



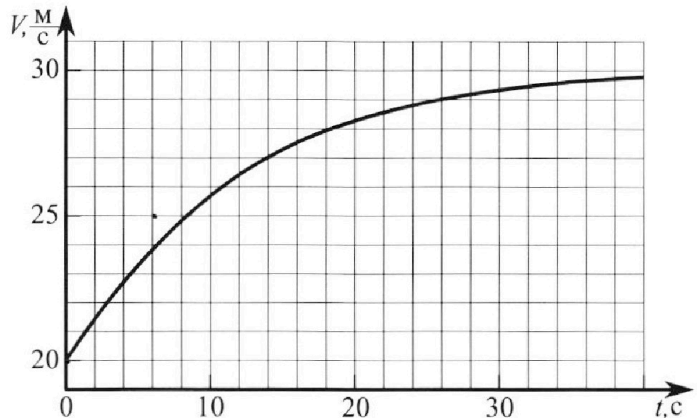
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

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.



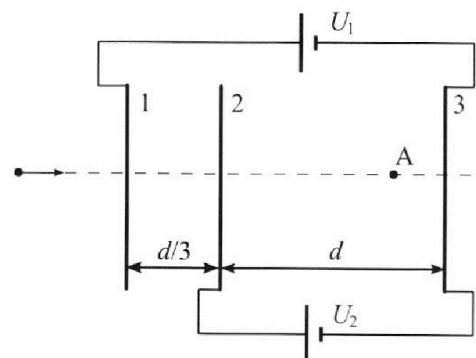
- 1) Используя график, найти ускорение мотоцикла в начале разгона.
 - 2) Найти силу сопротивления движению F_0 в начале разгона.
 - 3) Какая часть мощности, передаваемой на ведущее колесо, идет на преодоление силы сопротивления движению в начале разгона?
- Требуемая точность численного ответа на первый 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 Δn растворённого газа в объёме жидкости w пропорционально парциальному давлению p газа: $\Delta n = kpw$. 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.

- 1) Найти отношение количеств вещества в газообразном состоянии в верхней и нижней частях до нагревания.
- 2) 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.



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

Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

Вариант 11-04

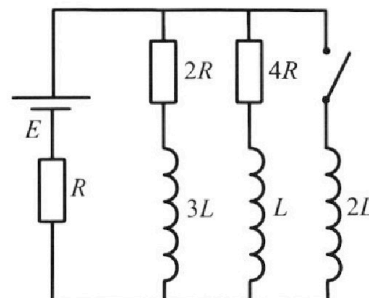
Во всех задачах, в ответах допустимы обыкновенные дроби
и радикалы.



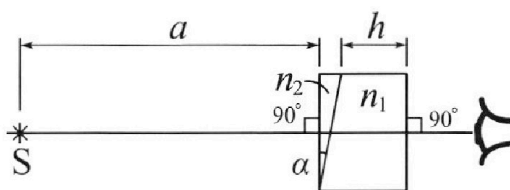
4. Параметры цепи указаны на схеме, все элементы идеальные. Ключ разомкнут, режим в цепи установился. Затем ключ замыкают.

- 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 ч ислowymi 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.



- 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
☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐

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

МФТИ



N1

1) Ускорение мотоцикла есть производная его скорости, и в начале разгона она примерно равна $\frac{5}{6} \text{ (м/с}^2\text{)}$

Ответ: $\frac{5}{6} \text{ м/с}^2 = a_0$

2) Сила, движущая мотоцикл, в каждый малый промежуток времени Δt равна $F_k = \frac{p \Delta t}{\Delta s} = \frac{p}{v}$.
В конце разгона ускорение мотоцикла равно нулю, $v_k = 30 \text{ м/с}$
 F_{rk} — движущая сила в конце

$$\begin{cases} F_k - F_{rk} = 0 \\ F_0 - F_0 = m a_0 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} F_k = \frac{p}{v_k} \\ F_0 = \frac{p}{v_0} - m a_0 \end{cases} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow F_0 = F_k \cdot \frac{v_k}{v_0} - m a_0 = 200 \text{ Н} \cdot \frac{30 \text{ м/с}}{20 \text{ м/с}} - 240 \text{ кг} \cdot \frac{5}{6} \text{ м/с}^2 = 100 \text{ Н}$$

Ответ: 100 Н

3) p — вся мощность двигателя
 p_c — на преодоление силы сопротивления (F_0)

$$p = F_k \cdot v_k$$

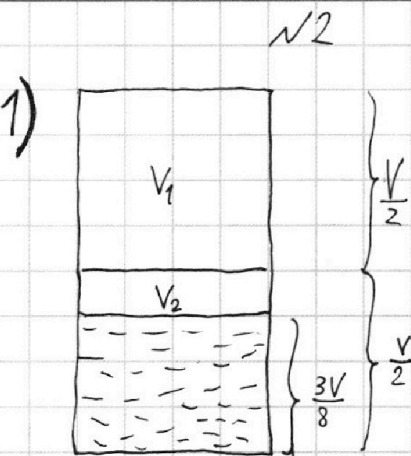
$$p_c = F_0 \cdot v_0$$

$$\frac{p_c}{p} = \frac{F_0 \cdot v_0}{F_k \cdot v_k} = \frac{100 \text{ Н} \cdot 20 \text{ м/с}}{200 \text{ Н} \cdot 30 \text{ м/с}} = \frac{1}{3}$$

Ответ: $p_c = \frac{1}{3} p$

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!



$$V_1 = \frac{1}{2} V$$

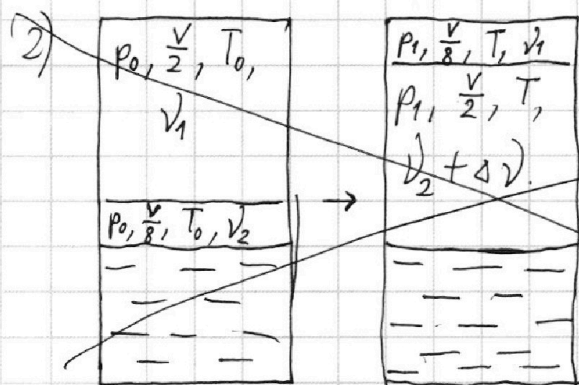
$$V_2 = \frac{1}{2} V - \frac{3}{8} V = \frac{1}{8} V$$

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{1}{2} V : \frac{1}{8} V = 4$$

~~Решение~~

$$p = \text{const}, T = \text{const} \Rightarrow \frac{V_1}{V_2} = \frac{V_1}{V_2} = 4$$

Ответ: $\frac{V_1}{V_2} = 4$



$$p_0 \cdot \frac{V}{2} = \nu_1 R T_0$$

$$p_1 \cdot \frac{V}{8} = \nu_1 R T$$

$$p_0 \cdot \frac{V}{8} = \nu_2 R T_0$$

$$p_1 \cdot \frac{V}{2} = (\nu_2 + \Delta \nu) R T$$

$$T = \frac{4}{3} T_0$$

$$\nu_1 = 4 \nu_2$$

$$\Delta \nu = k \cdot p_0 \cdot \frac{3V}{8}$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} p_1 \cdot \frac{V}{8} = \nu_1 R \cdot \frac{4}{3} T_0 = \frac{4}{3} \cdot p_0 \cdot \frac{V}{2} \\ p_1 \cdot \frac{V}{2} = \left(\frac{\nu_1}{4} + \frac{3V p_0 k}{8} \right) \cdot R \cdot \frac{4}{3} T_0 \end{cases}$$

$$p_1 = 8 \cdot \frac{4}{3} \cdot p_0 \cdot \frac{1}{2} = \frac{16}{3} p_0$$

$$\nu_1 = \frac{16}{3} p_0 \cdot \frac{V}{8} \cdot \frac{3}{4 T_0 R} = \frac{p_0 V}{2 T_0 R}$$

$$\frac{16}{3} p_0 \cdot \frac{V}{2} = \left(\frac{p_0 V}{8 T_0 R} + \frac{3 p_0 V k}{8} \right) \cdot R \cdot \frac{4}{3} T_0 \Leftrightarrow p_0 = \frac{p_0}{8} \cdot R \cdot 4 T_0 \cdot \left(\frac{1}{T_0 R} + \frac{3k}{8} \right)$$

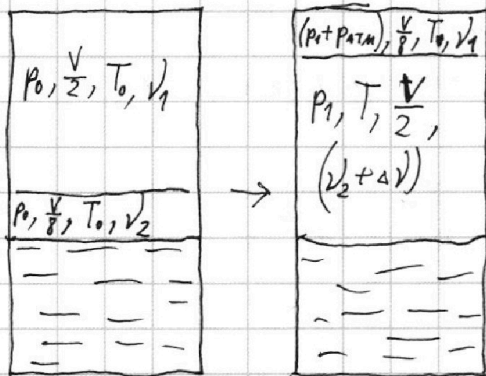
ма ~~Решение~~

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!



2) ^{N/2}



Заметим, что давление
водяного пара при T равно
атмосферному давлению.

Поэтому давление углекислого
газа после нагревания ниже
нормы будет на $p_{\text{атм}}$ меньше, чем
выше нормы

$$\begin{cases} p_0 \cdot \frac{V}{2} = \frac{1}{2} RT_0 \\ p_0 \cdot \frac{V}{8} = \frac{1}{2} RT_0 \\ (p_1 + p_{\text{атм}}) \cdot \frac{V}{8} = \frac{1}{2} RT \\ p_1 \cdot \frac{V}{2} = (V_2 + \Delta V) RT \\ \Delta V = \frac{3k p_0 V}{8} \\ \frac{1}{2} = \frac{4}{3} \frac{1}{2} \\ T = \frac{4}{3} T_0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} p_0 V = 8 \frac{1}{2} RT_0 \\ p_1 V = 2(V_2 + \Delta V) \cdot \frac{4}{3} T_0 \\ p_1 V + p_{\text{атм}} V = 32 \cdot \frac{4}{3} \frac{1}{2} RT_0 \\ \Delta V = p_0 V \cdot \frac{3k}{8} \end{cases} \Leftrightarrow$$

$$\begin{cases} p_1 + p_{\text{атм}} = \frac{16}{3} p_0 \\ p_1 V = \frac{p}{3} \cdot (\frac{1}{2} RT_0 + \Delta V RT_0) \\ \Delta V = p_0 V \cdot \frac{3k}{8} \end{cases} \Leftrightarrow$$

$$RT_0 = \frac{3}{4} RT = \frac{9}{4} \left(\frac{8k}{\text{моль}} \right)$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} p_1 V = \frac{p_0 V}{3} + p_0 V \cdot \frac{3k RT_0}{8} \cdot \frac{8}{3} \\ p_1 = \frac{16}{3} p_0 - p_{\text{атм}} \end{cases} \Leftrightarrow \frac{16}{3} p_0 - p_{\text{атм}} = \frac{p_0}{3} + p_0 \cdot k RT_0$$

$$p_{\text{атм}} = 5 p_0 - p_0 \cdot k RT_0 = p_0 \cdot (5 - k RT_0)$$

$$p_0 = \frac{1}{5 - k RT_0} \cdot p_{\text{атм}}$$

$$p_0 = \frac{1}{5 - k RT_0} \cdot p_{\text{атм}} = \frac{20}{73} p_{\text{атм}}$$

$$\text{Ответ: } p_0 = \frac{20}{73} p_{\text{атм}}$$

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

- 1) A_{23} - работа при пролете между 2 и 3
 F_{23} - сила, действ. на частицу в это время

$$A_{23} = U_2 \cdot q$$

$$A_{23} = F_{23} \cdot d$$

$$F_{23} = m a_{23}$$

$$a_{23} = \frac{F_{23}}{m} = \frac{1}{m} \cdot \frac{A_{23}}{d} = \frac{U_2 q}{m d}$$

2) $K_3 - K_2 = A_{23} = U_2 q = U q$

- 3) A_{13} - работа при пролете от 1 до 3

$$K_3 - K_1 = A_{13}$$

$$A_{13} = U_1 q$$

$v_1 \approx v_0$
 малая
 скорость
 частицы

$$\frac{m}{2} \cdot (v_3^2 - v_1^2) = U_2 q$$

$$v_3^2 = v_0^2 + \frac{2 U_2 q}{m}$$

$$v_3 = \sqrt{v_0^2 + \frac{2 U_2 q}{m}}$$

$$S_{A3} = \frac{d}{4}$$

$$v_3 - v_A = a_{23} \cdot t$$

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{d}{4} &= \frac{a_{23} \cdot t^2}{2} \end{aligned} \right.$$

$$\Leftrightarrow \left\{ \begin{aligned} \frac{d}{2} &= \frac{(v_3 - v_A)^2}{a_{23}} \end{aligned} \right. \Leftrightarrow v_A = v_3 - \sqrt{\frac{a_{23} d}{2}} = v_3 - \sqrt{\frac{U q}{2m}} =$$

$$= \sqrt{v_0^2 + \frac{2 U_2 q}{m}} - \sqrt{\frac{U q}{2m}} = \sqrt{v_0^2 + \frac{10 U q}{m}} - \sqrt{\frac{U q}{2m}}$$

Ответ: $v_A = \sqrt{v_0^2 + \frac{10 U q}{m}} - \sqrt{\frac{U q}{2m}}$

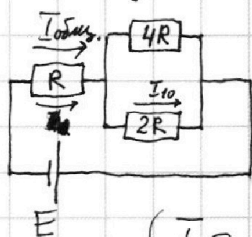
1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐

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



✓4

- 1) При установившемся режиме катушки не влияют на токи,
и схему можно представить так:



$$R_{\text{общ}} = R + \frac{4R \cdot 2R}{2R + 4R} = \frac{7}{3}R$$

$$I_{\text{общ}} = \frac{E}{R_{\text{общ}}} = \frac{3}{7} \cdot \frac{E}{R}$$

$$\begin{cases} I_{\text{общ}} = I_{20} + I_{10} \\ I_{10} \cdot 2R = I_{20} \cdot 4R \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} I_{20} = \frac{1}{2} I_{10} \\ I_{\text{общ}} = 3I_{20} \end{cases}$$

$$3I_{20} = \frac{3}{7} \cdot \frac{E}{R}$$

Ответ: $I_{20} = \frac{E}{7R}$

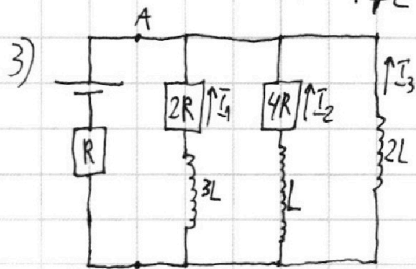
2) $U_L = 2L I'_{2L}$

U_L — напряжение на катушке

$$I_{\text{общ}} = \frac{U_L}{R} = \frac{3E}{7R} \Rightarrow U_L = \frac{43}{7}E$$

$$I'_{2L} = \frac{U_L}{2L} = \frac{3E}{7} \cdot \frac{1}{2L} = \frac{3E}{14L}$$

Ответ: $I'_{2L} = \frac{3E}{14L}$



Пусть напряжение между A и B равно $U(t)$.

$$I'_1(t) = \frac{U(t)}{3L}$$

$$I'_2(t) = \frac{U(t)}{L}$$

$$I_1(t) = \int_{\frac{4}{7}E}^0 \frac{U(t)dt}{3L} = \frac{1}{3L} \int_{\frac{4}{7}E}^0 U(t)dt$$

$$I_2(t) = \int_{\frac{4}{7}E}^0 \frac{U(t)dt}{L} = 3 I_1(t)$$

$$U(0) = \frac{4}{7}E$$

$$U(\infty) = 0$$

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!



№5

1)

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{10}{17}$$

α и β - малые, значит,

$$\frac{\alpha}{\beta} \approx \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{10}{17} \Rightarrow$$

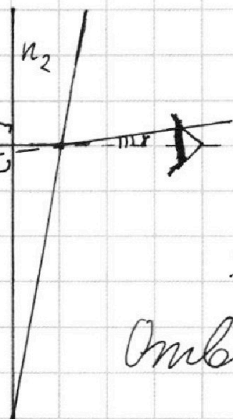
$$\Rightarrow \beta = 1,7\alpha$$

$$\gamma = \beta - \alpha = 0,7\alpha = 0,07 \text{ рад}$$

Ответ: ~~0,07 рад~~ 0,07 рад.

2)

источник
S
S'
раздвоение



Угол γ малый, поэтому
сместим точки
выхода луча в глаз можно
пренебречь.

$$SS' \approx a \cdot 2 \sin \frac{\gamma}{2} \approx a \gamma = 0,07a \text{ (см.п.1)}$$

Ответ: 0,07a



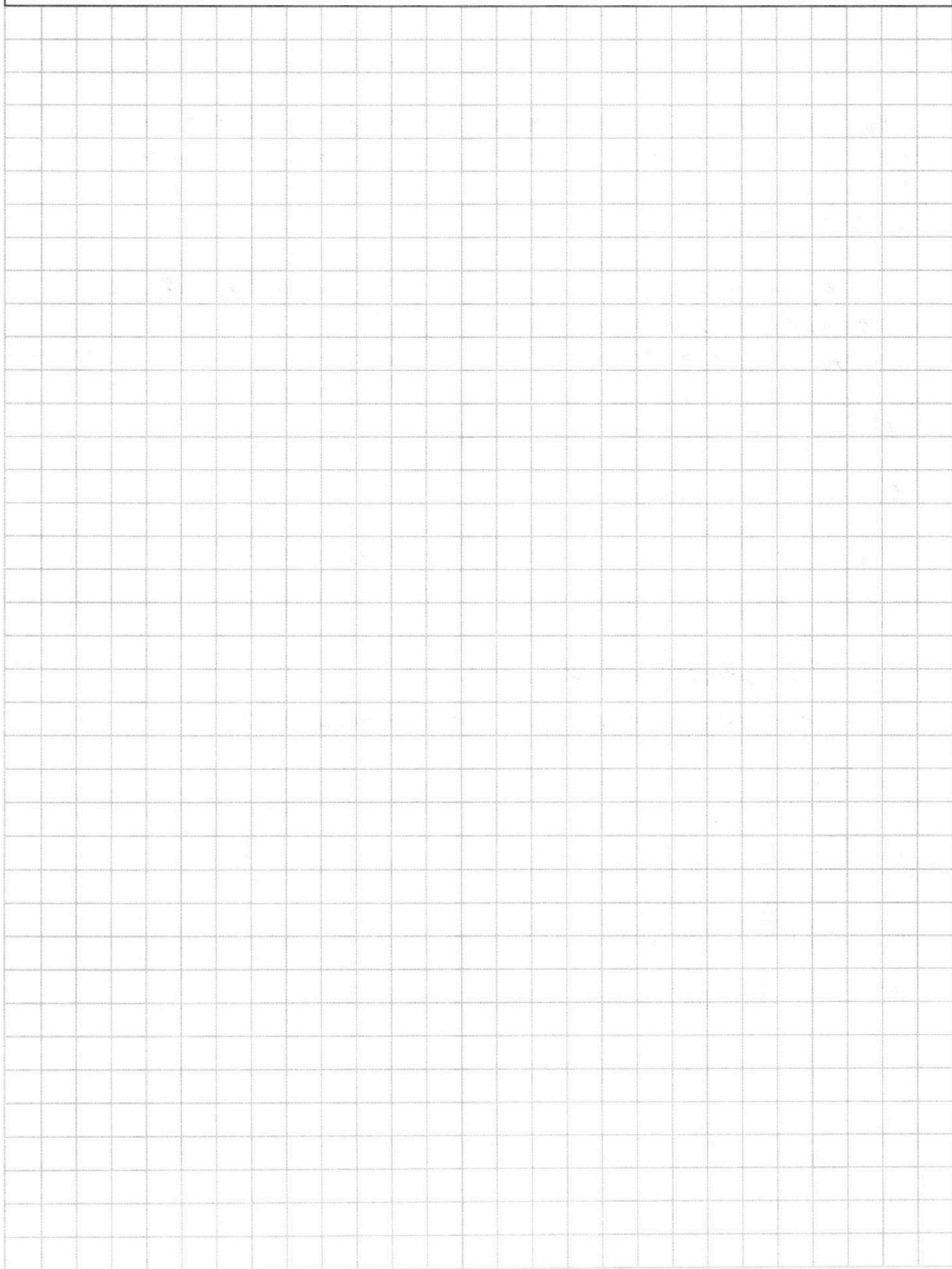
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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!

$$p_0 V = 2 \nu_1 R T_0$$

$$p_1 V = 8 \cdot \frac{4}{3} \cdot \nu_1 R T_0$$

$$\Leftrightarrow p_0 V = 8 \nu_2 R T_0$$

$$p_1 V = 2(\nu_2 + \Delta \nu) R \cdot \frac{4}{3} T_0$$

$$\Delta \nu = k p_0 \cdot \frac{3}{8} V$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} 2 \nu_1 R T_0 = 8 \nu_2 R T_0 \\ \frac{32}{3} \nu_1 R T_0 = \frac{8}{3} \cdot (\nu_2 + \Delta \nu) R T_0 \\ \Delta \nu = k p_0 V \cdot \frac{3}{8} \end{cases} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} \nu_1 = 4 \nu_2 \\ 4 \cdot 4 \nu_2 R T_0 = \nu_2 R T_0 + \Delta \nu R T_0 \\ \Delta \nu = k p_0 V \cdot \frac{3}{8} \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} \Delta \nu = 15 \nu_2 \\ \Delta \nu = \frac{3}{8} \cdot k \cdot p_0 V \end{cases} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow p_0 = \frac{15 \nu_2}{\frac{3}{8} k V} = \frac{5 \nu_2}{8 k V}$$

$$k R T_0 = 0,6 \cdot \frac{9}{4} = \frac{5,4}{4} = \frac{54}{40} = \frac{27}{20}$$

$$5 - \frac{27}{20} = \frac{100 - 27}{20} = \frac{73}{20}$$

$$p = F \nu = F \cdot \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

$$F = \frac{p \Delta t}{\Delta s}$$

$$E: R_{\text{общ.}} = U(0): (R_{\text{общ.}} - R)$$

$$\cancel{\frac{E R}{R}} \neq \frac{4}{3} \cancel{U R} \quad U \neq \frac{4}{3} E$$

$$\frac{3E}{7R} = \frac{3U}{4R} \quad U = \frac{4}{7} E$$



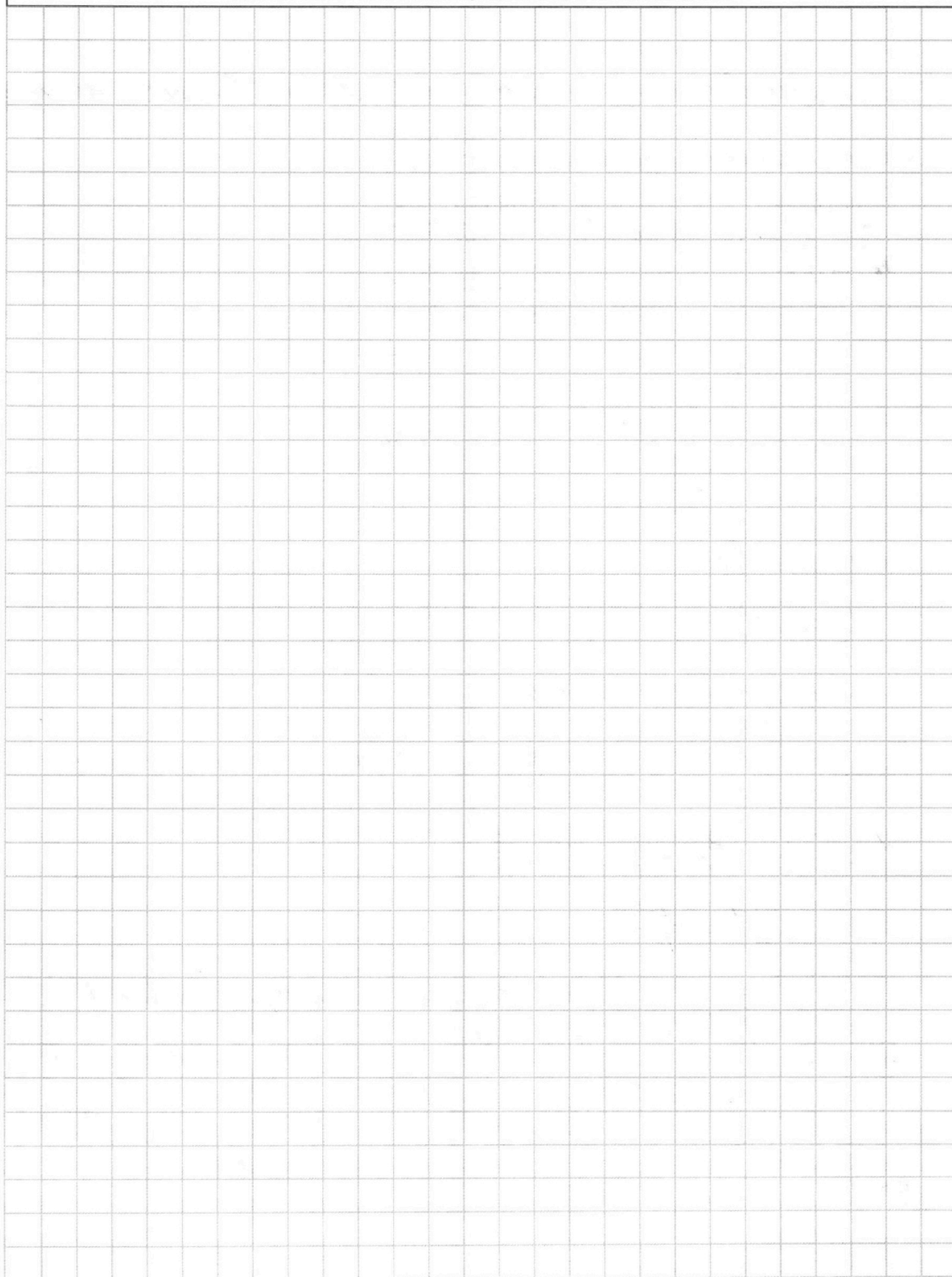
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

 **МФТИ**

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

