

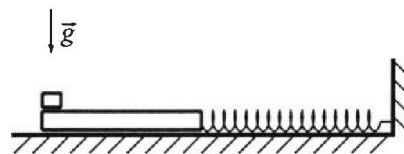
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2025

Вариант 11-04

В ответах всех задач допустимы обыкновенные дроби
и радикалы.



1. Длинную доску массой $M = 4$ кг удерживают на горизонтальной гладкой поверхности. На одном конце доски лежит небольшой брусок массой $m = 1$ кг, а в другой конец упирается легкая сжатая пружина жёсткостью $k = 100$ Н/м, прикрепленная к стенке. Коэффициент трения скольжения бруска по доске $\mu = 0,4$. Доску отпускают, она начинает движение, а брусок начинает двигаться относительно доски. Начальное сжатие пружины подобрано так, что в момент, когда ускорение доски почти достигает нуля первый раз, относительное движение бруска по доске прекращается. Ускорение свободного падения $g = 10$ м/с². Число «пи» в расчётах можете считать равным $\pi \approx 3$. Груз и доска всё время движутся в одной вертикальной плоскости.

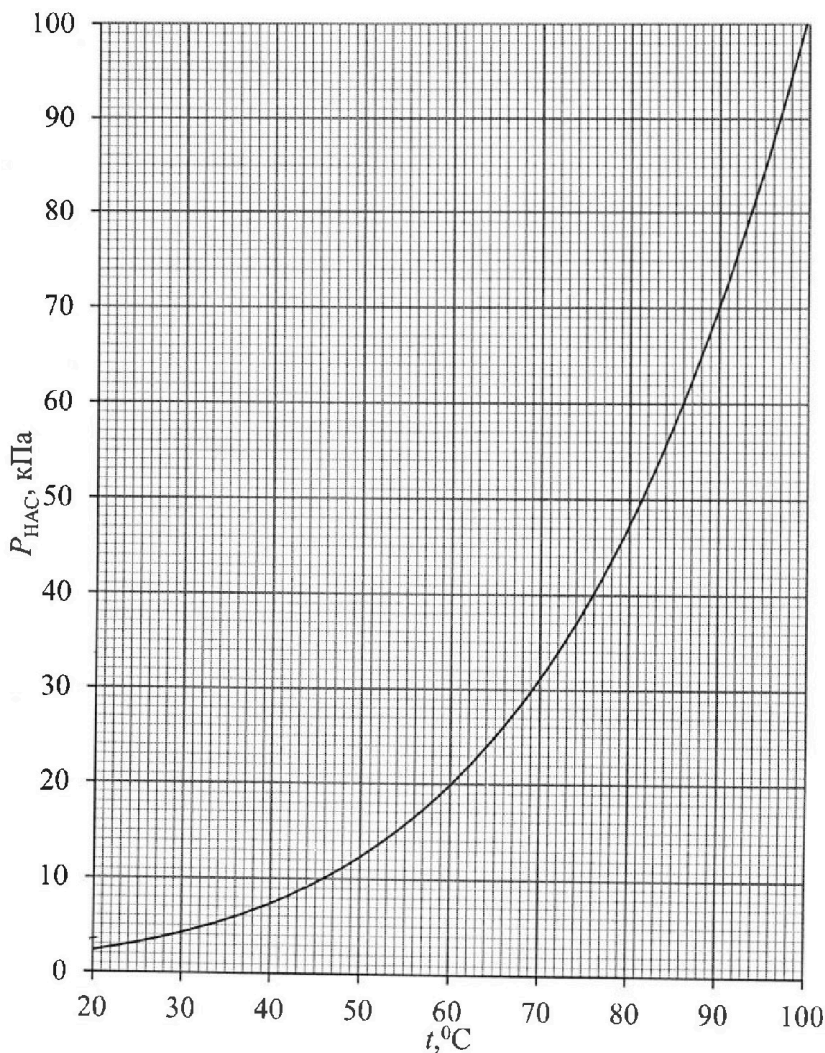


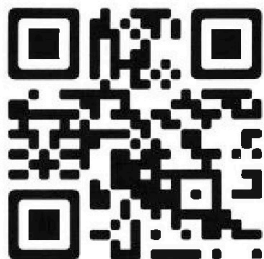
- 1) Найдите сжатие пружины в момент времени, когда относительное ускорение бруска и доски станет равным нулю, впервые после начала движения.
- 2) Найдите ускорение доски сразу после начала движения.
- 3) Найдите скорость доски в момент времени, когда относительное ускорение бруска и доски станет равным нулю, впервые после начала движения.

2. В сосуде постоянного объема находятся в равновесии влажный воздух при температуре $t_0 = 27$ °С и жидкая вода. Масса жидкой воды в 7 раз больше массы пара. Содержимое сосуда постепенно нагревают до температуры $t = 90$ °С. В результате вся вода превращается в пар. Известен график зависимости давления насыщенного пара воды от температуры.

- 1) Найти отношение масс пара в конце и в начале нагревания.
- 2) Найти температуру t^* , при которой прекратится испарение воды.
- 3) Найти относительную влажность φ в конце нагревания.

Объём жидкости по сравнению с объёмом газа можно пренебречь. Пар считать идеальным газом.





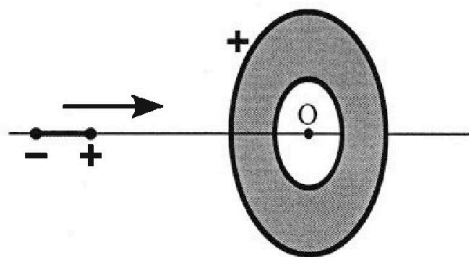
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2025

Вариант 11-04

В ответах всех задач допустимы обыкновенные дроби
и радикалы.



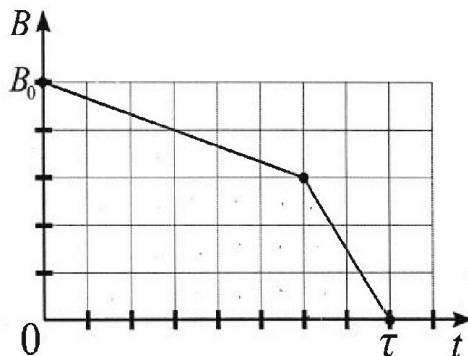
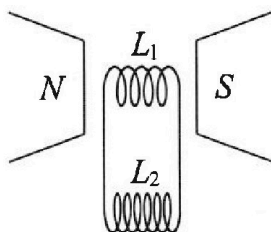
3. В плоском тонком диске в форме круга имеется круглое отверстие (см. рис.). Центры диска и отверстия совпадают в точке O . Диск имеет однородно распределенный по поверхности положительный заряд. Система из двух жестко связанных равных по модулю и противоположных по знаку точечных зарядов (диполь) движется с некоторой начальной скоростью из бесконечно удаленной точки вдоль оси симметрии диска и пролетает через отверстие. Заряды диполя находятся на маленьких шариках, на диполь действуют только силы электрического поля диска, диск закреплен, при пролете диполь не отклоняется от оси диска. Минимальная начальная скорость диполя, необходимая для пролета, равна V_0 . Заряды диполя уменьшают по модулю в 3 раза и сообщают диполю начальную скорость V_0 .



1) Найти скорость диполя при пролете центра диполя через центр отверстия.

2) Найти отношение максимальной и минимальной скоростей диполя при пролете.

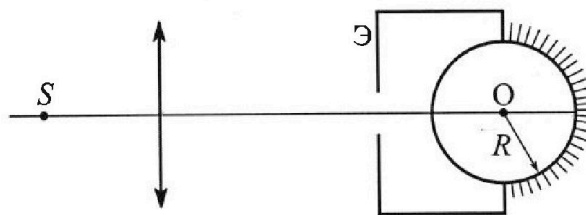
4. Катушка индуктивностью $L_1 = 5L$ с числом витков n и площадью каждого витка S_1 находится во внешнем однородном магнитном поле с индукцией B_0 . Силовые линии поля перпендикулярны плоскости каждого витка. Вторая катушка индуктивностью $L_2 = 8L$ находится вне поля (см. рис.). Сопротивление катушек и соединительных проводов пренебрежимо мало. Изначально тока в катушках нет. Внешнее поле выключают в течение времени τ . Зависимость индукции внешнего поля от времени показана на рисунке. Взаимной индуктивностью катушек пренебречь.



1) Найти ток I_0 через катушку L_2 в конце выключения внешнего поля.

2) Найти заряд, протекший через катушку L_2 за время выключения внешнего поля.

5. На главной оптической оси тонкой собирающей линзы расположены центр O прозрачного шара радиуса R и точечный источник S , удаленный от линзы на расстояние $a = 4,5R$ (см. рис.). На поверхность шара, противоположную поверхности входа лучей, нанесено идеально отражающее зеркальное покрытие. С шаром жестко скреплен непрозрачный экран $\mathcal{E}$ с небольшим круглым отверстием. Если шар расположен так, что расстояние от центра линзы до ближайшей к нему точки шара равно $b = 8R$, то изображение источника в системе «линза-шар» совпадает с самим источником при любом показателе преломления вещества шара.



1) Найти фокусное расстояние линзы F .

После того, как центр шара переместили вдоль оптической оси так, что расстояние от него до центра линзы уменьшилось на $\Delta = 3R$, изображение источника снова совпало с самим источником.

2) Найти показатель преломления вещества шара.

Отражение света от наружной поверхности шара пренебрежимо мало. Экран $\mathcal{E}$ обеспечивает малость углов α лучей (падающих на шар) с оптической осью и справедливость приближения $\sin \alpha \approx \alpha$.

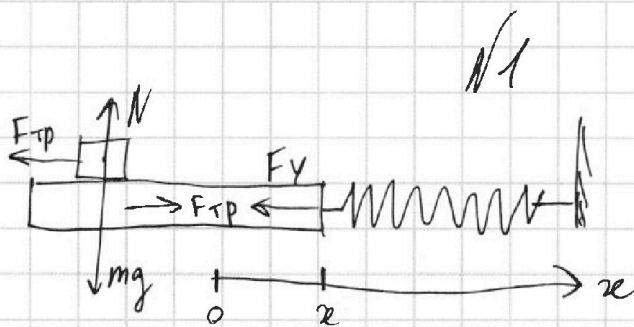


На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

1 ☒ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐

СТРАНИЦА
1 из 2

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!



1) $F_{тр} = ma$, 2-й зак. Ньютона.
 $F_y - F_{тр} = Ma$, 2 з.Н.

$N = mg$ $F_{тр} = \mu N = \mu mg$
 $F_y = kx$

$\mu mg = ma$, $a = \mu g$

$kx - \mu mg = \mu Mg$

$x_1 = \frac{\mu g (M+m)}{k} = \frac{0,4 \cdot 10 \cdot 5}{100} \text{ м} = 0,2 \text{ м}$

2) $kx - \mu mg = -Ma$ 2 з.Н. для доски на ось x

$\ddot{x} + \frac{k}{M} x = \frac{\mu mg}{M}$

$\omega = \sqrt{\frac{k}{M}}$

$x = A \cdot \cos(\omega t + \varphi) + B$

$\dot{x} = -\omega A \sin(\omega t + \varphi) = -\mu g t$

$\ddot{x} = -\omega^2 A \cos(\omega t + \varphi) = 0$

$-\omega A \sin \varphi = 0$ тк

доска стоит $\Rightarrow \varphi = 0$

← скорость бруска в направлении оси x
 ускор. дос. = 0
 - когда ~~ускорение~~ и
 скорости
 равнялись
 в начальный момент



На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

1 ☒ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐

СТРАНИЦА
2 из 2

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!

$$A^2 = \left(\frac{\mu g t}{w}\right)^2 + \left(\frac{\mu g}{w^2}\right)^2 = \left(\frac{\mu g}{w}\right)^2 \left(t^2 + \frac{1}{w^2}\right)$$

$$a_0 = -\ddot{x}(0) = w^2 A \cos 0 = w^2 A$$

$$w^2 A = \mu g \sqrt{w^2 t^2 + 1}$$

$$\mu g \sqrt{w^2 t^2 + 1} = \mu g \sqrt{\frac{k t^2}{M} + 1}$$

$$\frac{\mu g (w t)}{w} = t \Rightarrow \frac{\mu g (w t)}{w} = w t$$

$$\cos w t = 0 \Rightarrow w t = \frac{\pi}{2}$$

$$\text{в первый раз } t = \frac{\pi}{2w} \quad \sin w t = 1$$

$$w A = \mu g t = \frac{\mu g \pi}{2w}$$

$$A = \frac{\pi \mu g}{2 w^2} = \frac{\pi \mu g}{2} \cdot \frac{M}{k}$$

$$a_0 = -\ddot{x}(0) = w^2 A = \frac{\pi \mu g}{2} = \frac{3 \cdot 0,4 \cdot 10}{2} \frac{\text{м}}{\text{с}^2} = 6 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

$$\ddot{x}_1 = -w^2 A \cos w t_1 = -a_1 = -\mu g \Rightarrow \cos w t_1 = \frac{\mu g}{w^2 A}$$

$$\dot{x}_1 = -w A \sin w t_1 = -w A \sqrt{1 - \left(\frac{\mu g}{w^2 A}\right)^2} = -A \sqrt{w^2 - \left(\frac{\mu g}{w A}\right)^2}$$

$$U_1 = -\dot{x}_1 = A \sqrt{w^2 - \left(\frac{\mu g}{w A}\right)^2} = \sqrt{w^2 A^2 - \left(\frac{\mu g}{w}\right)^2}$$

$$= \frac{\pi \mu g M}{2 k} \sqrt{\frac{k}{M} - \frac{4 \mu^2 g^2 M k^2}{k \cdot \pi^2 \mu^2 g^2 M^2}} = \sqrt{\frac{\pi^2 \mu^2 g^2 M}{4 k} - \frac{\mu^2 g^2 M}{k}} =$$

$$= \mu g \sqrt{\frac{M}{k} \left(\frac{\pi^2}{4} - 1\right)} = \mu g \sqrt{\frac{M}{k} \cdot \frac{5}{4}} = \frac{\mu g}{2} \sqrt{\frac{5M}{k}} = \frac{2}{\sqrt{5}} \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Ответ: $x_1 = \frac{\mu g (M+m)}{k} = 0,2 \text{ м}$, $a_0 = \frac{\pi \mu g}{2} = 6 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$, $U_1 = \frac{\mu g}{2} \sqrt{\frac{5M}{k}} = \frac{2}{\sqrt{5}} \frac{\text{м}}{\text{с}}$



На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

1 ☐ 2 ☒ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐

СТРАНИЦА
1 из 1

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!

$\sqrt{2}$

$$m_n = m$$

$$m_x = 4m$$

$$m_n' = m_n + m_x = 8m$$

$$1) \frac{m_n'}{m_n} = 8$$

$$p_n V = \frac{m}{\mu} R T_0$$

$$T_0 = t_0 + 273 K = 300 K$$

$$p_n' V = \frac{8m}{\mu} R T'$$

$$T' = t' + 273 K$$

$$\frac{p_n'}{p_n} = \frac{8 T'}{T_0}$$

$p_n = 3,5 \text{ кПа}$ — из графика

$$\Rightarrow \frac{p_n'}{T'} = \frac{8 p_n}{T_0} = \frac{28 \text{ кПа}}{300 K}$$

$$\frac{p_n'}{T'} = \frac{28 \text{ кПа}}{300 K} \approx \frac{32 \text{ кПа}}{344 K}$$

$$p_n' = 32 \text{ кПа}$$

$$T' = 344 K$$

$$t' = 71^\circ \text{C}$$

$$\varphi = \frac{p_n'}{p_{n90}}$$

$$\varphi \approx 46\%$$

$$\frac{32}{40}$$

$$= \frac{16}{35}$$

$$\approx 0,46$$

$p_{n90} = 40 \text{ кПа}$ — p_n при $t = 90^\circ \text{C}$

Ответ: $\frac{m_n'}{m_n} = 8$, $t' \approx 71^\circ \text{C}$, $\varphi \approx 46\%$



На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

1 ☐ 2 ☐ 3 ☒ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐

СТРАНИЦА
1 из 1

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!

№3

$$W_0 + \frac{m v_0^2}{2} = W + \frac{m v^2}{2}$$

*

$W_0 = 0$ начальная потенциальная энергия взаимодействия диска с ~~ка~~ диском
(без учета взаимодействия ^{летящих собою} зарядов внутри диска и без учета взаимодействия ^{летящих собою} зарядов в центре диска) ~~и~~ (т.к. их взаимодействия не помнят)

$W = 0$ в силу симметрии ~~энерг~~ энергия взаимодействия $-q$ с зарядами диска будет равна по модулю и противоположна по ~~знаку~~ ^{энергии внутр.} $+q$ с зар. диска (...)

$$\Rightarrow \frac{m v_0^2}{2} = \frac{m v^2}{2} \Rightarrow v_0 = v$$

$$\frac{m v_0^2}{2} = W_{\max} - \text{максимальная потенциальная энергия при первом пролете}$$

$$W_{\min} = -W_{\max} - \text{в силу симметрии}$$

$$\frac{m v_0^2}{2} = \frac{m v_{\min}^2}{2} + W_{\max} = \frac{m v_{\min}^2}{2} + \frac{m v_0^2}{6}$$

$$\frac{m v_0^2}{2} = \frac{m v_{\max}^2}{2} + \frac{W_{\min}}{3} = \frac{m v_{\max}^2}{2} - \frac{m v_0^2}{6} \quad \text{заряды уменьшились в 3 раза}$$

$$\frac{v_{\max}}{v_{\min}} = \sqrt{2} \quad \text{Ответ: } v = v_0, \quad \frac{v_{\max}}{v_{\min}} = \sqrt{2} \quad v_{\min} = \frac{2 v_0^2}{v} \Big|_{v_{\max} = \frac{4 v_0^2}{3}}$$



На одной странице можно оформлять **только одну задачу**. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☒ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐

СТРАНИЦА
1 из 2

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!

$$\mathcal{E} = - \frac{d\Phi_1}{dt} = - \frac{d\Phi_2}{dt}$$

$$n \frac{d\Phi_1}{dt} = - \frac{dB}{dt} n S_1 - L_1 \frac{dI}{dt}$$

$$\frac{d\Phi_2}{dt} = L_2 \frac{dI}{dt}$$

$$- \frac{dB}{dt} n S_1 = (L_1 + L_2) \frac{dI}{dt}$$

$$- dB n S_1 = (L_1 + L_2) dI \quad (B_0 - B) n S_1 = (L_1 + L_2) I$$

$$-(0 - B_0) n S_1 = B_0 n S_1 = (L_1 + L_2) (I_0 - 0) = (L_1 + L_2) I_0$$

$$I_0 = \frac{B_0 n S_1}{L_1 + L_2} = \frac{B_0 n S_1}{13L}$$

$$q = \int_0^T I dt = \int_0^T \frac{B_0 - B}{L_1 + L_2} n S_1 dt =$$

$$= \frac{B_0 n S_1 T}{L_1 + L_2} - \frac{n S_1}{L_1 + L_2} \left(\int_0^T B dt \right) = \frac{B_0 n S_1 T}{L_1 + L_2} - \frac{24 B_0 n S_1}{40 (L_1 + L_2)}$$

$$\int_0^T B dt = (B_0 \cdot \frac{6}{8} T) - \left(\frac{\frac{2}{5} B_0 \cdot \frac{6}{8} T}{2} + \frac{\frac{3 B_0}{5} \cdot \frac{2}{8} T}{2} \right)$$

↑ *математическое ожидание B(t)*

$$= \frac{3}{4} B_0 T - \frac{3}{20} B_0 T + \frac{3 B_0 T}{40} = \frac{30 B_0 T - 3 B_0 T}{40} = \frac{27 B_0 T}{40}$$



На одной странице можно оформлять **только одну** задачу. Отметьте **крестиком** номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐

СТРАНИЦА
2 ИЗ 2

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!

$$q = \frac{B_0 n S_1 T (40 - 24)}{40(L_1 + L_2)} = \frac{13 B_0 n S_1 T}{40(L_1 + L_2)} = \frac{B_0 n S_1 T}{40L}$$

Ответ: $I_0 = \frac{B_0 n S_1}{L_1 + L_2} = \frac{B_0 n S_1}{13L}$

$$q = \frac{13 B_0 n S_1 T}{40(L_1 + L_2)} = \frac{B_0 n S_1 T}{40L}$$



На одной странице можно оформлять **только одну** задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в **решении каждой задачи отдельно**.

1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☒ 6 ☐ 7 ☐

СТРАНИЦА
2 из 2

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!

$2\alpha = 4\beta = \gamma$
 $n\alpha = \gamma - \beta = 4\beta - \beta = 3\beta$
 $n = \frac{3}{2} = 1,5$
~~Ответ: $F = 3R$~~
 $A = 1,5$

$(\Delta + R) \operatorname{tg} \beta = 2R \operatorname{tg} \alpha = R \operatorname{tg} \gamma$
 так как лучи параллельны
 и то перпендикулярны
 плоскости поверхности сферы
 $(\Delta + R) \beta = 2R \alpha = R \gamma \Rightarrow \alpha = \beta \frac{\Delta + R}{2R} \quad \gamma = \beta \frac{\Delta + R}{R}$
 $n \sin \alpha = \sin(\gamma - \beta) \Rightarrow n\alpha = \gamma - \beta$
 $n = \frac{\gamma - \beta}{\alpha} = \frac{\beta \frac{\Delta + R}{R} - \beta \frac{R}{R}}{\beta \frac{\Delta + R}{2R}} = \frac{2\Delta}{\Delta + R} = \frac{6R}{4R} = 1,5$

Ответ: $F = 3R$, $n = \frac{2\Delta}{\Delta + R} = 1,5$
 $\frac{a(b+R)}{a+b+R}$

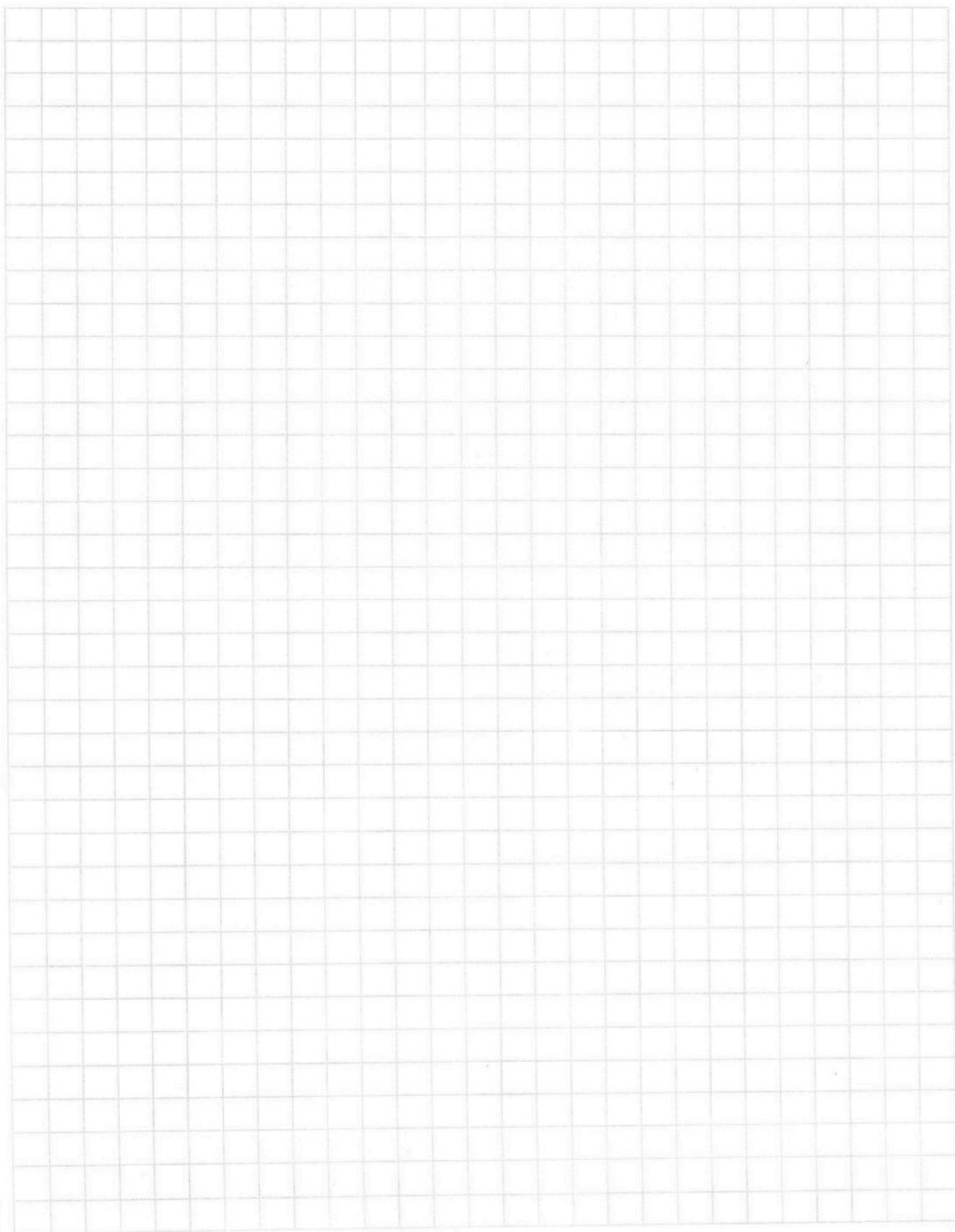


На одной странице можно оформлять **только одну** задачу. Отметьте **крестиком** номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

СТРАНИЦА
__ ИЗ __

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!





На одной странице можно оформлять **только одну** задачу. Отметьте **крестиком** номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении **каждой задачи отдельно**.

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

СТРАНИЦА
__ ИЗ __

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. **Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно.** Порча QR-кода недопустима!

