



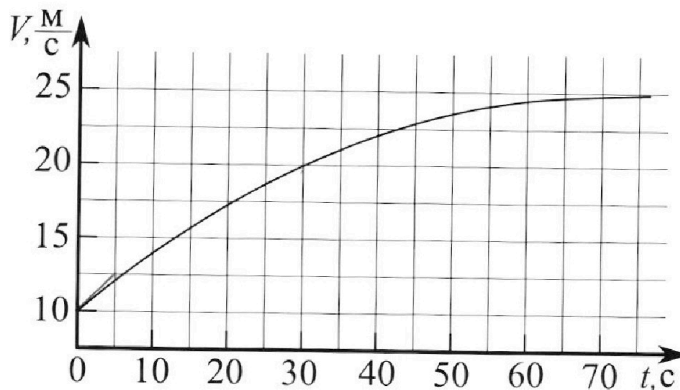
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

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?

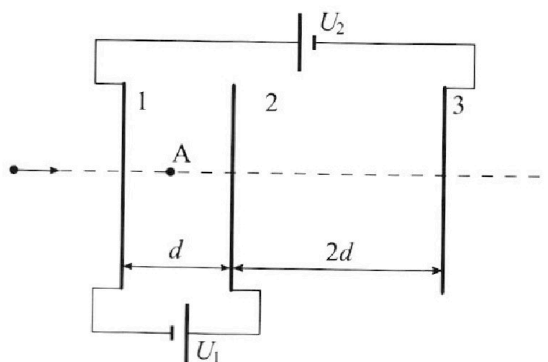
Требуемая точность численного ответа на первый вопрос ориентировочно 10%.

2. Герметичный вертикальный цилиндрический сосуд 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 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 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 $k \approx 0,5 \cdot 10^{-3}$ 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) 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.



- 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 А на расстоянии $d/4$ от сетки 1.

Олимпиада «Физтех» по физике,
февраль 2023

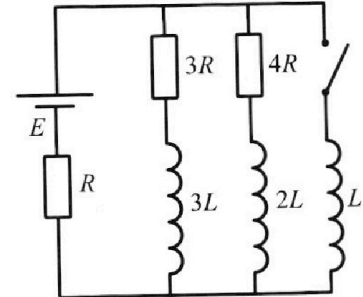
Вариант 11-03

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

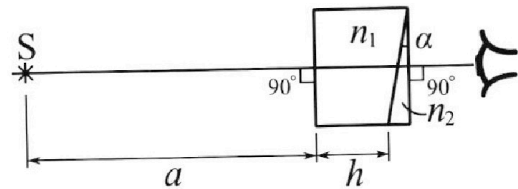
4. Параметры цепи указаны на схеме, все элементы идеальные. Ключ разомкнут, режим в цепи установился. Затем ключ замыкают.

- 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.



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!

$$1) \quad a = \frac{dv}{dt} = \dot{v} = \operatorname{tg} \alpha \approx \frac{5}{10} = 0,5 \text{ м/с}^2$$

$$2) \quad F_0 - F_k' = ma = 450 \text{ Н}$$

$$\frac{F_k}{F_k'} = \frac{v_k}{v_0} = \frac{25}{10} = 2,5 \quad F_k' = \frac{600}{2,5} = \frac{120}{0,5} = 240 \text{ Н}$$

$$F_0 = F_k' + ma = 240 + 450 = 990 \text{ Н}$$

$$3) \quad dE = F_0 ds - F_k' ds$$

$$P_0 = \frac{F_0 ds}{dt} = F_0 \cdot v_0 = 990 \cdot 10 = 9900 \text{ Вт}$$

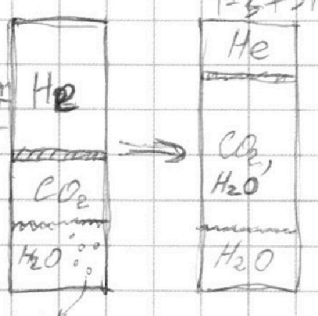
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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!

T_0
 $P_0 = \frac{P_{\text{атм}}}{2}$

 $T = 373 \text{ K}$
 $P_0 \cdot \frac{V}{T_0} = \frac{P \cdot V}{T}$
 $\frac{P_0}{2T_0} = \frac{P}{5T} \quad P = \frac{5TP_0}{2T_0}$
 $P_0 = \frac{V}{4} = \nu_{\text{CO}_2} RT_0$
 $\Delta \nu_{\text{CO}_2} = k \cdot P_0 \cdot \frac{V}{4}$

$(\nu_{\text{CO}_2} + \Delta \nu_{\text{CO}_2}) = \frac{P_0 V}{4} \left(k + \frac{1}{RT_0} \right) = \frac{P_{\text{CO}_2} \cdot V \cdot \frac{11}{20}}{RT}$
 $\nu_{\text{He}} = \frac{P_0 \cdot \frac{V}{2}}{RT_0}$
 $\frac{\nu_{\text{He}}}{(\nu_{\text{CO}_2} + \Delta \nu_{\text{CO}_2})} = \frac{P_0 V}{2RT_0} \cdot \frac{4RT_0}{P_0 V (1 + kRT_0)}$
 $= \frac{2}{1 + kRT_0} \quad \left[P_{\text{CO}_2} = \frac{5P_0}{11} \left(kRT_0 + \frac{T}{T_0} \right) \right]$

$P_{\text{H}_2\text{O}} \text{ при } 373 \text{ K} = 2P_0$
 $2P_0 + \frac{5P_0}{11} \left(kRT_0 + \frac{T}{T_0} \right) = \frac{5 \cdot T}{2 \cdot T_0} P_0$
 $2 + \frac{5}{11} \left(1.5 \cdot \frac{3}{2} + \frac{T}{T_0} \right) = \frac{5}{2} \cdot \frac{T}{T_0}$
 $2 + \frac{15}{22} + \frac{5}{11} \left(\frac{T}{T_0} \right) = \frac{5}{2} \left(\frac{T}{T_0} \right) \quad \frac{T}{T_0} \left(\frac{55-10}{22} \right) = \frac{44+15}{22}$
 $\frac{T}{T_0} = \frac{59}{45}$

$\frac{\nu_{\text{He}}}{\nu_{\text{CO}_2} + \Delta \nu_{\text{CO}_2}} = \frac{2}{1 + kRT_0 \cdot \frac{T_0}{T}} = \frac{2}{1 + \frac{3}{2} \cdot \frac{45}{59}} = \frac{236}{118+135} = \frac{236}{253}$

$\frac{\nu_{\text{He}}}{\nu_{\text{CO}_2}} = 2$

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

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

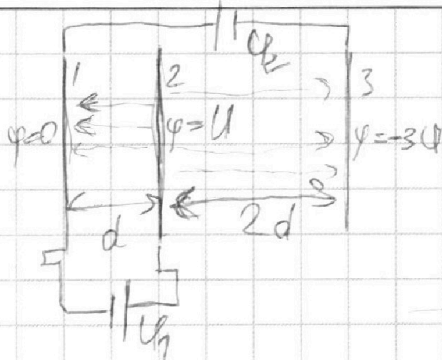
1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐

МФТИ

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



3



$$\varphi_2 - \varphi_1 = U_1$$

$$\varphi_1 - \varphi_3 = U_2$$

$$\text{Пусть } \varphi_2 = 0 \Rightarrow \varphi_1 = -U_1 = -U$$

$$\text{Пусть } \varphi_1 = 0 \Rightarrow \varphi_2 = U_1 = U, \varphi_3 = -U_2 = -3U$$

$$\varphi_2 - \varphi_3 = U_1 + U_2 = 4U$$

$$|\vec{E}_{12}| = \frac{\varphi_2 - \varphi_1}{d} = \frac{U}{d} \quad |\vec{a}_{12}| = \frac{|\vec{E}_{12}| \cdot q}{m} = \frac{qU}{dm}$$

~~$$\varphi_1 = 0, \varphi_2 = U, \varphi_3 = -3U$$~~

$$K_1 - K_2 = -U \cdot q$$

$$b) + \frac{mV_1^2}{2} = \frac{mV^2}{2} = \frac{Uq}{4} \quad V_1^2 - V^2 = \frac{Uq}{2m}$$

$$V^2 = \sqrt{V_1^2 - \frac{Uq}{2m}}$$

~~$$K = \frac{mV^2}{2} = \frac{m}{2} \left(V_1^2 - \frac{Uq}{2m} \right) = \frac{mV_1^2}{2} - \frac{Uq}{4}$$~~

~~$$\varphi_2 = 0 - U = \varphi_1 - 3U$$~~

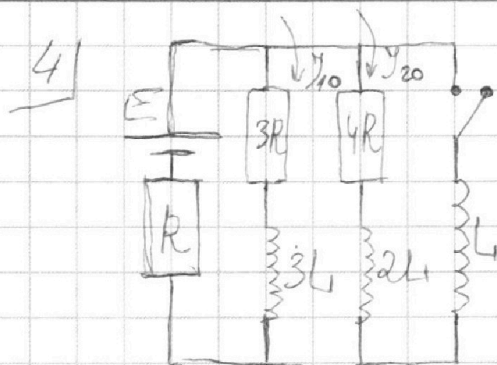
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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!



$$I_{10} \cdot 3R + I_{20} \cdot 4R + R \cdot (I_{10} + I_{20}) = \varepsilon$$

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

$$I_{20} = \frac{3}{4} I_{10} \quad I_{10} = I_{20} \cdot \frac{4}{3}$$

$$R \left(\frac{4}{3} I_{10} + I_{10} \right) = \frac{19}{3} I_{10} R = \varepsilon$$

$$I_{10} = \frac{4\varepsilon}{19R} \quad I_{20} = \frac{3\varepsilon}{19R}$$

2)

$$(I_1 + I_2 + I_3)_{t=0} = I_{10} + I_{20} = \frac{7\varepsilon}{19R}$$

$$U_L = \varepsilon - R \cdot (I_1 + I_2 + I_3) = \varepsilon - \frac{7\varepsilon}{19} = \frac{12}{19} \cdot \varepsilon$$

$$L \cdot \frac{dI_3}{dt} = \frac{12}{19} \varepsilon \quad \frac{dI_3}{dt} = \frac{12}{19} \frac{\varepsilon}{L}$$

$$\begin{cases} I_1(t) \cdot 3R + \frac{dI_1}{dt} \cdot 3L = U_1 \\ I_2(t) \cdot 4R + \frac{dI_2}{dt} \cdot 2L = U_2 \\ \frac{dI_3}{dt} \cdot L = U_3 \quad U_3 = U_2 = U_1 = U \\ (I_1 + I_2 + I_3)R + U = \varepsilon \end{cases}$$

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) $n_B = 1$

1) $n_1 = n_B = 1$

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n_2 = \frac{\alpha}{\beta}$$

$$\varphi = -(90 - \beta + \alpha) + 180 = 90 + \beta - \alpha$$

$$\beta = \alpha - \varphi$$

$$\frac{\sin \gamma}{\sin \alpha} = n_2 = \frac{\gamma}{\alpha - \beta} = \frac{\gamma}{\alpha - (\alpha - \varphi)} = \frac{\gamma}{\varphi} = \frac{\alpha}{\beta} \quad \beta = \frac{\alpha}{n_2} \quad \gamma = \alpha(n_2 - 1)$$

$$n_2 = \frac{\gamma}{\alpha - \frac{\alpha}{n_2}} = \frac{\gamma \cdot n_2}{\alpha(n_2 - 1)} \quad \gamma = \alpha(n_2 - 1) = 0,07_{\text{рад}}$$

2)

$$\frac{h}{a} = n_2$$

$$L_{SS*} = \alpha(n_2 - 1) \cdot (90 + 14) = 0,07 \cdot 104 = 7,28 \text{ см}$$



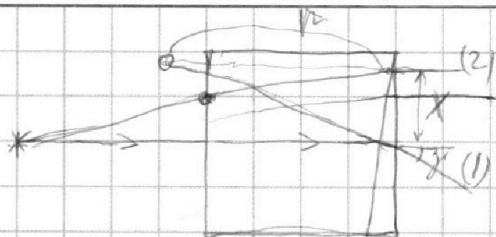
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐

МФТИ

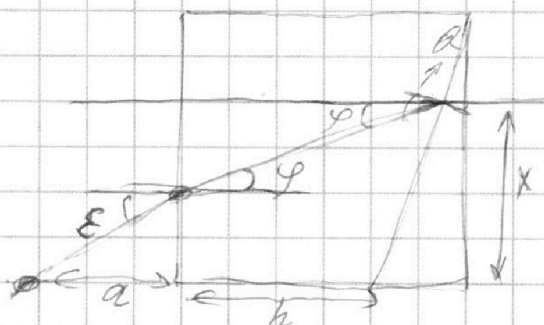
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



$$(1) \quad \frac{\beta}{\alpha} = \frac{n_1}{n_2} \quad \beta = \alpha \cdot \frac{n_1}{n_2}$$

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

$$\beta = n_2 \left(\alpha - \alpha \frac{n_1}{n_2} \right) = \alpha (n_2 - n_1)$$



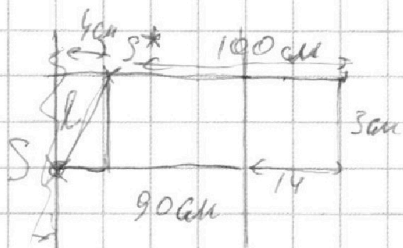
$$\alpha = \alpha \cdot \frac{n_2}{n_1} \quad \phi = \alpha \left(\frac{n_2}{n_1} - 1 \right)$$

$$\frac{\epsilon}{\phi} = n_1 \quad \epsilon = \alpha (n_2 - n_1)$$

$$X = d h \left(\frac{n_2}{n_1} - 1 \right) + \alpha d (n_2 - n_1) \\ = \alpha (n_2 - n_1) \left(\frac{h}{n_1} + d \right) =$$

$$= 0,1 \cdot 0,3 \left(\frac{14}{1,4} + 90 \right) = 3 \text{ см}$$

$$\frac{X}{d} = \tan \gamma \approx \gamma = \alpha (n_2 - n_1) \quad L = \frac{X}{\alpha (n_2 - n_1)} = 100 \text{ см}$$



$$L_{SS^*} = \sqrt{5^2 + 9^2} = 10 \text{ см}$$



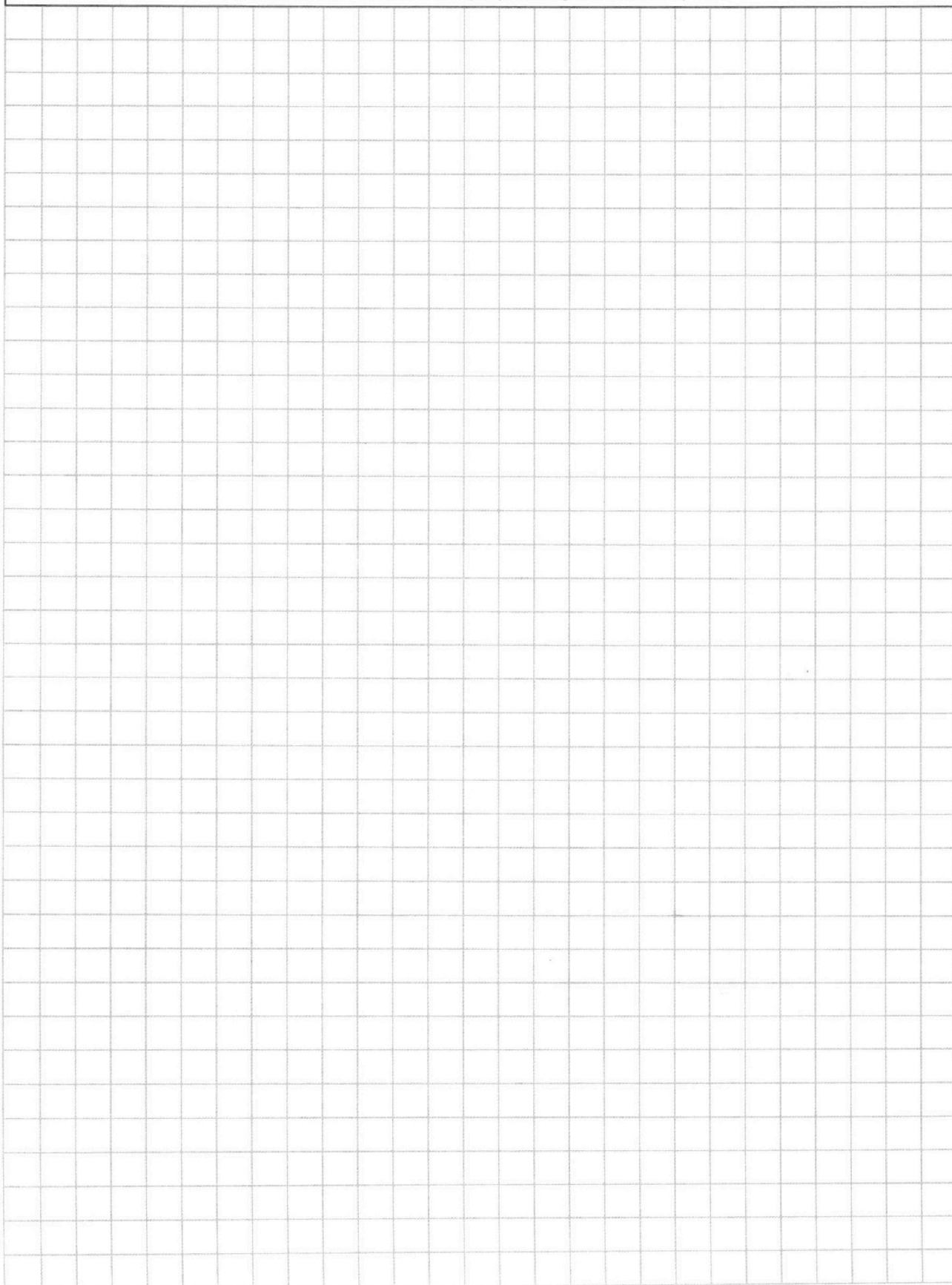
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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!





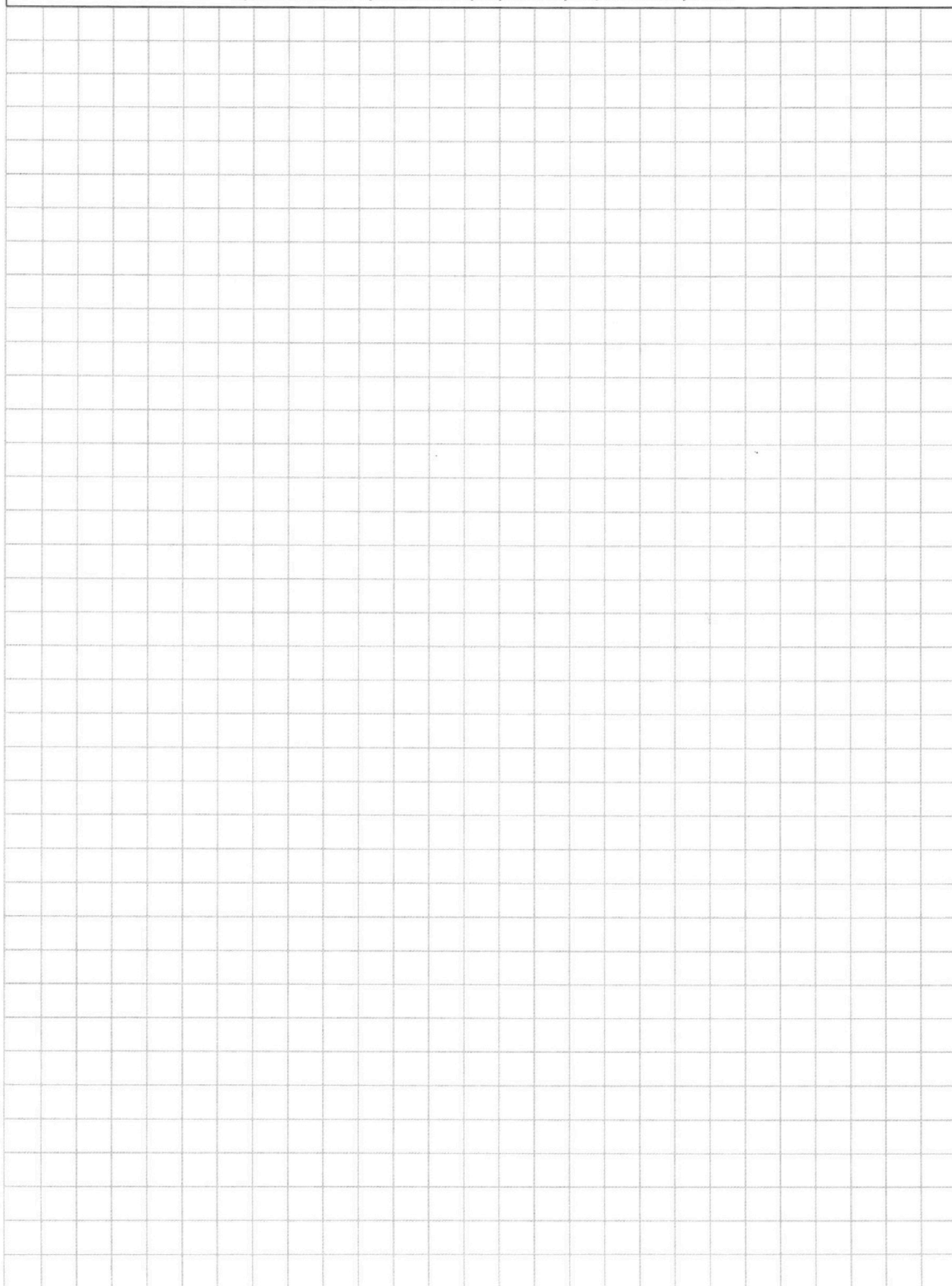
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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
☐

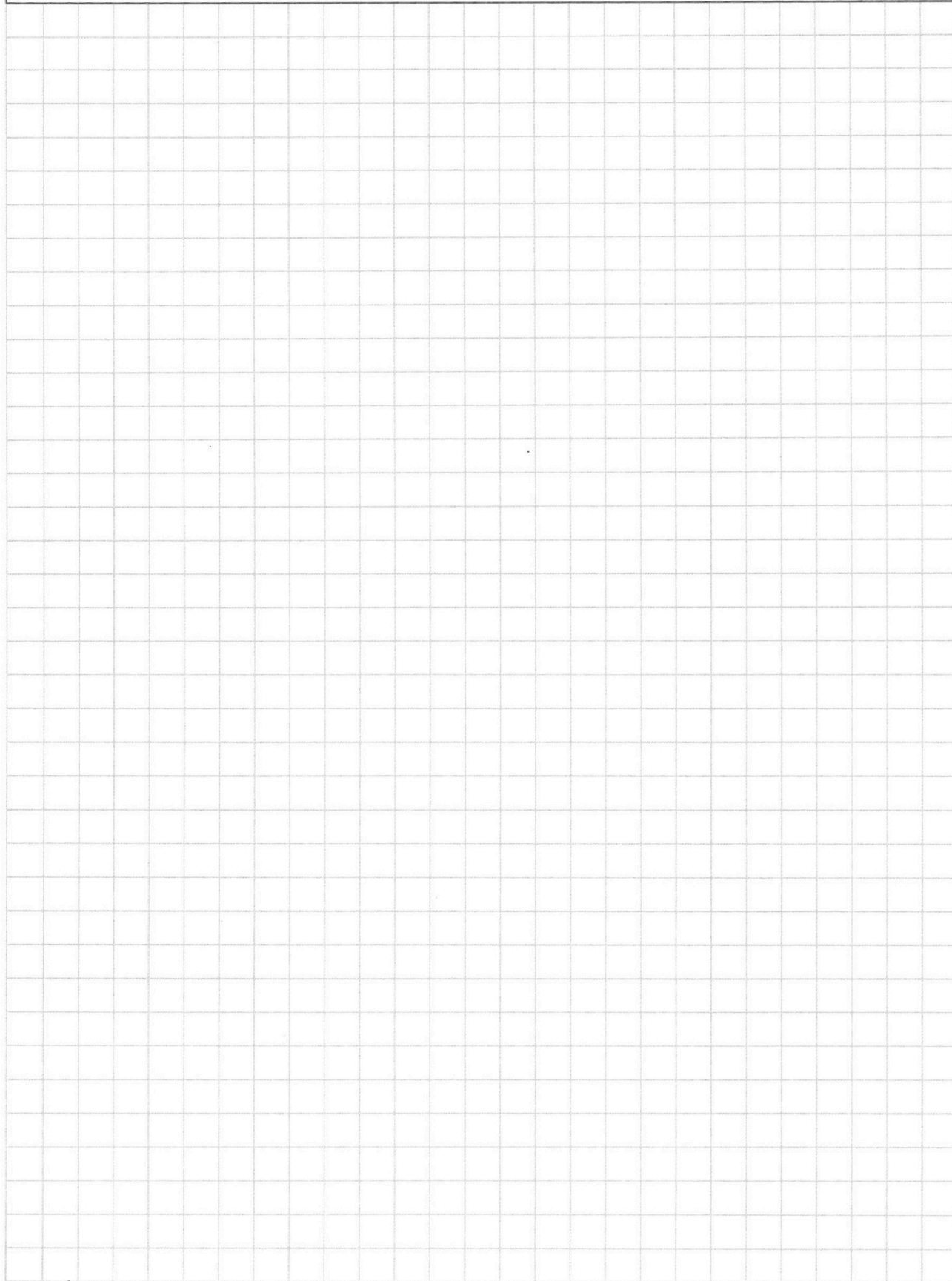
5
☐

6
☐

7
☐

 **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
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐



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

