



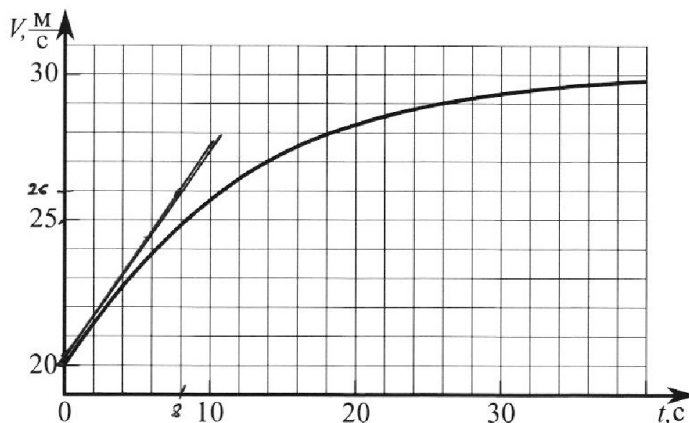
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

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.



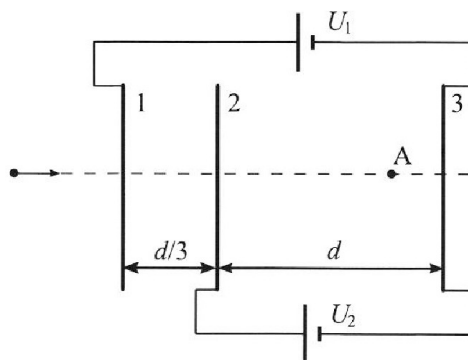
- Используя график, найти ускорение мотоцикла в начале разгона.
- Найти силу сопротивления движению F_0 в начале разгона.
- Какая часть мощности, передаваемой на ведущее колесо, идет на преодоление силы сопротивления движению в начале разгона? Требуемая точность численного ответа на первый вопрос ориентировочно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

2. Герметичный вертикальный цилиндрический сосуд объемом 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 Δv растворённого газа в объёме жидкости w пропорционально парциальному давлению p газа: $\Delta v = kpw$. 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 A на расстоянии $3d/4$ от сетки 2.

Олимпиада «Физтех» по физике,
февраль 2023

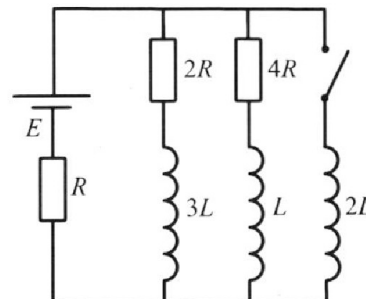
Вариант 11-04

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

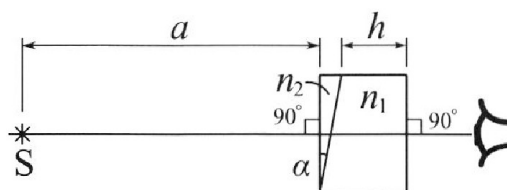
4. Параметры цепи указаны на схеме, все элементы идеальные. Ключ разомкнут, режим в цепи установился. Затем ключ замыкают.

- 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~~ $a = V'(t) = \text{const}$ - минимизация угла наклона касательной

Проверим касательную в точке начала разгона и найдем минимизацию угла наклона

$$b_{\text{до}} = \frac{28-20}{3} = \frac{8}{3} = \frac{3}{4} = 0,75 \quad a_0 = 0,75 \text{ м/с}^2$$

Ответ: $0,75 \text{ м/с}^2$

2) В конце скорость выходя из контактной $V = 30 \text{ м/с}$

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

$$F_k = F_{g_0} = 220 \text{ Н} \quad \text{Найдём } P = 220 \cdot 30 = 6600 \text{ Вт}$$

В начале разгона $a_0 = 0,75 \text{ м/с}^2$ $V_0 = 20 \text{ м/с}$

$$m a_0 = F_{g_0} - F_0 = \frac{P}{V_0} - F_0 \quad F_0 = \frac{P}{V_0} - m a_0 = \frac{6600}{20} - 240 \cdot 0,75 = 330 - 180 = 150 \text{ Н} \quad \text{Ответ: } 150 \text{ Н}$$

3) $P = F_0 V_0 + m a_0 V_0$ На протяжении сн сравниваем сн $F_0 V_0$ и $m a_0 V_0$

$$\frac{F_0 V_0}{P} = \frac{150 \cdot 20}{6600} = \frac{3000}{6600} = \frac{5}{11} \approx 0,45 = 45\% \quad \text{Ответ: } 45\%$$

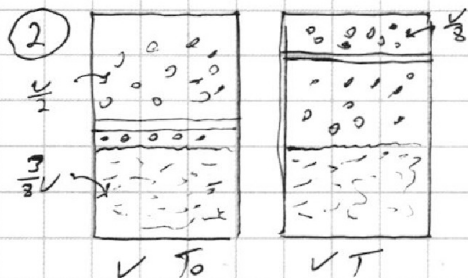
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

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) Формулы уравновешивания, давление снизу и сверху равно p_0

$$p_0 \frac{V}{2} = \nu R T_0 \quad p_0 \left(\frac{V}{2} - \frac{3V}{8} \right) = \nu R T$$

$$\Delta \nu = k p_0 \frac{3V}{8} \quad \nu = \frac{p_0 V}{2 R T_0} \quad \nu = \frac{p_0 V}{3 R T}$$

$$\frac{\nu}{\nu_0} = \frac{p_0}{p_0 + \Delta p} = \frac{p_0 V}{2 R T_0} \left(\frac{p_0 V}{2 R T_0} + \frac{3}{8} k p_0 V \right)^{-1} = \frac{p_0 V}{2 R T_0} \frac{4}{p_0 V + 3 k p_0 R T_0} = \frac{4}{1 + 3 k R T_0}$$

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

Ответ: $\frac{80}{101}$

$$2) p_0 \frac{V}{2} = \nu R T = \frac{4}{3} \nu R T_0 = \frac{4}{3} p_0 \frac{V}{2} \quad p_0 = \frac{16}{3} p_0$$

$$p_0 = p_H + p_{CH} \quad p_H (393 \text{ К}) = p_{ATM} \quad p_{CH} \frac{V}{2} = \frac{4}{3} \nu R T_0 \quad \nu R T = \frac{4}{3} \nu R T_0$$

$$p_{CH} \frac{V}{2} = \frac{4}{3} \nu R T_0 \quad p_{CH} = 60 \text{ Па} \quad \frac{16}{3} p_0 = p_{ATM} + 60 \text{ Па}$$

$$p_{ATM} = p_0 \left(\frac{16}{3} - 60 \right) = 60 \text{ Па} \quad p_0 = 219 \text{ Па} \quad \text{Ответ: } 219 \text{ Па}$$

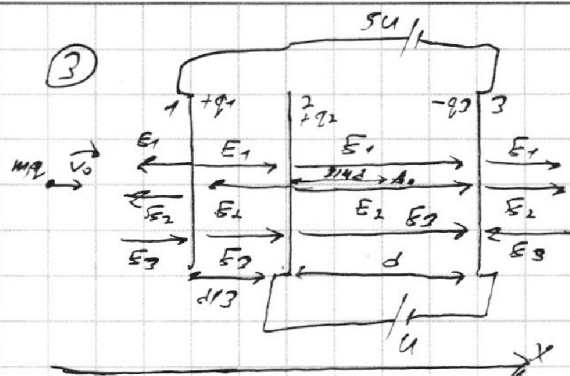
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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) $U = (E_1 + E_2 + E_3)d = E_2 d$

$qU = (E_1 + E_2 + E_3)qd$

$5U - U = (E_2 + E_3) \frac{2}{3} (E_1 + E_3 - E_2) \frac{d}{3} = E_1 - 2E_3$

$E_1 + E_2 + E_3 = \frac{4}{d} \quad E_1 + E_3 - E_2 = \frac{12U}{d}$

$0 = 4q_1 + q_2 - 4q_3 \quad 23 = q_1 + q_2$

$\frac{q_1}{205} = \frac{q_2}{205} = \frac{q_3}{205} = \frac{4}{d} \quad \frac{q_1 + q_2}{205} = \frac{4}{d} \quad \frac{q_1}{205} = \frac{12U}{d} \quad \frac{q_2}{205} = -\frac{11U}{d}$

$\frac{q_3}{205} = \frac{4}{d} \quad m_1 \leq qE_1 \leq q \frac{4}{d} \quad a_{2-3} \leq m_2 \quad \text{Ответ: } m_2$

2) $K_3 - K_2 = A_{вект. эл.} = qE_2 d = qU \quad \text{Ответ: } qU$

3) $\frac{mv_A^2}{2} - \frac{mv_0^2}{2} = A_{12} + A_{2-4} = qE_1 \frac{d}{3} + qE_3 \frac{2d}{3} = q \cdot 4U + qU \frac{2}{3}$

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

Ответ: $\sqrt{v_0^2 + \frac{14}{3} \frac{qU}{m}}$

Про $E_3 - E_1 - E_2 = \frac{4}{2d} - (-\frac{11U}{2d}) - \frac{6U}{d} = 0$

Напряженность E_3 и E_2 таковы, что силы на частицу не действуют

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

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1 ☐

2 ☐

3 ☐

4 ☒

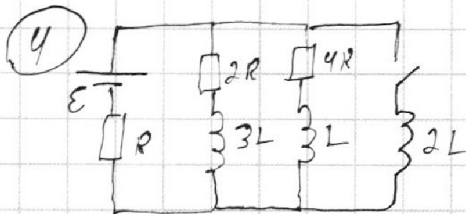
5 ☐

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) 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 цепи 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 перекрывающихся областях:

$U_{2L} = U_L + I_{4R} \cdot 4R$ $2L \frac{dI_{2L}}{dt} = L \frac{dI_{20}}{dt} + 4R \frac{dI_{4R}}{dt}$

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

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

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!

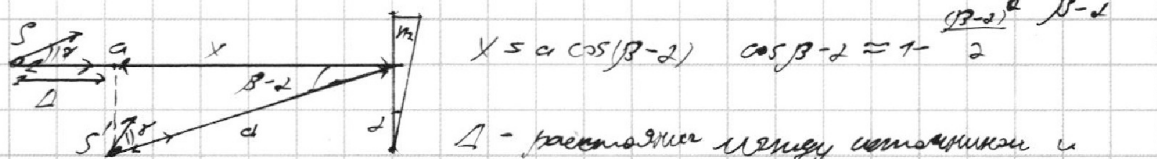


⑤ 2) Пусть луч идет под углом γ (γ -малый) $n_0 \gamma \leq n_2 \varphi$

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

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

Это аналогично тому, что ось источника света отклоняется на угол



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

Ответ: 0.245 см

3) $n_1 \approx 1.4 \neq n_0 \quad n_2 \alpha = n_1 \beta' \quad \beta' = \frac{n_2}{n_1} (\beta' - \alpha) n_1 = n_0 \varphi' \leq$

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

Продол Δ' - расстояние от источника до изображения

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

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

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

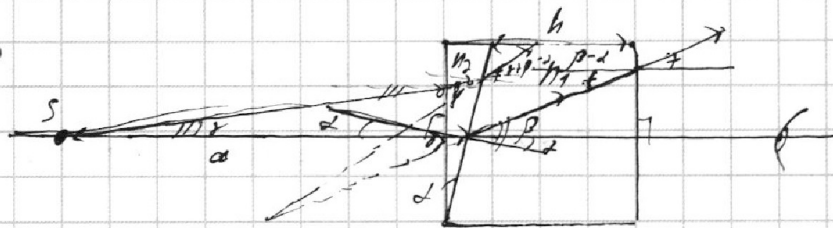
1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐

МФТИ

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

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

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

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

$$\text{Углом } \beta \text{ луч отклонился. На угол } \beta - \alpha \approx \alpha(n_2 - 1) \approx 0,07 \text{ рад}$$

Ответ: 0,07 рад

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

$\beta + \alpha = \theta$ $\gamma - \text{маленький}$

$\theta \approx \gamma + \beta$ $\beta - \text{маленький}$ $\text{луч отклонился на угол } \beta - \alpha$



$$x = a \cos(\beta - \alpha)$$

Δ - расстояние между светящимся $\beta - \alpha$ и излучающим

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

$$\Delta \approx a \frac{(\beta - \alpha)^2}{2} \approx 100 \frac{0,07^2}{2} \approx 50 \cdot 0,0049 \approx 0,245 \text{ см} \quad \text{Ответ: } 0,245 \text{ см}$$

3) $n_1 \approx 1,4 \approx n_2$ $\text{луч преломляется на правой границе}$

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

лучи преломляются на угол $\psi \approx (n_2 - n_1) \alpha \approx 0,03 \text{ рад}$ Δ -

расстояние между светящимся и излучающим $\Delta' \approx a \frac{\psi^2}{2} \approx 50 \cdot 0,03^2 \approx$

$$50 \cdot 0,0009 \approx 0,045 \text{ см} \quad \text{Ответ: } 0,045 \text{ см}$$



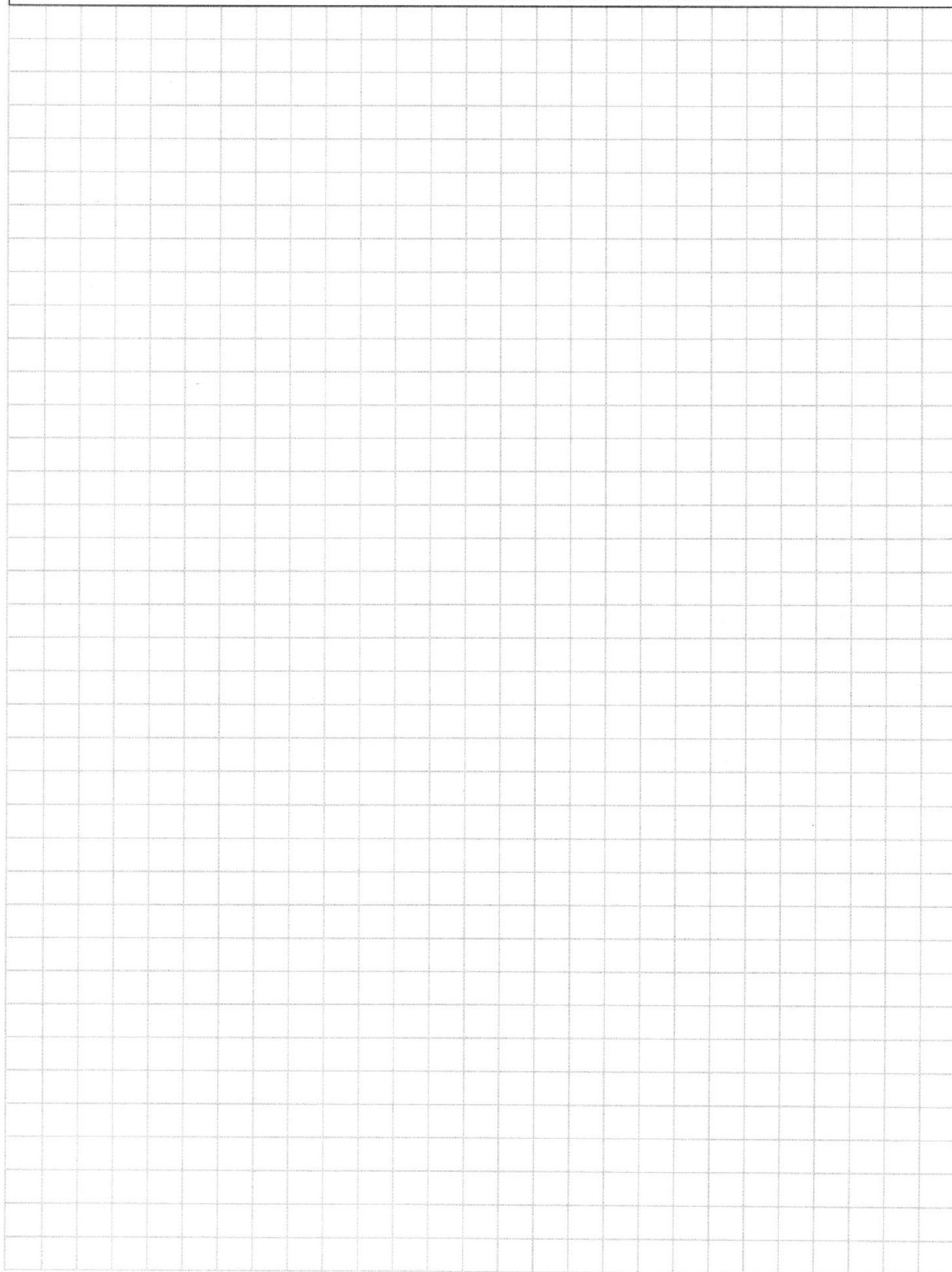
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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!





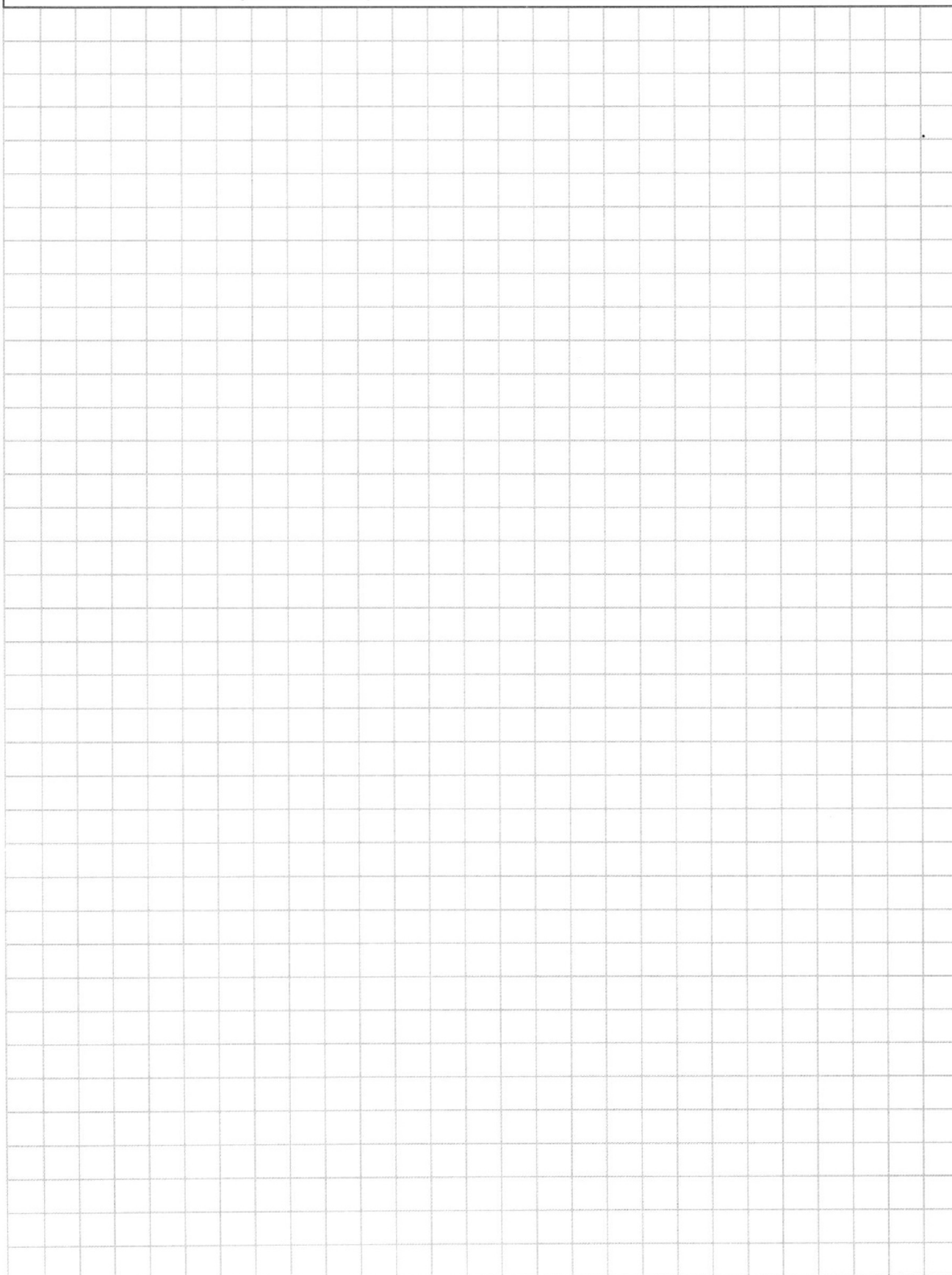
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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!





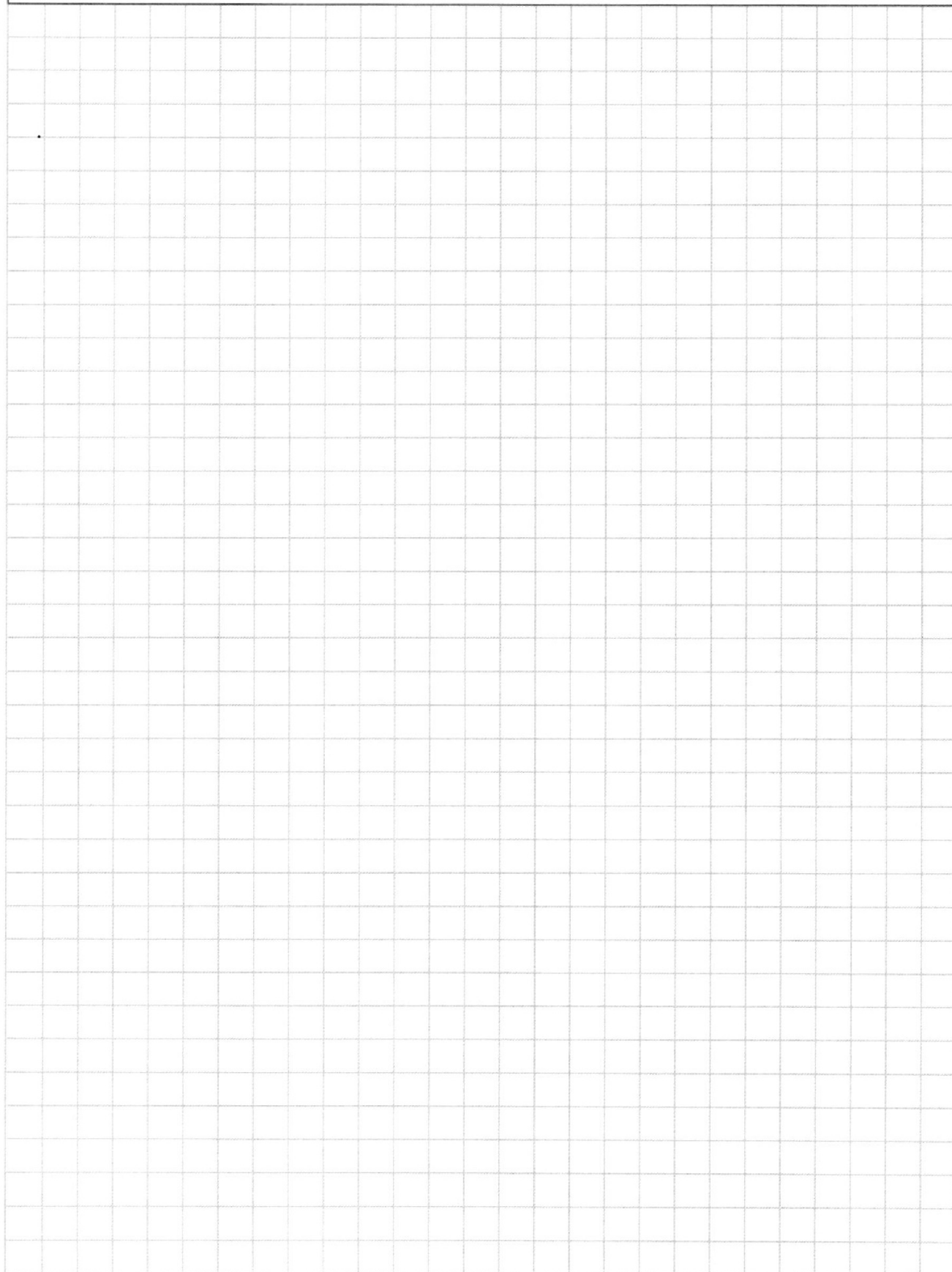
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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!





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!

