



# Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

## Вариант 11-03

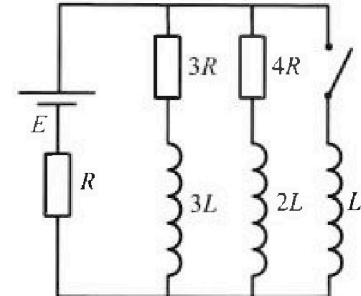


Во всех задачах, в ответах допустимы обыкновенные дроби и радикалы.

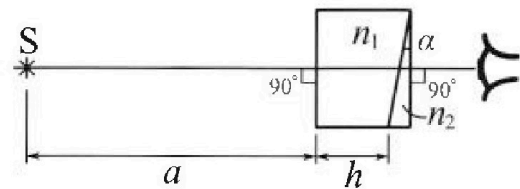
4. Параметры цепи указаны на схеме, все элементы идеальные. Ключ разомкнут, режим в цепи установился. Затем ключ замыкают.

- 1) Найти ток  $I_{10}$  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.



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.

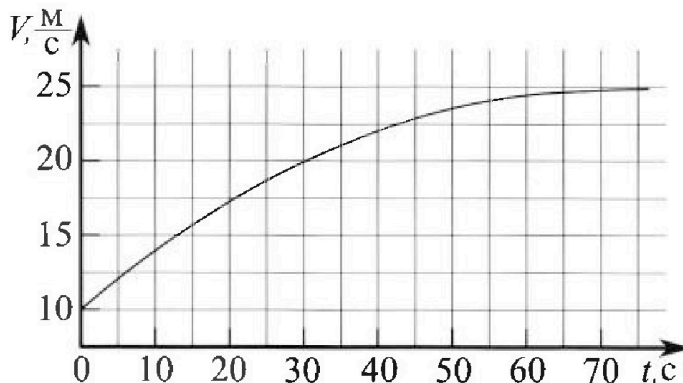
3) Считая  $n_1 = 1,4$ ,  $n_2 = 1,7$ , найдите на каком расстоянии от источника будет его изображение, которое увидит наблюдатель.

# 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.



- Используя график, найти ускорение автомобиля в начале разгона.
- Найти силу тяги  $F_0$  в начале разгона.
- Какая мощность  $P_0$  передается от двигателя на ведущие колеса в начале разгона?

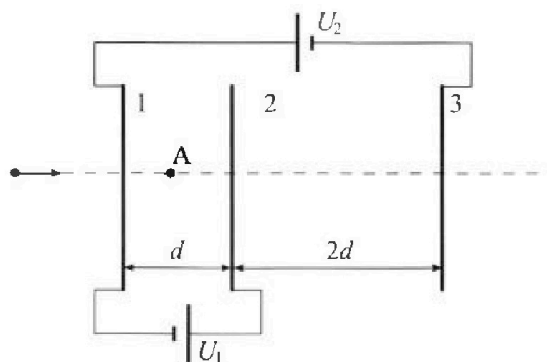
Треб уема точность численного ответа на первый вопрос ориентировочно 10%.

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 сго верхней части стал равен  $V/5$ .

По закону Генри, при заданной температуре количество  $\Delta v$  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  $k \approx 0,5 \cdot 10^{-3}$  моль/(м<sup>3</sup>·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 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.



- Найти модуль ускорения частицы в области между сетками 1 и 2.
- Найти разность  $K_1 - K_2$ , где  $K_1$  и  $K_2$  — кинетические энергии частицы при пролете сеток 1 и 2.
- Найти скорость частицы в точке А на расстоянии  $d/4$  от сетки 1.

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!

Дано

$$M = 1600 \text{ кг}$$

$$F_k = 600 \text{ Н}$$

$$F_{\text{тр}} = 2 \text{ В}$$

$a_0$  - ?

$F_0$  - ?

$P_0$  - ?

Решение

1. Пусть вначале  $a = \text{const}$

$$v(t) = v_0 + a_0 t$$

$$a_0 = \frac{17 - 10}{20} = 0,4 \text{ м/с}^2$$

2. В конце разгона  $a = 0$

$$m a = F_k - \alpha v_k = 0$$

$$\alpha = \frac{F_k}{v_k} = \frac{600 \text{ Н}}{2,5} = 24 \frac{\text{Н} \cdot \text{с}}{\text{м}}$$

Вначале:

$$m a_0 = F_0 - \alpha v_0$$

$$F_0 = m a_0 + \alpha v_0 = 840 \text{ Н}$$

$$P_0 = F_0 v_0 = 840 \cdot 10 = 8,4 \text{ кВт}$$

1. Ответ:  $a_0 = 0,4 \text{ м/с}^2$

2.  $F_0 = 840 \text{ Н}$

3.  $P_0 = 8,4 \text{ кВт}$



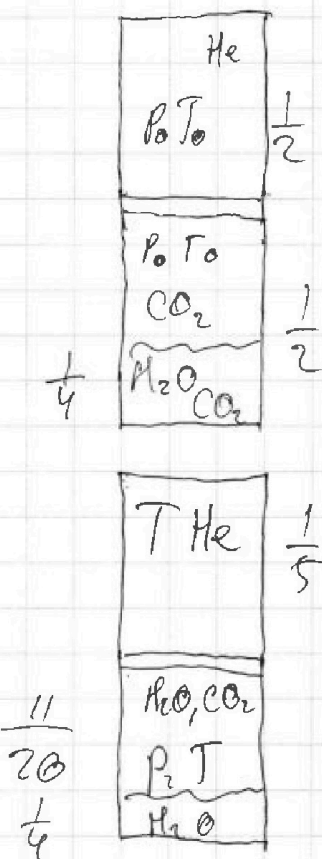
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

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!



$$p_0 = \frac{p_{\text{ATM}}}{2}$$

$$\Delta V = \kappa p V$$

$$RT \approx 3 \cdot 10^3 \text{ Дж/моль}$$

$$\kappa \approx 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ моль/(м}^3 \cdot \text{Па)}$$

$$T = 373 \text{ К} \approx 100^\circ \text{C}$$

$$2. \quad (p_{\text{ATM}} + p_{\text{CO}_2}) \frac{1}{5} V = \nu_{\text{He}} RT$$

$$(p_{\text{ATM}} + \nu_{\text{CO}_2} + \Delta \nu_{\text{CO}_2}) RT \frac{1}{5} V = \nu_{\text{He}} RT$$

$$(p_{\text{ATM}} + \nu_{\text{CO}_2} RT \frac{20}{11} \frac{1}{V} + \kappa p_{\text{ATM}} \frac{1}{8} \frac{20}{11} RT) \frac{1}{5} V = \nu_{\text{He}} RT$$

$$\frac{1}{5} p_{\text{ATM}} + \frac{4}{11} \nu_{\text{CO}_2} RT + \kappa p_{\text{ATM}} RT V - \nu_{\text{He}} RT = 0$$

$$\frac{1}{5} p_{\text{ATM}} V + \frac{4}{11} \frac{p_{\text{ATM}} V}{8 T_0} T + \frac{\kappa}{22} p_{\text{ATM}} V RT - \frac{1}{4} \frac{p_{\text{ATM}} V T}{T_0} = 0$$

$$\Rightarrow \left( \frac{1}{5} + \frac{\kappa}{22} RT \right) = \left( \frac{1}{4} - \frac{4}{11 \cdot 8} \right) \frac{T}{T_0}$$

$$\frac{T}{T_0} \approx 1,31$$

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 checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

МФТИ

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

$$1.1) P_0 \frac{1}{2} V = \gamma_{He} RT_0 = \frac{P_{ATM}}{4} V$$

$$P_0 \frac{1}{4} V = \gamma_{CO_2} RT_0 = \frac{P_{ATM}}{8} V$$

$$\frac{\gamma_{He}}{\gamma_{CO_2}} = \underline{\underline{2}}$$

$$2) \begin{cases} P = P_{ATM} + P_{CO_2} \\ \Delta \gamma_{CO_2} = K \frac{P_{ATM}}{2} \frac{1}{4} V \\ P_{CO_2} \frac{11}{20} V = (\gamma_{CO_2} + \Delta \gamma_{CO_2}) RT \\ P \frac{1}{5} V = \gamma_{He} RT \end{cases}$$

$$\text{Ответ: } 1) \frac{\gamma_{He}}{\gamma_{CO_2}} = 2 \quad ; 2) \frac{I}{I_0} \approx 1,31$$

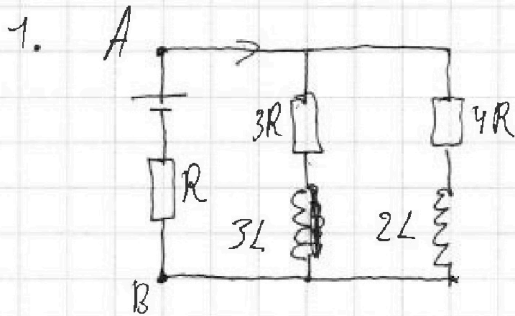
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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!



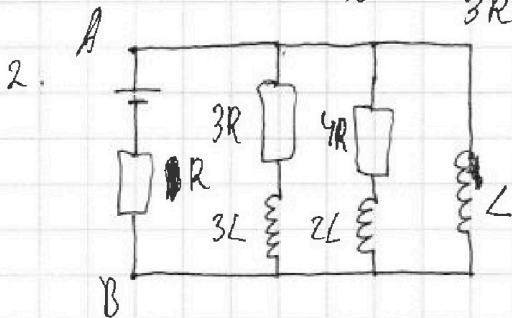
$$R_{\text{общ}} = \frac{3R \cdot 4R}{3R + 4R} + R = \frac{12}{7} R + R = \frac{19}{7} R$$

$$= \frac{19}{7} R$$

$$I_{\text{общ}} = \frac{\mathcal{E}}{R_{\text{общ}}} = \frac{7}{9} \frac{\mathcal{E}}{R}$$

$$U_{AB} = \mathcal{E} - R I_{\text{общ}} = \frac{12}{19} \mathcal{E}$$

$$I_0 = \frac{U_{AB}}{3R} = \frac{4}{19} \frac{\mathcal{E}}{R}$$



$$\mathcal{E}_L = -L \frac{dI_L}{dt} = \frac{U_{AB}}{L} = \frac{12}{19} \frac{\mathcal{E}}{L}$$

3.

$$\mathcal{E}_{3L} = -3L \frac{dI_1}{dt} \quad I_1 \downarrow$$

$$\mathcal{E}_{2L} = -2L \frac{dI_2}{dt} \quad I_2 \downarrow$$

$$\mathcal{E}_L = -L \frac{dI_3}{dt} \quad I_3 \uparrow$$

$$\begin{cases} IR - \mathcal{E} = I_1 3R + 3L \frac{dI_1}{dt} \\ IR - \mathcal{E} = I_2 4R + 2L \frac{dI_2}{dt} \\ IR - \mathcal{E} = L \frac{dI_3}{dt} \end{cases}$$

$$(I_1 + I_2 + I_3)R - \mathcal{E} = I_1 3R - \mathcal{E}_{3L} = I_2 4R - \mathcal{E}_{2L} = -\mathcal{E}_L$$

Примем  $I_1(t) = I_{10} e^{-\kappa_1 t}$

$$I_2(t) = I_{10} e^{-\kappa_2 t}$$

$$I_3(t) = I_3 (1 - e^{-\kappa_3 t})$$



На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:



1  2  3  4  5  6  7

МФТИ

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

$$\Rightarrow \textcircled{4} \rightarrow R \left( -2I_{10} e^{-k_1 t} + I_{10} e^{-k_2 t} + I_{30} (t e^{-k_2 t}) \right) - \mathcal{E} = -3k_1 I_{10} e^{-k_1 t}$$

$$t=0 \Rightarrow -2I_{10} + I_{20} - I_{30} = -3k_1 I_{10} \frac{L}{R} =$$

$$k_1 = \frac{2I_{10} - I_{20} + I_{30}}{3I_{10} \frac{L}{R}} = 2 \frac{R}{L}$$

$$\begin{aligned} \bar{I}_1 &= \int_0^{+\infty} I_1(t) dt = \int_0^{+\infty} I_{10} e^{-k_1 t} dt = \\ &= -\frac{1}{k_1} \int_0^{+\infty} I_{10} e^{-k_1 t} d(-k_1 t) = -\frac{I_{10}}{k_1} e^{-k_1 t} \Big|_0^{+\infty} = \end{aligned}$$

$$= \frac{I_{10}}{k_1} = \frac{4}{19} \frac{\mathcal{E}}{R} \cdot \frac{L}{2R} = \frac{2\mathcal{E}L}{19R^2}$$

Ответ: 1.  $\frac{4}{19} \frac{\mathcal{E}}{R}$

2.  $\frac{12}{19} \frac{\mathcal{E}}{L}$

3. ~~12~~  $\frac{2\mathcal{E}L}{19R^2}$

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

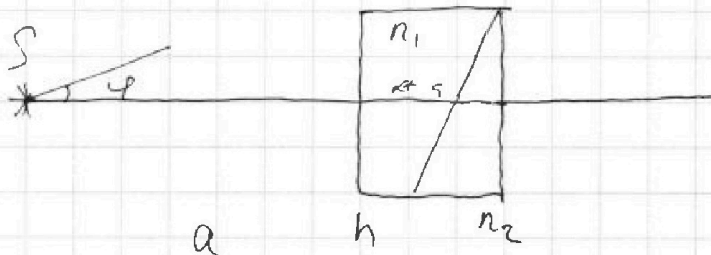
1   
  2   
  3   
  4   
  5   
  6   
  7

МФТИ

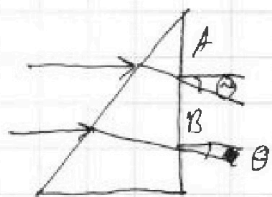
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



$$n_1, h = 14 \text{ см}, \alpha = 90 \text{ см}$$



1.  $n_1 \sin \alpha = n_2 \sin \beta \Rightarrow \beta = \frac{\alpha}{n_2}$   
 $\alpha, \beta$  - малые



$$y = \alpha - \beta = \alpha \frac{n_2 - 1}{n_1}$$

$$n_2 y = n_1 \theta \Rightarrow \theta = n_2 y = \alpha (n_2 - 1) = 0,1 (1,7 - 1) = 0,07 \text{ рад}$$

2. Пусть мы еще один луч под углом  $\varphi$  (малый)

тогда  $\beta' = \frac{\alpha + \varphi}{n_2}$

$AB = (a + h) \varphi$

$$(h + a') \theta = AB + (h + a') \frac{AB}{\beta - \beta'} = \frac{(a + h) \varphi}{\alpha (n_2 - 1) - \alpha (h_2 - 1) + \varphi}$$

$$= a + h \quad \cdot \quad a = a'$$

$$H = (a' + h) \cdot \theta = (a + h) \alpha (n_2 - 1) = 7,28 \text{ см}$$

Ответ: 1. 0,07 рад ; 2. H = 7,28 см



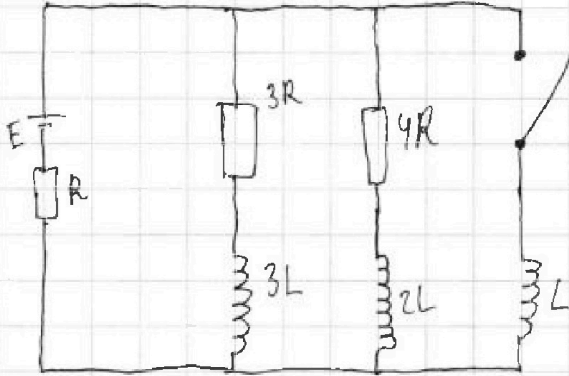
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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"/>

 МФТИ

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





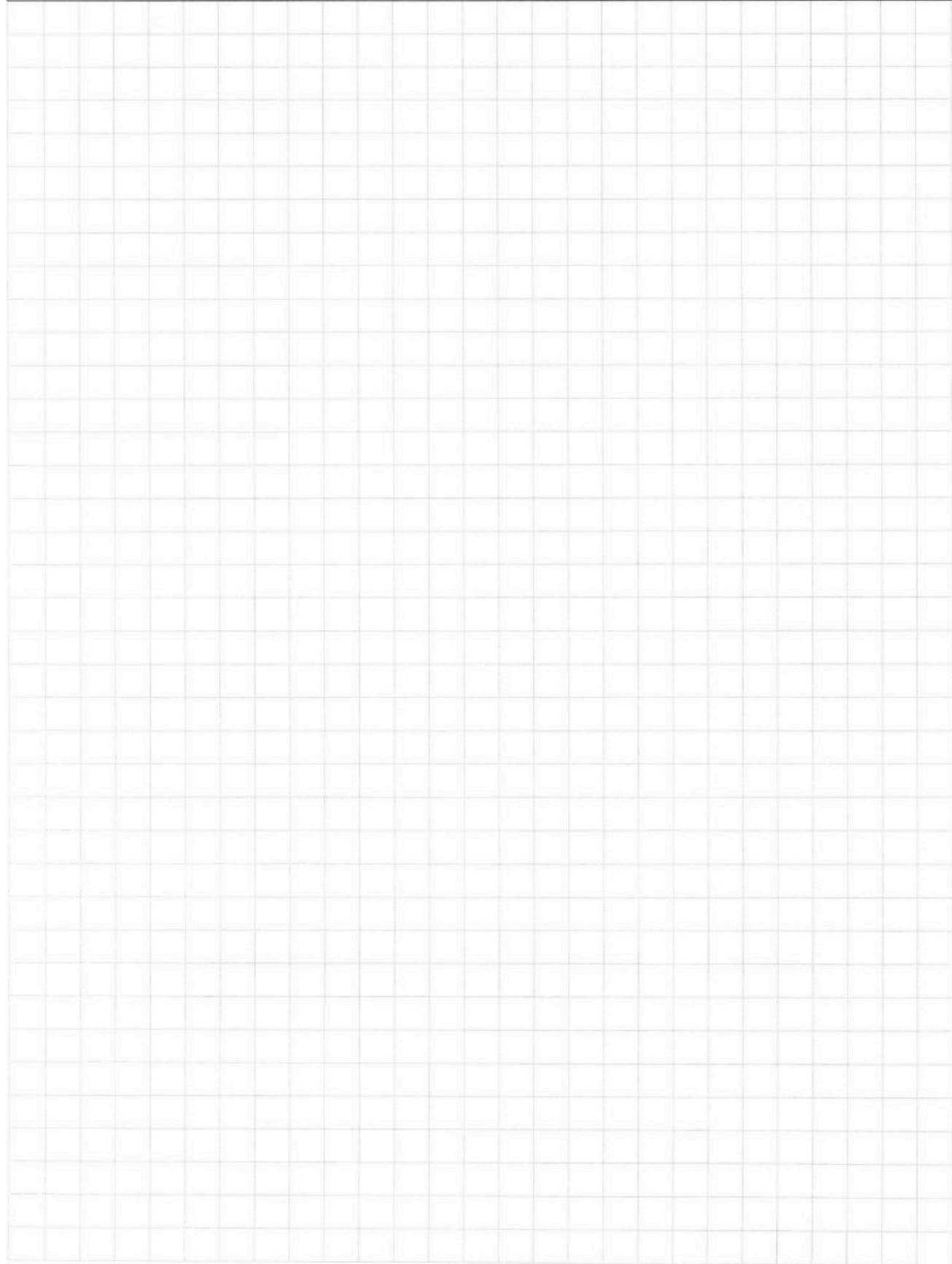
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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!





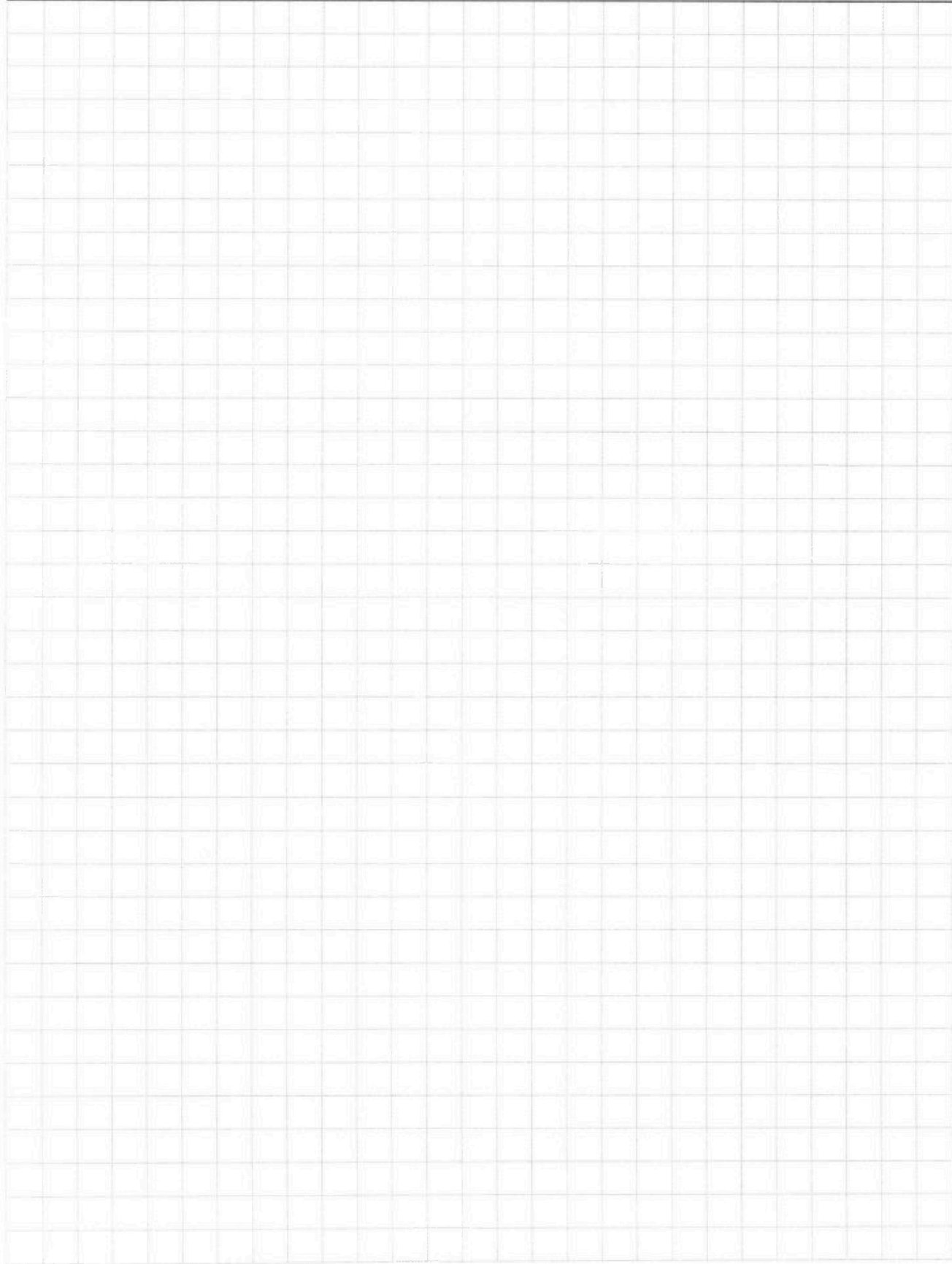
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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!







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!

