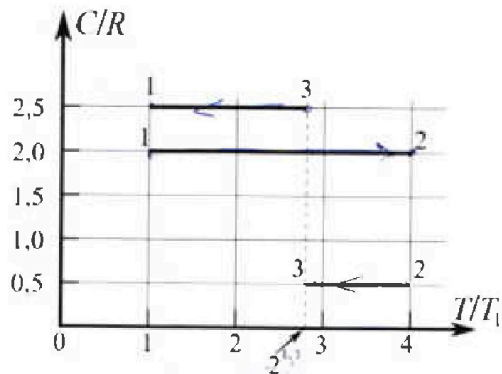


Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

Вариант 10-01

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

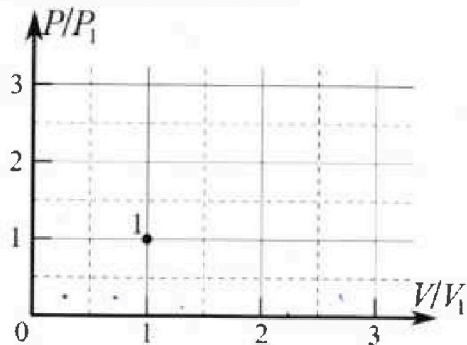
4. Тепловой двигатель работает по циклу 1-2-3-1. Рабочее вещество – один моль одноатомного идеального газа. Для вычисления КПД цикла ученик десятого класса построил график зависимости молярной теплоемкости C газа (в единицах универсальной газовой постоянной R) от температуры в процессах: 1-2, 2-3, 3-1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



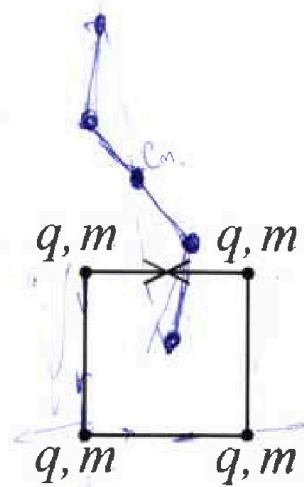
5. Четыре заряженных шарика связаны легкими нерастяжимыми нитями так, что шарики находятся в вершинах квадрата со стороной b (см. рис.). Масса каждого шарика m , заряд q .

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.

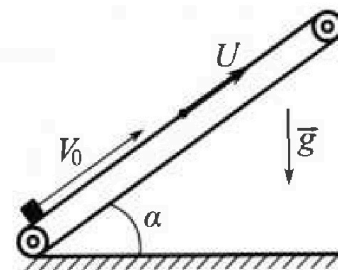
1) Найдите начальную скорость V_0 мяча.

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. Сопротивление 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.

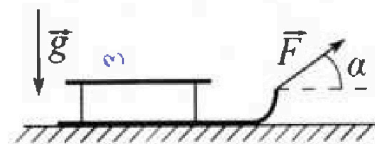
В первом случае санки тянут, действуя постоянной по модулю силой, направленной под углом α к горизонту (см. рис.).

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.





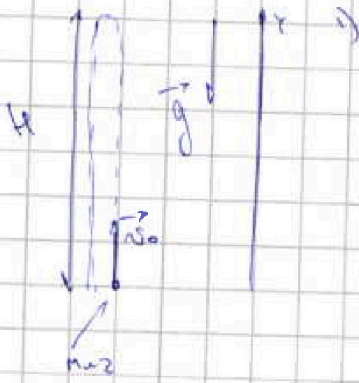
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

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!



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

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

направление ветра: \vec{g}

2)

где движение по оси ox:

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

где движение 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:

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

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

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

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

Производную 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

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

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

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

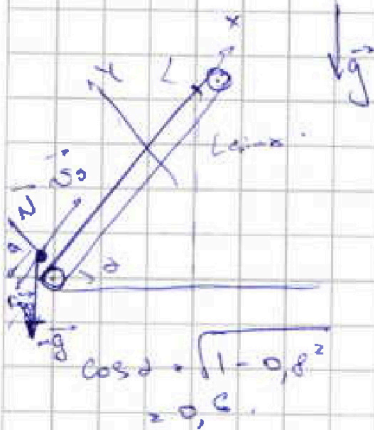
1 2 3 4 5 6 7

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} , $F_{тр}$.

Коэффициент трения $\mu = 0.2$.
 Коэффициент трения $F_{тр} = \mu N$
 Коэффициент трения $\mu = 0.2$
~~Коэффициент трения $\mu = 0.2$~~

2) $\Sigma F_x = ma$:

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

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

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

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

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

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/с². $S = v_0 T - a \frac{T^2}{2} = 4T - 5 \frac{T^2}{2} = 1$ м.)

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

2) Если действовать на коробку сила не постоянна, то без счисления не получится в CEO момент.

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

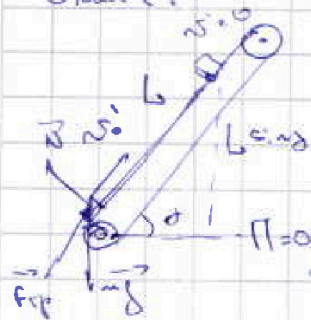
Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

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!

Омме 2.



$$v_0 = 2 \text{ м/с. } \approx v_0 - 6$$

Скорость v ω земли будет равна v , корабля оседелушен ω . v ω v ω

$\Sigma \vec{M}_O$: сила \vec{N} не совершает работы: $\perp \vec{v}$

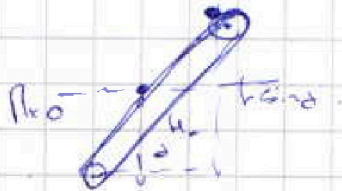
$$(0 + mgL \sin \alpha)_k - \left(\frac{m v_0^2}{2} \right)_k = - \mu mg \cos \alpha L$$

$$Lg(\sin \alpha + \mu \cos \alpha) = \frac{m v_0^2}{2}$$

$$L \cdot \frac{v_0^2}{2g(\sin \alpha + \mu \cos \alpha)} = \frac{v^2}{2 \cdot 10 \cdot 1} = 0,2 \text{ (м)}$$

3) Поле доски земли макс. вылет корабля

используя условие равновесия, удерживая доску
ее скорость будет равна $v' = 4$ м/с ω v ω
" выбранной v ω v ω v ω v ω
доска v ω v ω v ω v ω v ω
 $\vec{N} \perp \vec{v} \rightarrow A \vec{N} = 0$



$$\Sigma \vec{M}_O: \left(\frac{m v^2}{2} \right)_k - (0 + mg(L \sin \alpha - h))_k = - \mu mg \cos \alpha (L - h)$$

$$\frac{v^2}{2} - g(L \sin \alpha - h) + \mu g(L - h) \cos \alpha = 0$$

$$\frac{v^2}{2} - gL \sin \alpha - gh + \mu gL \cos \alpha - \mu gh \frac{\cos \alpha}{\sin \alpha} = 0$$

$$\frac{v^2}{2} - gL \sin \alpha + \mu gL \cos \alpha = gh \left(1 + \mu \frac{\cos \alpha}{\sin \alpha} \right)$$

$$\frac{v^2}{2} - 10 \cdot 0,2 - 0,8 + \frac{1}{3} \cdot 10 \cdot 0,2 \cdot 0,6 = 10 \cdot h \left(1 + \frac{0,1}{0,4} \right)$$

$$v^2 - 1,6 + 0,6 = 10 \cdot 1,25 \cdot h$$

$$1 = 12,5 \cdot h$$

$$\frac{2}{25} = h = 0,08 \text{ (м)}$$

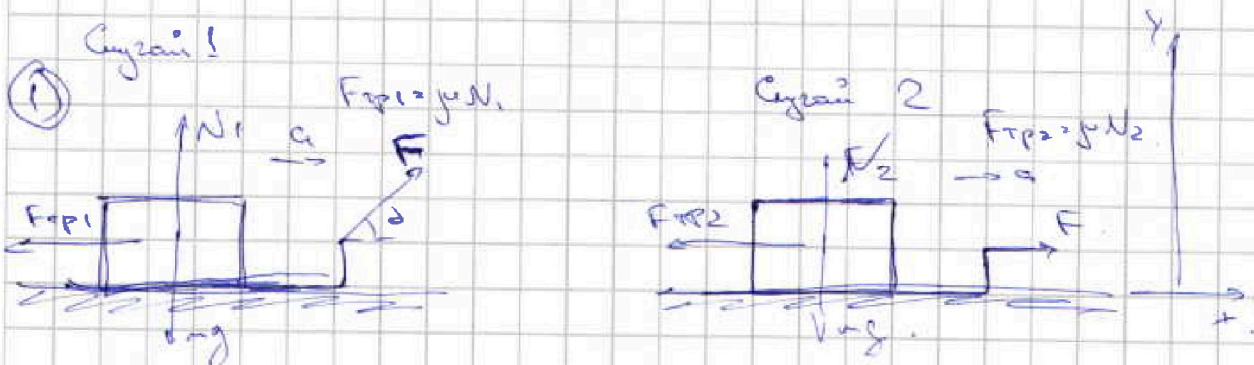
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

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!



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

2-3-й к.

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

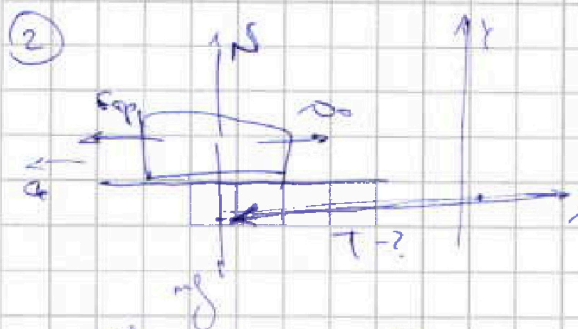
2) $\Sigma F_{y2}: -mg + N_2 = 0, \quad N_2 = mg.$

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 уравнение:

$\mu_0 = \mu g T, \quad T = \frac{\mu_0}{\mu g} = \frac{N_0}{(1 - \sin \alpha) g}$



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
процесса 12

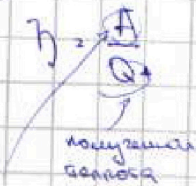
$c_{p12} = 2R$
 $\Delta T_{12} = 3T_1$

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

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

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

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

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

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

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

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

$A_{12} = (1 \cdot 2R - \frac{3}{2} \cdot 1 \cdot R) T_1(4 - 1) = 600 R$

$A_{31} = (1 \cdot 2,5R - \frac{3}{2} \cdot 1 \cdot R) T_1(1 - 4) = 800 R$

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

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



На одной странице можно оформлять только одну задачу.

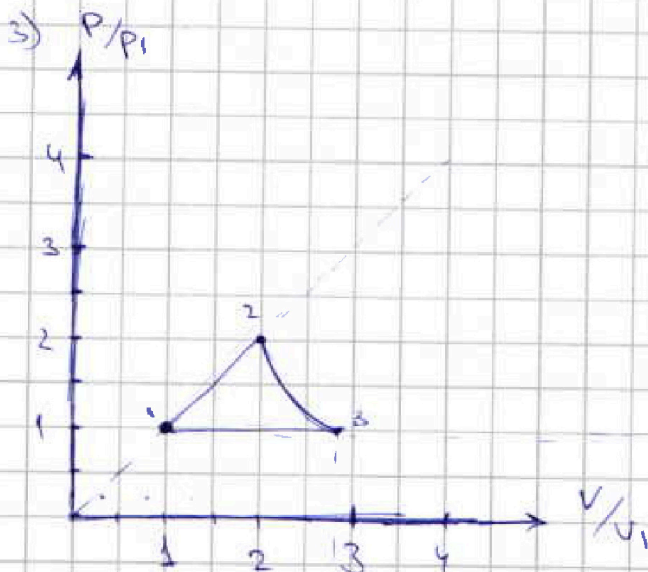
Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

- 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.

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

$$C_{mV} = \frac{10}{2} R$$

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

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

процесс: $\frac{P}{V} = \text{const.}$: процесс изобарно-политропный

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

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

Процесс 3-1: $n = 0$

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

Заметим, что температура в данной точке 2) та же 2 раза как в 1) и 3) но $P_1 = 1$ и $V_1/V_1 = 1$.

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

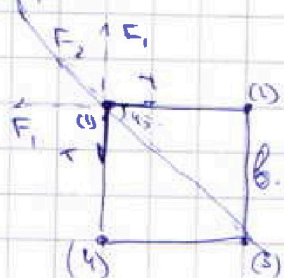
- 1 2 3 4 5 6 7

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 тела имеют одинаковое положение

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:

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

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

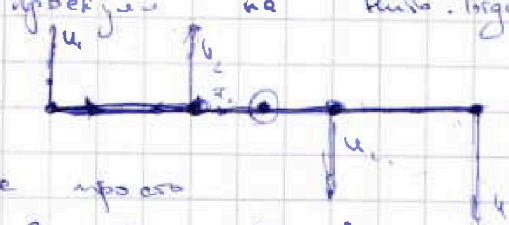
$$\frac{kq^2}{b^2} \left(\frac{1}{2} + \sqrt{2} \right) = T \sqrt{2}$$

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

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

Плюс

у которого по из центра все составляющие скорости направлены на центр. Тогда, т.к. все шары имеют одинаковую скорость и у них одинаковые углы наклона к горизонтальной составляющей скорости, у них будет горизонтальная составляющая скорости.



и также скорость в любой симметричной точке из центра будет направлена в центр.

Следовательно, скорость центра масс не будет направлена в центр масс (так как уже то, что в т.о. центра масс будет направлена).



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

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

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

$$W_1 = 2 \left(\frac{kq^2}{2b} + \frac{kq^2}{4b} \right) + \frac{kq^2}{4b} = \frac{8kq^2}{6} + \frac{kq^2}{6} = \frac{9kq^2}{6} = \frac{3kq^2}{2}$$

Найдем силу в крайних точках:

Сила

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

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

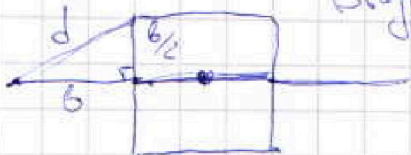
Сила и направление



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

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

5)



Вектор направления г.м.

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



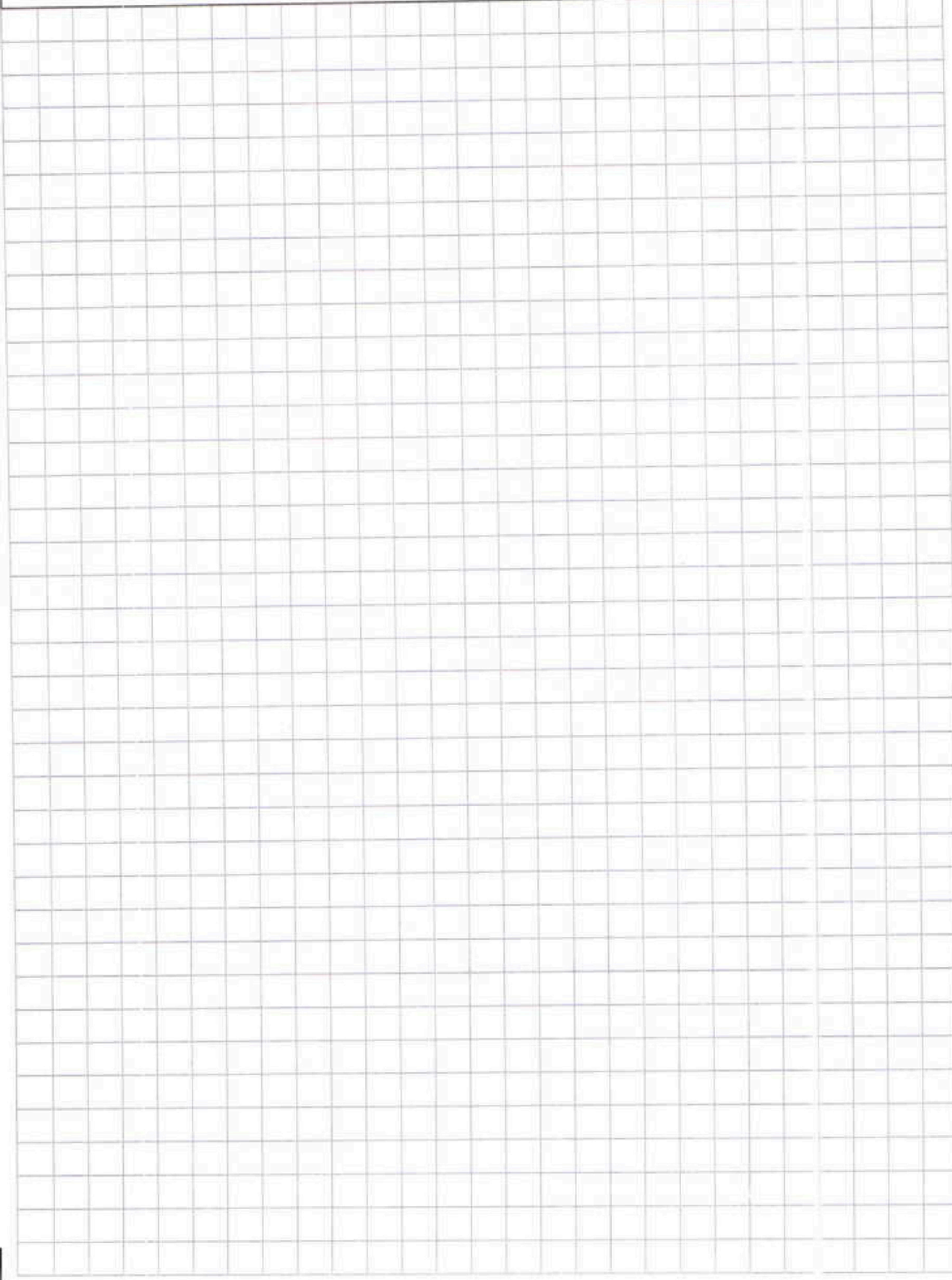
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

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!





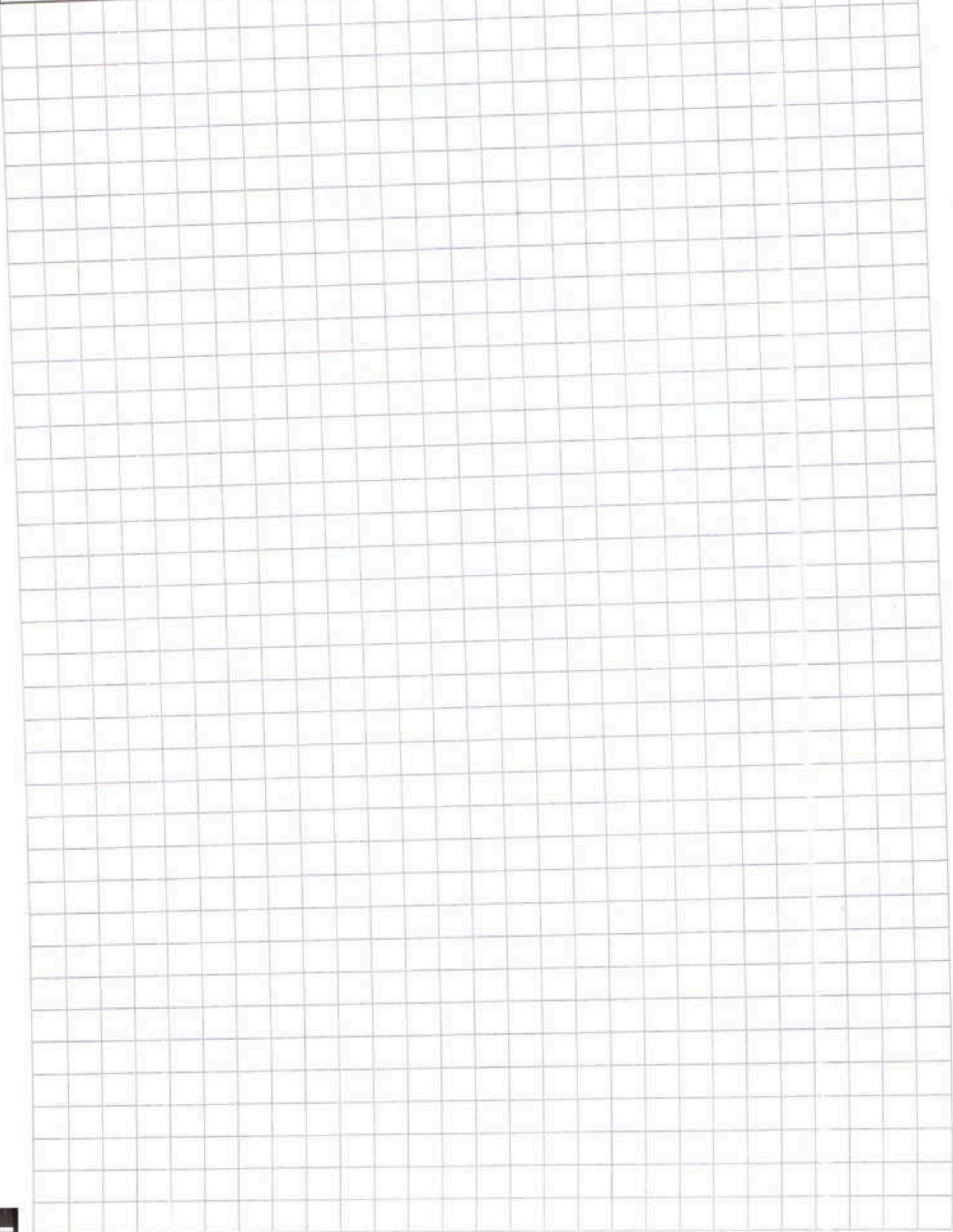
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

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.

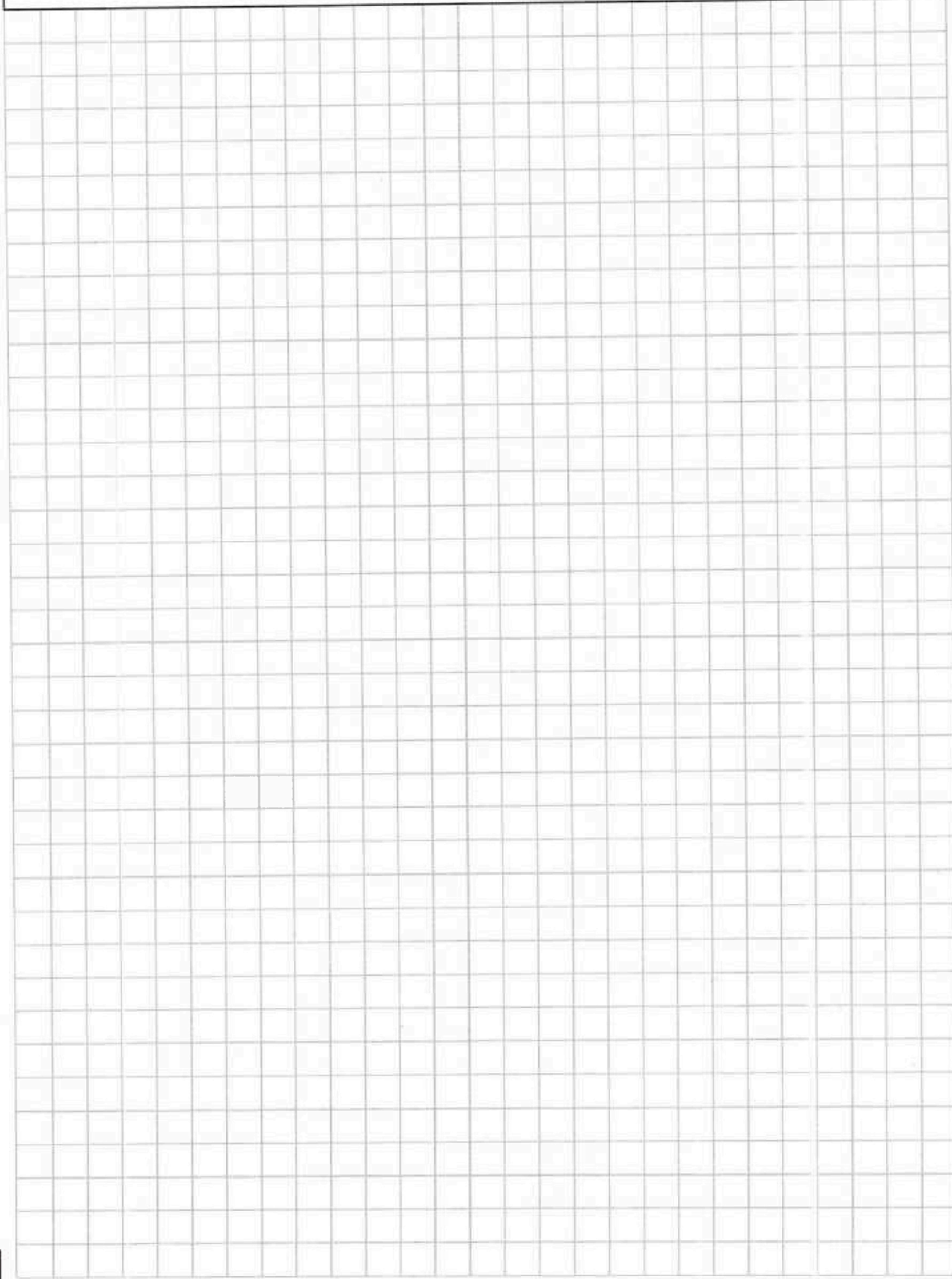
Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:



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!



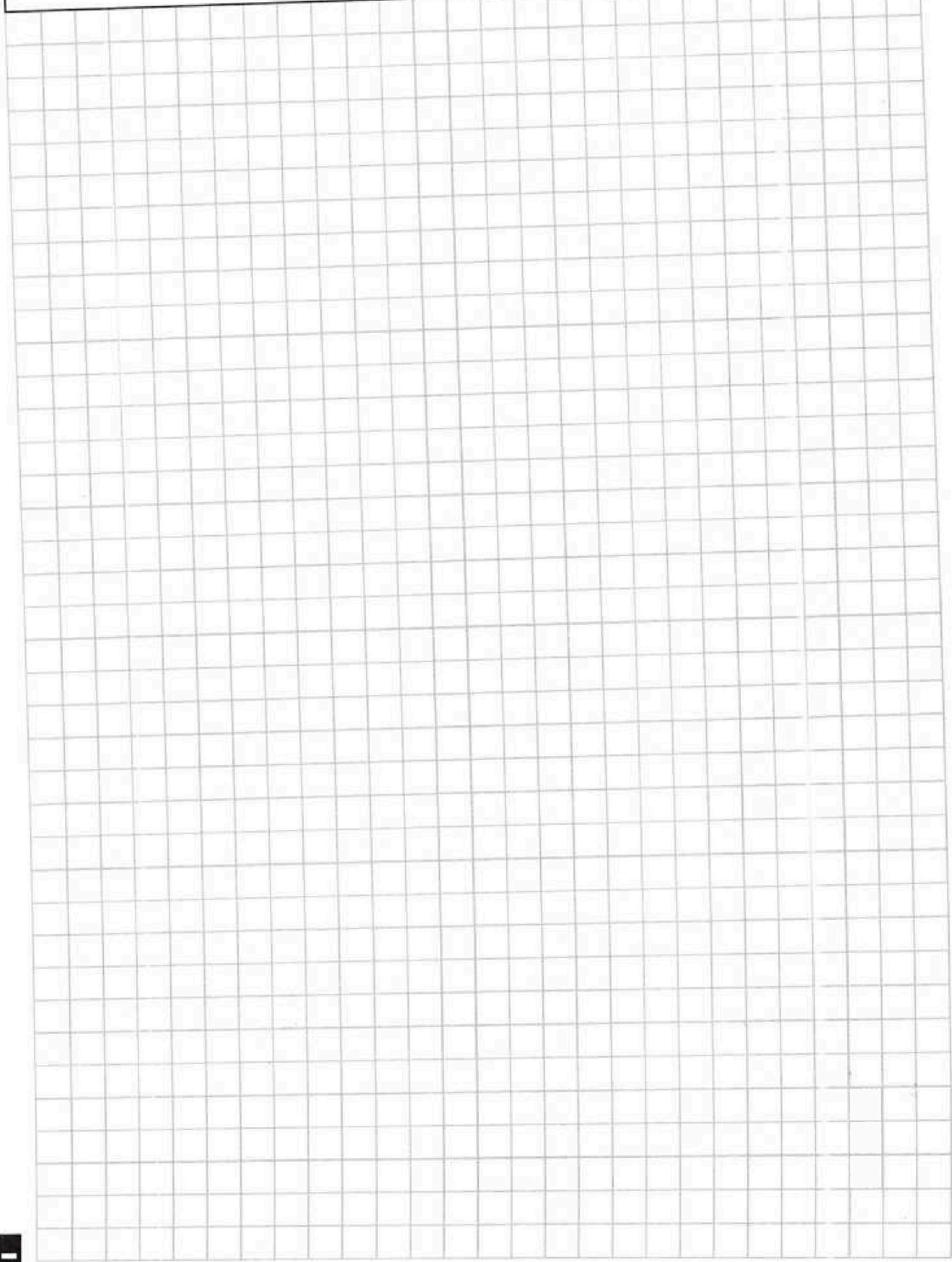
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

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!



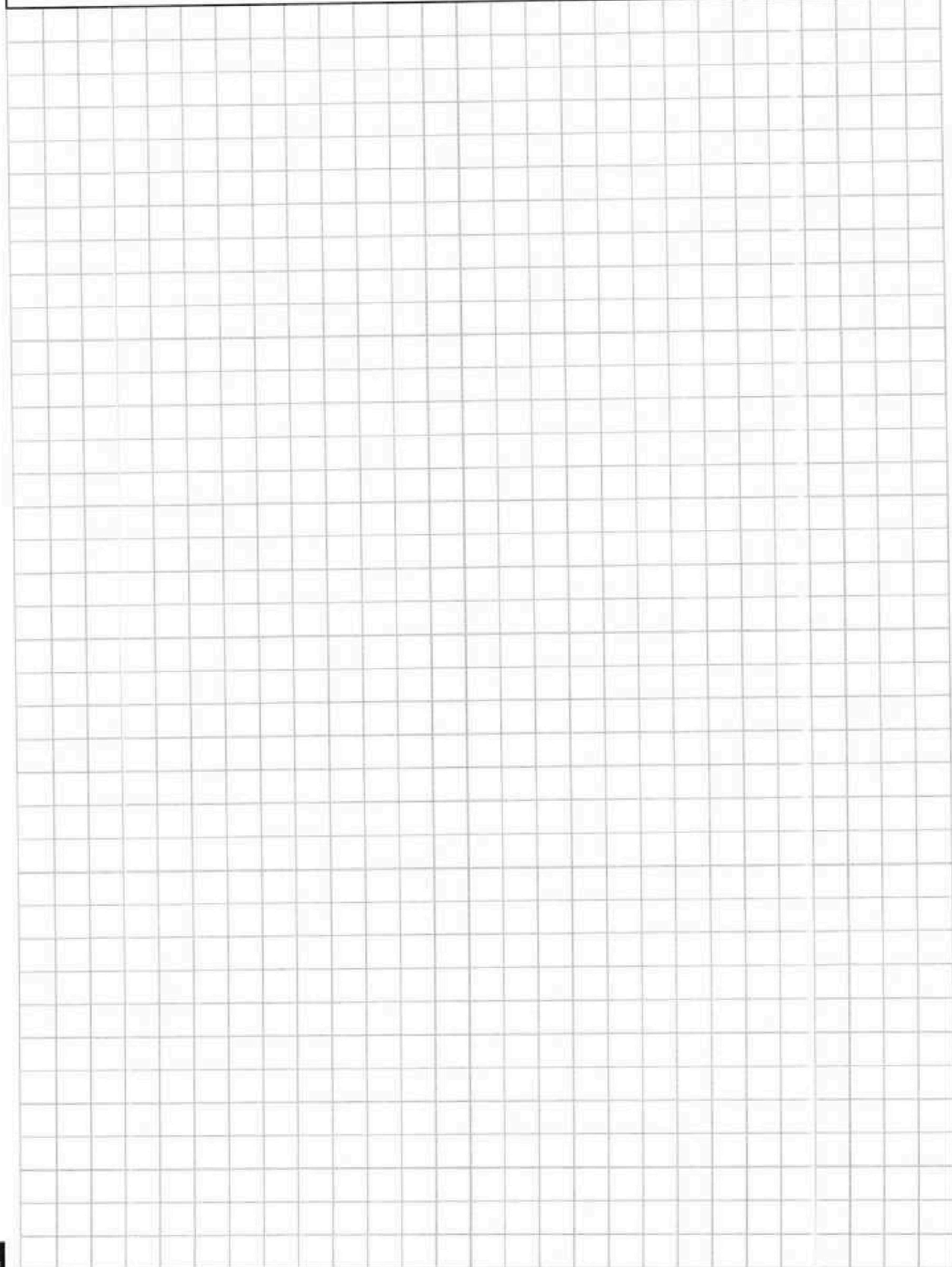
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

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!



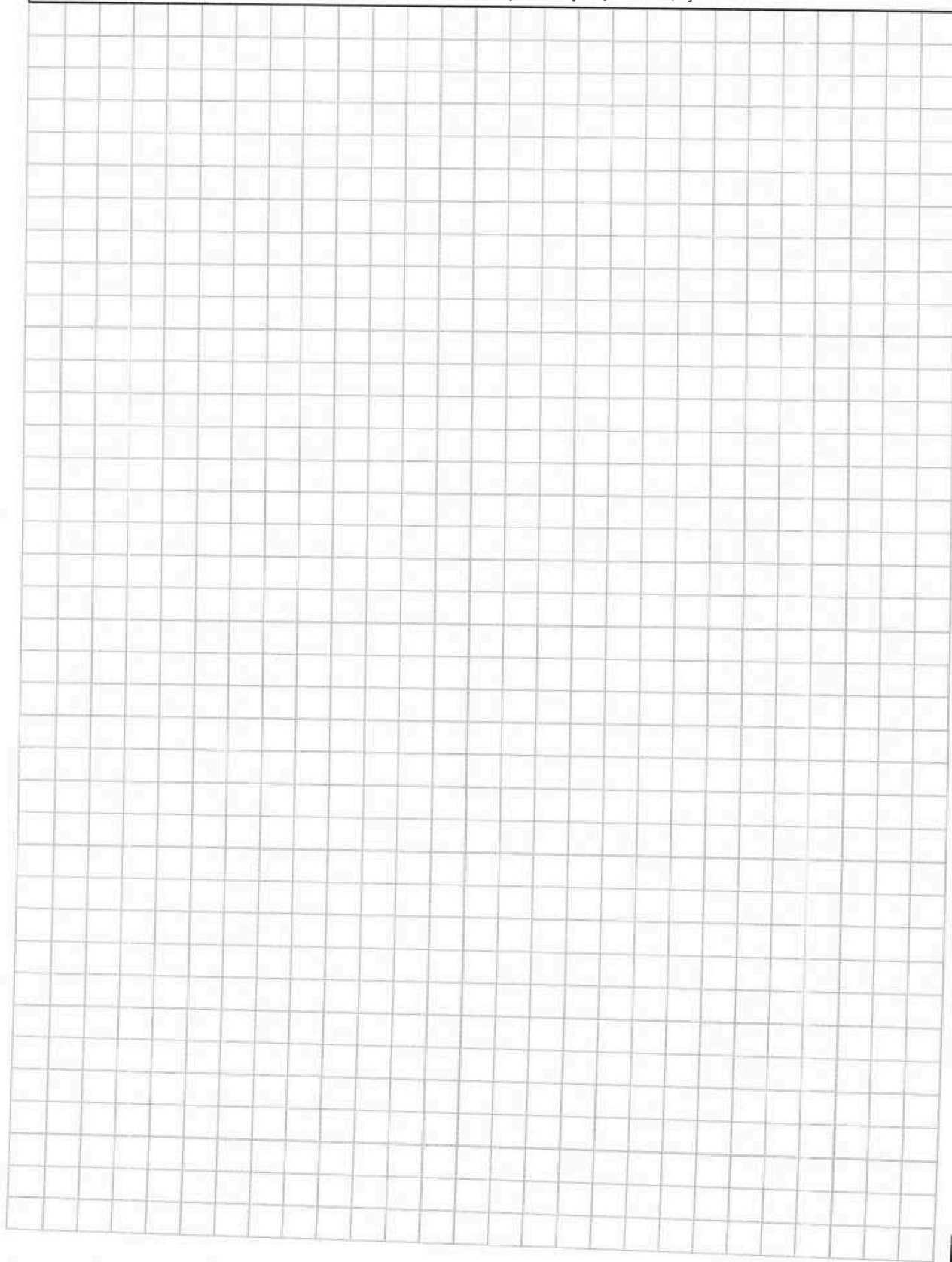


На одной странице можно оформлять только одну задачу.
Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

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.

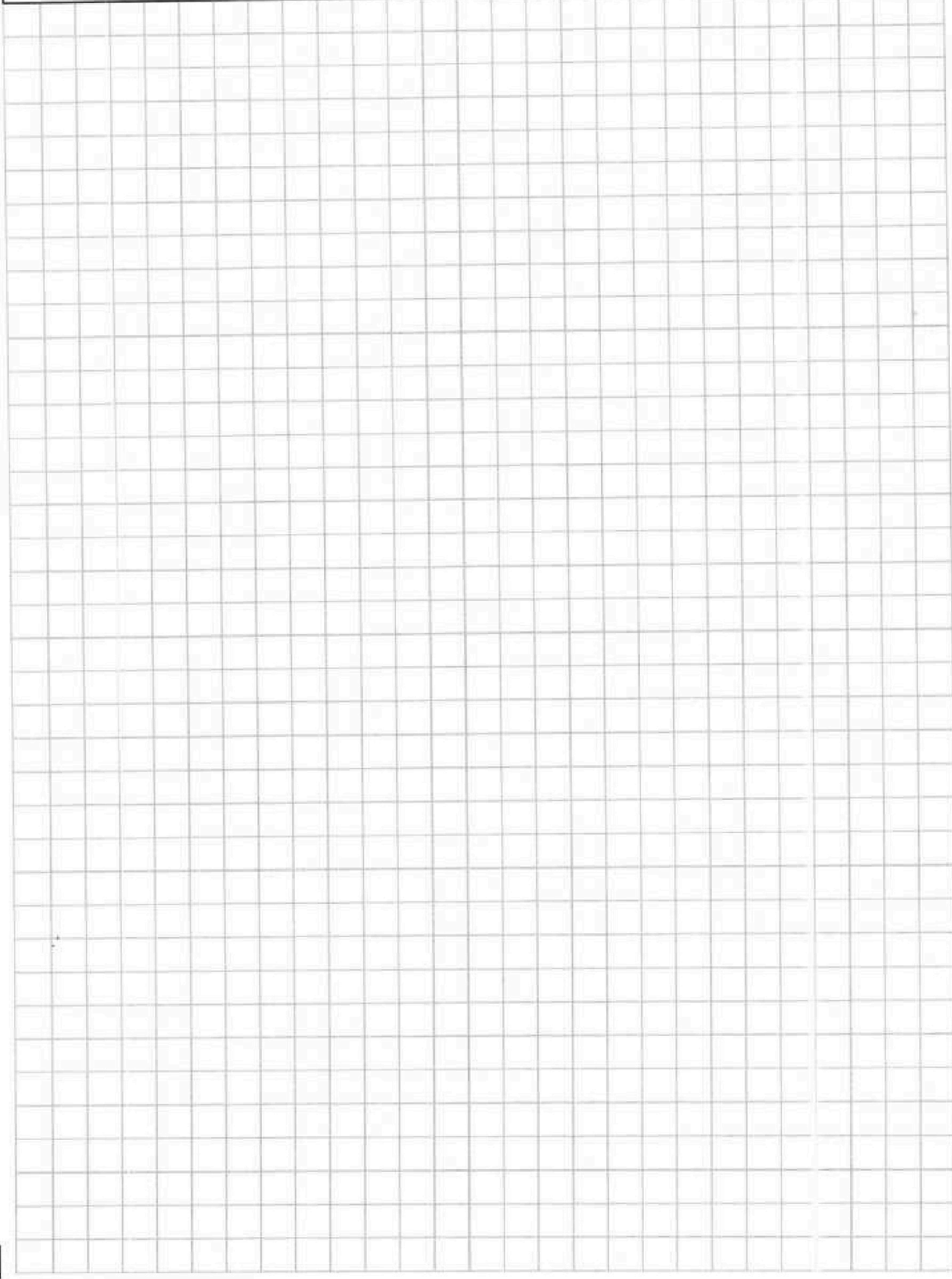
Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:



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!





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!

