



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.

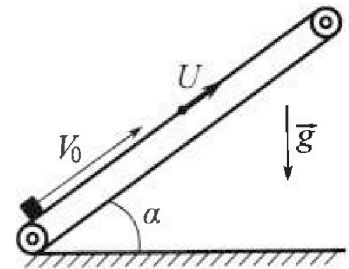
Если футболист направляет мяч под различными углами к горизонту, из той же точки с начальной скоростью V_0 к высокой вертикальной стенке, то наибольшая высота, на которой происходит соударение мяча со стенкой, равна $H = 3,6$ м.

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

Ускорение своб одного падения $g = 10$ м/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.).

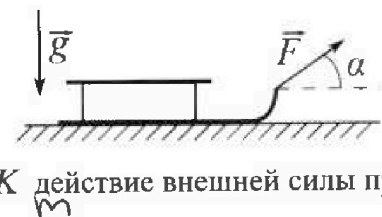
√ 2) Через какое время T_1 после старта скорость коробки во втором опыте будет равна $U = 1$ м/с?

√ 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.



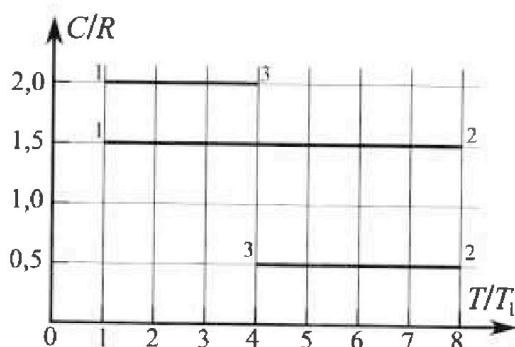
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

Вариант 10-02



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

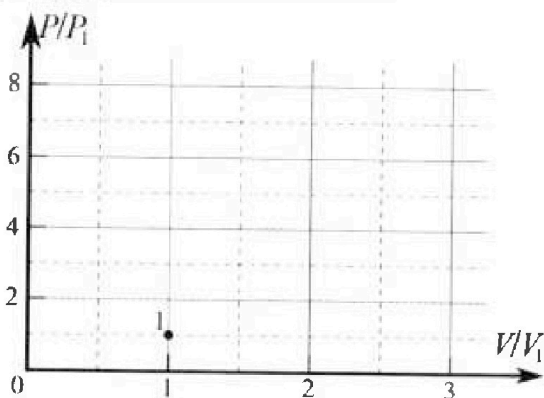
4. Тепловой двигатель работает по циклу 1-2-3-1. Рабочее вещество – один моль одноатомного идеального газа. Для вычисления КПД цикла ученик десятого класса построил график зависимости молярной теплоемкости C газа (в единицах универсальной газовой постоянной) от температуры в процессах: 1-2, 2-3, 3-1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

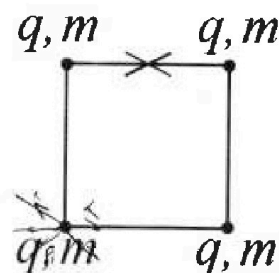
1) Найдите абсолютную величину $|q|$ заряда каждого шарика.

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 вверху (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
<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.

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

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

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

(1) $S = v_0 \cos \varphi \cdot t$, где t - время полёта до утра 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):

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

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

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

~~...~~ Т.к. H - максимум, то

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

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

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

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

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

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

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

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

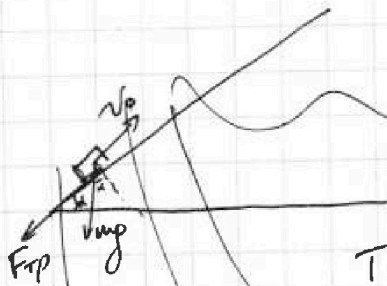
МФТИ

- 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.



$F_{тр} = \mu mg \cos \alpha$ - сила трения скольжения 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

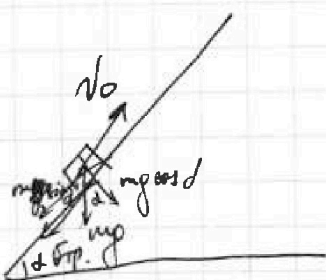
Тогда сама коробка будет двигаться со скоростью $v_0 - u$ или $(v_0 - u)$ относительно ленты, значит $v_0 - u = \frac{F_{тр}}{m} \mu g \cos \alpha \frac{T^2}{2} = u$

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

$\sqrt{\frac{2(6-2)}{10(0,8 \cdot 0,5 + 0,8)}} = \sqrt{\frac{8}{16}} = \sqrt{0,5}$

$0,5 = 10 T$

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



$F_{тр} = \mu mg \cos \alpha$, 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 $(v_0 - u)$ относительно земли

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

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 до 0,
тогда $u = g(\sin \alpha - \mu \cos \alpha) T_2 \Rightarrow T_2 = \frac{u}{g(\sin \alpha - \mu \cos \alpha)} = \frac{1}{10 \cdot 0,2} u = 0,5 u \Rightarrow$

$$\begin{aligned} \Rightarrow h &= v_0 (T_1 + T_2) - \frac{g}{2} (\mu \cos \alpha + \sin \alpha) T_1^2 - \frac{g}{2} T_1^2 (\mu \cos \alpha + \sin \alpha + \sin \alpha - \mu \cos \alpha) = \\ &= 20 \cdot 2 - \frac{10}{2} T_1^2 \sin \alpha = 20 \text{ м} - 1,5 \text{ м} = 18,5 \text{ м} \end{aligned}$$

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

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

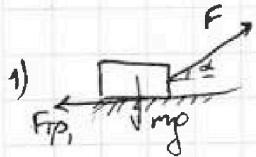
Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

1 2 3 4 5 6 7

МФТИ

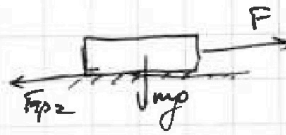
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

№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 $v > 0$ кинетич. энергия санок равна 0.

Значит $k = \mu mg S$. $k = A_{тр} = \mu mg S$, т.к. воз. сила $F_{тр}$ к-

рауа α т.е., 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!

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

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

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

$Q_{31} = 2R \ln 2 - R T \ln 2 = R T \ln 2$

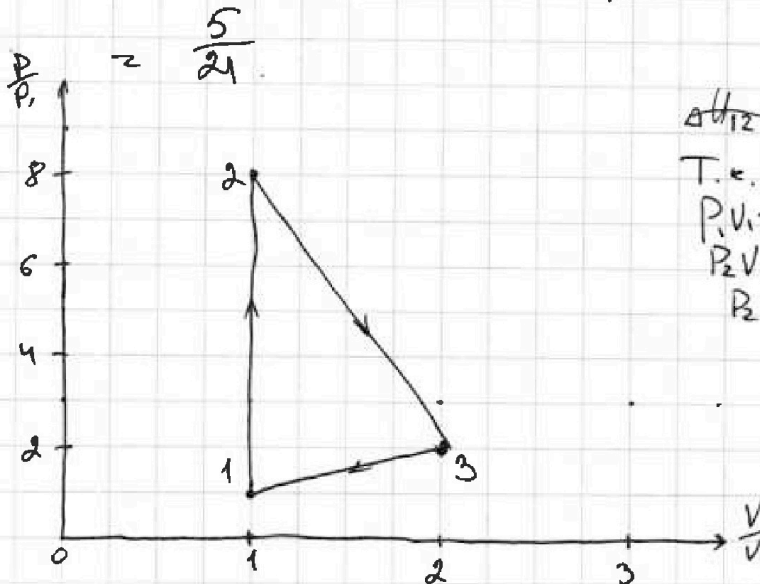
$\eta = \frac{A}{Q} = \frac{-R T \ln 2}{R T \ln 2} = -1$

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

$A_{12} = Q_{12} - \Delta U_{12} = 1.5R \ln 2 - 0.5R \ln 2 = R \ln 2$

$A_{23} = Q_{23} - \Delta U_{23} = 0.5R \ln 2 + 0.5R \ln 2 = R \ln 2$

$\eta = \frac{A_{12} + A_{23} + A_{31}}{Q_{12}} = \frac{R \ln 2 + R \ln 2 - R T \ln 2}{1.5R \ln 2} = \frac{2 - T}{1.5} = \frac{2 - T}{1.5}$



$\Delta U_{12} = 1.5R \ln 2$
 Т.е. $A_{12} \geq 0$, то $V = \text{const}$, значит
 $p_1 V_1 = R T_1$
 $p_2 V_1 = 2R T_1$, значит
 $p_2 = 2p_1$
 $p_3 V_3 = R T_1 = 0.5 p_1 V_1$
 и $A_{31} = - \int p dV = - \frac{R T_1}{2} \ln 2 = - \frac{R T_1}{2} \ln 2$
 то можно считать, что
 $p_3 = 0.5 p_1, V_3 = 2V_1$
 Работа — это площадь под графиком.

Ответ: $A_{31} = - R T \ln 2$; $\eta = \frac{2 - T}{1.5}$

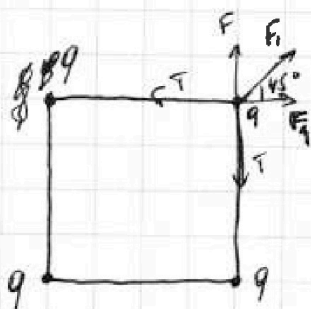
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

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.

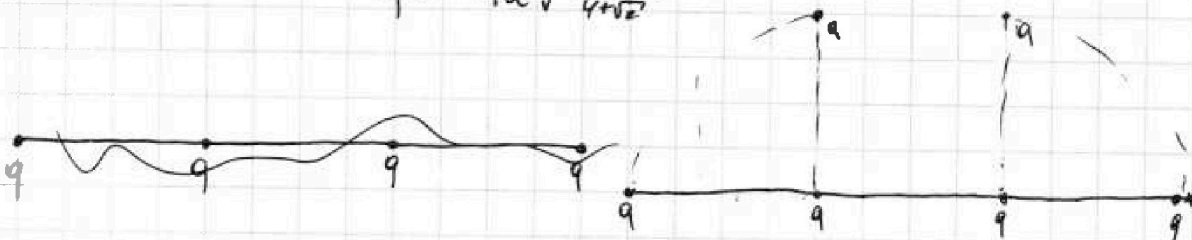
$$F = \frac{kq^2}{a^2}; F_1 = \frac{kq^2}{2a^2}, \text{ т.к. } k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$$

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

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

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

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



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



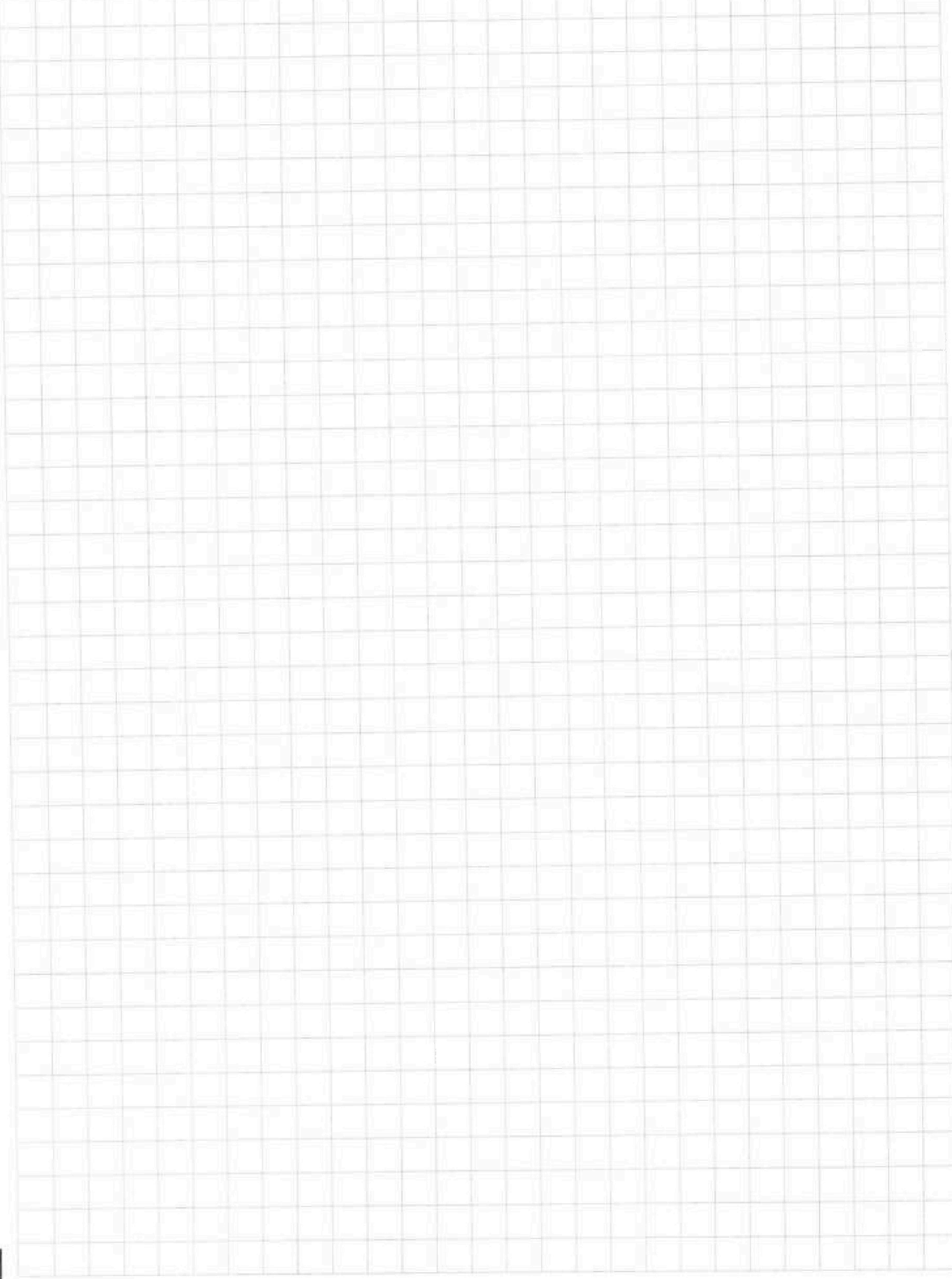
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

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!



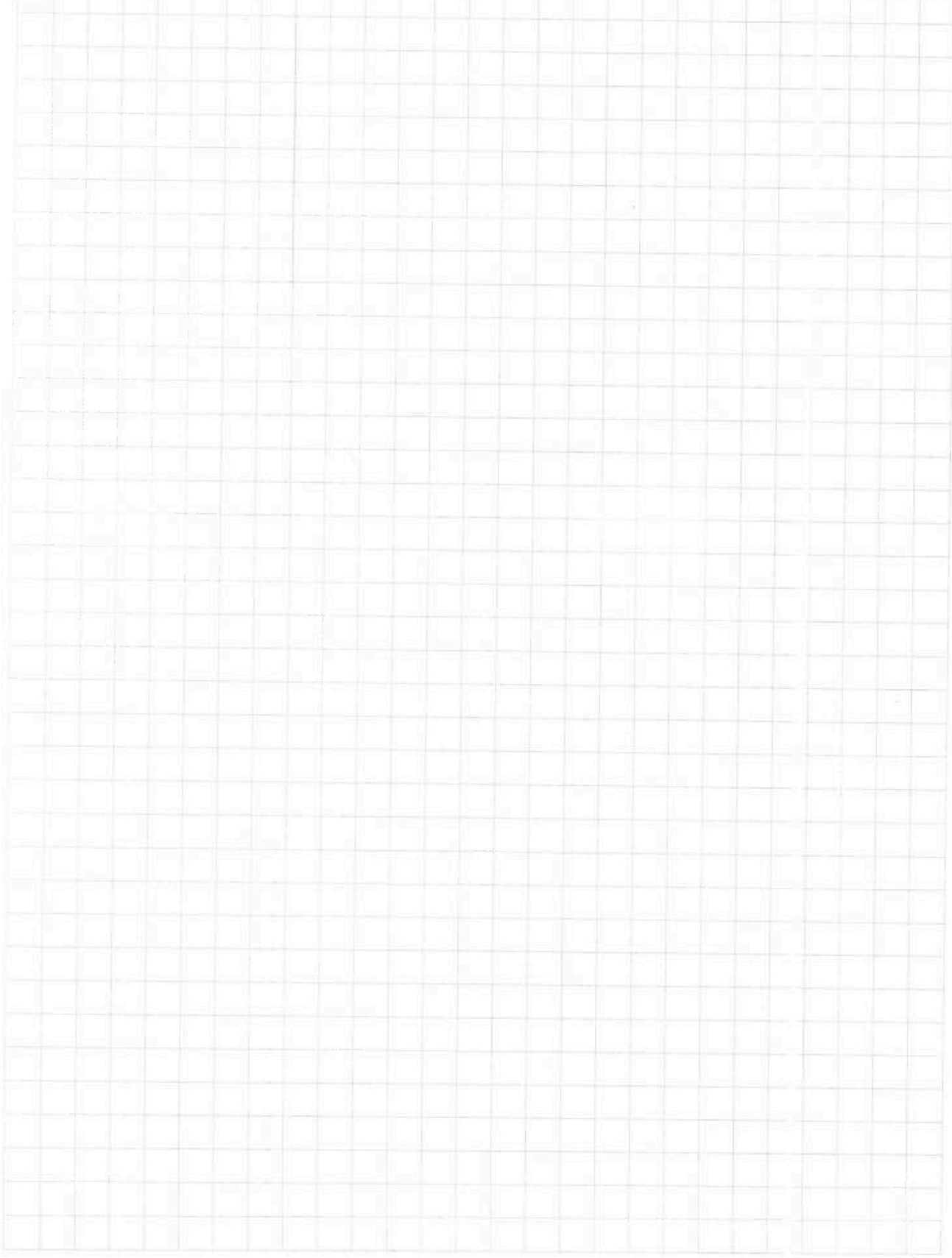


На одной странице можно оформлять только одну задачу.
Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

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!

