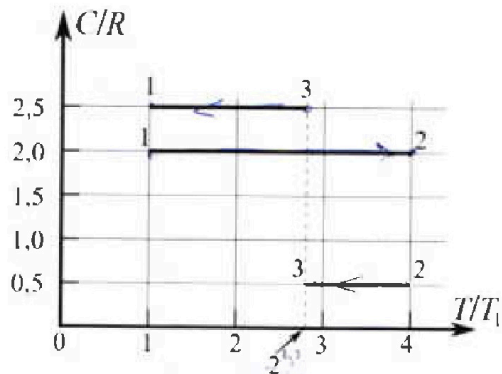


Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

Вариант 10-01

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

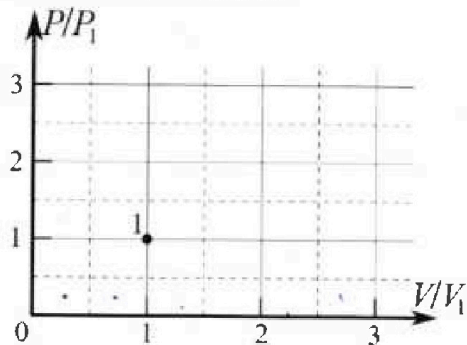
4. Тепловой двигатель работает по циклу 1-2-3-1. Рабочее вещество – один моль одноатомного идеального газа. Для вычисления КПД цикла ученик десятого класса построил график зависимости молярной теплоемкости C газа (в единицах универсальной газовой постоянной R) от температуры в процессах: 1-2, 2-3, 3-1 (см. рис.). Температура газа в состоянии 1 $T_1 = 400$ К, универсальная газовая постоянная $R = 8,31$ Дж/(моль·К).



1) Найдите работу A_{1-2} газа в процессе 1-2.

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.



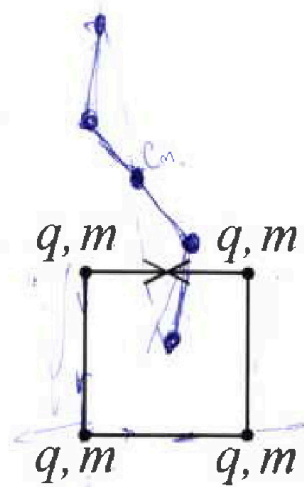
5. Четыре заряженных шарика связаны легкими нерастяжимыми нитями так, что шарики находятся в вершинах квадрата со стороной b (см. рис.). Масса каждого шарика m , заряд q .

1) Найдите силу T натяжения нитей.

Одну нить пережигают.

2) Найдите скорость V 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)?



Коэффициент пропорциональности в законе Кулона k . Действие сил тяжести считайте пренебрежимо малым.



Олимпиада «Физтех» по физике,
февраль 2023

Вариант 10-01

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



1. Мяч, посланный теннисистом вертикально вверх, поднимается на максимальную высоту за $T = 2$ с.

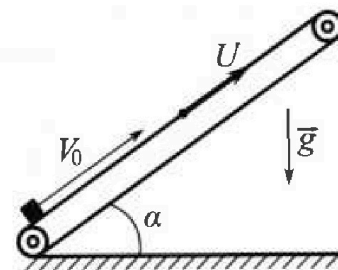
1) Найдите начальную скорость V_0 мяча.

2) Теннисист посылает мяч с начальной скоростью V_0 под различными углами к горизонту в направлении высокой вертикальной стенки, находящейся на расстоянии $S = 20$ м от места броска. На какой максимальной высоте мяч ударяется о стенку?

Ускорение свободного падения $g = 10$ м/с². Мяч движется в плоскости перпендикулярной стенке. Сопотвление воздуха считайте пренебрежимо малым. Все высоты отсчитываются от точки старта.

2. Лента транспортера, предназначенного для подъема грузов, образует с горизонтальной плоскостью угол α такой, что $\sin \alpha = 0,8$ (см. рис.).

В первом опыте небольшую коробку ставят на покоящуюся ленту транспортера и сообщают коробке начальную скорость $V_0 = 4$ м/с. Коэффициент трения скольжения коробки по ленте $\mu = \frac{1}{3}$. Движение коробки прямолинейное.



1) За какое время T после старта коробка пройдет в первом опыте путь $S = 1$ м?

Во втором опыте коробку ставят на ленту транспортера, движущуюся со скоростью $U = 2$ м/с, и сообщают коробке скорость $V_0 = 4$ м/с.

2) На каком расстоянии L от точки старта скорость коробки во втором опыте будет равна $U = 2$ м/с?

3) На какой высоте H , отсчитанной от точки старта, скорость коробки во втором опыте станет равной нулю? 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 скорости V_0 за одинаковое время.

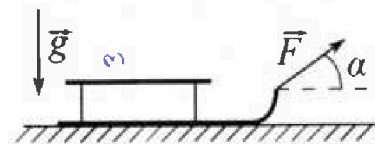
В первом случае санки тянут, действуя постоянной по модулю силой, направленной под углом α к горизонту (см. рис.).

Во втором случае такая же по модулю сила, приложенная к санкам, направлена горизонтально. После достижения скорости V_0 действие внешней силы прекращается.

1) Найдите коэффициент μ трения скольжения санок по горизонтальной поверхности.

2) Через какое время T после прекращения действия силы санки остановятся? Ускорение свободного падения g .

Санки находятся на горизонтальной поверхности. Движение санок прямолинейное.





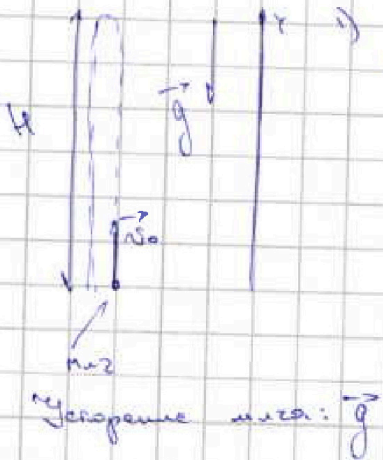
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

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!



$$v_y - v_{y0} = -gT$$

$$v_{y0} = gT = 2 \cdot 10 = 20 \text{ (м/с)}$$

2)

где v_{y0} — скорость по оси oy :

$$x(t) = v_0 \cos \alpha t \quad (1)$$

где v_{y0} — скорость по оси oy :

$$y(t) = v_0 \sin \alpha t - g \frac{t^2}{2} \quad (2)$$

$$(1) \rightarrow t = \frac{x}{v_0 \cos \alpha} \rightarrow (3)$$

(подставим в уравнение (2))

$$y = v_0 \sin \alpha \cdot \frac{x}{v_0 \cos \alpha} - \frac{g}{2} \frac{x^2}{v_0^2 \cos^2 \alpha}$$

$$= x \operatorname{tg} \alpha - \frac{g x^2}{2 v_0^2 \cos^2 \alpha}$$

используем триг. т-во:

$$\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1 \quad / \cos^2 \alpha$$

$$\operatorname{tg}^2 \alpha + 1 = \frac{1}{\cos^2 \alpha}$$

$$y = x \operatorname{tg} \alpha - \frac{g x^2}{2 v_0^2} (\operatorname{tg}^2 \alpha + 1)$$

$$\text{где } x = S: \quad y = S \operatorname{tg} \alpha - \frac{g S^2}{2 v_0^2} (\operatorname{tg}^2 \alpha + 1)$$

Продифференцируем по $\operatorname{tg} \alpha$:

$$y' = S - \frac{g S^2}{v_0^2} \operatorname{tg} \alpha = 0$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{S \operatorname{tg} \alpha}{v_0^2} = 1 \quad \operatorname{tg} \alpha = \frac{v_0^2}{g S}$$

подставим в уравнение траектории

$$y = \frac{v_0^2}{g} - \frac{g S^2}{2 v_0^2} \frac{v_0^4}{g^2 S^2} - \frac{g S^2}{2 v_0^2}$$

$$= \frac{v_0^2}{g} - \frac{v_0^2}{2g} - \frac{g S^2}{2 v_0^2} = \frac{v_0^2}{2g} - \frac{g S^2}{2 v_0^2} = \frac{400}{2 \cdot 10} - \frac{5}{2 \cdot 20^2} = 15 \text{ (м)}$$

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

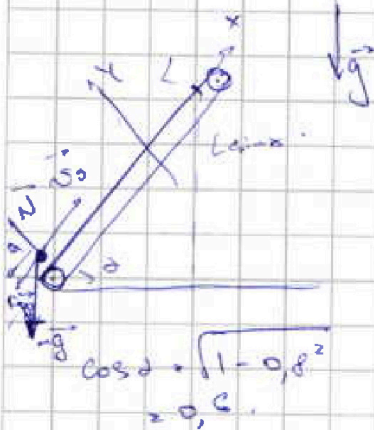
1 2 3 4 5 6 7

МФТИ

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



Обозн. 1.



1) На коробку действуют:
 \vec{N} , \vec{mg} , $F_{тр}$.

2) трение скольжения: $F_{тр} = \mu N$
когда из-за сил не хватает скорости движения равноускоренно

2) Σ и Н.:

$$\Sigma x: -ma = mgs \sin \alpha - \mu N$$

$$\Sigma y: 0 = -mg \cos \alpha + N$$

$$\Rightarrow N = mg \cos \alpha$$

$$\Rightarrow ma = mgs \sin \alpha + \mu mg \cos \alpha$$

$$a = gs \sin \alpha + \mu g \cos \alpha$$

равномер. гл. уе.

$$S = v_0 T - a \frac{T^2}{2}$$

$$-(gs \sin \alpha + \mu g \cos \alpha) \frac{T^2}{2} + v_0 T - S = 0$$

решает кв. др-ие:

$$-10 \frac{0.2 + 0.2}{2} T^2 + 4T - 1 = 0$$

$$-5T^2 + 4T - 1 = 0$$

$$D = 16 - 4(-5)(-1) < 0$$

(Рассчитываем время, которое пройдет до того момента, когда скорость станет равна нулю. $v = v_0 - at = 0 \Rightarrow t = \frac{v_0}{a}$)

$$L = \frac{v_0^2}{2(\mu g \cos \alpha + g \sin \alpha)} = \frac{16}{2(0.2 + 0.2)} \cdot 10 = \frac{16}{0.8} = 20 \text{ м} < 1 \text{ м.}$$

2) Сила действующая на коробку никак не компенсирует ее силу с возвращением назад. Перегнет в УЕО ленту.

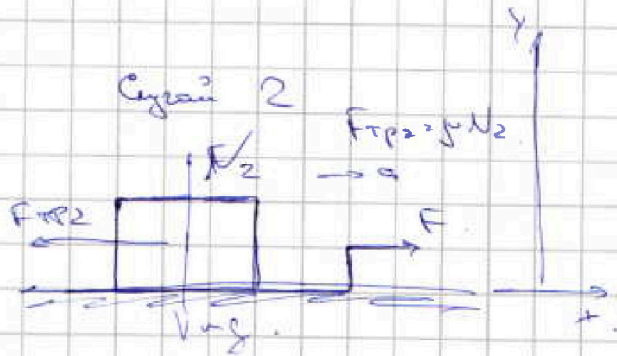
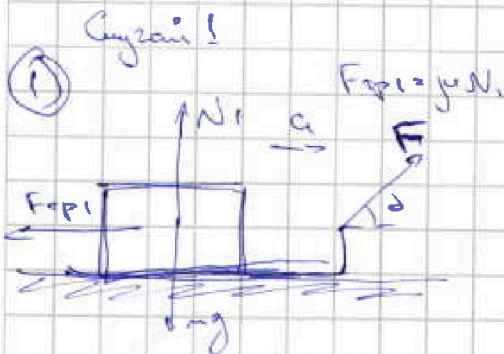
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

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!



т.е. g_0 одинаково \rightarrow той же скорости разогнаны за одинаковое время, то ускорение тоже же

2-3-й к.

1) $\Sigma F_{y1}: F \cos \alpha - mg + N_1 = 0, \quad N_1 = mg - F \cos \alpha.$

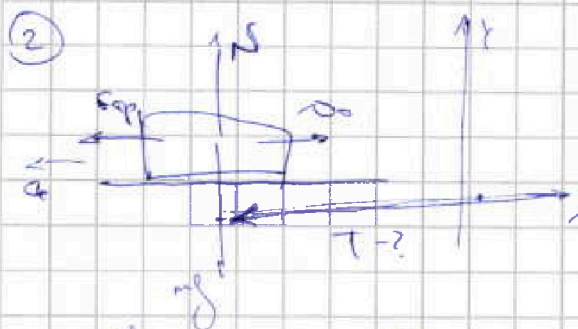
2) $\Sigma F_{y2}: -mg + N_2 = 0, \quad N_2 = mg.$

1) $\Sigma F_{x1}: F \sin \alpha - \mu N_1 = am$

2) $\Sigma F_{x2}: F = \mu N_2 = am.$

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

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



$\Sigma F_y: 0 = N - mg, \quad mg = N.$

$\Sigma F_x: \mu a = F_{тр} = \mu N = \mu mg, \quad a = \mu g.$

главное соотношение:

$\mu a = \mu g, \quad a = \mu g, \quad T = \frac{N_0}{\mu g} = \frac{N_0}{(1 - \sin \alpha) g}$



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)

$Q = A + \Delta U$ - первое начало термодинамики.

$\delta Q = c \Delta T$ (в каждом из процессов $c = const$) $\Rightarrow Q = c \Delta T$.

$\Delta U = \frac{3}{2} \nu R \Delta T$.

т.к. одинаковые, идеаль.

$\int c_{p1} \Delta T = A + \frac{3}{2} \nu R \Delta T$.

матрица
таблица
для процесса 12

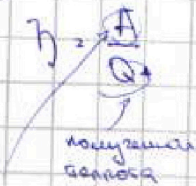
$c_{p12} = 2R$
 $\Delta T_{12} = 3T_1$

$A_{12} = \int c_{p12} \Delta T_{12} - \frac{3}{2} \nu R \Delta T_{12}$

$= 1 \cdot 2R \cdot 3 \cdot 400 - \frac{3}{2} \cdot 1 \cdot R \cdot 3 \cdot 400$

$= 2400 R - 1800 R = 600 R = 600 \cdot 8,31 = 4986$

2)



$Q_+ = Q_{12} = \int c_{p12} \Delta T_{12} = 1 \cdot 2R \cdot 3 \cdot 400 = 2400 R$

суммарно абсолютная работа $A = A_{12} + A_{23} + A_{31}$ с учетом знака.

1) $A_{12} = 600 R$

$c_{p23} = 0,5R$
 $\Delta T_{23} = T_1(4 - 1)$

$A_{23} = \int c_{p23} \Delta T_{23} - \frac{3}{2} \nu R \Delta T_{23}$

$A_{31} = \int c_{p31} \Delta T_{31} - \frac{3}{2} \nu R \Delta T_{31}$ $c_{p31} = 2,5R$
 $\Delta T_{31} = T_1(1 - 4)$

$A_{23} = (1 \cdot 0,5R - \frac{3}{2} \cdot 1 \cdot R) \cdot T_1(4 - 1)$
 $= -T_1 R(4 - 1)$

$A_{31} = (1 \cdot 2,5R - \frac{3}{2} \cdot 1 \cdot R) T_1(1 - 4)$
 $= -T_1 R(1 - 4)$

$A_{23} = (1 \cdot 0,5R - \frac{3}{2} \cdot 1 \cdot R) T_1(4 - 1) = -R T_1(4 - 1)$

$A_{31} = (1 \cdot 2,5R - \frac{3}{2} \cdot 1 \cdot R) T_1(1 - 4) = R T_1(4 - 1)$

$A = 600 R + 7 R \cdot 4 - 7 R \cdot 1 - 7 R \cdot 1 + 7 R$

$= 600 R + 2000 R - 800 R = 1800 R$



На одной странице можно оформлять только одну задачу.

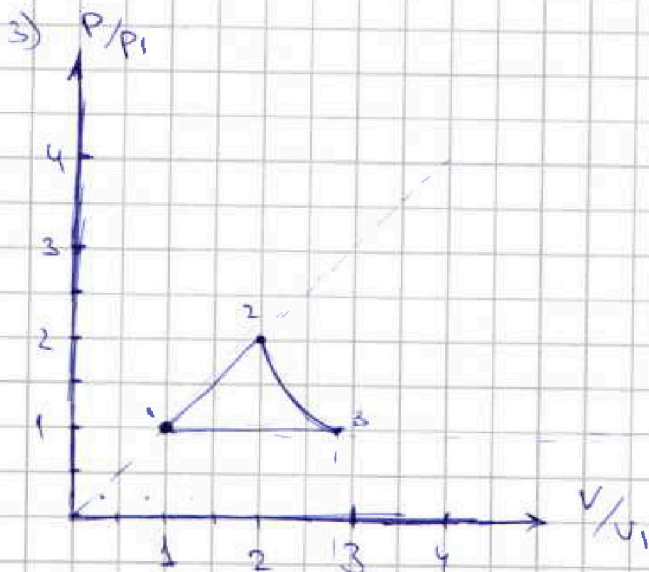
Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

- 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!

$$\eta = \frac{600R + 2000R - 4000R}{2400R} = \frac{26R - 4000R}{24R} = \frac{13R - 4000R}{12R} = \frac{13 - 4000}{12}$$



Известный график:
Процесс, в котором температура не изменяется: политропный

$$PV^n = \text{const. где}$$

n - показатель политропы.

$$n = \frac{C_p - C_m}{C_m - C_v}$$

$$C_{mv} = \frac{5}{2} R$$

$$C_{cp} = \frac{7}{2} R$$

Процесс 1-2: $n = \frac{2 - 2,5}{2 - 1,5} = \frac{-0,5}{0,5} = -1$

процесс: $\frac{P}{V} = \text{const.}$: процесс изотермический $P \propto V^{-1}$

Процесс 2-3: $n = \frac{0,5 - 2,5}{0,5 - 1,5} = \frac{-2}{-1} = 2$

процесс: $PV^2 = \text{const.}$ или $P \propto \frac{\text{const}}{V^2}$.
Квадратичная зависимость, характерна для адиабатического процесса.

Процесс 3-1: $n = 0$

процесс: $P = \text{const.}$ изобарный процесс.

Заметим, что температура в данной точке i зависит от PV пропорционально PV .
а в 3 и 1 $P_1 = 1$ и $V_1 = 1$ \Rightarrow $T_1 = 1$ \Rightarrow $P_1 V_1 = 1$ \Rightarrow $T_1 = 1$ \Rightarrow $P_1 V_1 = 1$ \Rightarrow $T_1 = 1$

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

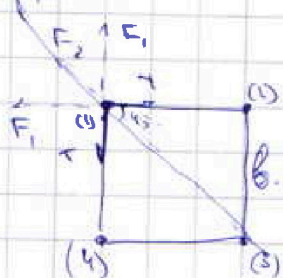
- 1 2 3 4 5 6 7

МФТИ

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

~~Задача 5~~

1)



т.к. система симметрична, все силы имеют одинаковое направление

по закону Кулона, (1) взаимодействует с (2), (4) как $F_1 = \frac{kq^2}{a^2}$

(3) как $F_2 = \frac{kq^2}{2a^2}$

2-й закон:

$$\text{ор: } F_2 + 2F_1 \cos 45^\circ - 2T \cos 45^\circ = 0$$

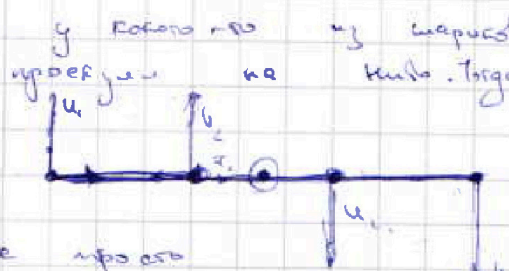
$$\frac{kq^2}{2a^2} + \sqrt{2} \frac{kq^2}{a^2} - 2T \frac{1}{\sqrt{2}} = 0$$

$$\frac{kq^2}{a^2} \left(\frac{1}{2} + \sqrt{2} \right) = T \sqrt{2}$$

$$T = \frac{kq^2}{a^2} \left(\frac{1}{\sqrt{2}} + 1 \right)$$

3) по т. о. движения центра масс, т.к. вся система симметрична, т.к. вся система (цилиндр + центр квадрата) находится в центре.

Пуск



у которого на поверхности все составляющие скорости направлены на центр. Тогда, т.к. все движение кубика, вращение "горизонтальной" составляющей скорости и у.т. будет горизонтальным.

У такого процесса в любой симметричной точке на поверхности будет у.т.

Следовательно такое не является устойчивым (такое уже было, это в.т. тогда тоже будет горизонтальным).



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!

Из этих соотношений:

$$U_1 = 8U_2$$

По закону сохранения энергии:

Потенциальная энергия заряда в электрическом поле

$$W_1 = kq^2 \left(\frac{1}{2b} + \frac{1}{2b} + \frac{1}{2\sqrt{2}b} \right)$$

$$W_2 = \frac{2kq^2}{b} + \frac{kq^2}{\sqrt{2}b}$$

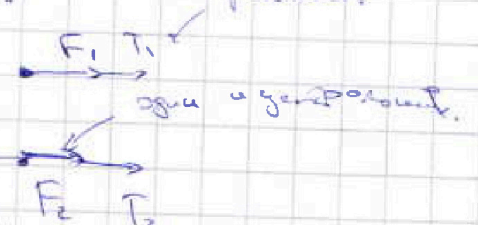
$$W_1 = 2 \left(\frac{kq^2}{2b} + \frac{kq^2}{4b} \right) + \frac{kq^2}{\sqrt{2}b} = \frac{8kq^2}{6} + \frac{kq^2}{6} + \frac{kq^2}{\sqrt{2}b}$$

Найдем силу в крайних точках:

Сила

$$F_1 = \frac{kq^2}{b^2} + \frac{kq^2}{4b^2} + \frac{kq^2}{9b^2} = \left(\frac{10}{9} + \frac{1}{9} \right) \frac{kq^2}{b^2}$$

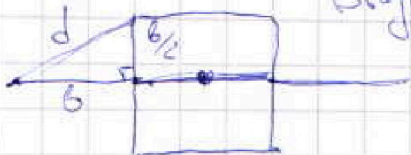
$$F_2 = \frac{kq^2}{4b^2}$$



$$\frac{mq^2}{1,5b} = \left(\frac{10}{9} + \frac{1}{9} \right) \frac{kq^2}{b^2} + T_1 = 8 \frac{mq^2}{b}$$

$$\frac{mq^2}{0,5b} = \frac{1}{4} \frac{kq^2}{b^2} + T_2 - T_1 = 2 \frac{mq^2}{b}$$

Влагя неизвестных г.м.:



$$d = \sqrt{b^2 + \frac{b^2}{4}} = \frac{\sqrt{5}}{2} b$$



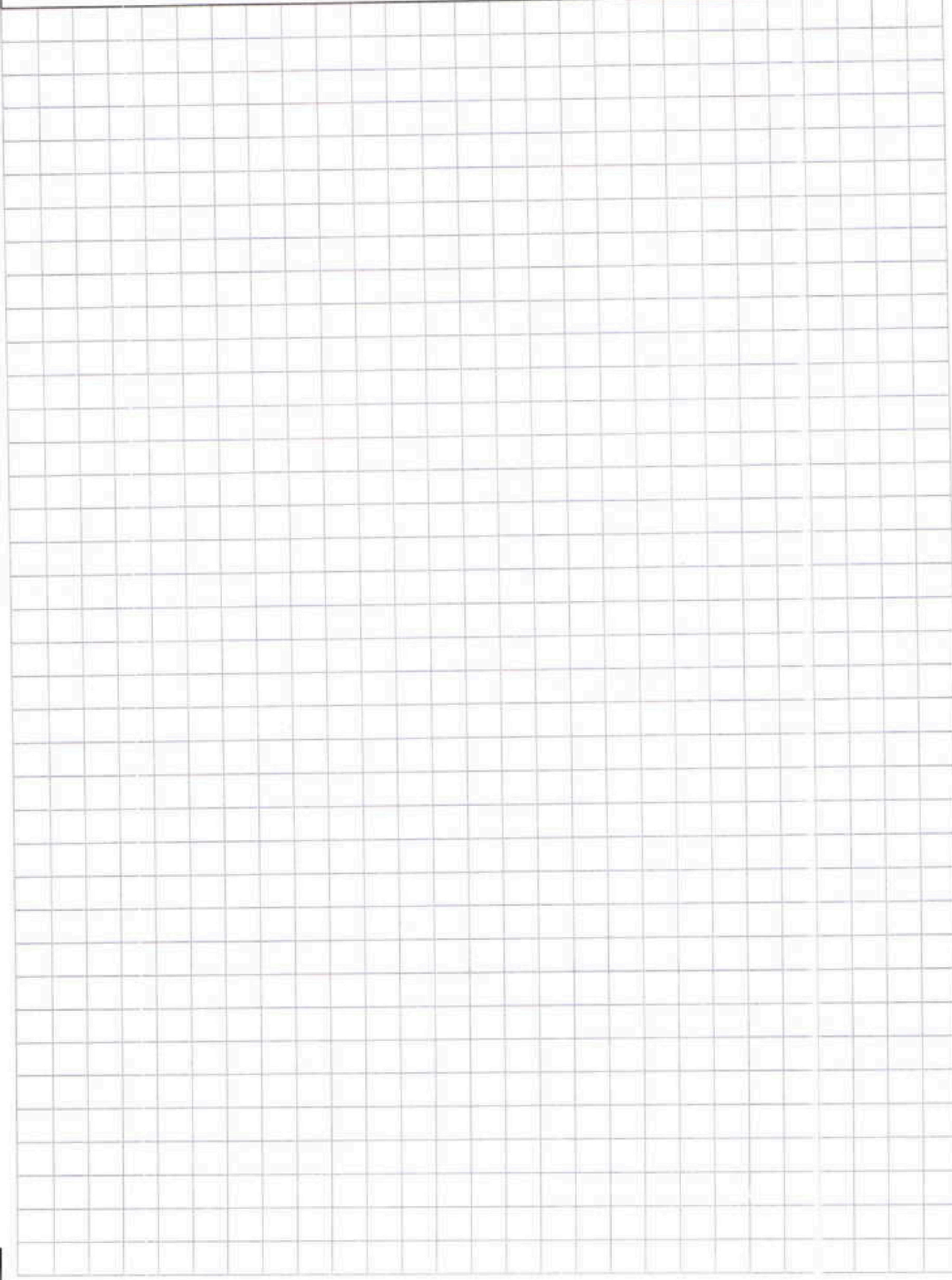
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

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"/>

 МФТИ

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





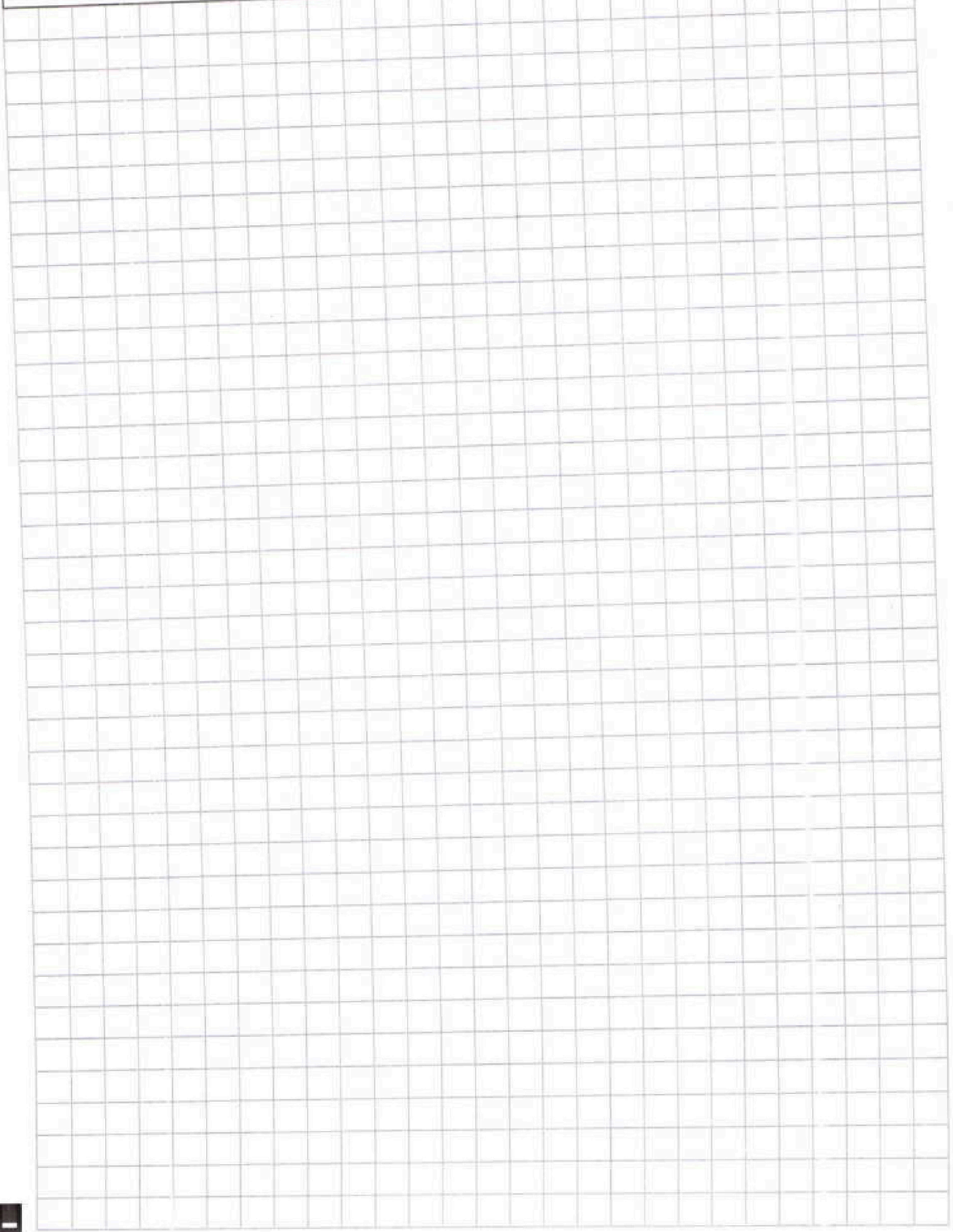
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

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.

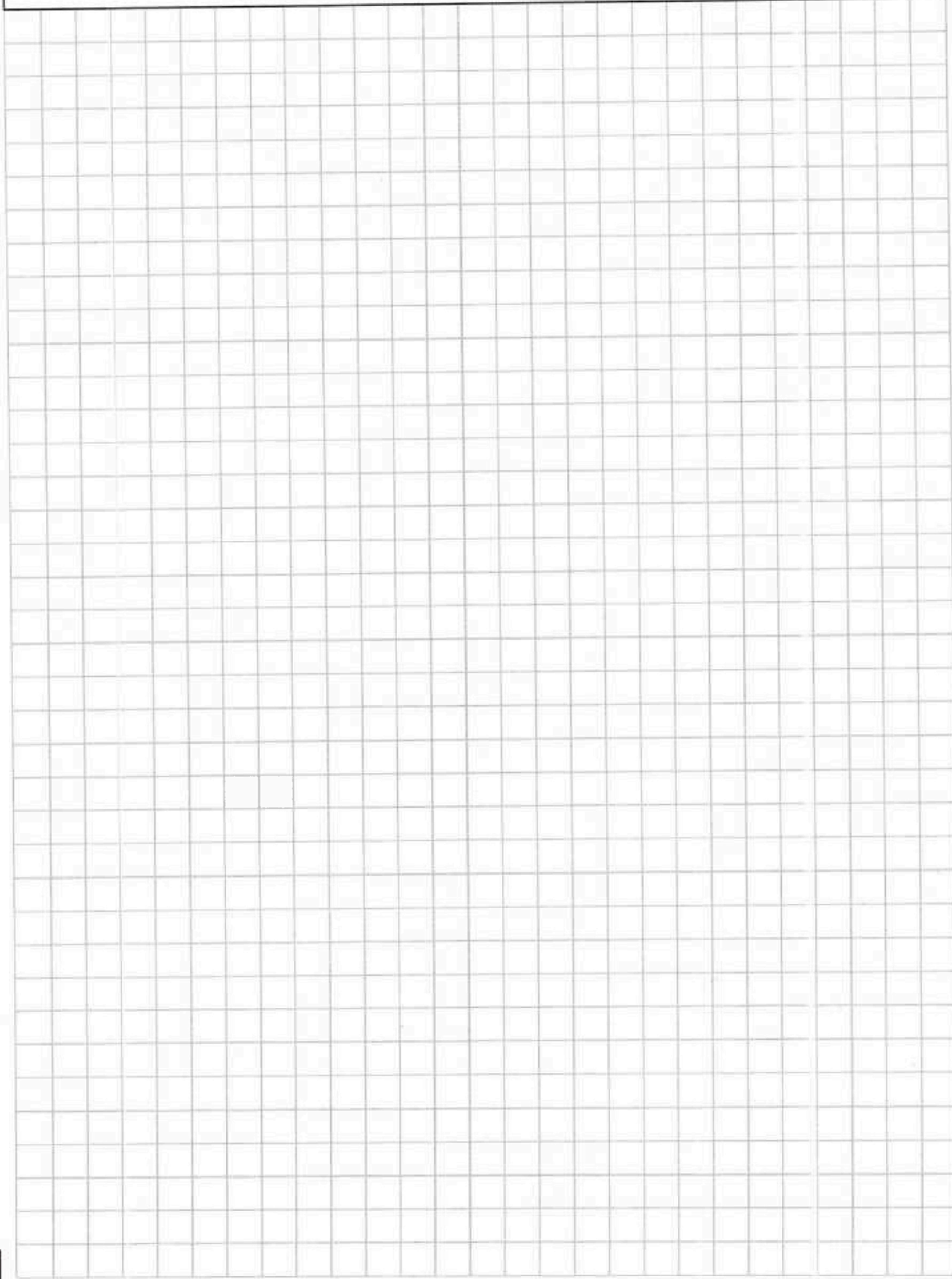
Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:



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"/>

 МФТИ

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



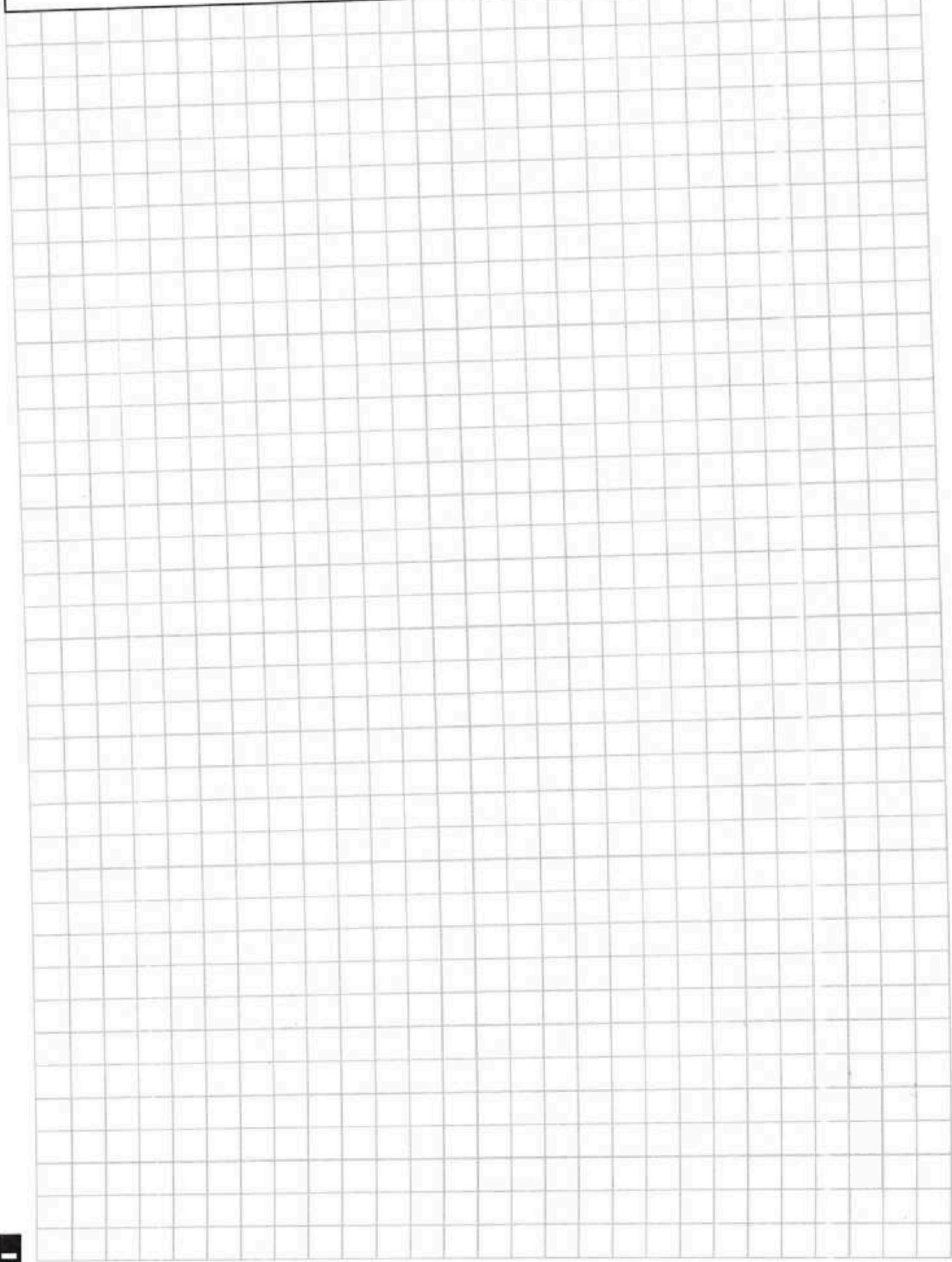
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

 МФТИ

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!



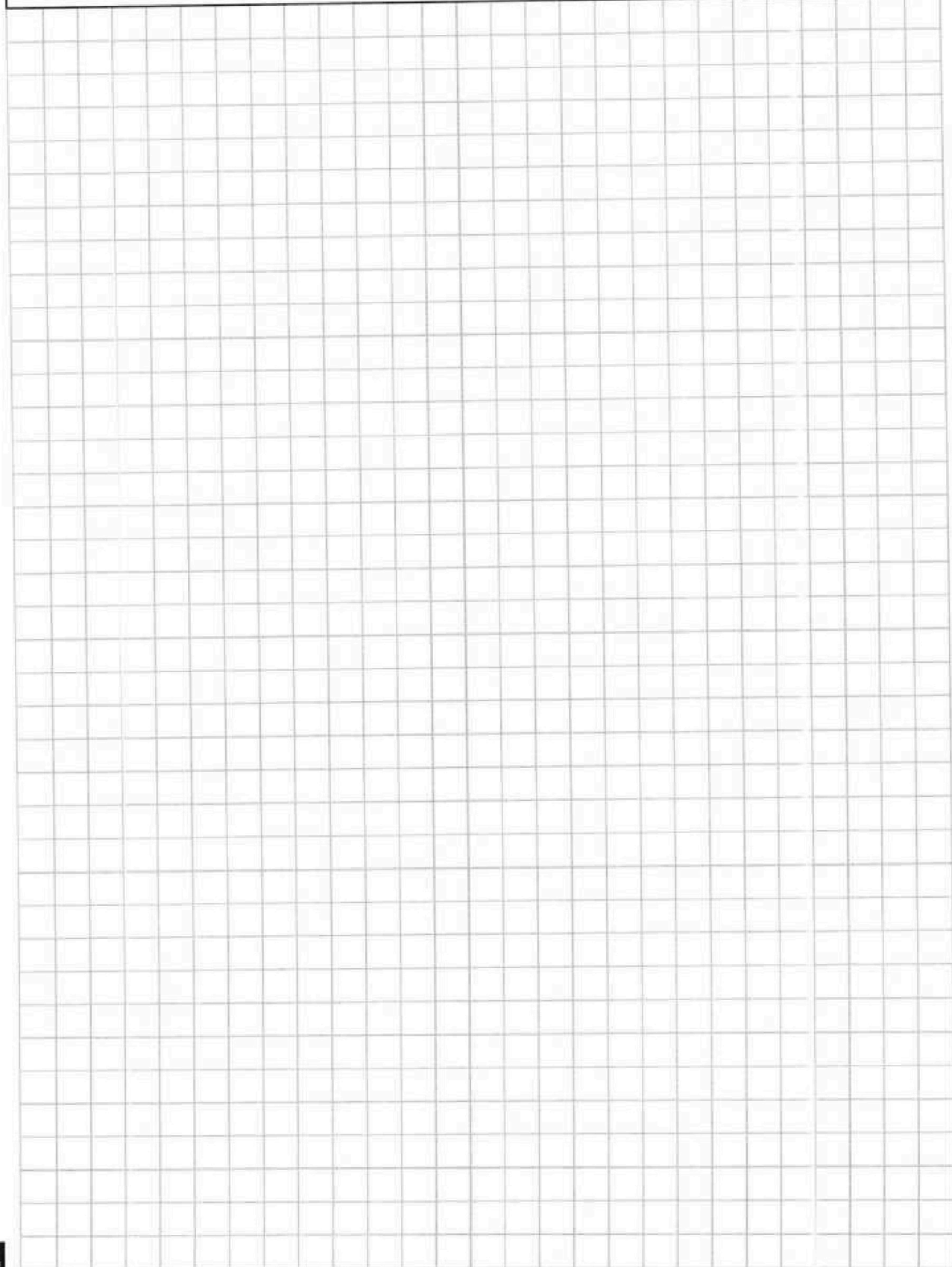
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

 МФТИ

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!



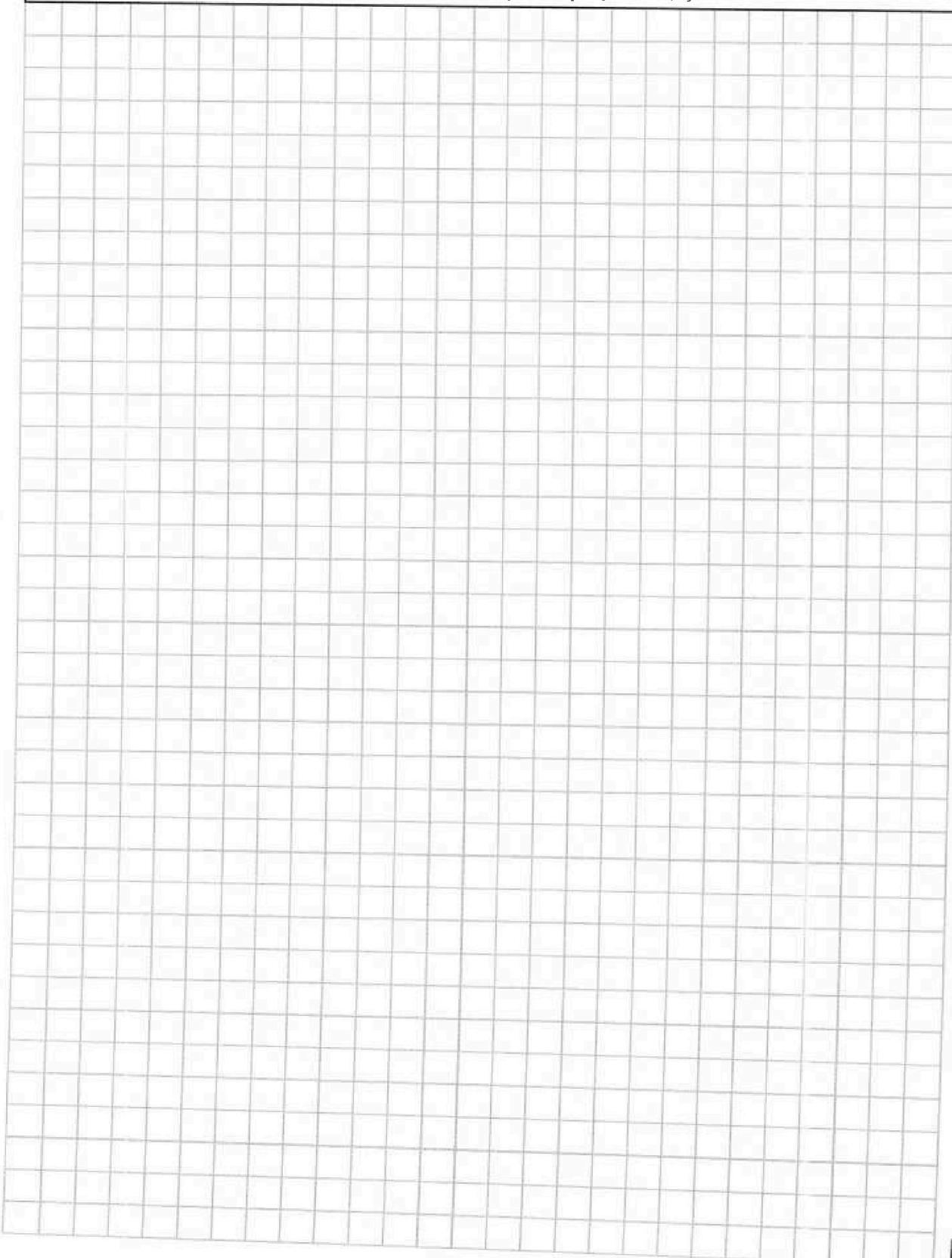


На одной странице можно оформлять только одну задачу.
Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

 МФТИ

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.

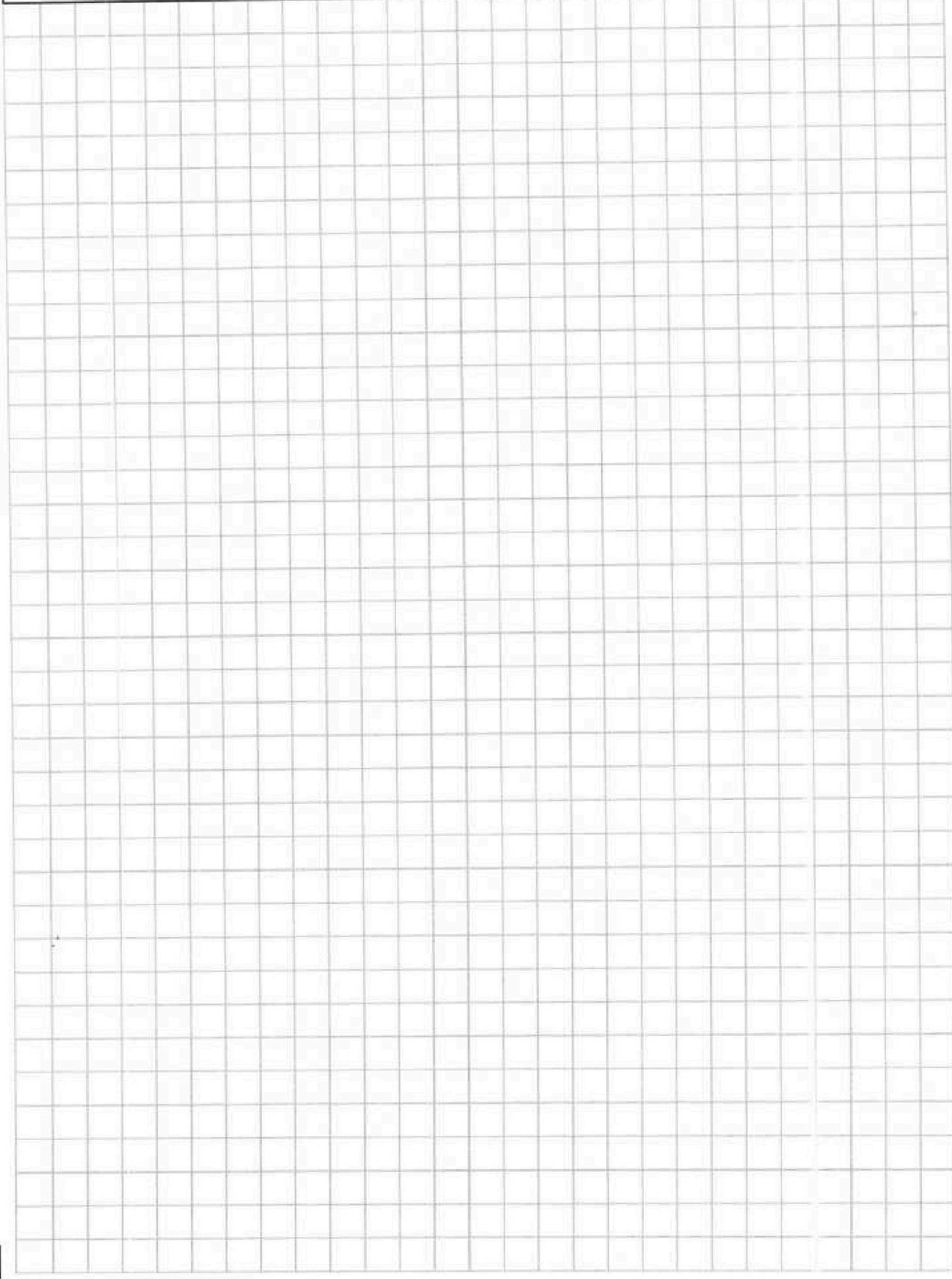
Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:



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"/>

 МФТИ

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!

