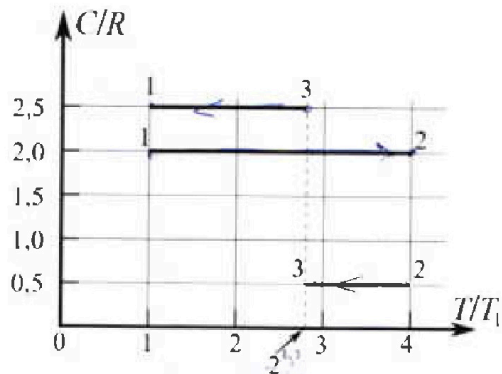


# Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

## Вариант 10-01

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

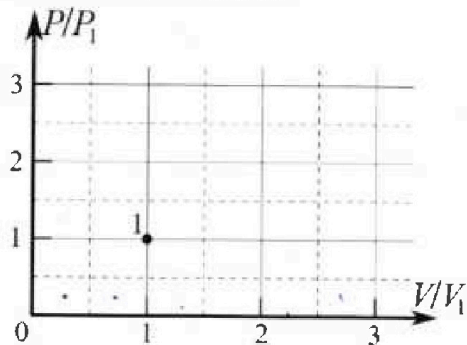
4. Тепловой двигатель работает по циклу 1-2-3-1. Рабочее вещество – один моль одноатомного идеального газа. Для вычисления КПД цикла ученик десятого класса построил график зависимости молярной теплоемкости  $C$  газа (в единицах универсальной газовой постоянной  $R$ ) от температуры в процессах: 1-2, 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  $A_{12}$  газа в процессе 1-2.

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 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.



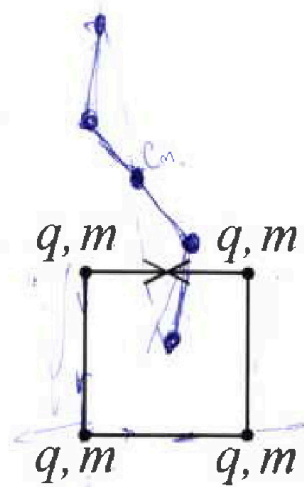
5. Четыре заряженных шарика связаны легкими нерастяжимыми нитями так, что шарики находятся в вершинах квадрата со стороной  $b$  (см. рис.). Масса каждого шарика  $m$ , заряд  $q$ .

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.

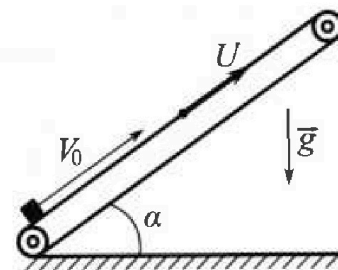
1) Найдите начальную скорость  $V_0$  мяча.

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/с<sup>2</sup>. 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  $\alpha$  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/с<sup>2</sup>. 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.

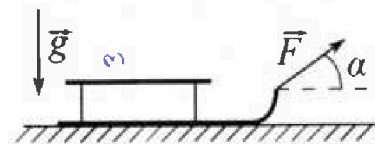
В первом случае санки тянут, действуя постоянной по модулю силой, направленной под углом  $\alpha$  к горизонту (см. рис.).

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  $\mu$  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!



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

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

направление ветра:  $\vec{g}$

2)

где  $g$  — гравитация по оси  $ox$ :

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

где  $g$  — гравитация 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  $T$  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.о.

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

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

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

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

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

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

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

подставим в уравнение траектории

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

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

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

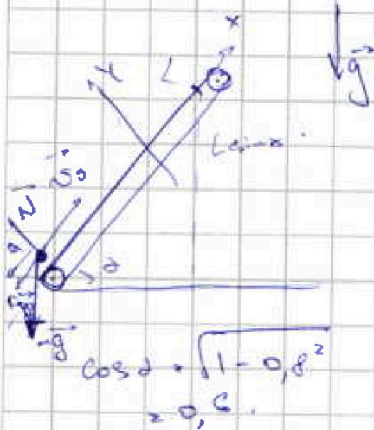
1  2  3  4  5  6  7

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:  
 $\vec{N}$ ,  $\vec{mg}$ ,  $F_{тр}$ .

Коэффициент трения  $\mu = 0.2$ .  
Криволинейное движение:  $F_{тр} = \mu N$   
Скорость движения равноускоренно

2)  $\Sigma$  и Н.:

$$\Sigma x: -ma = mgsin\alpha - \mu N$$

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

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

$$\Rightarrow ma = mgsin\alpha + \mu mg\cos\alpha$$

$$a = gsin\alpha + \mu g\cos\alpha$$

равномер. гл. уе.

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

$$-(gsin\alpha + \mu gcos\alpha) \frac{T^2}{2} + v_0 T - S = 0$$

решаем 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, за которое коробка пройдет путь  $S = 1$  м.  $v_0 = 4$  м/с.  $a = gsin\alpha + \mu gcos\alpha = 10(0.2 + 0.2) = 4$  м/с<sup>2</sup>.  $S = v_0 T - a \frac{T^2}{2} = 4T - 5T^2 = 1$  м. Решаем квадратное уравнение  $-5T^2 + 4T - 1 = 0$ .  $D = 16 - 20 < 0$ . Нет решения. Значит, коробка не успеет пройти путь  $S = 1$  м.)

$$L = \frac{v_0^2}{2(\mu g\cos\alpha + gsin\alpha)} = \frac{16}{2(0.2 + 0.2) \cdot 10} = \frac{16}{8} = 2 \text{ м} < 1 \text{ м.}$$

2) Если действовать на коробку сила не превышает  $\mu mg$ , то без скольжения не будет. Перепад в  $100$  м.



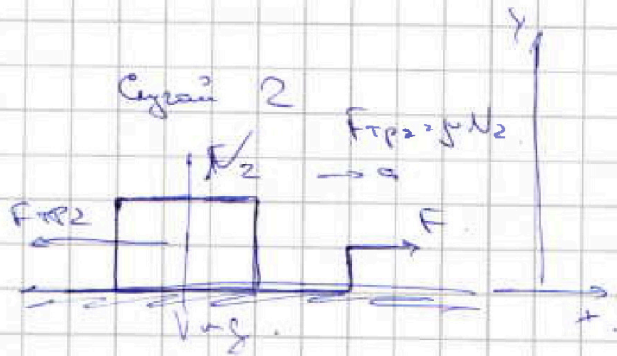
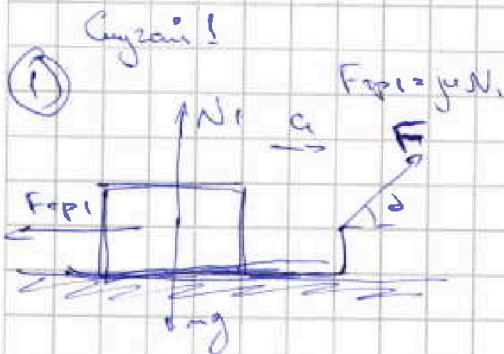
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

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!



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

2-3-й к.

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

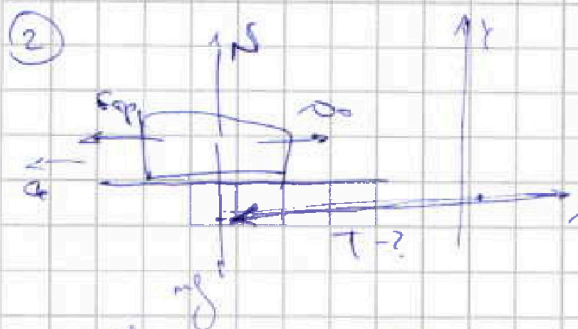
2)  $\sum F_{y2}: -mg + N_2 = 0, \quad N_2 = mg.$

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

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

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

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



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

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

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.

$\int c_{p12} \Delta T = A + \frac{3}{2} \nu R \Delta T$ .

матрица  
таблица  
процесса 12

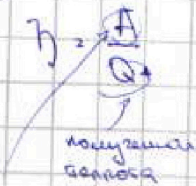
$c_{p12} = 2R$   
 $\Delta T_{12} = 3T_1$

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

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

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

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)  $A_{12} = 600 R$   $c_{p23} = 0,5R$   
 $\Delta T_{23} = T_1(4 - 1)$

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

$A_{31} = \int c_{v31} \Delta T_{31} = \frac{3}{2} \nu R \Delta T_{31}$   $c_{v31} = 2,5R$   
 $\Delta T_{31} = T_1(1 - 4)$

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

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

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

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

$A = 600 R + T_1 R \cdot 4 - T_1 R \cdot 1 - T_1 R \cdot 1 + T_1 R$   
 $= 600 R + 2000 R - 800 R = R$



На одной странице можно оформлять только одну задачу.

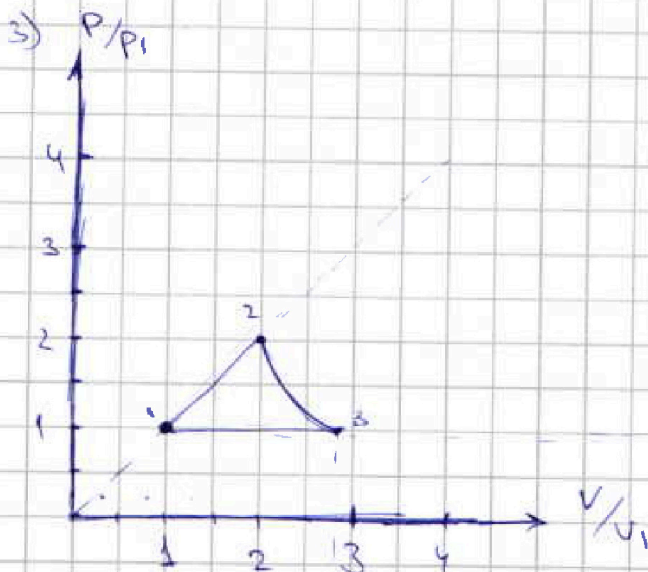
Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

- 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.

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

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

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

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

Процесс 3-1:  $n = 0$

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

Заметим, что температура в данной точке  $i$  не зависит от  $P$  и  $V$ , а зависит от  $PV$  (поэтому  $PV = \text{const.}$  для изотермы).



На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

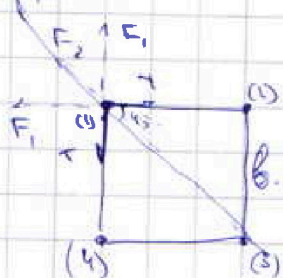
- 1  2  3  4  5  6  7

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  $F_1 = \frac{kq^2}{b^2}$

(3) как  $F_2 = \frac{kq^2}{2b^2}$

2-й закон:

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

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

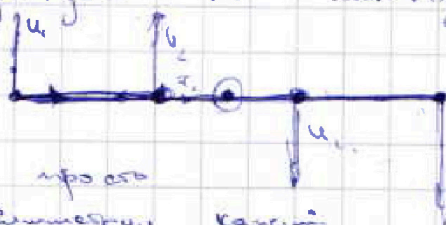
$$\frac{kq^2}{b^2} \left( \frac{1}{2} + \sqrt{2} \right) = T \sqrt{2}$$

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

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

Плюс

у центра масс нуль, т.к. все силы направлены к центру масс, т.е. все силы направлены к центру масс, т.е. все силы направлены к центру масс.



У также равно в виде симметричных качелей нуль, т.к. все силы направлены к центру масс.

будет равен нулю. Система также не будет двигаться (т.к. все силы направлены к центру масс).



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

$$W_1 = k \frac{q^2}{b^2} + k \frac{q^2}{4b^2} + k \left( \frac{kq^2}{2b} + \frac{kq^2}{2b} + \frac{kq^2}{2\sqrt{2}b} \right) \cdot 2$$

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

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

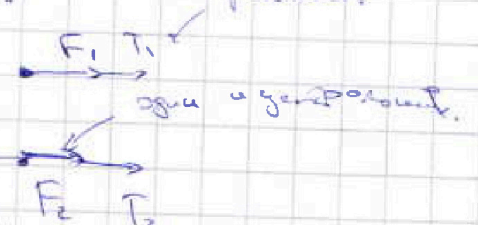
$$= \frac{8kq^2}{b} + \frac{kq^2}{b} + \frac{kq^2}{b} + \frac{kq^2}{2b} + \frac{kq^2}{2b}$$

Найдем силу в крайних шариках:

Сила

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

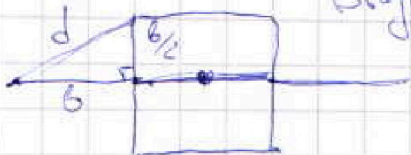
$$F_2 = \frac{kq^2}{4b^2}$$



$$\frac{mg^2}{1,5b} = \left( \frac{10}{9} + \frac{1}{4} \right) \frac{kq^2}{b^2} + T_1 = \frac{8mg^2}{b}$$

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

5)



Влагя неизвестной г.м.:

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



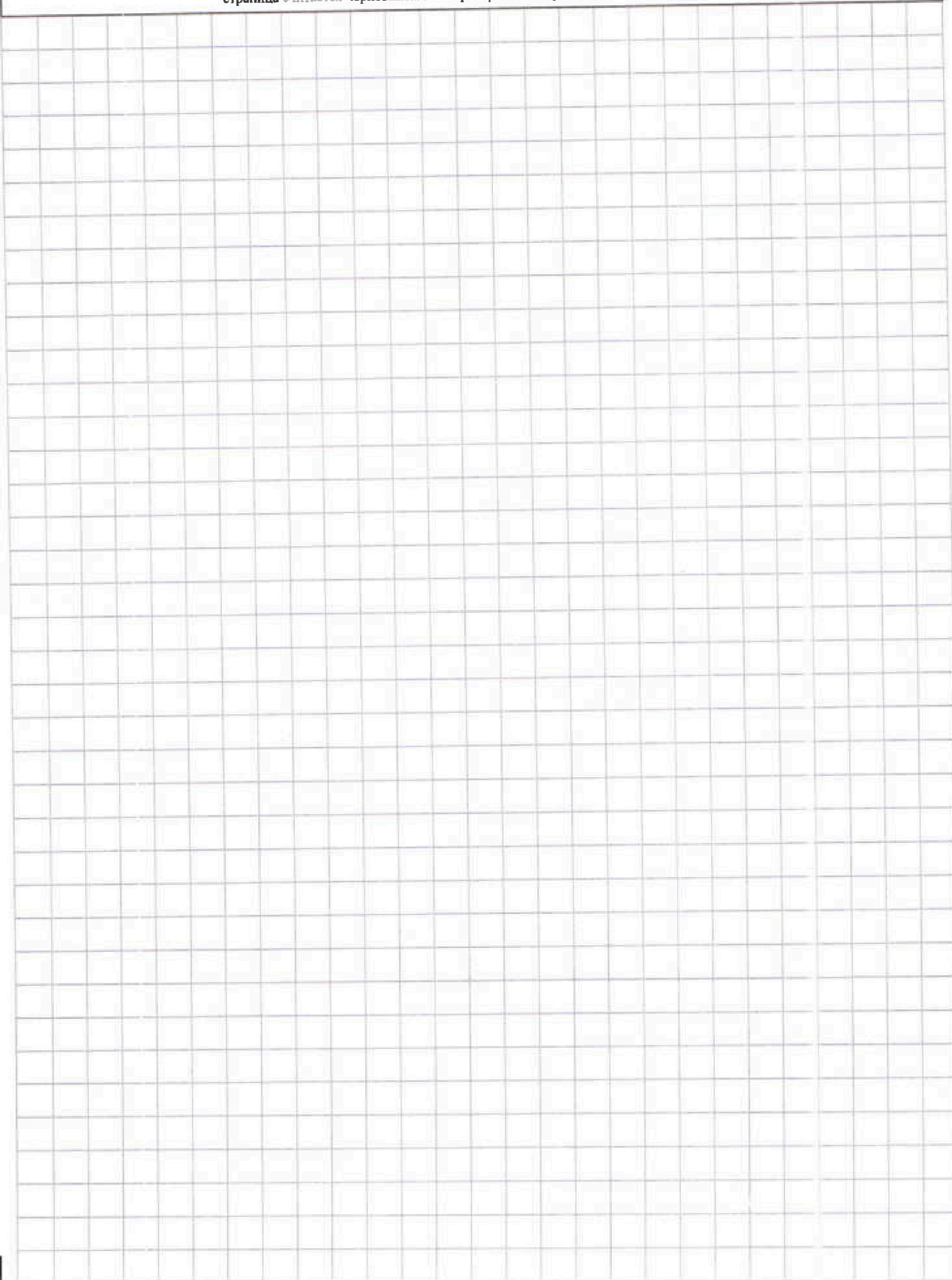
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

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!



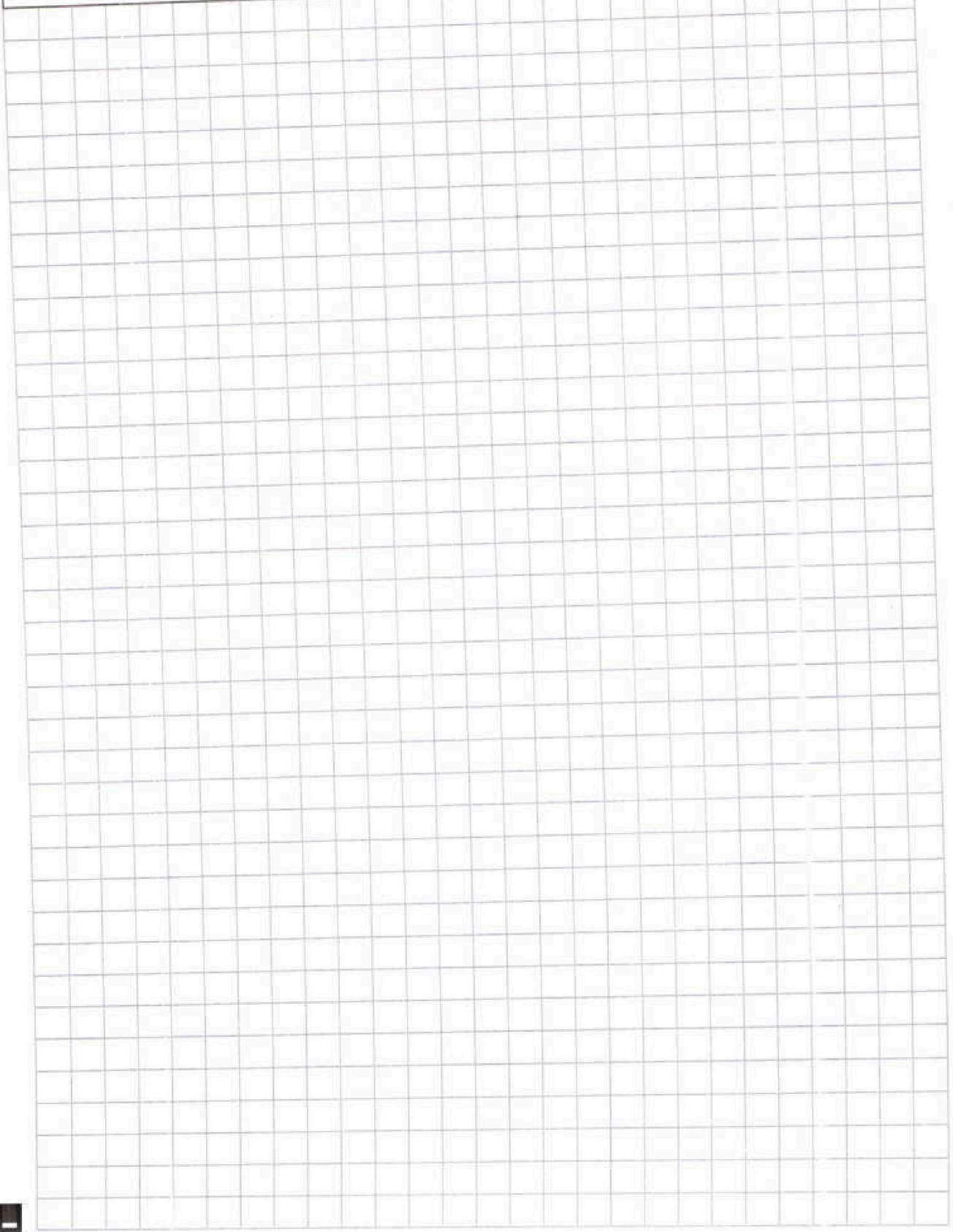


На одной странице можно оформлять только одну задачу.  
Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

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.

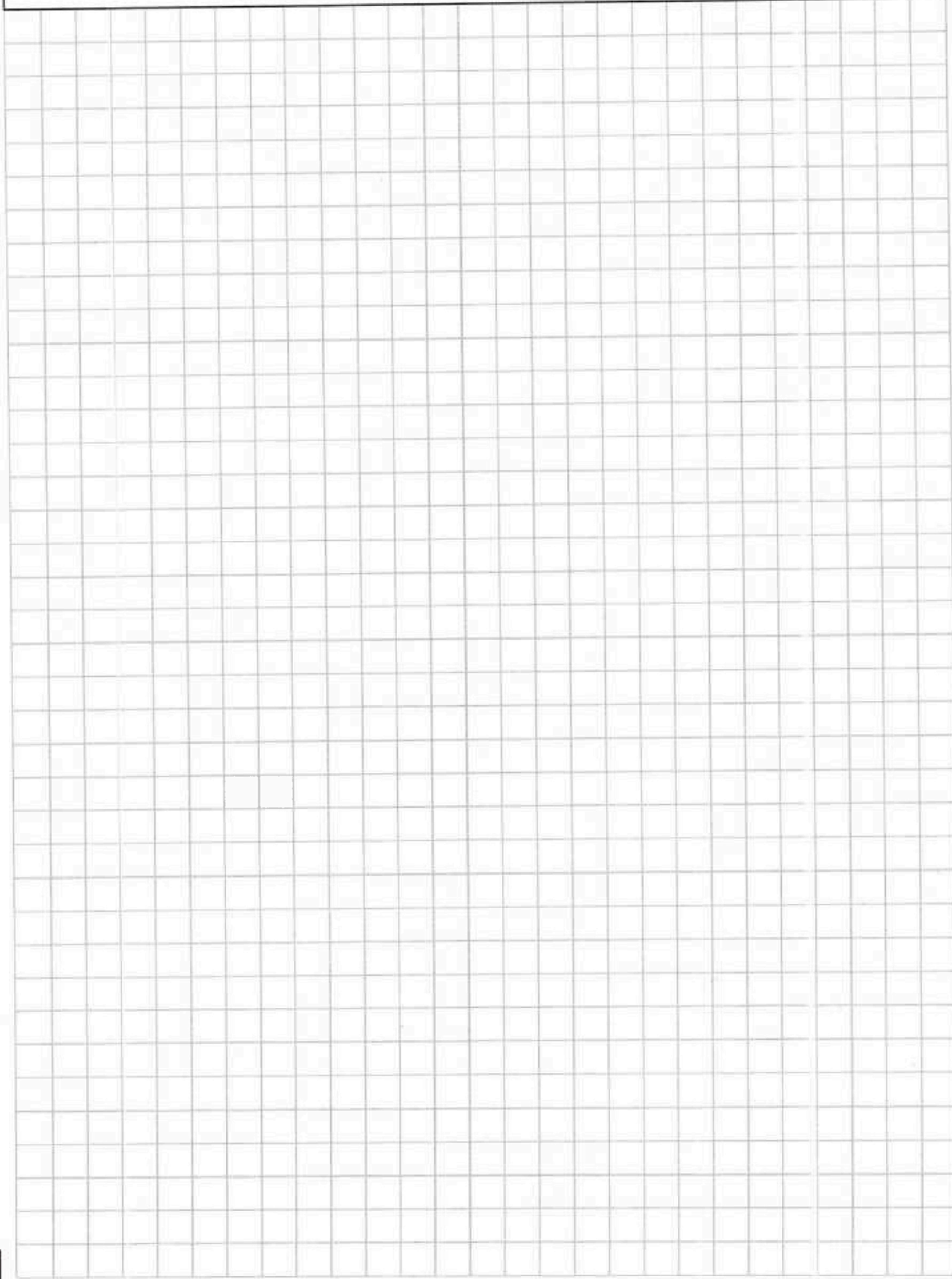
Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:



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!



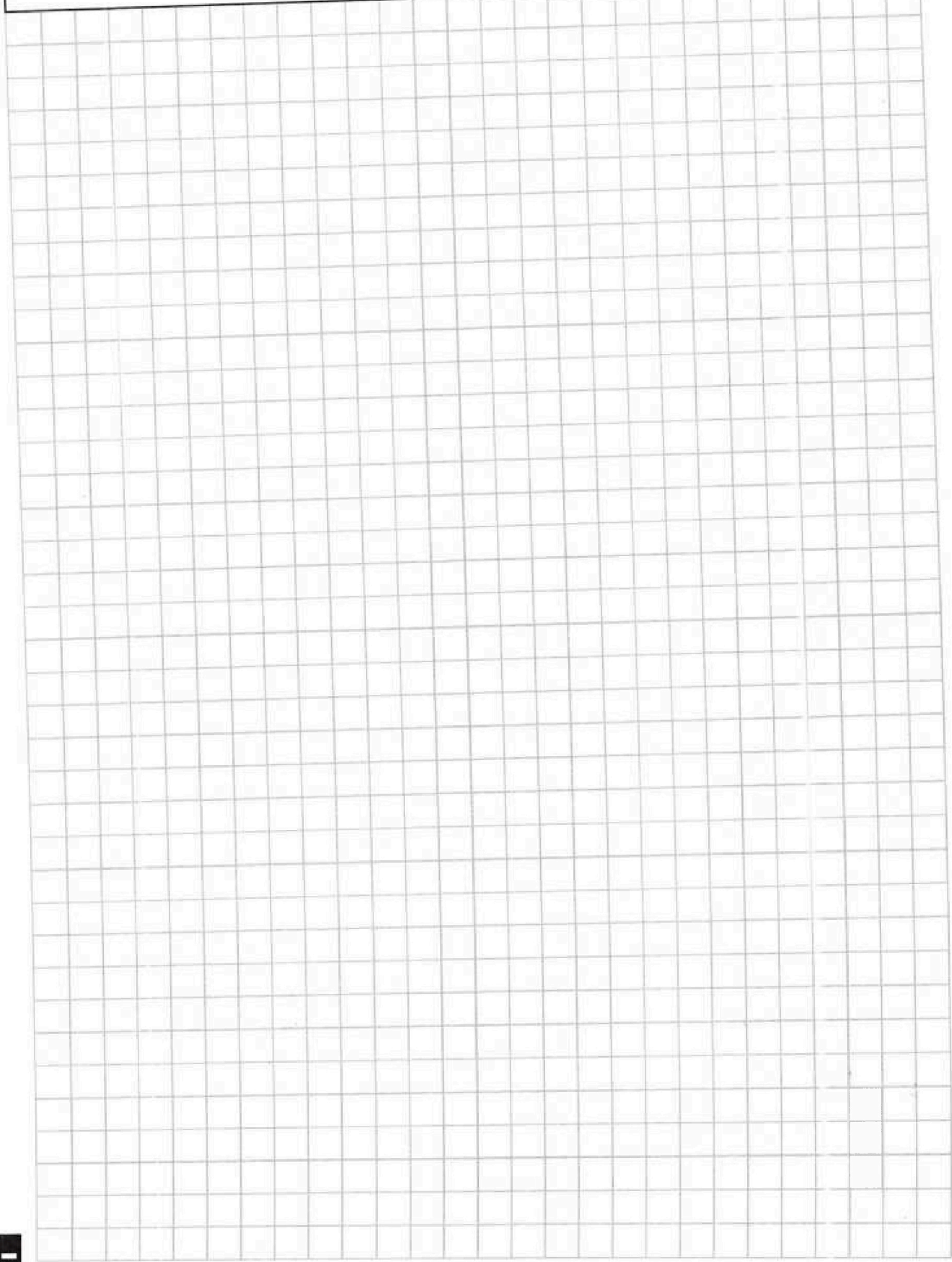
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

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!



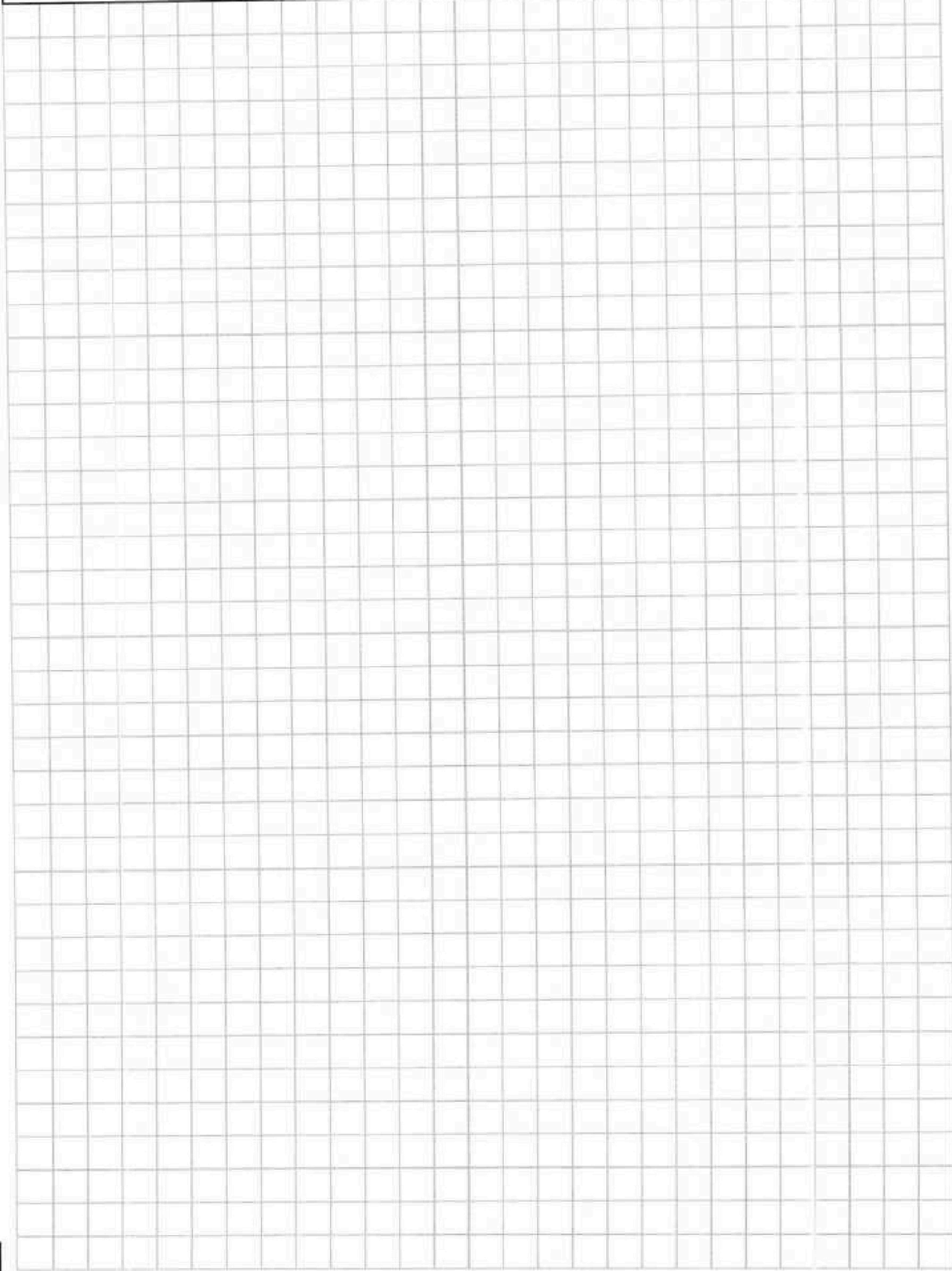
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

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!



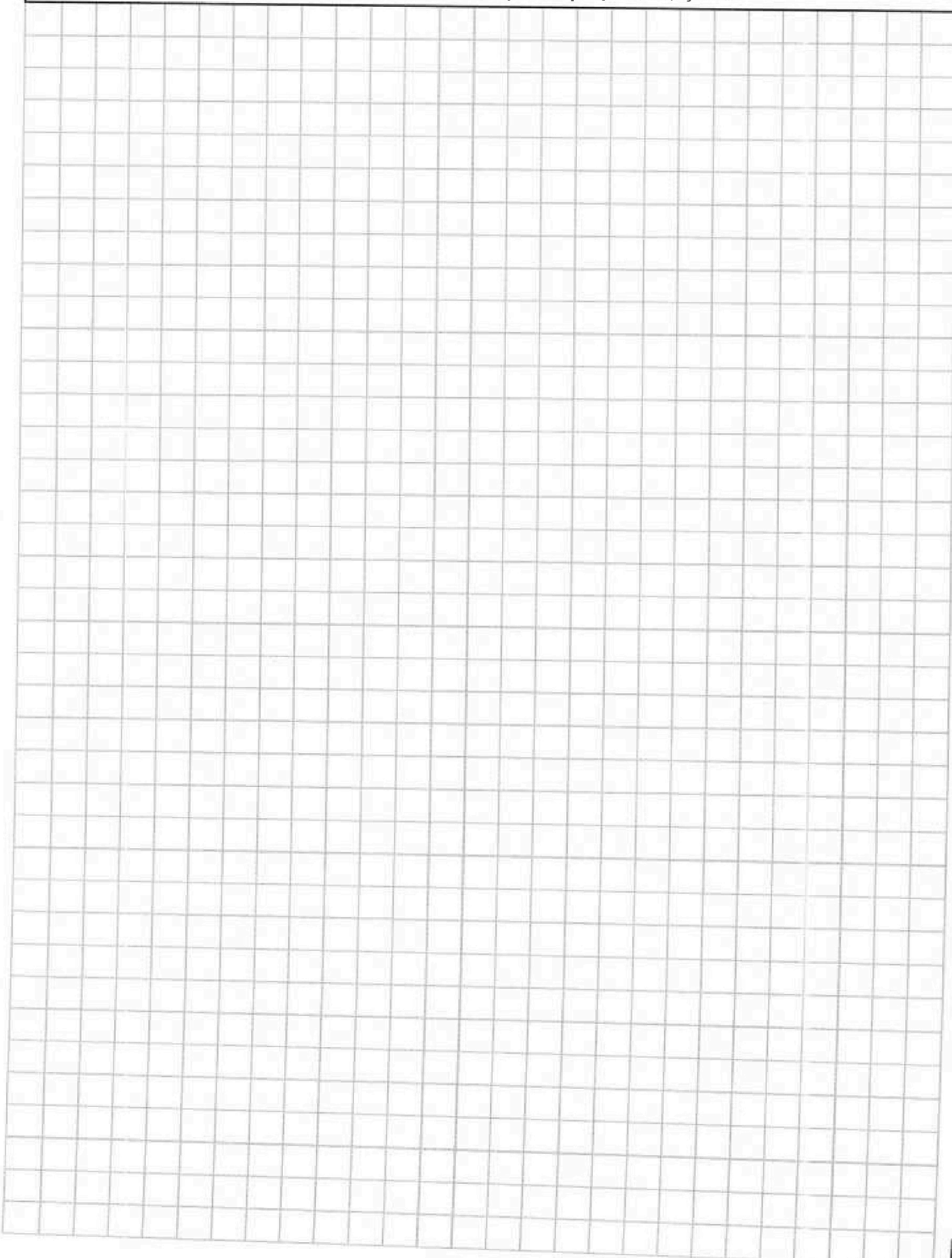


На одной странице можно оформлять только одну задачу.  
Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

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!





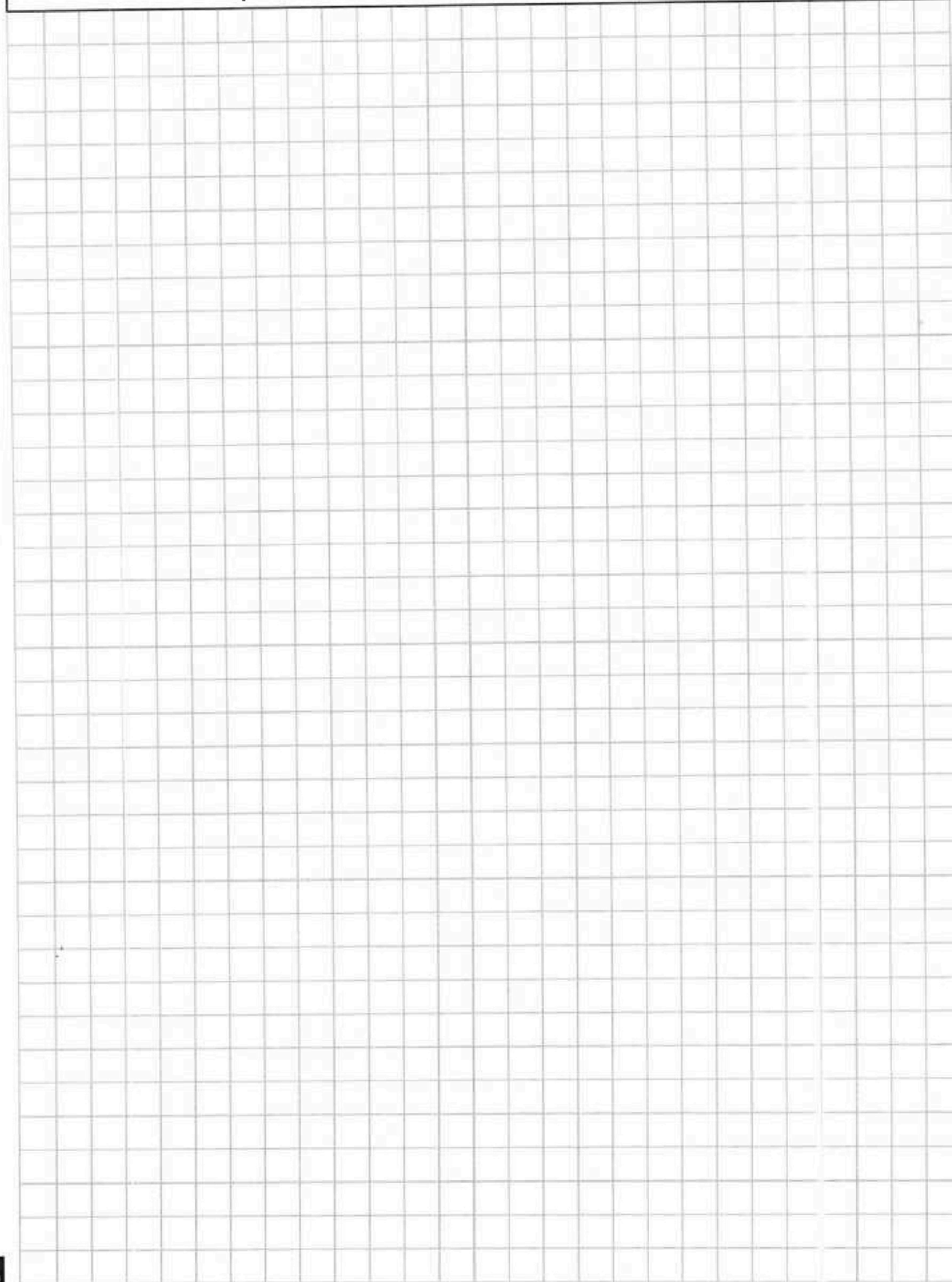
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

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"/>



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

