



Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

Вариант 11-03

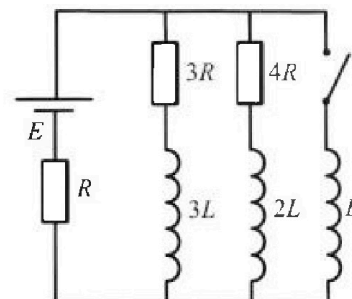
Во всех задачах, в ответах допустимы обыкновенные дроби
и радикалы.



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

- 1) Найти ток I_0 через резистор с сопротивлением $3R$ при разомкнутом ключе.
- 2) Найти скорость возрастания тока в катушке индуктивностью L сразу после замыкания ключа.
- 3) Какой заряд протечет через резистор с сопротивлением $3R$ 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 $a = 90$ 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.

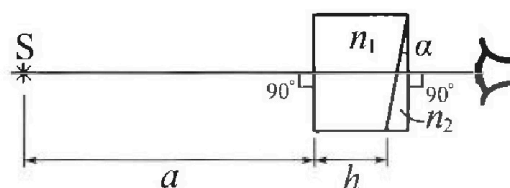


рис.). Угол $\alpha = 0,1$ рад можно считать малым, толщина $h = 14$ см. Толщина призмы с показателем преломления n_2 на прямой «источник – глаз» намного меньше h . Отражения в системе не учитывать.

- 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.



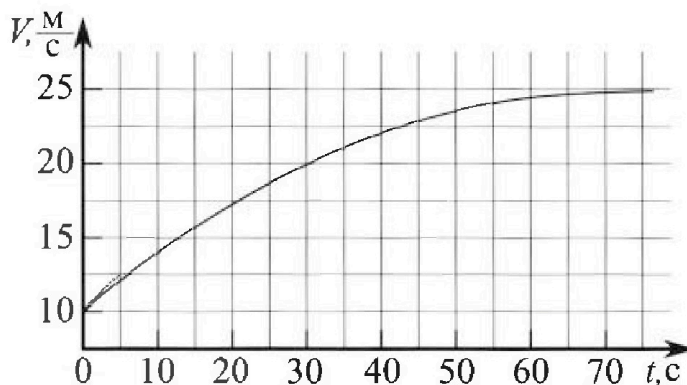
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

Вариант 11-03

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



1. Автомобиль массой $m = 1500$ кг движется с постоянной скоростью и затем разгоняется на прямолинейном горизонтальном участке дороги. График зависимости скорости от времени при разгоне показан на рисунке. В конце разгона сила тяги двигателя равна $F_k = 600$ Н. Считать, что при разгоне сила сопротивления движению пропорциональна скорости.



1) Используя график, найти ускорение автомобиля в начале разгона.

2) Найти силу тяги F_0 в начале разгона.

3) Какая мощность P_0 передается от двигателя на ведущие колеса в начале разгона?

Требуемая точность численного ответа на первый вопрос ориентировочно 10%.

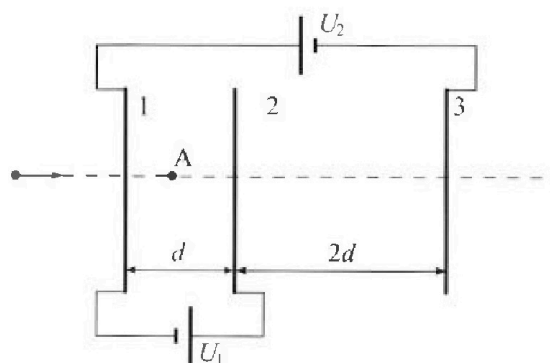
2. Герметичный вертикальный цилиндрический сосуд объемом V разделён тонким невесомым теплопроводящим герметичным поршнем (диск соосный с сосудом) на две равные части. Поршень может перемещаться без трения. В верхней части цилиндра находится гелий, а в нижней - вода и углекислый газ. В начальный момент система находилась в равновесии при давлении $P_0 = P_{\text{атм}}/2$ ($P_{\text{атм}}$ - нормальное атмосферное давление) и при комнатной температуре T_0 . При этом жидкость занимала объём $V/4$. Затем цилиндр медленно нагрели до $T = 373$ К. Установившийся объём его верхней части стал равен $V/5$.

По закону Генри, при заданной температуре количество $\Delta\nu$ растворённого газа в объёме жидкости ν пропорционально парциальному давлению p газа: $\Delta\nu = k p \nu$. Объём жидкости при этом практически неизменен. Для углекислого газа константа Генри для данной комнатной температуры $k \approx 0,5 \cdot 10^{-3}$ 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.

1) Найти отношение количеств вещества в газообразном состоянии в верхней и нижней частях до нагревания.

2) Определить отношение конечной и начальной температур в сосуде T/T_0 .

3. Три проводящие плоские мелкие сетки находятся друг напротив друга на расстояниях d и $2d$ (см. рис.). Размеры сеток значительно больше d . Изначально сетки не заряжены. К сеткам подсоединили источники с напряжением $U_1 = U$ и $U_2 = 3U$. 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.



1) Найти модуль ускорения частицы в области между сетками 1 и 2.

2) Найти разность $K_1 - K_2$, где K_1 и K_2 — кинетические энергии частицы при пролете сеток 1 и 2.

3) Найти скорость частицы в точке A на расстоянии $d/4$ от сетки 1.



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

Отметьте крестиком номер задачи,

решение которой представлено на странице:



МФТИ

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

1) Для нахождения ускорения посмотрим на касательную к графике разгона

в момент начала движения. Угол наклона этой касательной — это ускорение в этот момент ($\tan \alpha$). $\tan \alpha = \frac{5 \frac{\text{м}}{\text{с}}}{10 \text{ с}} = 0,5 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ (углы на графике $\sim 45^\circ$)

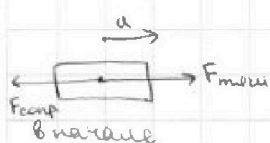
2) в конце сила тяги равна силе сопротивления, т.к. скорость стремится к $v_k = 25 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ (то есть почти постоянна $\Rightarrow a = 0$)

$$F_k = \lambda v_k \Rightarrow \lambda = F_k / v_k = 600 / 25 = 24 \frac{\text{Н} \cdot \text{с}}{\text{м}}$$

в начале: $ma = F_{\text{тяги}} - F_{\text{сопр}}$ ($\parallel$ з.н.)

$$ma = F_0 - \lambda v_0$$

$$F_0 = ma + \lambda v_0 \Rightarrow F_0 = 1500 \cdot 0,5 + 24 \cdot 10 = 750 + 240 = 990 \text{ Н}$$



$$3) P_0 = \frac{dA}{dt} = \frac{dS \cdot F}{dt} = F_0 v_0 = 990 \cdot 10 = 9900 \text{ Вт}$$

Ответ: 1) $a = 0,5 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$; 2) $F_0 = 990 \text{ Н}$; 3) $P_0 = 9900 \text{ Вт}$

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) По нагреванию (индекс 1): $V_{21} = \frac{V}{2}$; $V_{y1} = \frac{V}{2} - \frac{V}{4} = \frac{V}{4}$.

$\frac{1}{2} p_{\text{атм}} \cdot \frac{V}{2} = p_2 RT_0$; $\frac{1}{2} p_{\text{атм}} \cdot \frac{V}{4} = p_{y1} RT_0$ разделим одно на другое
 $2 = \frac{p_2}{p_{y1}}$ (или ввели индекс для кол-ва углекислого
 газа, т.к. часть растворена в воде и его кол-во не изме-
 няется). Значит ответ на 1 вопрос: 2

2) растворенный углекислый газ $\Delta p = k p w = k \cdot \frac{p_{\text{атм}}}{2} \cdot \frac{V}{4}$
 газобразный: $p_{y1} = \frac{1}{2} p_{\text{атм}} \cdot \frac{V}{4} \cdot \frac{1}{RT_0} \Rightarrow p_{\text{атм}} V = 8 p_{y1} \cdot RT_0 \Rightarrow \Delta p = \frac{k}{8} \cdot p_{\text{атм}} V = k RT_0 p_{y1}$
 Значит $p_{y2} = p_{y1} (1 + \frac{k}{8} \cdot 8 RT_0) = p_{y1} (1 + k RT_0)$ [$p_{y2} = \Delta p + p_{y1}$]
 $p_k = \frac{5 p_2 RT}{V} = \frac{p_{y2} RT \cdot 20}{11V} \Rightarrow 5 p_2 = \frac{20}{11} p_{y2} = \frac{20}{11} p_{y1} (1 + k RT_0)$

$$\frac{p_2}{p_{y1}} = \frac{4}{11} (1 + k RT_0) = 2 \Rightarrow 1 + k RT_0 = \frac{22}{4} = 5,5 \Rightarrow k RT_0 = 4,5 \Rightarrow \frac{T}{T_0} = \frac{T \cdot k R}{4,5} =$$

$$= RT \cdot \frac{k}{4,5} = 3 \cdot 10^3 \cdot \frac{0,5 \cdot 10^{-3} \cdot 2}{9} = 10^3 \cdot \frac{10^{-3}}{3} = \frac{1}{3}$$

Ответ: 1) 2; 2) $\frac{1}{3} = 0,33$

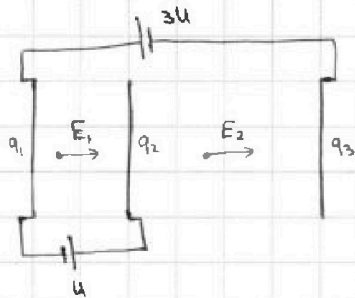
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

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!



Пусть потенциалы на 1 пластине $3U$ тогда на $2^{ой}$ $4U$; на $3^{ей}$ Q .

Все заряды предполагаем положительными

$$E_1 = \frac{\sigma_1}{2\epsilon_0} - \frac{\sigma_2}{2\epsilon_0} - \frac{\sigma_3}{2\epsilon_0}; E_2 = \frac{\sigma_1}{2\epsilon_0} + \frac{\sigma_2}{2\epsilon_0} - \frac{\sigma_3}{2\epsilon_0}$$

$$\sigma_1 = \frac{q_1}{S} \Rightarrow \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 = 0 \text{ как и } q_1 + q_2 + q_3 = 0$$

по закону сохранения заряда в закрытой системе (в начале конденсатора не заряжены). $\Rightarrow E_1 = \frac{\sigma_1}{\epsilon_0} - \frac{1}{2\epsilon_0}(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3) = \frac{\sigma_1}{\epsilon_0}$

$$E_2 = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{2\epsilon_0} - \frac{2\sigma_3}{2\epsilon_0} = -\frac{\sigma_3}{\epsilon_0}$$

между 1 и 2:

$$U = -E_1 \cdot d = -\frac{\sigma_1}{\epsilon_0} \cdot d \Rightarrow \sigma_1 = -\frac{U\epsilon_0}{d}$$

$$3U = E_1 d + E_2 \cdot 2d = \frac{\sigma_1 d}{\epsilon_0} - \frac{2d\sigma_3}{\epsilon_0} = \frac{d}{\epsilon_0} \left(-\frac{U\epsilon_0}{d} - \frac{2d\sigma_3}{\epsilon_0} \right) = -U - \frac{2d\sigma_3}{\epsilon_0} \Rightarrow \frac{2d\sigma_3}{\epsilon_0} = -4U \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \sigma_3 = -\frac{4U\epsilon_0}{2d} = -\frac{2U\epsilon_0}{d}$$

$$\sigma_2 = 0 - \sigma_1 - \sigma_3 = \frac{U\epsilon_0}{d} + \frac{2U\epsilon_0}{d} = 3\frac{U\epsilon_0}{d}$$

$$\sigma_1; \sigma_2 = -3\sigma_3; \sigma_3 = 2\sigma_1 \quad (\sigma_1 = -\frac{U\epsilon_0}{d})$$

1) Модуль ускор. $|a| = \frac{|F|}{m} = \frac{|E|q}{m}$ (т.к. $q \ll Q_{сетки}$ мы принимаем нераспределенность зарядов на сетках)

$$a_1 = \frac{\sigma_1 q}{\epsilon_0 m} = \frac{qU\epsilon_0}{\epsilon_0 m d} = \frac{qU}{md}$$

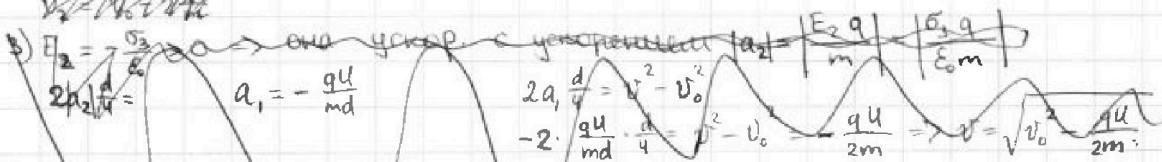
$$2) \text{ при пролете 1 сетки } K_1 = \frac{mv_0^2}{2} \text{ (скор } = v_0)$$

затем до сетки 2 она движется замедленно (E_1 - такой же знак σ_1 - отрицательно) с ускорением $a_2 = -\frac{qU}{md}$

$$2a_2 d = v_2^2 - v_1^2 \Rightarrow -2 \cdot \frac{qU}{md} \cdot d = v_2^2 - v_0^2 \Rightarrow$$

$$v_1^2 - v_2^2 = 2 \frac{qU}{m} \Rightarrow \frac{mv_0^2}{2} - \frac{mv_2^2}{2} = qU = K_1 - K_2$$

$$v_2^2 = v_0^2 - \frac{2qU}{m}$$



$$\text{Ответ: 1) } \frac{qU}{md}; 2) qU; 3) \sqrt{v_0^2 - \frac{qU}{2m}}$$

3) По закону сохранения энергии ускорение $|a| = \frac{qU}{md}$ замедляет частицу.

$$2a_2 d = v_0^2 - v^2 \Rightarrow v = \sqrt{v_0^2 - \frac{qUd}{2m}} = \sqrt{v_0^2 - \frac{qU}{2m}}$$

$$\text{Ответ: 1) } \frac{qU}{md}; 2) qU; 3) \sqrt{v_0^2 - \frac{qU}{2m}}$$

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,

решение которой представлено на странице:

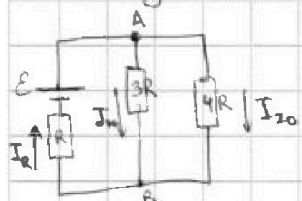
1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐

МФТИ

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



1) Т.к. процесс установился, токи постоянны и на катушечке напряжение нет - записали их на перемычки.



$$I_0 \cdot 3R = I_{20} \cdot 4R \Rightarrow I_{20} = \frac{3}{4} I_{10}$$

$$I_0 R + I_0 \cdot 3R = \varepsilon \Rightarrow (I_{10} + I_{20})R + 3RI_{10} = \varepsilon \Rightarrow$$

$$(I_{10} + \frac{3}{4} I_{10})R + 3RI_{10} = \varepsilon \Rightarrow (\frac{7}{4} + 3) I_{10} R = \varepsilon \Rightarrow \varepsilon = I_{10} R \cdot \frac{19}{4} \Rightarrow$$

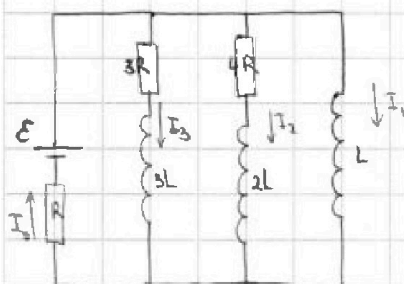
$$I_{10} = \frac{4\varepsilon}{19R}$$

2) когда ключ только только замкнули токи еще не успели поменяться и напряжение между точками A и B все еще $3RI_{10} = LI_1$

$$I_1 = \frac{3RI_{10}}{L} = \frac{3R}{L} \cdot \frac{4\varepsilon}{19R} = \frac{12\varepsilon}{19L}$$

3) После замыкания ключа ток на катушке L возрастает. В установившемся режиме ток через 3R и 4R не течет, ток через L - постоянен, а значит $I_0 R = \varepsilon$ (катушка L - перемычка).

Обозначим ток через R - I_0 ; через 3R - I_3 ; через 4R - I_2 ; через L - I_1 .



$$I_0 = I_1 + I_2 + I_3; \quad LI_1 = 3RI_3 + 3LI_2 = 4RI_2 + 2LI_2 =$$

$$= \varepsilon - I_0 R$$

$$LI_1 dt = 3RI_3 dt + 3LI_2 dt$$

$$LdI_1 = 3Rdq_3 + 3LdI_2$$

$$L \cdot I_0 = 3Rq_3 + 3L(-I_0)$$

$$L \cdot \frac{\varepsilon}{R} = 3Rq_3 + 3L \cdot \frac{4\varepsilon}{19R} \Rightarrow q_3 = \left(\frac{L\varepsilon}{R} + \frac{12L\varepsilon}{19R} \right) \cdot \frac{1}{3R} =$$

$$= \frac{31L\varepsilon}{19R \cdot 3R} = \frac{31L\varepsilon}{57R^2}$$

Ответ: 1) $\frac{4\varepsilon}{19R}$; 2) $\frac{12\varepsilon}{19L}$; 3) $\frac{31L\varepsilon}{57R^2}$

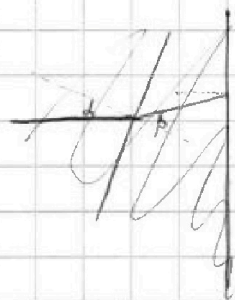
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

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!

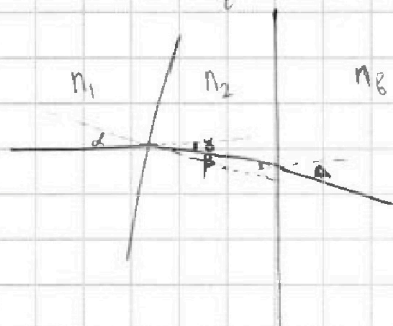


1) $\sin \alpha \cdot n_1 = \sin \beta \cdot n_2 \Rightarrow \sin 0,1 = \sin \beta \cdot 1,7 \approx 0,1 \Rightarrow \sin \beta = \frac{1}{1,7} \Rightarrow$

$\beta \approx \frac{1}{1,7}$

γ (угол падения луча на вертикальную часть)

$\gamma = \alpha - \beta \quad n_2 \sin \gamma = n_3 \sin \Delta$



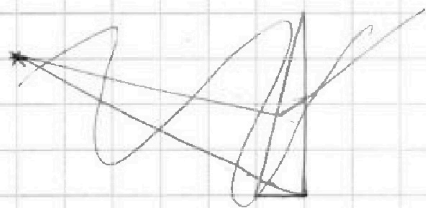
$n_2 (\alpha - \beta) = \sin \Delta$

$1,7 (0,1 - \frac{1}{1,7}) = \sin \Delta \approx \Delta$

$0,17 - 0,1 = 0,07 \approx \Delta$

2) То, что луч уходит от нормали, означает, что
он из менее плотной среды в более плотную

пошел в макс.



Ответ: 1) 0,07 рад.



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!



$$\frac{P_{\text{расш}}}{2} V_{01} = p_2 R T_0$$

$$\frac{P_{\text{расш}}}{2} V_{02} = p_2 R T_0$$

$$p_2 = p_0 - k \frac{P_{\text{расш}}}{2} \cdot \frac{V}{4}$$

$$V - \frac{V}{4} - \frac{V}{5} = \frac{20V - 5V - 4V}{20}$$

$$\frac{11V}{20}$$

$$\sin \alpha \cdot 1.7 = \sin \varphi$$

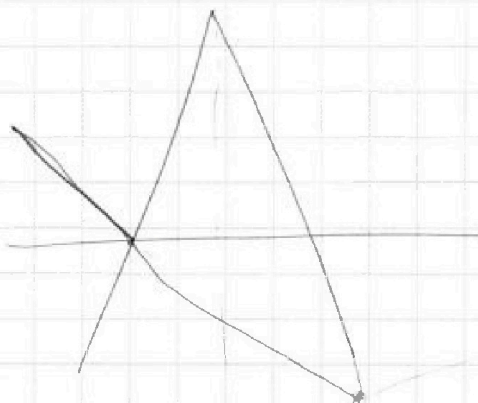
$$E d = U = \frac{q}{\epsilon}$$

$$C = \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{d}$$

$$E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$$

$$3R$$

$$\mathcal{U} = \mathcal{E} - I_0 R =$$





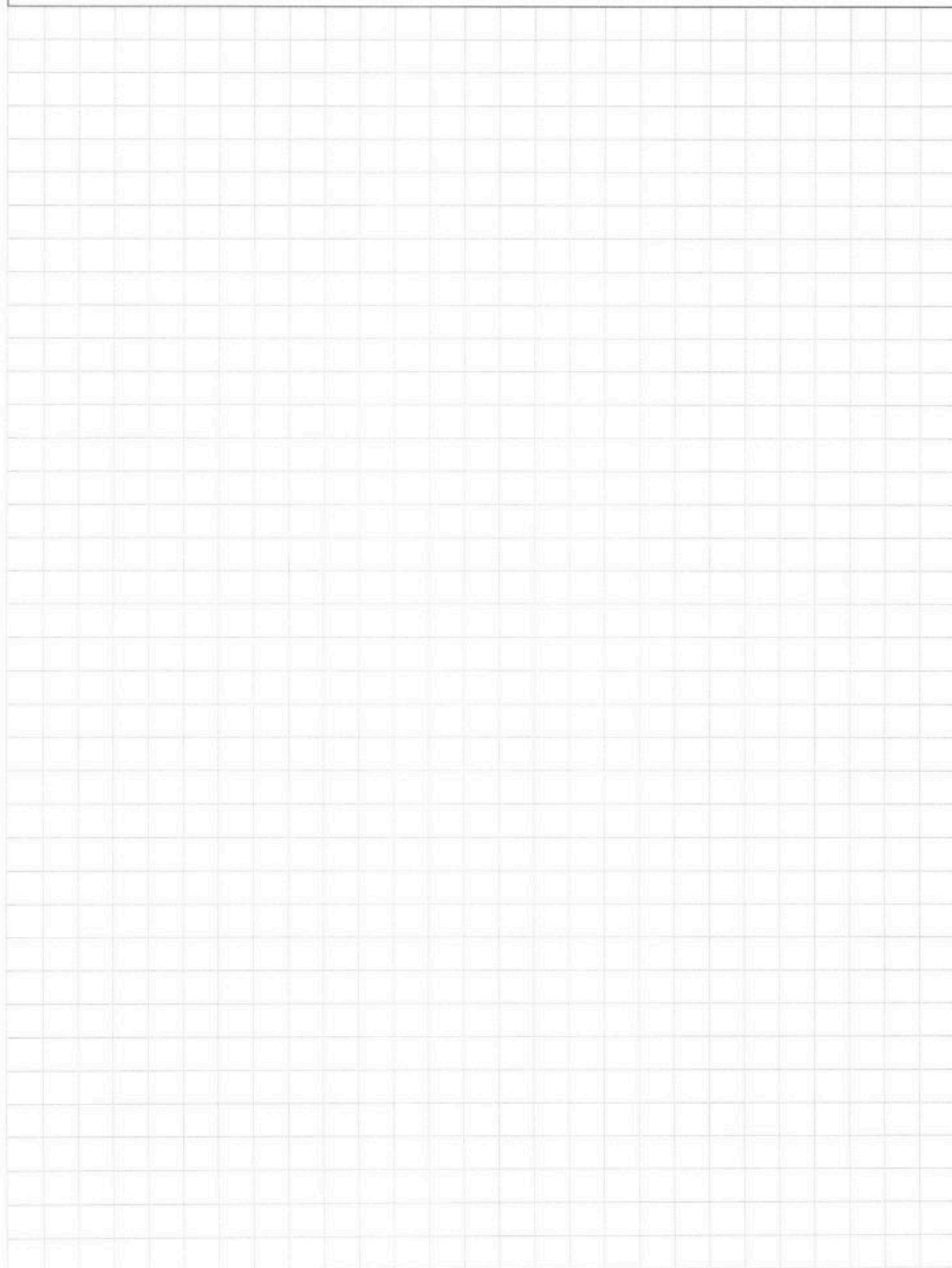
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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!





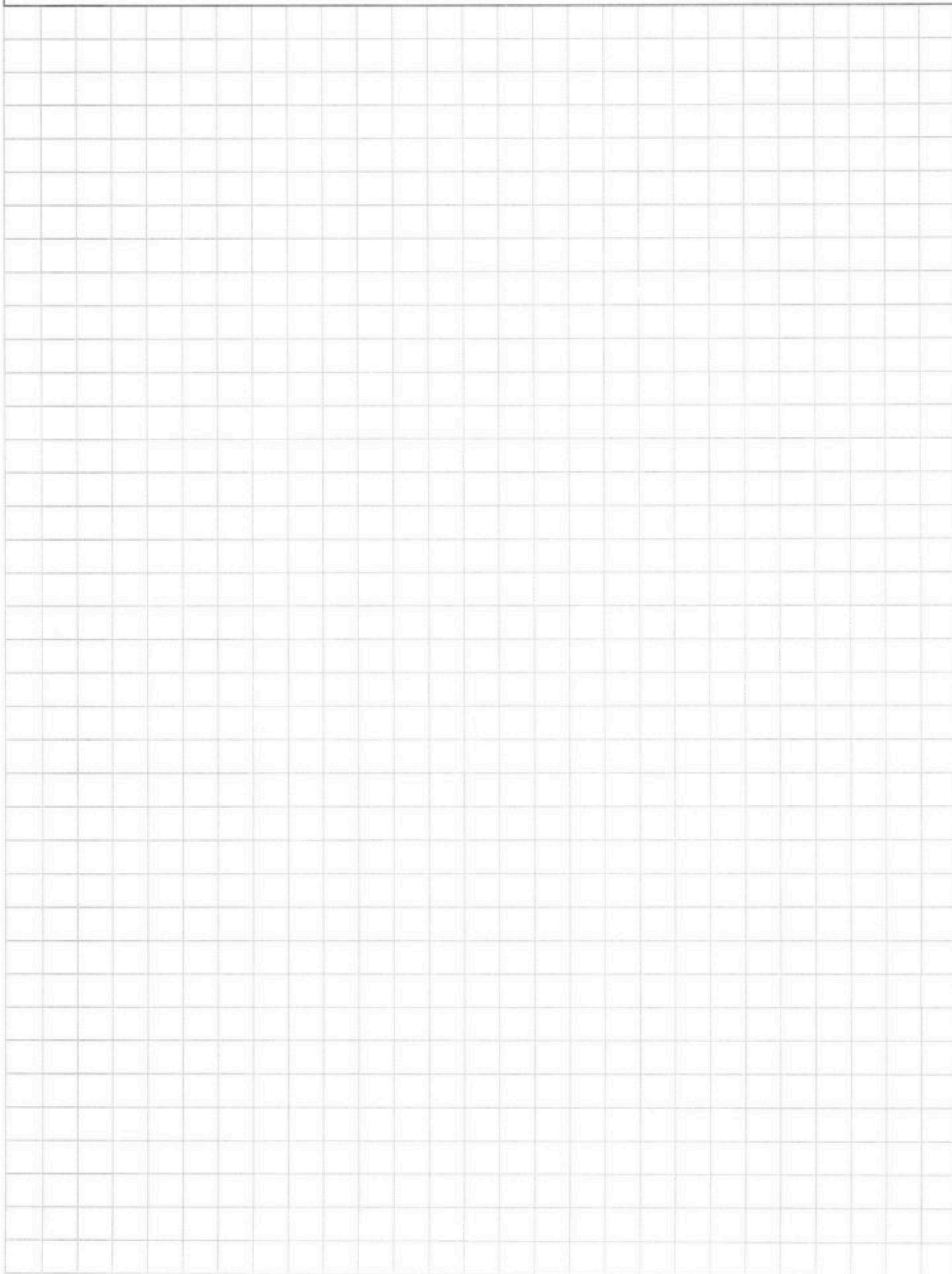
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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!





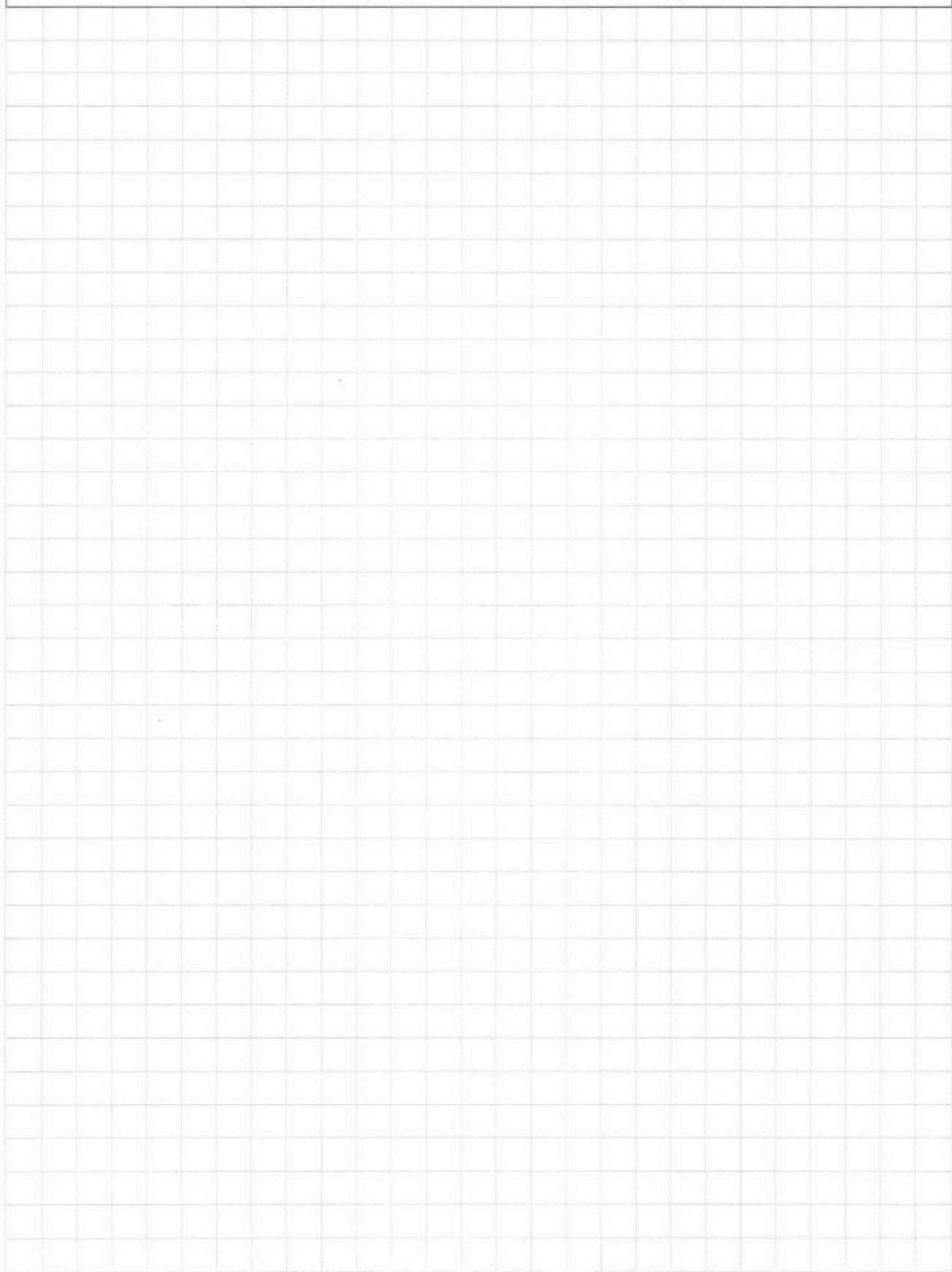
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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!

