



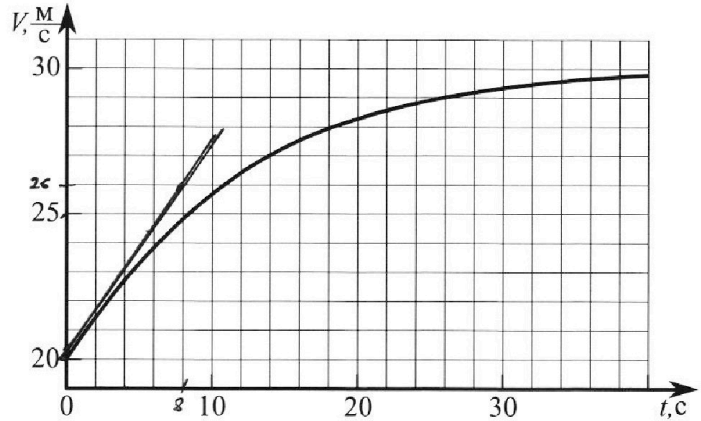
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

Вариант 11-04



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

1. Мотоциклист массой (вместе с мотоциклом) $m = 240$ кг движется с постоянной скоростью и затем разгоняется на прямолинейном горизонтальном участке дороги так, что мощность, передаваемая от двигателя на ведущее колесо, остается постоянной. График зависимости скорости от времени при разгоне показан на рисунке. В конце разгона сила сопротивления движению равна $F_k = 200$ Н.



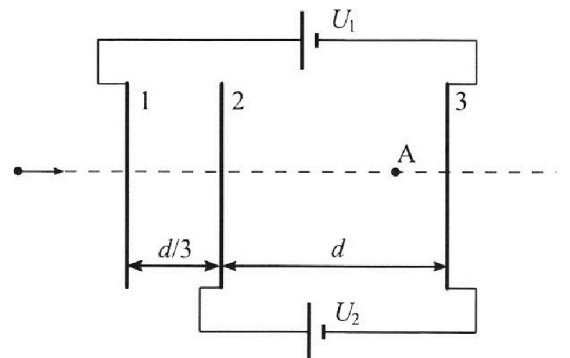
- Используя график, найти ускорение мотоцикла в начале разгона.
- Найти силу сопротивления движению F_0 в начале разгона.
- Какая часть мощности, передаваемой на ведущее колесо, идет на преодоление силы сопротивления движению в начале разгона? Требуемая точность численного ответа на первый вопрос ориентировочно 10%.

2. Герметичный вертикальный цилиндрический сосуд объёмом V разделён тонким невесомым теплопроводящим герметичным поршнем (диск соосный с сосудом) на две равные части. Поршень может перемещаться без трения. В верхней части цилиндра находится углекислый газ, а в нижней - вода и углекислый газ. В начальный момент система находилась в равновесии при комнатной температуре T_0 . При этом жидкость занимала объём $3V/8$. Затем цилиндр медленно нагрели до $T = 4T_0/3 = 373$ К. Установившийся объём его верхней части стал равен $V/8$.

По закону Генри, при заданной температуре количество $\Delta\nu$ растворённого газа в объёме жидкости ν пропорционально парциальному давлению p газа: $\Delta\nu = k\nu p$. Объём жидкости при этом практически неизменен. Для углекислого газа константа Генри для данной комнатной температуры $k \approx 0,6 \cdot 10^{-3}$ моль/(м³·Па). При конечной температуре T углекислый газ в воде практически не растворяется. Можно принять, что $RT \approx 3 \cdot 10^3$ Дж/моль, где R - универсальная газовая постоянная. Давлением водяных паров при комнатной температуре и изменением объёма жидкости в процессе нагревания пренебречь. Все газы считать идеальными.

- Найти отношение количеств вещества в газообразном состоянии в верхней и нижней частях до нагревания.
- Определите начальное давление в сосуде P_0 . Ответ выразить через $P_{\text{атм}}$ (нормальное атмосферное давление) с числовым коэффициентом в виде обыкновенной дроби.

3. Три проводящие плоские мелкие сетки находятся друг напротив друга на расстояниях d и $d/3$ (см. рис.). Размеры сеток значительно больше d . Изначально сетки не заряжены. К сеткам подсоединили источники с напряжением $U_1 = 5U$ и $U_2 = U$. Частица массой m и зарядом $q > 0$ движется по направлению к сеткам и перпендикулярно сеткам, имея скорость V_0 на расстоянии от сеток, намного большем их размеров. Частица пролетает через сетки, не отклоняясь от прямолинейной траектории. Заряд q намного меньше модуля зарядов сеток.



- Найти модуль ускорения частицы в области между сетками 2 и 3.
- Найти разность $K_3 - K_2$, где K_2 и K_3 — кинетические энергии частицы при пролете сеток 2 и 3.
- Найти скорость частицы в точке А на расстоянии $3d/4$ от сетки 2.

Олимпиада «Физтех» по физике,
февраль 2023

Вариант 11-04

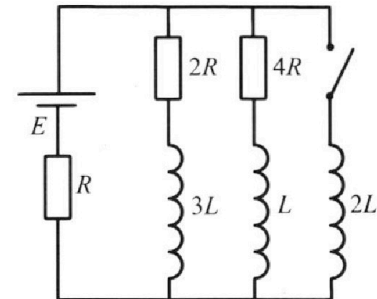
Во всех задачах, в ответах допустимы обыкновенные дроби
и радикалы.



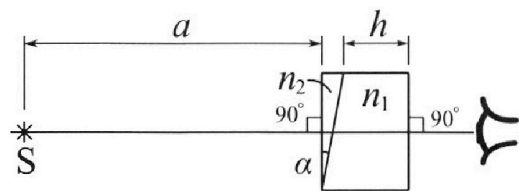
4. Параметры цепи указаны на схеме, все элементы идеальные. Ключ разомкнут, режим в цепи установился. Затем ключ замыкают.

- 1) Найти ток I_{20} через резистор с сопротивлением $4R$ при разомкнутом ключе.
- 2) Найти скорость возрастания тока в катушке индуктивностью $2L$ сразу после замыкания ключа.
- 3) Какой заряд протечет через резистор с сопротивлением $4R$ при замкнутом ключе?

Ответы давать с числовыми коэффициентами в виде обыкновенных дробей.



5. Оптическая система состоит из двух призм с показателями преломления n_1 и n_2 и находится в воздухе с показателем преломления $n_v = 1,0$. Точечный источник света S расположен на расстоянии $a = 100$ см от системы и рассматривается наблюдателем так, что источник и глаз наблюдателя находятся на прямой, перпендикулярной наружным поверхностям призм (см. рис.). Угол $\alpha = 0,1$ рад можно считать малым, толщина $h = 14$ см. Толщина призмы с показателем преломления n_2 на прямой «источник – глаз» намного меньше h . Отражения в системе не учитывать.



(см. рис.). Угол $\alpha = 0,1$ рад можно считать малым, толщина $h = 14$ см. Толщина призмы с показателем преломления n_2 на прямой «источник – глаз» намного меньше h . Отражения в системе не учитывать.

- 1) Считая $n_1 = n_v = 1,0$, $n_2 = 1,7$, найдите на какой угол отклонится системой луч, идущий от источника перпендикулярно левой грани системы.
- 2) Считая $n_1 = n_v = 1,0$, $n_2 = 1,7$, найдите расстояние между источником и его изображением, которое будет видеть наблюдатель.
- 3) Считая $n_1 = 1,4$, $n_2 = 1,7$, найдите на каком расстоянии от источника будет его изображение, которое увидит наблюдатель.

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 1) ~~а~~ $a = \sqrt{cH} = 6g$ - минимуме угла наклона касательной

Проверим касательную k точку g начави радиуса a найдем минимуме

$$6g \sin \alpha = \frac{2g - 2g}{3} = \frac{6}{3} = \frac{3}{4} = 0,75 \quad a_0 = 0,75 \text{ мс}^2$$

Ответ: $0,75 \text{ мс}^2$

2) В конце скорость велосипедиста на касательную $v = 30 \text{ мс}$

Мощность $P = F_p \cdot v = \text{const}$ ускорение в конце 0, значит

$$F_x = F_{g_0} = 200 \text{ Н} \quad \text{Потенциал} \quad P = 200 \cdot 30 = 6 \text{ кВт}$$

В начале разгон $a_0 = 0,75 \text{ мс}^2$ $v_0 = 20 \text{ мс}$

$$m a_0 = F_{g_0} - F_0 = \frac{P}{v_0} - F_0 \quad F_0 = \frac{P}{v_0} - m a_0 = \frac{6000}{20} - 200 \cdot 0,75 =$$
$$= 300 - 150 = 150 \text{ Н} \quad \text{Ответ: } 120 \text{ Н}$$

3) $P = F_0 v_0 + m a_0 v_0$ На протяжении сил сопротивления уменьш мощность $F_0 v_0$

$$\frac{F_0 v_0}{P} = \frac{120 \cdot 20}{6000} = \frac{2400}{6000} = \frac{4}{10} = 0,4 = 40\% \quad \text{Ответ: } 40\%$$

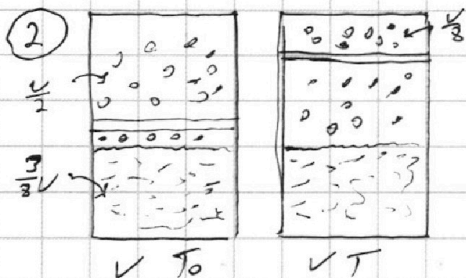
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

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!



1) Формулы уравниваем, дающие снизу и сверху равно p_0

$$p_0 \frac{V}{2} = \rho_0 R T_0 \quad p_0 \left(\frac{V}{2} - \frac{2V}{3} \right) = \rho_0 R T_0$$

$$\Delta Q_H = k p_0 \frac{3V}{2} \quad \rho_0 V = 2 R T_0 \quad \rho_0 V = 3 R T_0$$

$$\frac{\rho_0 V}{2} = \frac{\rho_0 V}{3} = \frac{\rho_0 V}{2 R T_0} \left(\frac{\rho_0 V}{2 R T_0} + \frac{3}{2} k p_0 V \right) = \frac{\rho_0 V}{2 R T_0} \left(\frac{\rho_0 V}{2 R T_0} + 3 k p_0 R T_0 \right) = \frac{4}{1 + 3 k R T_0}$$

$$R T_0 = \frac{4}{3} R T_0 = 3 \cdot 10^3 \quad R T_0 = \frac{9}{4} \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{моль}} \quad \rho_0 = \frac{4}{1 + 3 \cdot 0.6 \cdot 10^3 \cdot 2 \cdot 10^8} = \frac{80}{101}$$

Ответ: $\frac{80}{101}$

$$2) \rho_0 \frac{V}{2} = \rho_0 R T = \frac{4}{3} \rho_0 R T_0 = \frac{4}{3} \rho_0 \frac{V}{2} \quad \rho_0 = \frac{16}{3} \rho_0$$

$$\rho_0 = \rho_H + \rho_{CH} \quad \rho_H (3 R T) = \rho_{ATM} \quad \rho_{CH} \frac{V}{2} = \rho_{ATM} R T = \frac{4}{3} \frac{101}{3} \rho_0 R T_0$$

$$\rho_0 \frac{V}{2} = 60 \rho_0 \frac{V}{2} \quad \rho_{CH} = 60 \rho_0 \quad \frac{16}{3} \rho_0 = \rho_{ATM} + 60 \rho_0$$

$$\rho_{ATM} = \rho_0 \left(\frac{16}{3} - 60 \right) = 60 \rho_0 \quad \rho_0 = \frac{60}{219} \rho_{ATM} \quad \text{Ответ: } \frac{60}{219} \rho_{ATM}$$

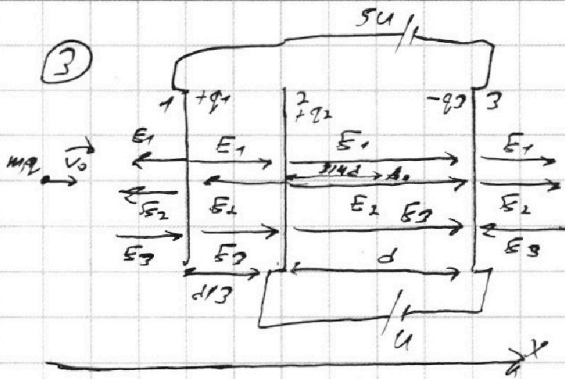
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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!



$$1) U = (E_1 + E_2 + E_3)d = E_2 \cdot 3d$$

$$5U - U = (E_2 + E_3) \cdot \frac{2}{3}d$$

$$4U = (E_2 + E_3) \cdot \frac{2}{3}d \Rightarrow E_2 + E_3 = \frac{6U}{2d} = \frac{3U}{d}$$

$$E_1 + E_2 + E_3 = \frac{4U}{d} \quad E_2 + E_3 = \frac{3U}{d}$$

$$0 = q_1 + q_2 - q_3 \quad q_3 = q_1 + q_2$$

$$\frac{q_1}{\epsilon_0 S} = \frac{q_2}{\epsilon_0 S} = \frac{q_3}{\epsilon_0 S} = \frac{U}{d} \quad \frac{q_1 + q_2}{\epsilon_0 S} = \frac{U}{d} \quad \frac{q_1}{\epsilon_0 S} = \frac{U}{d} \quad \frac{q_2}{\epsilon_0 S} = \frac{U}{d}$$

$$\frac{q_3}{\epsilon_0 S} = \frac{U}{d} \quad m.c. = q E_2 = q \frac{U}{d} \quad q_2 = q U \quad \text{ответ: } m.d$$

$$2) K_3 - K_2 = A_{\text{полн}} = q E_2 \cdot 3d = q U \quad \text{ответ: } q U$$

$$3) \frac{m v_A^2}{2} - \frac{m v_0^2}{2} = A_{12} + A_{2-4} = q E_{12} \frac{d}{3} + q E_{2-3} \frac{2d}{3} = q \cdot 4U + q U \frac{2}{3} =$$

$$= q U (4 + \frac{2}{3}) = \frac{14}{3} q U \quad v_A^2 - v_0^2 = \frac{14}{3} \frac{q U}{m} \quad v_A = \sqrt{v_0^2 + \frac{14}{3} \frac{q U}{m}}$$

$$\text{ответ: } \sqrt{v_0^2 + \frac{14}{3} \frac{q U}{m}}$$

$$\text{Про } E_3 - E_2 - E_1 = \frac{U}{2d} - (-\frac{11U}{2d}) - \frac{6U}{d} = 0$$

Напряженность поля в третьей области 0, так как на частицу не действует сила

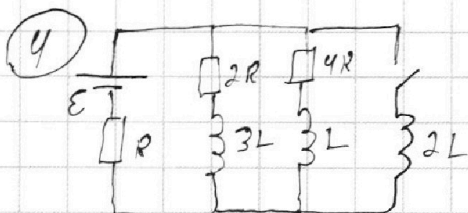
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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!



1) Уст. режим: $U_L = 0$ $U_{3L} = 0$ $I_R = I_{2R} + I_{20}$

~~$U_{2R} = U_{4R}$~~ $I_{2R} \cdot 2R = I_{20} \cdot 4R$ $I_{2R} = 2I_{20}$

$I_R = I_{2R} + I_{20} = 3I_{20}$ $E = I_{20} \cdot 4R + I_R \cdot R =$

$= 4I_{20}R + 3I_{20}R = 7I_{20}R$ $I_{20} = \frac{E}{7R}$ Ответ: $\frac{E}{7R}$

2) Сразу после замыкания тока в катушках не меняется, тогда:

$E = U_{2L} + I_R \cdot R = U_{2L} + 3I_{20}R = U_{2L} + \frac{3}{7}E$ $U_{2L} = \frac{4}{7}E = 2L \frac{dI_{2L}}{dt}$

$\frac{dI_{2L}}{dt} = \frac{2E}{7L}$ Ответ: $\frac{2E}{7L}$

3) Уст. режим: $U_{2L} = 0$ $U_L = 0$ $U_{3L} = 0$ $U_{4R} = 0$ $U_{2R} = 0$ $I = \frac{E}{R}$

Ток течёт только через катушку $2L$ в первоначальный момент:

$U_{2L} = U_L + I_{4R} \cdot 4R$ $2L \frac{dI_{2L}}{dt} = L \frac{dI_L}{dt} + 4R \frac{dI_{4R}}{dt}$

$2L \int_0^I dI_{2L} = L \int_{I_{20}}^0 dI_L + 4R \int_0^{I_{4R}} dI_{4R}$ $2LI = -LI_{20} + I_{4R} \cdot 4R$

$I_{4R} = \frac{2LI + LI_{20}}{4R} = \frac{2L \frac{E}{R} + \frac{E}{7R} L}{4R} = \frac{15LE}{28R^2}$

Ответ: $\frac{15LE}{28R^2}$

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1 2 3 4 5 6 7

МФТИ

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

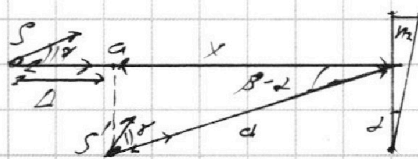


5) 2) Пусть луч идет под углом γ (γ -малый) $n_0 \gamma = n_2 \varphi$

$$n_2(\varphi + 2) = n_1 \theta = n_2 \varphi + n_2 \beta = n_0 \gamma + \beta \quad \theta = \gamma + \beta \quad \text{луч отклонился}$$

на угол $\beta - 2$, значим все лучи отклоняются на этот угол

Это означает то, что ось симметрии лучей отклонилась на угол



$$x = a \cos(\beta - 2) \quad \cos \beta - 2 \approx 1 - \frac{(\beta - 2)^2}{2}$$

Δ - расстояние между симметрией и

$$\Delta = a - x = a(1 - \cos(\beta - 2)) \approx a \frac{(\beta - 2)^2}{2} = 100 \frac{0.0049}{2} = 50 \cdot 0.0049 = 0.245 \text{ см}$$

Ответ: 0.245 см

3) $n_1 = 1.4 \neq n_0$ $n_2 d = n_1 \beta'$ $\beta' = \frac{n_2}{n_1 d} (\beta - 2) n_1 = n_0 \varphi' =$

$$\approx (n_2 - n_1) d \quad \text{лучи будут преломляться на угол } \varphi' = n_1 - n_2 d = 0.03 \text{ рад}$$

После Δ' - расстояние от симметрии до изображения

$$\Delta' = a \frac{d^2}{2} = 50 \cdot 0.0009 = 0.045 \text{ см} \quad \text{Ответ: } 0.045 \text{ см}$$

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!



5



1) На левой границе луч не преломляется

$$n_2 \sin \alpha = n_1 \sin \beta \quad \alpha \text{ - малый} \quad \sin \alpha \approx \alpha$$

$$\alpha n_2 \approx \sin \beta \quad \beta \text{ - малый будет малым} \quad \sin \beta \approx \beta$$

$$\beta \approx \alpha n_2 \quad n_1 \approx n_0 \quad \text{На правой границе луч тоже не преломляется}$$

Углы $\beta - \alpha$ малые $\beta - \alpha \approx \alpha(n_2 - 1) \approx 0,07 \text{ рад}$

Ответ: 0,07 рад

~~2) Пусть луч идет под углом γ к нормали $n_2 \sin \gamma = n_1 \sin \psi$ $n_2(\gamma + \alpha) = n_1 \theta$
 $\theta = \gamma + \beta$
 $n_2 \sin(\gamma + \alpha) = n_1 \sin(\gamma + \beta)$~~

~~луч падает на угол $\beta - \alpha$
 $x = a \cos(\beta - \alpha)$ Δ - расстояние между светлыми и темными полосами~~

~~$$\Delta = a \alpha x = a(1 - \cos(\beta - \alpha)) \quad \cos(\beta - \alpha) \approx 1 - \frac{(\beta - \alpha)^2}{2}$$~~

~~$$\Delta \approx a \frac{(\beta - \alpha)^2}{2} \approx 50 \cdot \frac{0,07^2}{2} \approx 1,245 \text{ см} \quad \text{Ответ: } 1,245 \text{ см}$$~~

~~3) $n_1 = 1,4 \neq n_0$ луч преломится на правой границе~~

~~$$n_2 \sin \beta = n_1 \sin \beta' \quad \beta' = \frac{n_2}{n_1} \beta \quad (\beta - \alpha) n_0 = n_0 \psi \approx (n_2 - n_1) \beta$$~~

~~лучи преломятся на угол $\psi \approx (n_2 - n_1) \beta \approx 0,03 \text{ рад}$ Тогда $\Delta =$~~

~~$$\Delta = a \frac{\psi^2}{2} \approx 50 \cdot \frac{0,03^2}{2} \approx 0,225 \text{ см}$$~~

~~50 * 0,0009 = 0,045 см. Ответ: 0,045 см~~



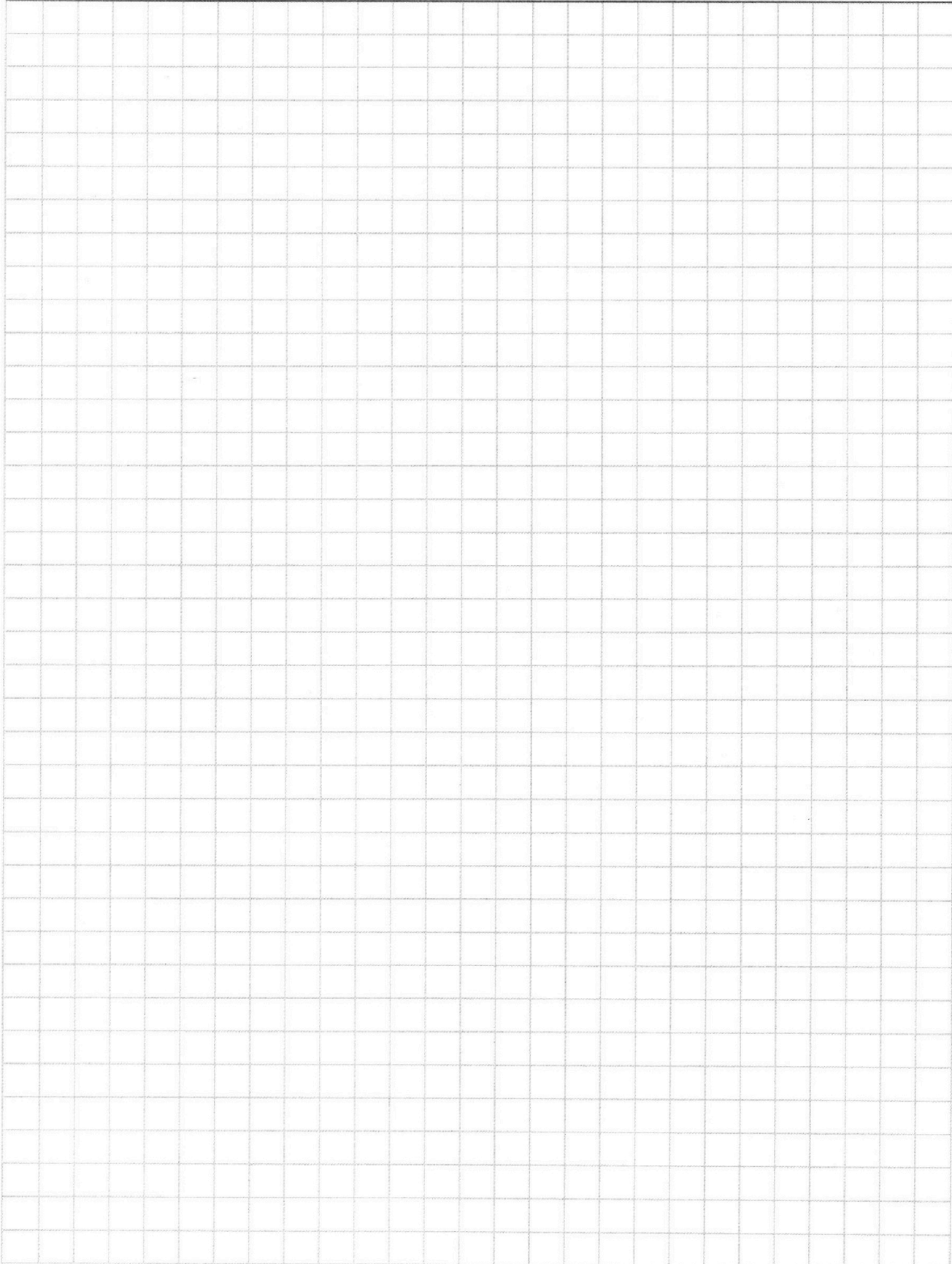
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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!





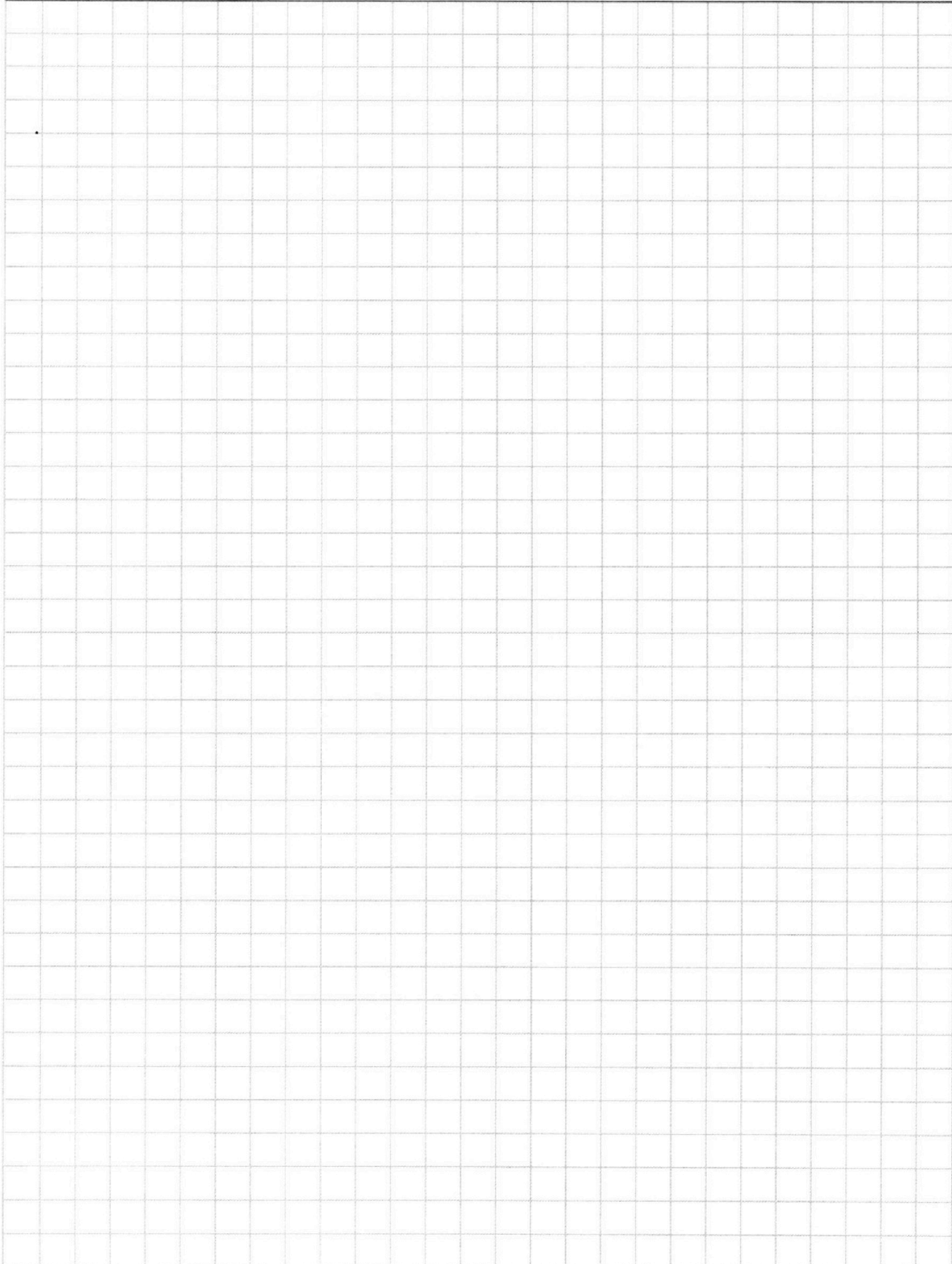
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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!

