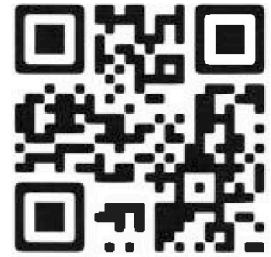




Олимпиада «Физтех» по физике,
февраль 2023

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.

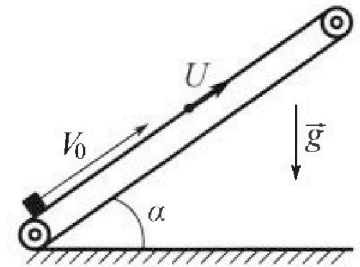
2) На каком расстоянии S от точки старта находится стенка?

Ускорение свободного 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.).

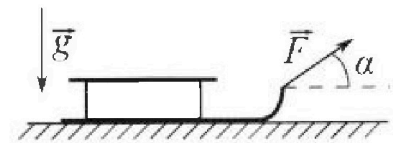
2) Через какое время T_1 после старта скорость коробки во втором опыте будет равна $U = 1$ м/с?

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.

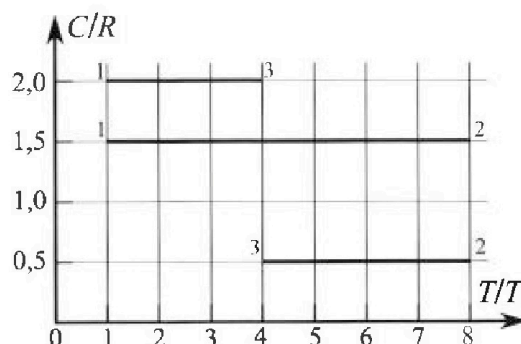
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

Вариант 10-02

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



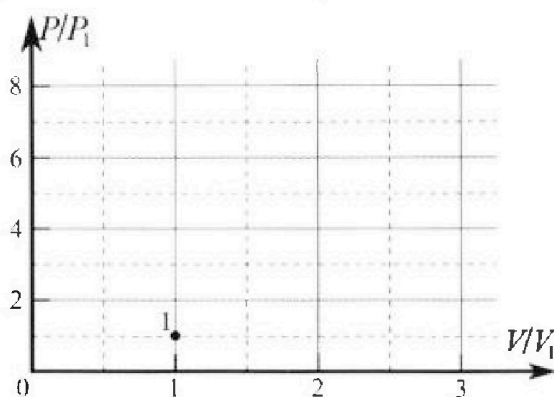
4. Тепловой двигатель работает по циклу 1-2-3-1. Рабочее вещество – один моль одноатомного идеального газа. Для вычисления КПД цикла ученик десятого класса построил график зависимости молярной теплоемкости C газа (в единицах универсальной газовой постоянной) от температуры в процессах: 1-2, 2-3, 3-1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

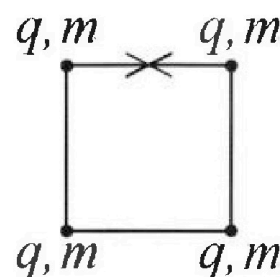
1) Найдите абсолютную величину $|q|$ заряда каждого шарика.

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 сверху (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:

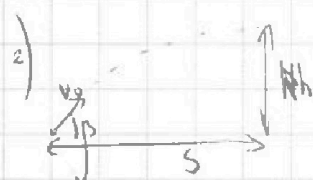
1 2 3 4 5 6 7

МФТИ

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



$\alpha = 45^\circ$
 $L = 20 \text{ м}$
 1) $v_0 = ?$
 $H = 3,6 \text{ м}$
 2) $S = ?$
 $g = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$



$h_{\text{max}} = H$

1) Воспользуемся формулой для горизонтального перемещения

$$L = v_0^2 \frac{\sin 2\alpha}{g} \Rightarrow v_0 = \sqrt{\frac{Lg}{\sin 2\alpha}} = \sqrt{\frac{20 \cdot 10}{1}} = 2 \cdot 10 \text{ м/с}$$

$v_0 = 2 \cdot 10 \text{ м/с}$

2) 2)

Заметим, что чтобы максимизировать путь высоты точки броску

нужно сделать так, чтобы стена находилась в середине горизонтального пути (если считать еще и обратно). Тогда

$$H = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g} \quad \text{и} \quad S = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g}$$

$$\Rightarrow \sin^2 \alpha = \frac{2H}{v_0^2} = \frac{7,2}{200}$$

$$\Rightarrow \cos \alpha = \sqrt{\frac{200 - 7,2}{200}} \quad \sin \alpha = \sqrt{\frac{7,2}{200}}$$

$$\text{Тогда } S = \frac{v_0^2 2 \sin \alpha \cos \alpha}{g} = \frac{2 \cdot 172 \cdot \sqrt{200 - 7,2}}{2 \cdot 10} = \frac{7,2(200 - 7,2)}{10} \text{ м}$$

Ответ: $v_0 = 2 \cdot 10 \text{ м/с}$ и $S = \frac{7,2(200 - 7,2)}{10} \text{ м}$

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!



~ 2

$$\sin \alpha = 0.6 \Rightarrow \cos \alpha = 0.8$$

$$v_0 = 6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\mu = 0.5$$

$$1) T = 1 \text{ c}$$

$$u = 1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

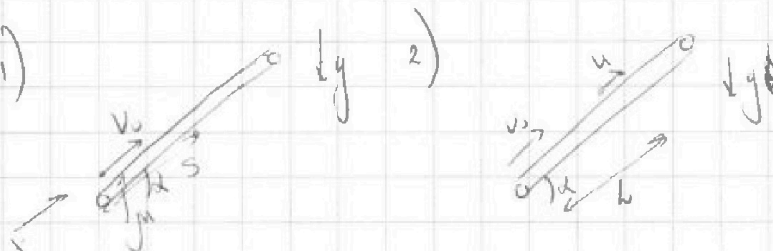
$$v_0 = 6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

S - ?

$$2) u = 1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$3) L - ?$$

$$g = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$



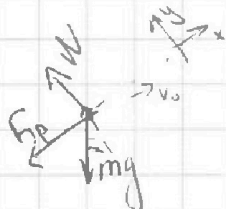
Даны:

$$S = 1 \text{ m} \quad n_1$$

$$T = 1 \text{ c} \quad n_2$$

$$L = 2 \text{ m} \quad n_3$$

1) Рассчитаем силы на коробку



Законим Ньютона:

$$N = mg \cos \alpha$$

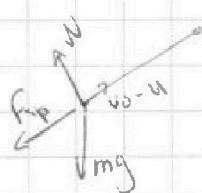
$$ma = -F_{tr} - mg \sin \alpha$$

т.к. $v_0 \neq 0$, то до момента остановки:

$$F_{tr} = \mu N$$

$$S = v_0 T + \frac{a T^2}{2} \Rightarrow a = -(\mu g \cos \alpha + g \sin \alpha) = -10 \cdot (0.5 \cdot 0.8 + 0.6) = -10 \cdot (0.4 + 0.6) = -10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

2) Чтобы скорость коробки была равна скорости ленты, она должна остановиться в ω ленте. Т.е. перестанет действовать сила трения

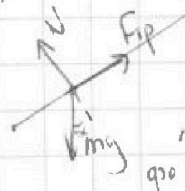


$$\mu N \quad a = -(\mu g \cos \alpha + g \sin \alpha) = -10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

но как грузик в ω ленте.

$$v = v_0 + a T_1 \Rightarrow T_1 = \frac{v_0 - u}{-a} = \frac{6 - 1}{+10} = 0.5 \text{ c}$$

3) Заметим, что после того как коробка получит скорость u в ω ленте ее будет замедлять сила тяжести, а сила трения будет в opposite направлении, т.е. будет разогнать до скорости u ленте, поэтому



$$ma_2 = F_{tr} - mg \sin \alpha = \mu mg \cos \alpha - mg \sin \alpha$$

$$\Rightarrow a_2 = g(\mu \cos \alpha - \sin \alpha) = 10(0.5 \cdot 0.8 - 0.6) = 10(0.4 - 0.6) = -2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$\text{но как про путь } L = \frac{v_0^2 - u^2}{2a_1} + \frac{0 - u^2}{2a_2} = \frac{35}{20} + \frac{1}{4} = \frac{7+1}{4} = 2 \text{ m}$$

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

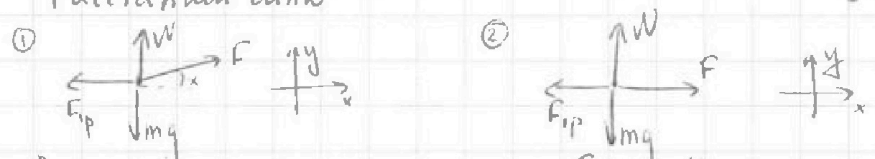
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



3
 K, α, g, μ
 1) $M = ?$
 2) $S = ?$



1) Т.к. санки разогнаны до скорости v до начала движения, то при движении вниз v будет и в этот момент и конечная скорость v одной и той же, т.к. $K = \frac{mv^2}{2}$, а $m = \text{const}$
 $a = \frac{v^2}{2S} \Rightarrow a$, ускорение санок одинаково в обоих случаях
 Рассмотрим силы



Проецируем на ось x и получим $F_{тр} = \mu N$, т.е. сан разогнаны санки
 $N + F \sin \alpha = mg$
 $am = F \cos \alpha - F_{тр}$
 $ma_{\text{оба}} = F \cos \alpha - \mu mg + \mu F \sin \alpha$
 а если одинаково в обоих случаях, $\Rightarrow F \cos \alpha - \mu mg + \mu F \sin \alpha = F - \mu mg$
 $F \neq 0, \Rightarrow \mu \cos \alpha + \mu \sin \alpha = 1$
 $\mu = \frac{1 - \cos \alpha}{\sin \alpha}$

2) После достижения максимальной скорости K сила F перестает действовать и санки начинают тормозить. Рассмотрим силы

По закону сохранения энергии: $N = mg$
 По закону сохранения энергии: $K + A_{тр} = 0$, где $A_{тр}$ - работа трения.
 $K_{\text{исх}} = \frac{K}{2} = \mu mg S$
 $A_{тр} = -F_{тр} \cdot S = -\mu mg S \Rightarrow S = \frac{K}{\mu mg} = \frac{K}{mg} \cdot \frac{\sin \alpha}{1 - \cos \alpha}$

Отсюда: $\mu = \frac{1 - \cos \alpha}{\sin \alpha}$ т.е., $S = \frac{\sin \alpha}{1 - \cos \alpha} \frac{K}{mg}$ т.е.

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,

решение которой представлено на странице:

- 1 2 3 4 5 6 7

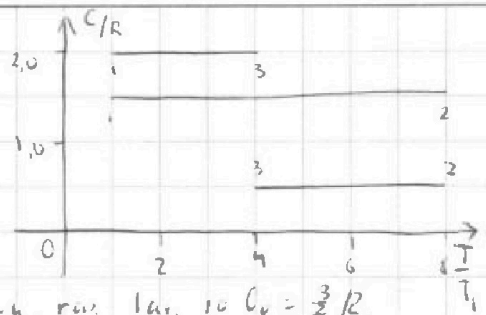
МФТИ

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

4

$T_1 = 200\text{K}$
 $R = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль}\cdot\text{К}}$
 $1-2-3-1$
 $V = 1 \text{ моль, } \mu = 1 \text{ ат}$

- 1) $A_{31} = ?$
 2) $\eta = ?$
 3) $\frac{p}{p_1} \left(\frac{V}{V_1}\right)$



1) По уравнению Клапейрона, что $T_3 = 4T_1$, $T_2 = 3T_1$. Т.н. раз 1 ат , то $C_v = \frac{3}{2}R$.
 $Q = \Delta U + A$, где A - работа газа $\Rightarrow Q_{31} = \Delta U_{31} - A_{31}$, т.е. $A = -A_{31}$.
 $Q_{31} = \nu n T_{31} C_v$ по определению температуры. $\Delta U_{31} = C_v \nu n T_{31}$

$\Rightarrow A_{31} = \nu n T_{31} (C_v - C_{v1}) = 1 \cdot (-600) \cdot (1,5 - 2) \cdot 8,31 = 2493 \text{ Дж}$

2) $U_1 = \frac{3}{2} C_v \nu n T_1$
 $U_2 = C_v \nu n T_2$
 $U_3 = C_v \nu n T_3$

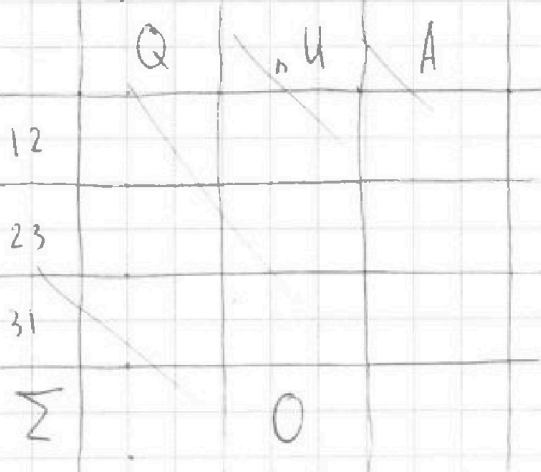
Заметим, что по уравнению Клапейрона или закону Бойля-Мариотта $\frac{Q}{R}$ для каждого процесса.

$\frac{Q_{12}}{R} = 77 \cdot 1 \text{ моль} \cdot 1,5 = 7 \cdot 3 \cdot 200 = 4200 \text{ Дж/К}$

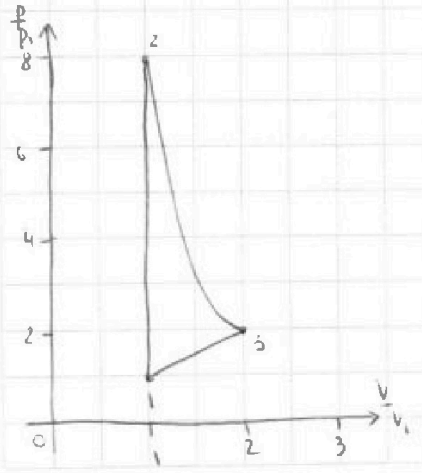
$\frac{Q_{23}}{R} = -4T_1 \cdot 1 \text{ моль} \cdot 1,5 = -2 \cdot 200 = -400 \text{ Дж/К}$

$\frac{Q_{31}}{R} = -3T_1 \cdot 1 \text{ моль} \cdot 2 = -6 \cdot 200 = -1200 \text{ Дж/К}$

$\eta = \frac{Q_+ - |Q_-|}{Q_+} = \frac{Q_{12} - (|Q_{23}| + |Q_{31}|)}{Q_{12}} = \frac{4200 - 400 - 1200}{4200} = \frac{13}{21}$



3) Заметим, что в процессе 12 $C = \frac{3}{2}R$, $\Rightarrow V = \text{const}$. Т.н. $\nu RT_2 = p_2 V_2 = p_1 V_1$



Воспользуемся уравнением политропы

$pV^n = \text{const}$, $n = \frac{C - C_p}{C - C_v}$
 $n_{23} = \frac{C_{v2} - C_p}{C_{v2} - C_v} = \frac{0,5 - 2,5}{0,5 - 1,5} = 2 \Rightarrow p_2 V_2^2 = p_3 V_3^2$

$\Rightarrow p_3 = p_2 \frac{V_2^2}{V_3^2} = p_0 \cdot \frac{1}{4} = 2p_1$

т.е. в 123 $p = \frac{C}{V^2}$, гиперболы

$n_{31} = \frac{C_{v1} - C_p}{C_{v1} - C_v} = \frac{2 - 2,5}{2 - 1,5} = -1$, т.е. $p = C \cdot V$ - прямая

Очевидно: $A_{31} = 2493 \text{ Дж}$ и $\eta = \frac{13}{21}$ и n_2 - процесс 12

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи.

решение которой представлено на странице:

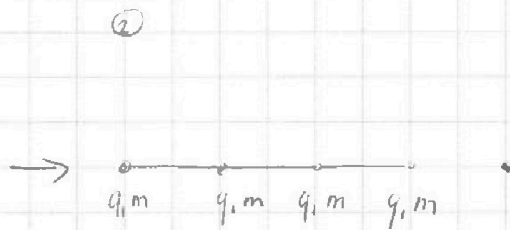
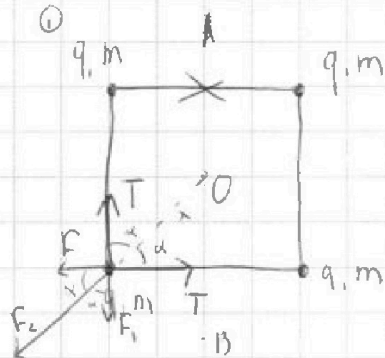
1 2 3 4 5 6 7

МФТИ

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



- 5
1) a, T, ϵ_0
2) k
3) d



1) Заметим, что картина симметрична. Рассчитаем силу на один из зарядов. F_2, F_1 - силы Кулона. F_2 - гравитация по диагонали, F_1 - пружина

$$F_2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q^2}{2a^2} \quad \text{или } F_2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q^2}{a^2} \quad \text{векторная сумма}$$

Заметим, что ЦМ системы в равновесии, \Rightarrow он не движется, т.е. шар покоится и ускорения нет.

$$\Rightarrow \text{или } 2T \cdot \cos \alpha = F_2 + 2F_1 \cos \alpha \quad \alpha = 45^\circ \quad \cos \alpha = \frac{\sqrt{2}}{2}$$

$$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q^2}{a^2} \left(\frac{1}{2} + 2 \cos \alpha \right) = 2T \cos \alpha \quad q = 2a \cdot \sqrt{\frac{\pi\epsilon_0 2T}{2\sqrt{2} + 1}}$$

2) Заметим, что т.е. вычитаем сила нет, но ЦМ покоится, его ускорения скорости 0. \Rightarrow Он будет там же, где и находится. Картина симметрична от AB \Rightarrow линия проходит через O и AB.



Там же заметим, что работа сил Кулона в этой системе ускорение каждого шара направлено по OX и скорость там (по выводу) по той траектории, \Rightarrow шар покоится $k=0$



Вычитаем систему начальных положений
Заметим по 1. Вычитаем $d = \left(a^2 + \frac{a^2}{2} \right)^{1/2} = \frac{a}{2} \sqrt{5}$

Ответ: $q = 2a \sqrt{\frac{2\pi\epsilon_0 T}{2\sqrt{2} + 1}}$ н1, $k=0$ н2, $d = \frac{a}{2} \sqrt{5}$

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!



300

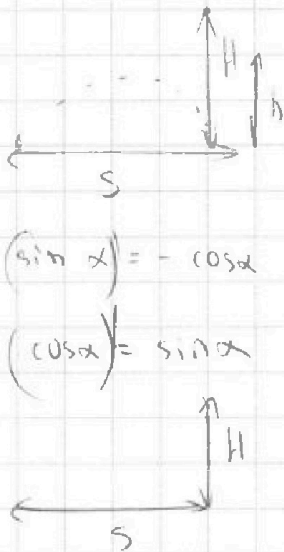
$$\frac{h \cdot \omega^2}{c^2} \quad \frac{\omega^2}{c}$$

$x = 8,31$
 $\frac{300}{2493}$
 $v \rightarrow$
 α
 L
 $g \tau = v \sin \alpha$
 $\tau = \frac{v \cos \alpha}{g}$

$$L = v \cos \alpha \tau = 2z$$

$$\Rightarrow h = \frac{v^2 \sin \alpha \cos \alpha \cdot 2}{g} = \frac{v^2 \sin 2\alpha}{g}$$

4200



$$S = v \cos \alpha \cdot t \quad t = \frac{S}{v \cos \alpha}$$

$$H = v \sin \alpha \cdot t - \frac{g t^2}{2}$$

$$H = v \cos \alpha \cdot S / v \cos \alpha - \frac{g}{2} \frac{S^2}{v^2 \cos^2 \alpha}$$

$$H' = S \frac{(-\cos \alpha) \cos \alpha - \sin \alpha \cdot \sin \alpha}{\cos^3 \alpha} - \frac{g S^2}{2 v^2 \cos^3 \alpha}$$

$$= 0 \quad 1 + \frac{\sin^2 \alpha}{\cos^2 \alpha} = \frac{g S}{4 v^2 \cos \alpha \sin \alpha}$$

$$\frac{\cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha}{\cos^2 \alpha} = \frac{-g S}{4 v^2 \cos \alpha \sin \alpha}$$

$$\frac{g S}{4 v^2} = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = -\tan \alpha$$

1600

$$H_{max} \frac{g S}{4 v^2} = S = \frac{4 v^2}{g} \tan \alpha$$

$$6 \frac{m}{c^2}$$

4

$$\frac{4200}{1600} = \frac{26}{42} = \frac{13}{21}$$



$$\frac{mv^2}{2} = k$$

$$v^2 = \alpha$$

Q x cost

2 cos

$$C = \frac{Q}{v_0 T}$$

$$A_{31} = v_0 T (C - C_0)$$

$$Q = A_{31} C_0 v_0 T$$

C/v_0 T



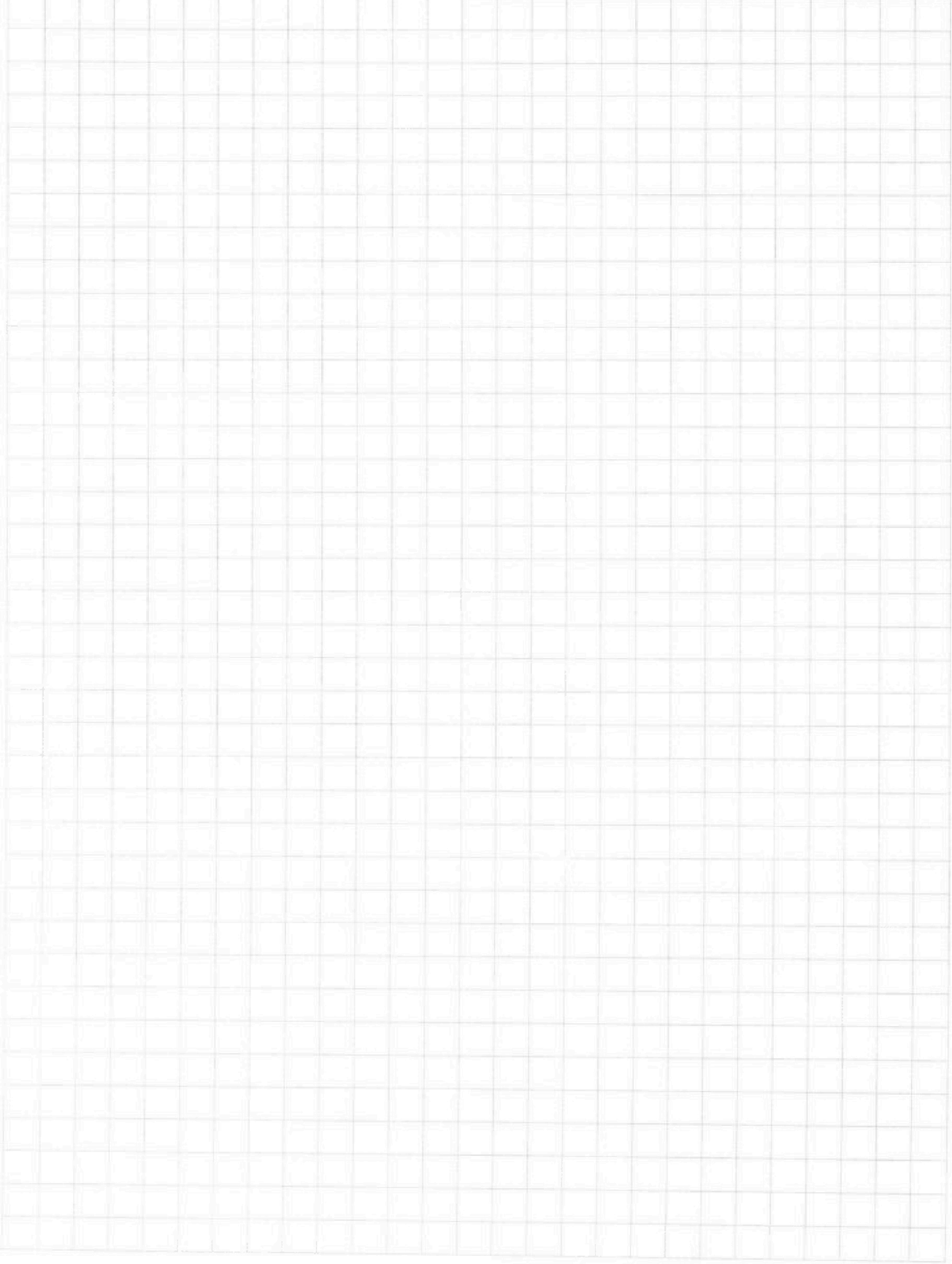
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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!





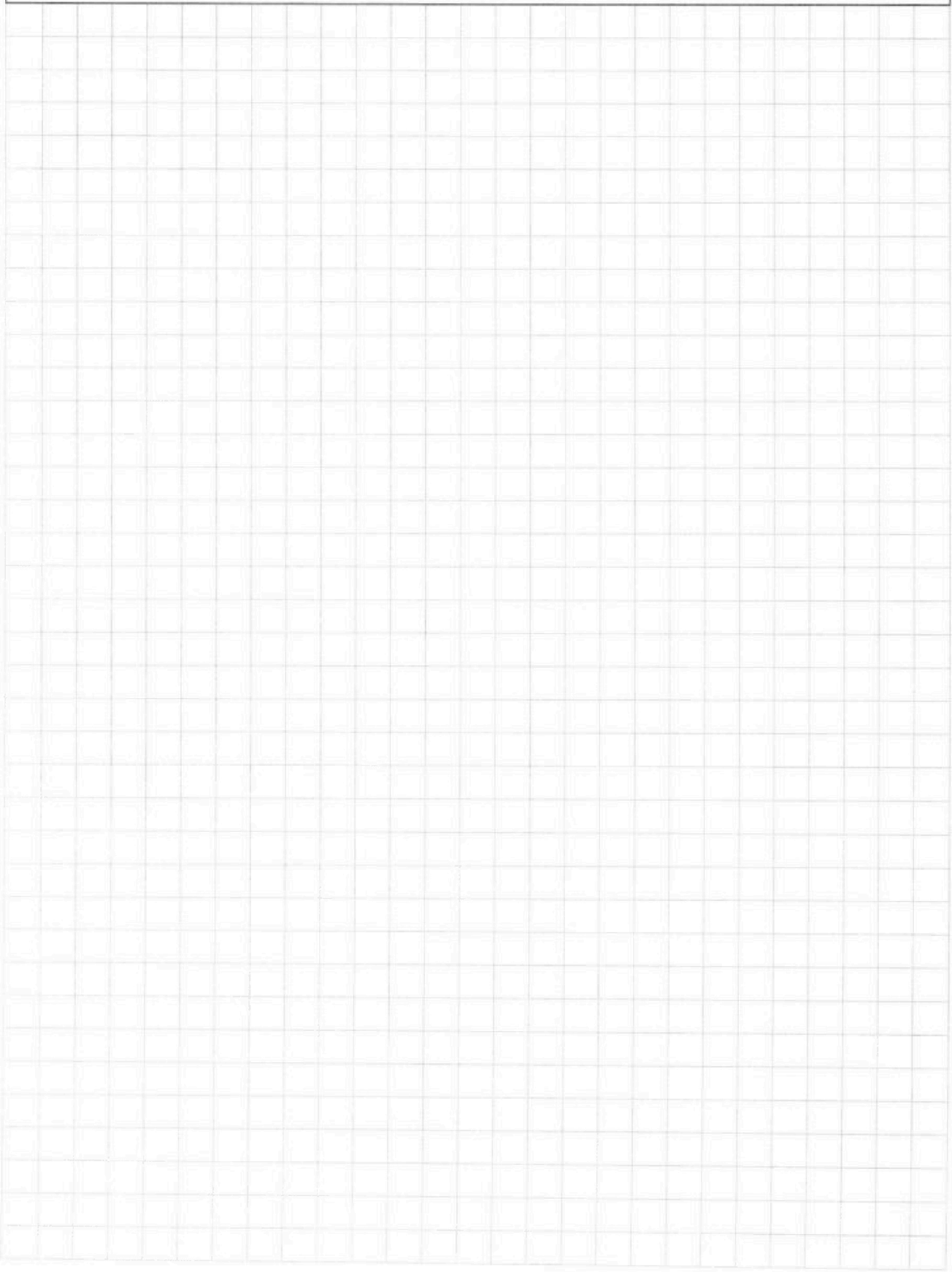
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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!

