



Олимпиада «Физтех» по физике,  
февраль 2023

Вариант 10-01

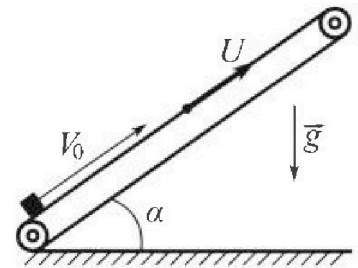
Во всех задачах, в ответах допустимы обыкновенные дроби и радикалы.



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. Сопротивление 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?

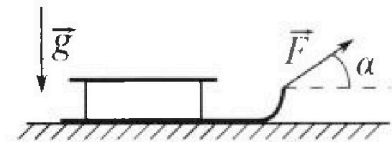
Во втором опыте коробку ставят на ленту транспортера, движущуюся со скоростью  $U = 2$  м/с, и сообщают коробке скорость  $V_0 = 4$  м/с.

- 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.



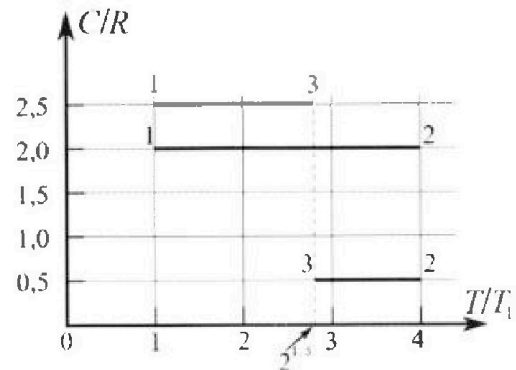
# Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

## Вариант 10-01

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



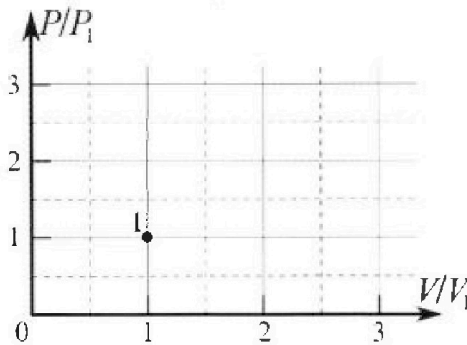
4. Тепловой двигатель работает по циклу 1-2-3-1. Рабочее вещество – один моль одноатомного идеального газа. Для вычисления КПД цикла ученик десятого класса построил график зависимости молярной теплоемкости  $C$  газа (в единицах универсальной газовой постоянной  $R$ ) от температуры в процессах: 1-2,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



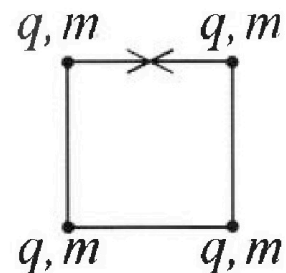
1) Найдите работу  $A_{12}$  газа в процессе 1-2.

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 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  $b$  (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 как ом 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.

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

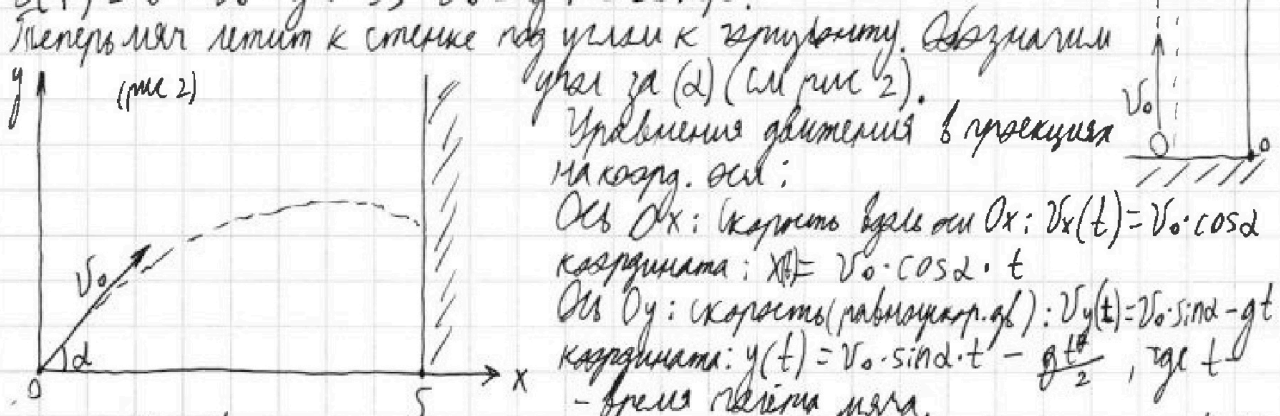


1  2  3  4  5  6  7

МФТИ

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

Задача 1) (Скорость мяча в наивысшей точке подъема:  $v(T) = 0$  (м/с)  
 Равноускоренное движение в поле силы тяжести:  $v(t) = v_0 - gt$   
 (в проекции на вертикаль ось  $Ox$  (см. рис)), где  $t$  - время полета мяча.  
 $v(T) = 0 = v_0 - gT \Rightarrow v_0 = gT = 20 \text{ м/с}$ .



Теперь мяч летит к стенке под углом к горизонту. Обозначим угол  $\alpha$  (см. рис 2).  
 Уравнение движения в проекции на координ. ось:  
 Ось  $Ox$ : скорость вдоль оси  $Ox$ :  $v_x(t) = v_0 \cdot \cos \alpha$   
 координата:  $x = v_0 \cdot \cos \alpha \cdot t$   
 Ось  $Oy$ : скорость (равноускор. дв.):  $v_y(t) = v_0 \cdot \sin \alpha - gt$   
 координата:  $y(t) = v_0 \cdot \sin \alpha \cdot t - \frac{gt^2}{2}$ , где  $t$  - время полета мяча.

Пусть  $t_0$  - время полета мяча до стенки, тогда:  $x(t_0) = S = v_0 \cdot \cos \alpha \cdot t_0$  (1);  
 (2)  $y(t_0) = v_0 \cdot \sin \alpha \cdot t_0 - \frac{gt_0^2}{2} = H$ , где  $H$  - высота, на которой мяч ударился о стенку; Выразим  $t_0$  из (1) и подставим в (2):  $t_0 = \frac{S}{v_0 \cdot \cos \alpha}$

$$H = \frac{v_0 \cdot \sin \alpha \cdot S}{v_0 \cdot \cos \alpha} - \frac{gS^2}{2v_0^2 \cdot \cos^2 \alpha} = \text{tg} \alpha \cdot S - \frac{gS^2(\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha)}{2v_0^2 \cdot \cos^2 \alpha} =$$

$$= \text{tg} \alpha \cdot S - \frac{gS^2}{2v_0^2} - \frac{gS^2}{2v_0^2} \cdot \text{tg}^2 \alpha; \text{Высота максимальна, когда } H'_\alpha = 0, \text{ где}$$

$$H'_\alpha - \text{производная функции высоты}; (\text{tg} \alpha)' = \frac{1}{\cos^2 \alpha}; (\text{tg}^2 \alpha)' = (f(g(\alpha)))' =$$

$$= (g(\alpha))' \cdot (f(g))'; g(\alpha) = \text{tg} \alpha; (g(\alpha))' = \frac{1}{\cos^2 \alpha}; f(g) = (\text{tg} \alpha)^2; (f'(g))' =$$

$$= 2 \cdot \text{tg} \alpha; (\text{tg}^2 \alpha)' = \frac{1 \cdot 2 \text{tg} \alpha}{\cos^2 \alpha}; H'_\alpha = 0 = \frac{S}{\cos^2 \alpha} - \frac{gS^2 \cdot 2 \text{tg} \alpha}{2v_0^2 \cdot \cos^2 \alpha} \Rightarrow$$

$$\frac{2v_0^2 S - gS^2 \cdot 2 \text{tg} \alpha}{2v_0^2 \cdot \cos^2 \alpha} = 0; \text{м.к } \cos \alpha \neq 0 \text{ (}\alpha \text{ точно не равен } 90^\circ \text{)}, \text{ то}$$

$$2v_0^2 S - gS^2 \cdot 2 \text{tg} \alpha = 0; v_0^2 - gS \cdot \text{tg} \alpha = 0; gS \cdot \text{tg} \alpha = v_0^2; \text{tg} \alpha = \frac{v_0^2}{gS}$$

Подставим найденное значение  $\text{tg} \alpha$  в формулу для высоты:

$$H = \frac{v_0^2 \cdot S}{gS} - \frac{gS^2}{2v_0^2} - \frac{gS^2 \cdot v_0^2 \cdot \frac{v_0^2}{gS}}{2v_0^2 \cdot g \cdot S} = \frac{v_0^2}{2g} - \frac{gS^2}{2v_0^2} = \left(\frac{20^2}{2 \cdot 10}\right) \text{ м} - \left(\frac{10 \cdot 20^2}{2 \cdot 20^2}\right) \text{ м} =$$

$$= 15 \text{ м}$$

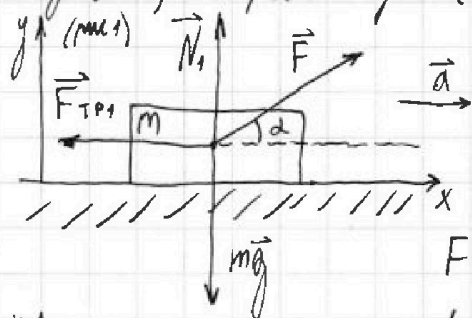
Ответ: 1)  $v_0 = 20 \text{ м/с}$ ; 2)  $H = 15 \text{ м}$



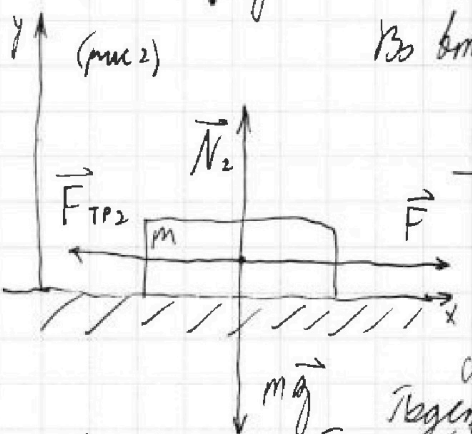
1  2  3  4  5  6  7

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

Задача 3) Во второй схеме (см. рис 1); 2-й з-н Ньютона в проекциях на карту.



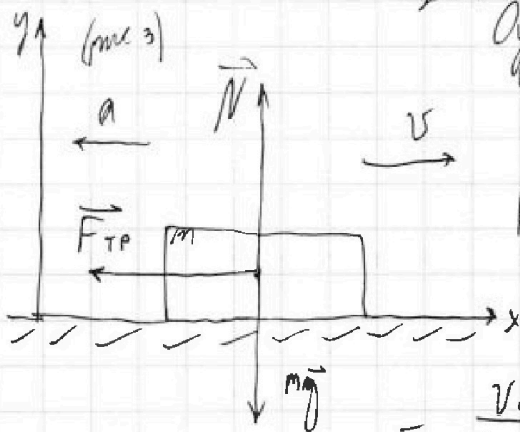
оси:  $Ox: F \cdot \cos \alpha - F_{тр1} = ma \quad (1)$   
 $Oy: F \cdot \sin \alpha + N_1 = mg \quad (2)$ , где  $F_{тр1}$  - сила трения, действ. на санки в 1-й схеме,  $m$  - масса санок,  $a$  - их ускорение,  $N_1$  - реакция опоры 1-й с-е; 3-й закон Ньютона (сила трения скольжения):  
 $F_{тр1} = \mu N_1$



Во второй схеме (см. рис 2):  $Ox: F - F_{тр2} = ma \quad (3)$   
 (Ускорение в обеих схемах одинаково (это условие из условия, т.к. санки разгоняют до одной и той же скорости из сост. покоя за одинаковое время, а значит то же ускорение)  $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ ), где  $F_{тр2}$  - сила трения,  $N_2$  - сила реакции опоры.  
 $Oy: N_2 = mg \quad (4)$   
 сила трения:  $F_{тр2} = \mu N_2$

Подставим (3) в (1):  $F \cdot \cos \alpha - \mu N_1 = F - \mu N_2 \quad (6)$   
 из (2):  $N_1 = mg - F \cdot \sin \alpha \quad (5)$ . Подставим (4) и (5) в (6):  
 $F \cdot \cos \alpha - \mu mg + \mu F \cdot \sin \alpha = F - \mu mg$ ;  $\mu \cdot \sin \alpha = 1 - \cos \alpha$ ;  
 $\mu = \frac{1 - \cos \alpha}{\sin \alpha}$

2) После прекращения действия силы (см. рис 3); 2-й з-н Ньютона в проекциях на карту оси:  $Ox: -F_{тр} = ma$ ;  $|a| = \frac{F_{тр}}{m}$



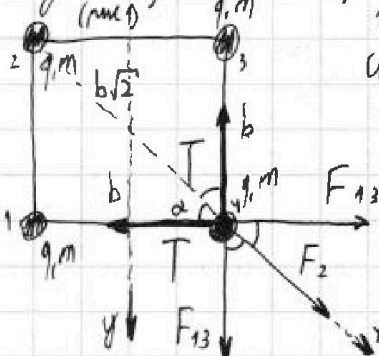
$Oy: N = mg$ , где  $F_{тр}$  - сила трения,  $a$  - ускорение санок ( $a < 0$ ),  $N$  - сила реакции опоры.  
 сила трения:  $F_{тр} = \mu N = \frac{(1 - \cos \alpha) mg}{\sin \alpha}$ ;  
 $|a| = \frac{(1 - \cos \alpha) mg}{\sin \alpha \cdot m} = \frac{(1 - \cos \alpha) g}{\sin \alpha}$  (объемные)

равноускоренное) время до остановки:  $T = \frac{v_0}{|a|} =$   
 $= \frac{v_0 \cdot \sin \alpha}{(1 - \cos \alpha) g}$   
 Ответ: 1)  $\mu = \frac{1 - \cos(\alpha)}{\sin(\alpha)}$   
 2)  $T = \frac{v_0 \cdot \sin \alpha}{(1 - \cos \alpha) g}$

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!

Задача 5)



1) В силу симметрии системы, силы притяжения всех зарядов равны. Обозначим их за  $T$ . Рассмотрим силы, действующие на заряд (4) (см рис 1):

2) в  $z$ -и плоскости в проекции на ось  $zOx$  (проходящую через диагональ квадрата):

$$2F_{13} \cdot \sin \alpha \cos \alpha + F_2 = 2T \cdot \cos \alpha, \text{ где } \alpha -$$

угол между стороной квадрата и его диагональю (то есть - диагональ квадрата  $\alpha = 45^\circ$ ),  $F_{13}$  - сила действующая на заряд (4) со стороны зарядов

(1) и (3) (эти силы равны, так как расстояния между (1) и (4), (3) и (4) равны),  $F_2$  - дейст. на (4) со ст. (2);  $T = \frac{2F_{13} \cdot \cos \alpha}{2 \cdot \cos \alpha} + \frac{F_2}{2 \cos \alpha} = F_{13} + \frac{F_2 \cdot 2}{2\sqrt{2}} = F_{13} + \frac{F_2}{\sqrt{2}}$

Сила электр. взаимодействия:  $F_{13} = K \frac{q^2}{b^2}$ ;  $F_2 = \frac{Kq^2}{2b^2}$  (диагональ квадрата равна  $b\sqrt{2}$ )

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

2) Если переименовать шарики между (2) и (3), на (2) и (3), а также на (1) и (4) будут действовать одинаковые силы, а заряды и скорости будут равны. Закон сохранения импульса в проекции на  $Oy$  (см рис 1 и 2):

$$2m v_{23} - 2m v_{14} = 0 \Rightarrow v_{23} = v_{14} = v;$$

Потенц. эн. взаимодействия шариков вначале:

$$E_0 = \frac{1}{2} \left( q \cdot K \frac{q}{b} \cdot 2 + q \cdot \frac{Kq}{b\sqrt{2}} \right) \cdot 4, \text{ где выразим в скобках это потенциал, эн. взаимодействия одного шарика с всеми остальными (эта энергия для каждого из шариков одинакова);}$$

$$E_k = \frac{1}{2} \left( \left( \frac{Kq^2}{b} + \frac{Kq^2}{2b} + \frac{Kq^2}{3b} \right) \cdot 2 + \left( \frac{Kq^2}{b} + \frac{Kq^2}{b} + \frac{Kq^2}{2b} \right) \cdot 2 \right), \text{ где выразим в скобках потенциал}$$

это энергия взаимодействия шариков (2) и (3), (1) и (4) с остальными шариками

$$E_k = \frac{11Kq^2}{6b} + \frac{5Kq^2}{2b} = \frac{Kq^2(11+15)}{6b} = \frac{13Kq^2}{3b}, \text{ Кинет. эн. шариков в конце: } E = \frac{4 \cdot m v^2}{2} = 2m v^2$$

Из закона сохр. эн.  $E_0 = E_k + E; \frac{2Kq^2}{b} \left( 2 + \frac{1}{\sqrt{2}} \right) = \frac{13Kq^2}{3b} + 2m v^2$

$$2m v^2 = \frac{Kq^2}{b} \left( 4 + \frac{2}{\sqrt{2}} - 4 \frac{1}{3} \right) = \left( \frac{2}{\sqrt{2}} - \frac{1}{3} \right) \frac{Kq^2}{b}; v = 9 \sqrt{\frac{K}{26m} \left( \sqrt{2} - \frac{1}{3} \right)}$$

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

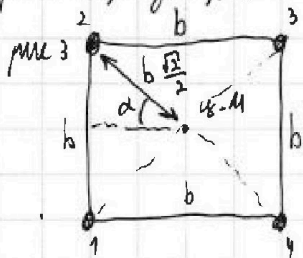
1  2  3  4  5  6  7

МФТИ

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



представьте задачу 5) Чтобы найти ( $d$ ), воспользуемся теоремой о движении центра масс. П.к на систему не действуют внешние силы (или их сумма равна нулю), центр масс системы остается неподвижен. В начальном центре масс системы находилась в центре квадрата (рис 3) (в силу симметрии системы и равенства масс шариков).

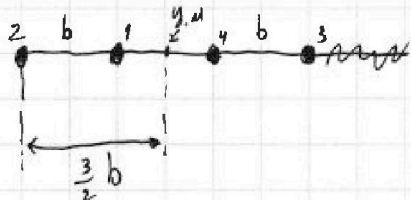


В конце он оказался посередине между (1) и (4) шариками (рис 4) (по той же причине). Перемещение шарика:

$\vec{d} = \vec{r}_k - \vec{r}_0$  где  $\vec{r}_0$  и  $\vec{r}_k$  - радиус вектора пробегающего к шарика (2) из ц.м.

$|\vec{r}_k| = 1,5b$ ;  $|\vec{r}_0| = b\frac{\sqrt{2}}{2}$

рис 4



По теор. косинусов:

$$d^2 = r_0^2 + r_k^2 - 2r_0r_k \cdot \cos \alpha = \frac{b^2}{2} + 2,25b^2 - \frac{2 \cdot b \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot 1,5b \cdot \frac{\sqrt{2}}{2}}{2 \cdot 2 \cdot 1} =$$

$$= \frac{b^2}{2} + 2,25b^2 - 1,5b^2 = 1,25b^2; \quad d = b \sqrt{1,25} = \frac{b\sqrt{5}}{2}$$

Ответ: 1)  $T = k \frac{q^2}{b^2} \left( 1 + \frac{1}{2\sqrt{2}} \right)$

2)  $\mathcal{E} = q \sqrt{\frac{k}{2bm} \left( \sqrt{2} - \frac{1}{3} \right)}$

3)  $d = \frac{b\sqrt{5}}{2}$

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

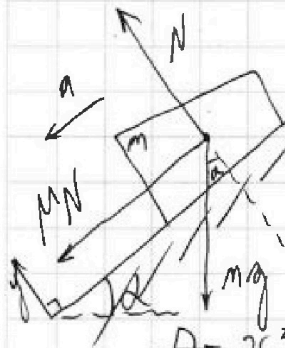
1  2  3  4  5  6  7



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



Задача 2) ~~1~~



1) 2 и 3 - и Ньютона барьеру, на краю оси:  $Ox: -MN = ma$  (1)  
 $(a < 0)$  где  $MN$  - сила трения ~~и~~ скольжения  
 $Oy: N = mg \cdot \cos \alpha$  (2); подст. (2) в (1);  
 $a = -\frac{Mg \cdot \cos \alpha \cdot g \cdot \sin \alpha}{3} = -\frac{1 \cdot g \cdot \sqrt{1 - \sin^2 \alpha} \cdot g \cdot \sin \alpha}{3} = -10 \text{ м/с}^2$   
 $(\sin \alpha = \cos \alpha = \frac{2}{3})$

~~x = v\_0 t + \frac{a t^2}{2}~~ Уравн. длит. брасс  $Ox$  (равноуск.):  $t_8 = \frac{v_0}{a} = 0,4 \text{ с}$

$x v = v_0 t + \frac{a t^2}{2}$ ,  $\frac{t^2 \cdot a}{2} + t \cdot v_0 - S = 0$ ; Корень  
 $D = v_0^2 + 4 \cdot a \cdot S$ ;  $T = \frac{-v_0 \pm \sqrt{v_0^2 + 4aS}}{a} = \frac{-4 \pm 2\sqrt{4+2}}{-2}$  (имеет корни  $t_1 = 0,2 \text{ с}$  и  $t_2 = 0,6 \text{ с}$ )

~~$T = \frac{-v_0 \pm \sqrt{v_0^2 + 4aS}}{a} = \frac{-4 \pm 2\sqrt{4+2}}{-2} = (2 \pm \sqrt{3}) \text{ с}$~~   
 имеет мин. к стелю  
 (корень);  $S_1 = a t_1^2 = 0,8 \text{ м}$   
 укл. пр. с  $\frac{v_0^2}{2} = \frac{16}{2} = 8 \text{ м}^2/\text{с}^2$ ;  $a = |am|$   
 $-(am) = 6 \text{ м/с}^2$ ;  $0,2 \text{ м} = \frac{a \cdot t_1^2}{2} \Rightarrow t_1 = \sqrt{\frac{0,4}{-6}} \text{ с}$ ;  $T = (2 \pm \frac{1}{\sqrt{3}}) \text{ с}$

нае ~~имеет~~ корень;  $(2 - \sqrt{3}) \text{ с}$ , м. к другой корню ~~имеет~~  $M$  ~~меньше~~  
 т.к. когда ~~корень~~ корень ~~имеет~~  $S$  ~~меньше~~  $T = (2 - \sqrt{3}) \text{ с}$

2) ~~Корень~~ корень ~~увеличивается~~ со скоростью ~~летит~~ в ~~мелком~~  $t_0$ :  
 $t_0 = \frac{v_0 + a t_0}{a} = \frac{v_0}{a}$ ;  $t_0 = \frac{v_0}{a} = \frac{4}{-10} \text{ с}$  (с этого момента сила трения  
 дейст. на корень ~~изменила~~  $\Delta a$  ~~направление~~ на ~~гитивекторное~~);  
 ускорение ~~приближается~~ короче силой ~~и~~ ~~моментами~~:  $|a_{\text{тр}}| = \frac{Mg \cdot \sin \alpha}{m} = 8 \text{ м/с}^2$   
 силой трения:  $|a_{\text{тр}}| = \frac{MN}{m} = \frac{Mg \cdot \cos \alpha}{m} = Mg \cdot \cos \alpha = \frac{1}{3} \cdot 10 \cdot \frac{3}{5} = 2 \text{ м/с}^2$

$L = v_0 t_0 - \frac{a_1 t_0^2}{2}$ , где  $a_1 = |a_{\text{тр}}| + |a_{\text{мг}}$



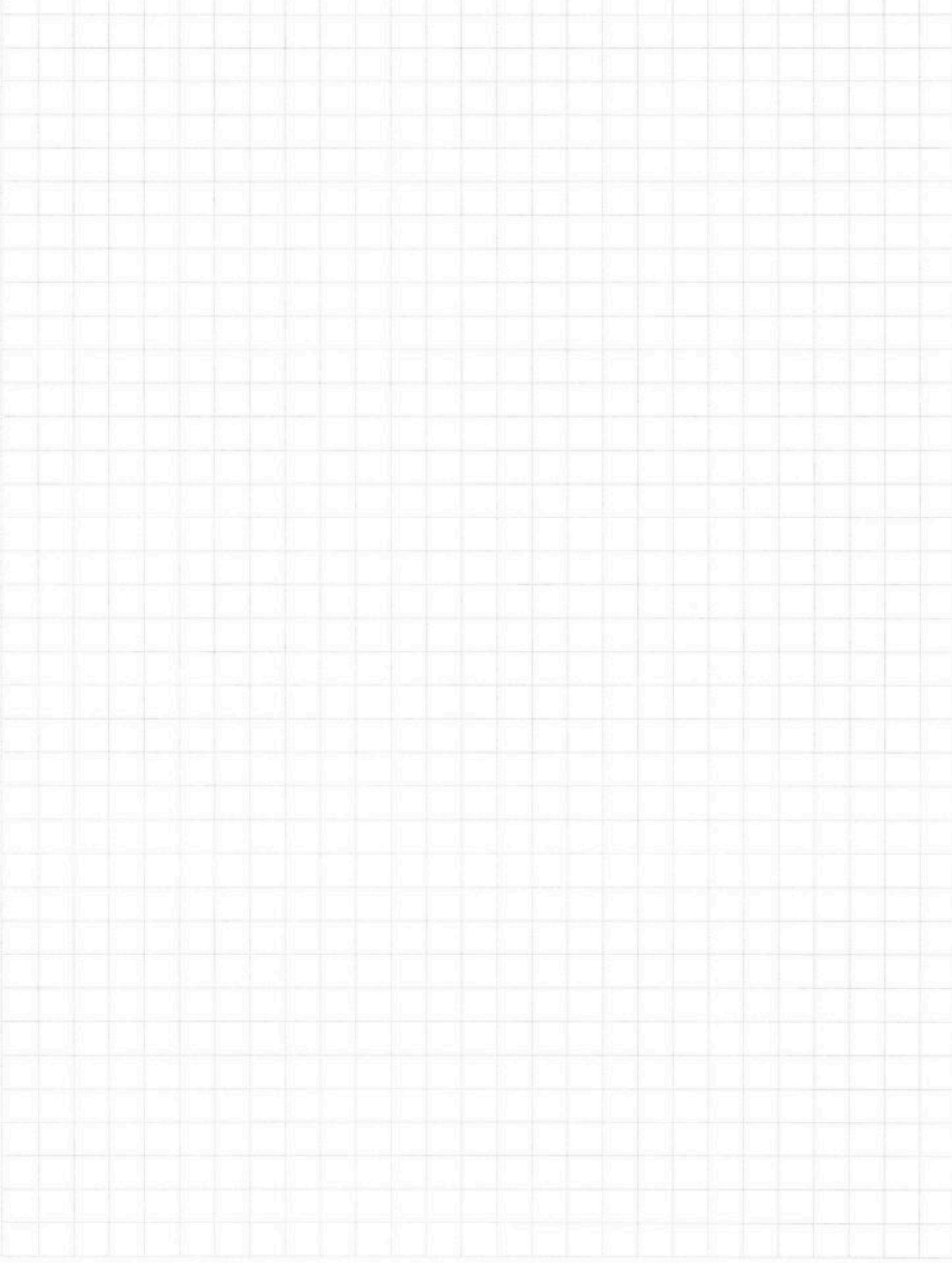
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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!







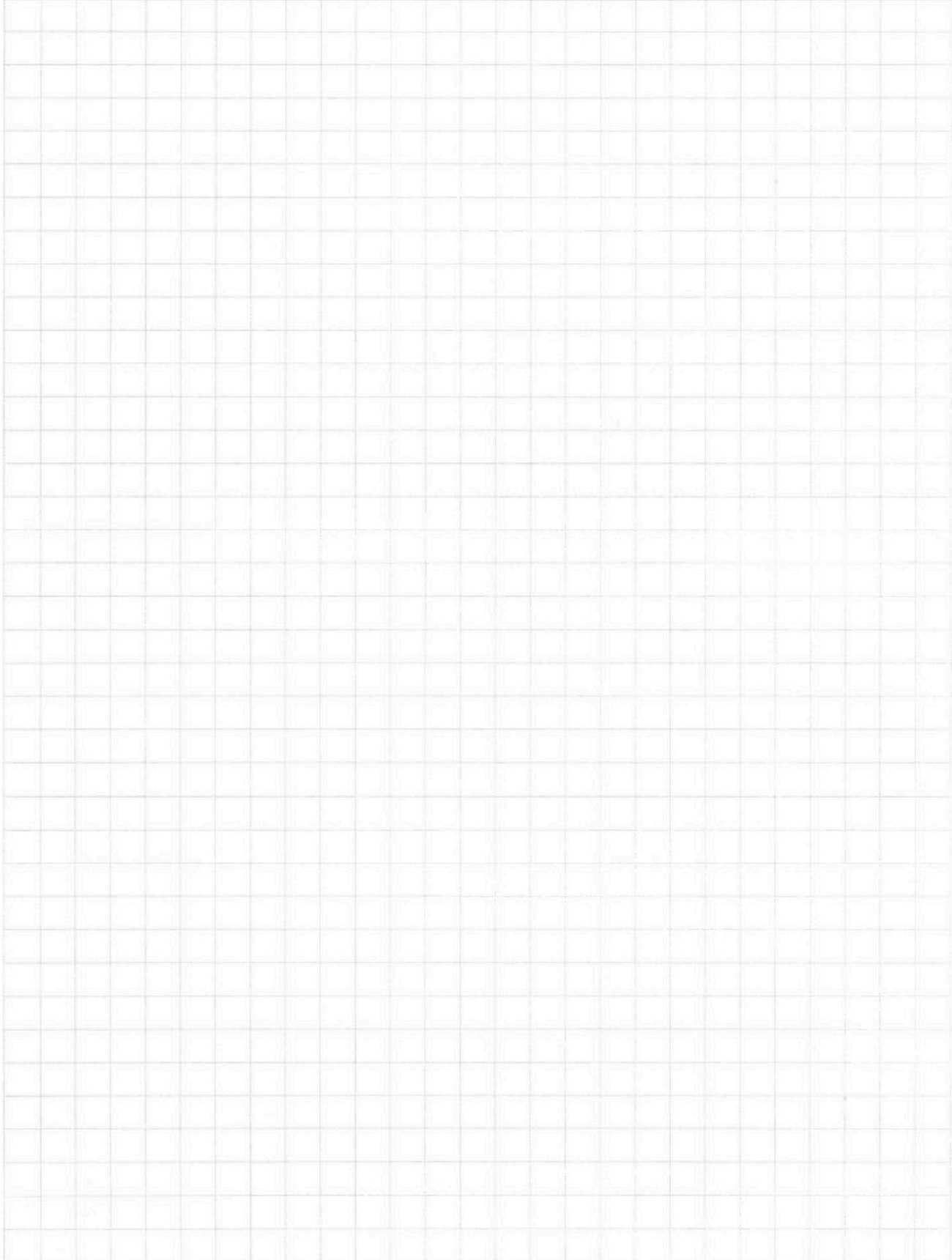
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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.

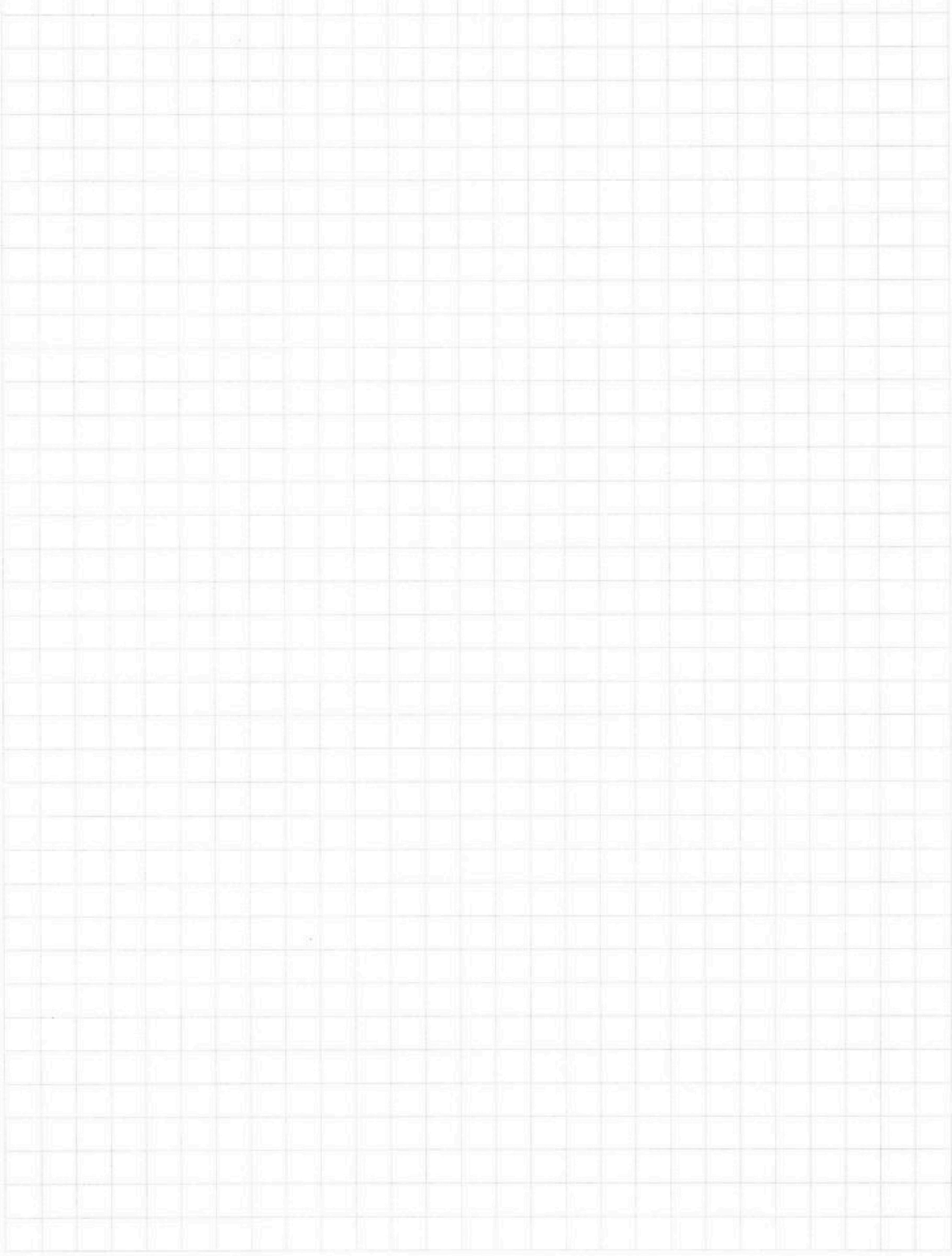
Отметьте крестиком номер задачи.

решение которой представлено на странице:

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.

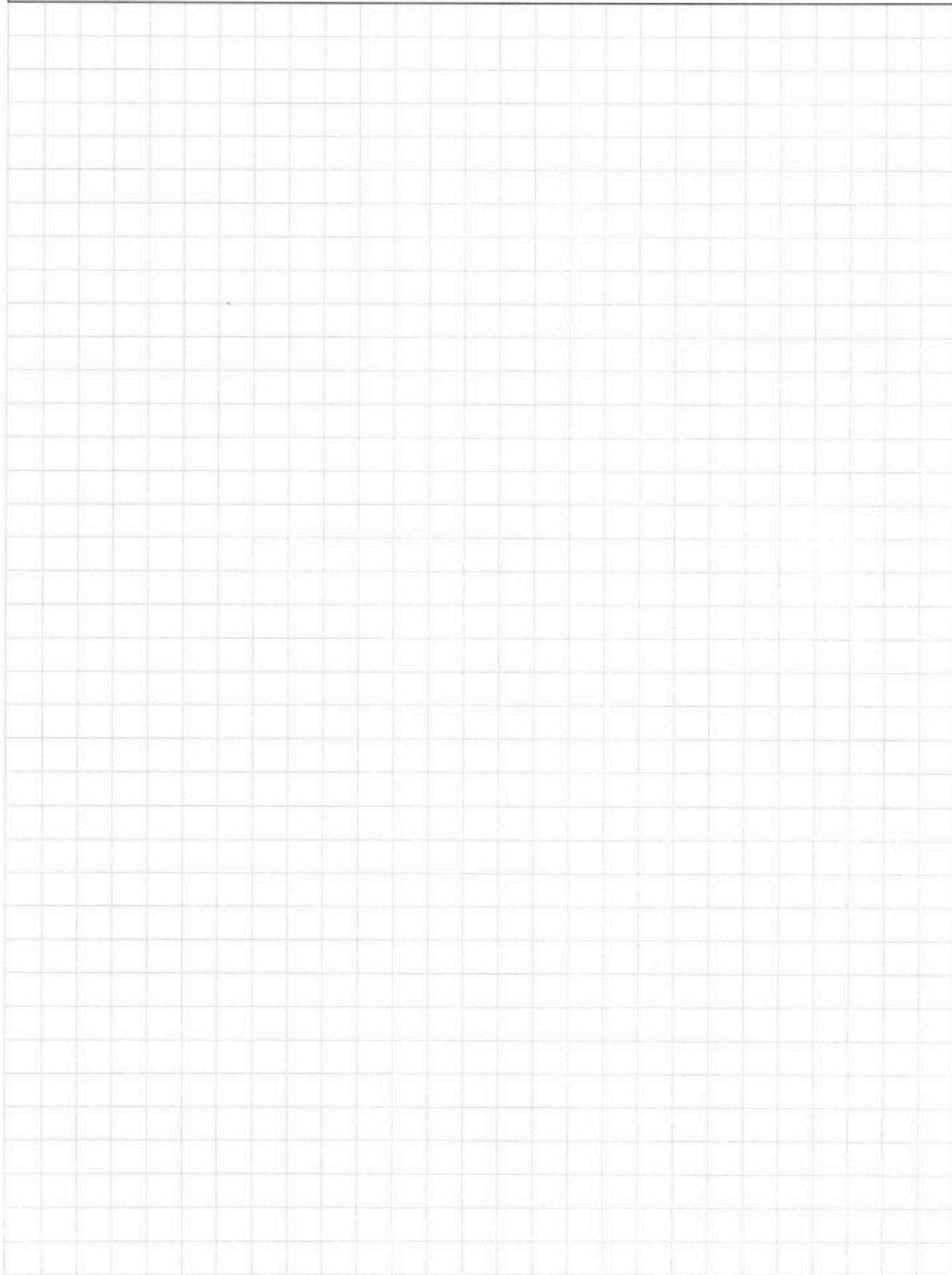
Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:



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!

