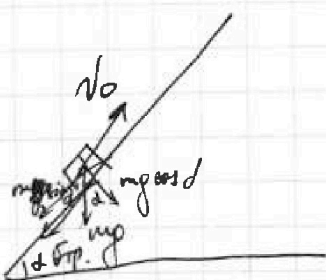
Тогда сама коробка будет двигаться со скоростью  $v_0 - 4$  км/ч (0,4 м/с) относительно земли, значит  $v_0 - 4 - \frac{F_{тр}}{m} \mu g \cos \alpha \frac{T^2}{2} = 4$

$\mu g \cos \alpha \frac{T^2}{2} = v_0 - 2v_0$

$\sqrt{\frac{2(6-2)}{10(0,8 \cdot 0,8 + 0,5)}} = \sqrt{\frac{8}{10}} = \sqrt{0,8}$

$0,5 = 10 T$

$T_0 = \sqrt{\frac{2(v_0 - 2v_0)}{\mu g \cos \alpha}} = \frac{2(6-2)}{\frac{1}{2} \cdot 10 \cdot 0,8}$



$F_{тр} = \mu mg \cos \alpha$ , где  $m$  - масса коробки.

$S = v_0 T - \frac{(mg \sin \alpha + \mu mg \cos \alpha) T^2}{2}$

$= v_0 T - \frac{g T^2}{2} (\sin \alpha + \mu \cos \alpha) = 6m - 5m = 1m$

Во втором случае коробка движется со скоростью  $v_0$  относительно ленты (5-4) относительно земли

$v_0 - 4 = (\mu g \cos \alpha + g \sin \alpha) T_1 \Rightarrow T_1 = \frac{v_0 - 4}{g(\mu \cos \alpha + \sin \alpha)} = \frac{5}{10} = 0,5 c$



На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

1  2  3  4  5  6  7

МОТИ

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

Когда скорость корабля станет ~~меньше~~ меньше  $u$ , тогда  
он и трюм не меняет своё направление на противо-  
положное и будет пытаться "выпрыгнуть" корабль, тогда

$$h = v_0 T_1 - \frac{g(\mu \cos \alpha + \sin \alpha) T_1^2}{2} + v_0 T_2 - \frac{g(\sin \alpha - \mu \cos \alpha) T_2^2}{2}, \text{ где}$$

$T_2$  - время, за которое скорость корабля уменьшится с  $u_{\text{поп}}$ ,  
тогда  $u = g(\sin \alpha - \mu \cos \alpha) T_2 \Rightarrow T_2 = \frac{u}{g(\sin \alpha - \mu \cos \alpha)} = \frac{1}{10 \cdot 0,2} u = 0,5 u \Rightarrow$

$$\begin{aligned} \Rightarrow h &= v_0 (T_1 + T_2) - \frac{g(\mu \cos \alpha + \sin \alpha) T_1^2}{2} - \frac{g(\sin \alpha - \mu \cos \alpha) T_2^2}{2} = \\ &= 20 \cdot 2 - \frac{10 \cdot 1,5^2}{2} - \frac{10 \cdot 0,75^2}{2} = 40 - 11,25 - 2,8125 = 25,9375 \approx 26 \text{ м} \end{aligned}$$

Ответ:  $l = 4 \text{ м}$   
 $T_1 = 0,5 \text{ с}$   
 $h = 4,5 \text{ м}$

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

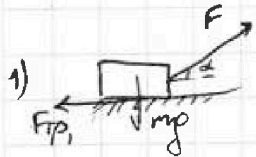
Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

1  2  3  4  5  6  7

МФТИ

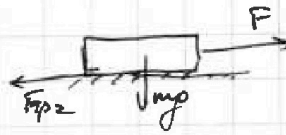
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

№3.



$$F_{тр1} = (mg - F \sin \alpha) \mu$$

$m$  - масса санок.



$$F_{тр2} = \mu mg$$

Тогда  $k = (F \cos \alpha - F_{тр1}) \cdot l = (F - F_{тр2}) l$ , где  $l$  - длина укатки пути, где санки разогнают до кин. эн.  $k$ .

$$F \cos \alpha - F_{тр1} = F - F_{тр2}$$

$$F \cos \alpha - \mu mg + \mu F \sin \alpha = F - \mu mg$$

$$\cos \alpha - \mu \sin \alpha = 1$$

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

a) Если  $k = \frac{mv^2}{2}$ , где  $v$  - скорость, до которой разогнали

санки, тогда  $v = \sqrt{\frac{2k}{m}}$ , тогда  $v > 0$  в случае остановки.

$v = 0$ , тогда  $k = 0$  и  $v = 0$  - конечная энергия санок равна 0.

Значит  $k = \mu mg S$ .  $k = A_{тр} = \mu mg S$ , т.к. во все время  $F_{тр}$  -

равна  $\mu mg$ , то в обоих случаях  $F_{тр} = \mu mg$ , а  $A_{тр} = \mu mg S$  - работа

силы трения до остановки санок; значит  $S = \frac{k}{\mu mg} =$

$$= \frac{k \sin \alpha}{mg(\cos \alpha - 1)}$$

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

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,

решение которой представлено на странице:

1  2  3  4  5  6  7

МФТИ

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

$c = \frac{\Delta Q}{\Delta T} \Rightarrow Q = A + \Delta U = \int c \Delta T \Rightarrow Q_{31} = A_{31} + \Delta U_{31} = \int c_{31} \Delta T_{31}$

$Q_{31} = 2R \int_{T_1}^{2T_1} \frac{dT}{T} = 2R \ln 2 = 2R \ln 2$

$A_{31} = - \int p dV = - \int \frac{R T}{V} dV = - R T \ln 2 = - R T \ln 2$

$Q_{31} = 2R \ln 2 = 2493 \text{ Дж}$

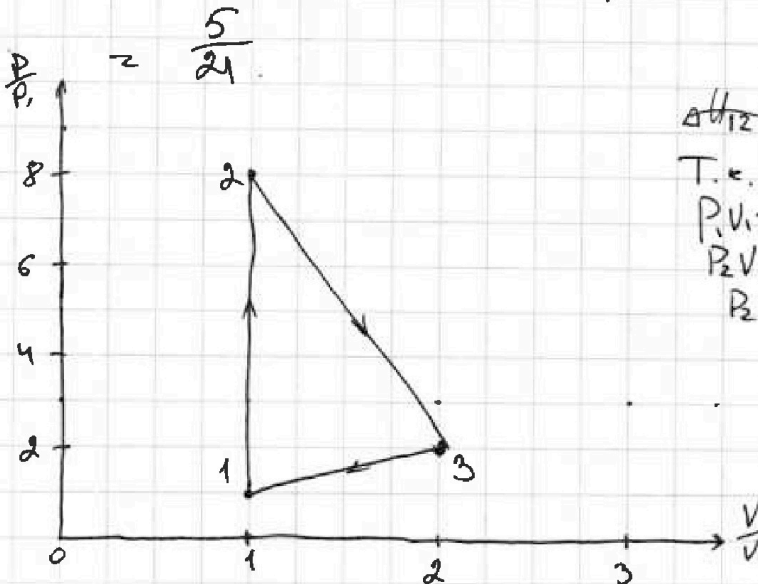
$\eta = \frac{A}{Q} = \frac{-R T \ln 2}{2R \ln 2} = -\frac{1}{2}$

$Q_{12} = c_{12} \int_{T_1}^{2T_1} \frac{dT}{T} = 1.5 R \ln 2 = 10.5 R T_1$

$A_{12} = Q_{12} - \Delta U_{12} = 10.5 R T_1 - 3 R T_1 = 7.5 R T_1$

$A_{23} = Q_{23} - \Delta U_{23} = 4 R T_1 + 3 R T_1 = 7 R T_1$

$\eta = \frac{A_{12} + A_{23} + A_{31}}{Q_{12}} = \frac{7.5 R T_1 + 7 R T_1 - R T_1 \ln 2}{10.5 R T_1} = \frac{14 - \ln 2}{21} \approx \frac{5}{21}$



$\Delta U_{12} = 3 R T_1$   
 Т.к.  $A_{12} \geq 0$ , то  $V = \text{const}$ , значит  
 $p_1 V_1 = R T_1$   
 $p_2 V_1 = 8 R T_1$ , значит  
 $p_2 = 8 p_1$   
 $p_3 V_3 = 4 R T_1 = 4 p_1 V_1$   
 и  $A_{31} = - \frac{3}{2} R T_1 = - \frac{3}{2} p_1 V_1$   
 то можно считать, что  
 $p_3 = 2 p_1, V_3 = 2 V_1$   
 Работа — это площадь под графиком.

Ответ:  $A_{31} = - 2493 \text{ Дж}$ ;  $\eta = \frac{5}{21}$



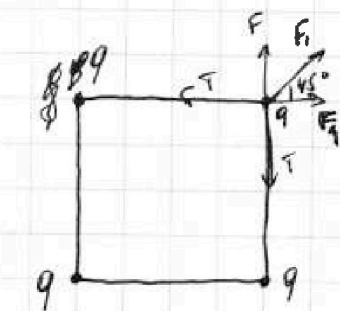
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

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!



№5.

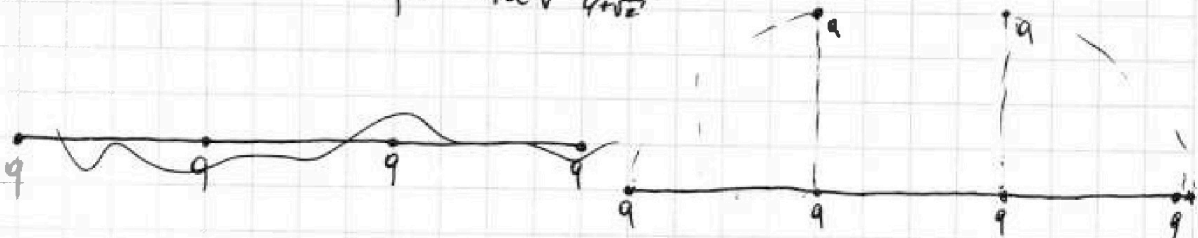
$$F = \frac{kq^2}{a^2}; F_1 = \frac{kq^2}{2a^2}, \text{ т.к. } k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}, \text{ т.о.}$$

$$F = \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 a^2}; F_1 = \frac{q^2}{8\pi\epsilon_0 a^2}.$$

$$T \geq F + F_1 \cos(45^\circ) = F + \frac{\sqrt{2}F_1}{2} = \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 a^2} + \frac{\sqrt{2}q^2}{16\pi\epsilon_0 a^2}$$

$$q^2(4 + \sqrt{2}) = 16\pi\epsilon_0 a^2 T$$

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



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



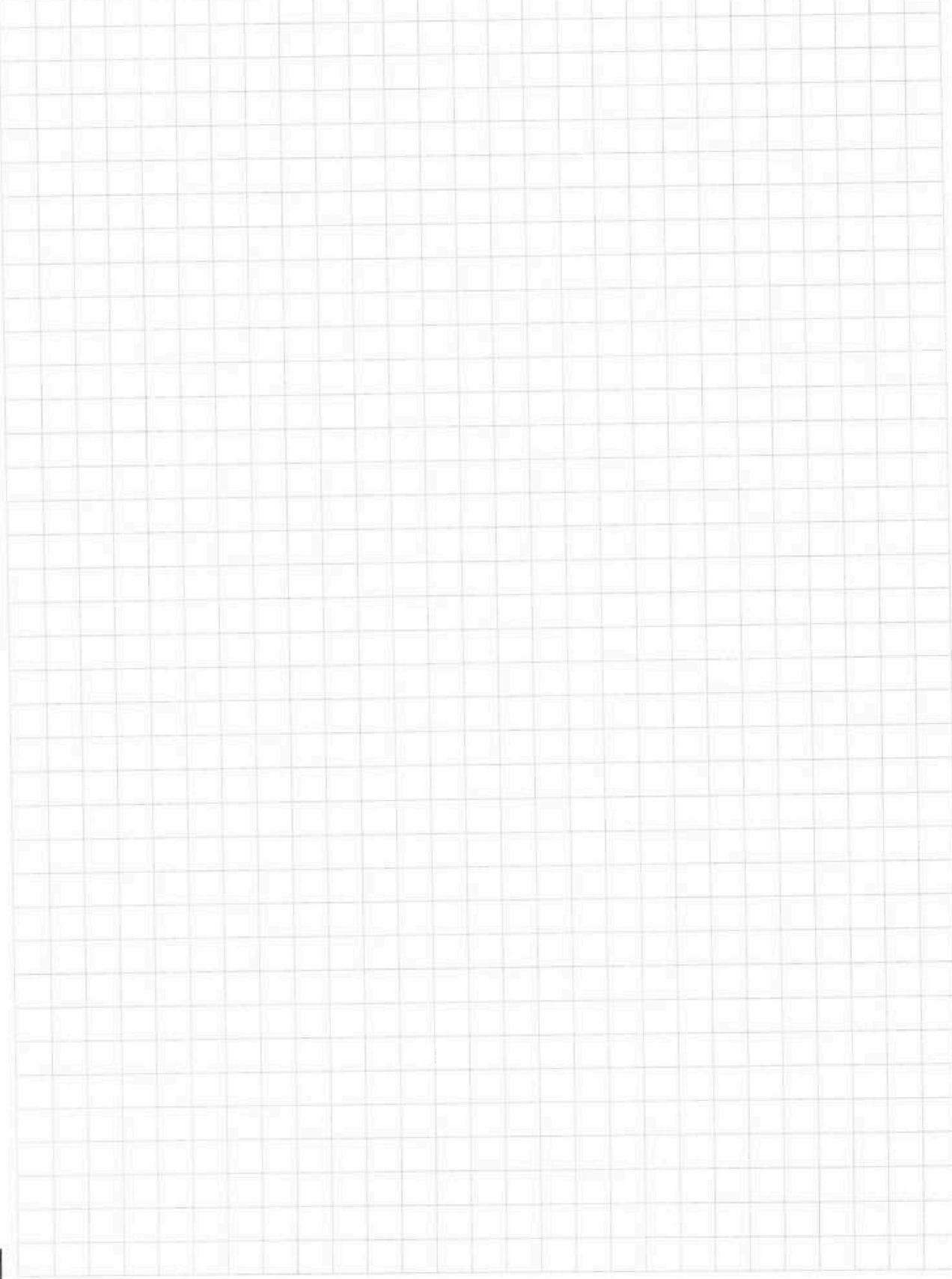
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
<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!



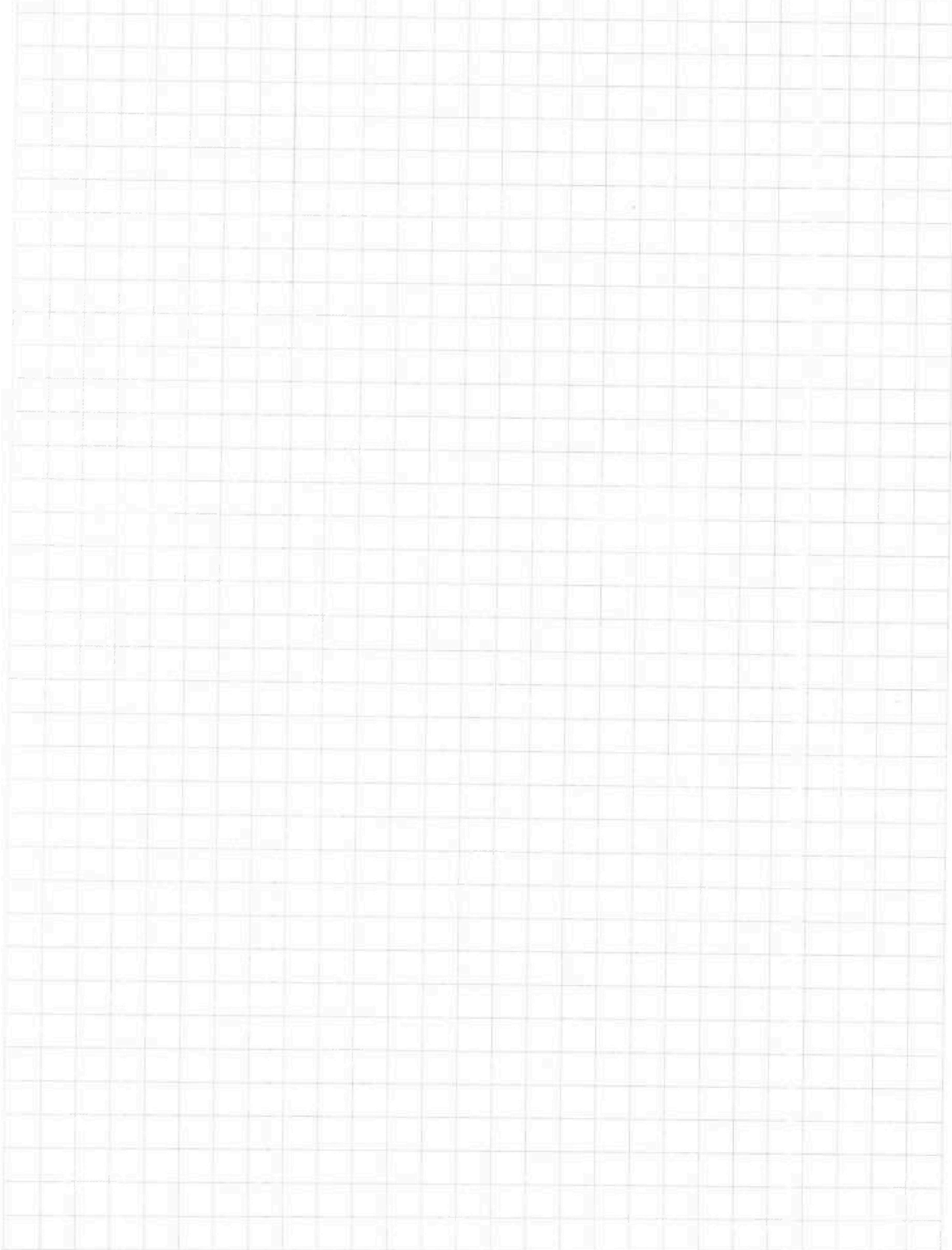


На одной странице можно оформлять только одну задачу.  
Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

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!

