



Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2024

Вариант 11-05

В ответах всех задач допустимы обыкновенные дроби
и радикалы.

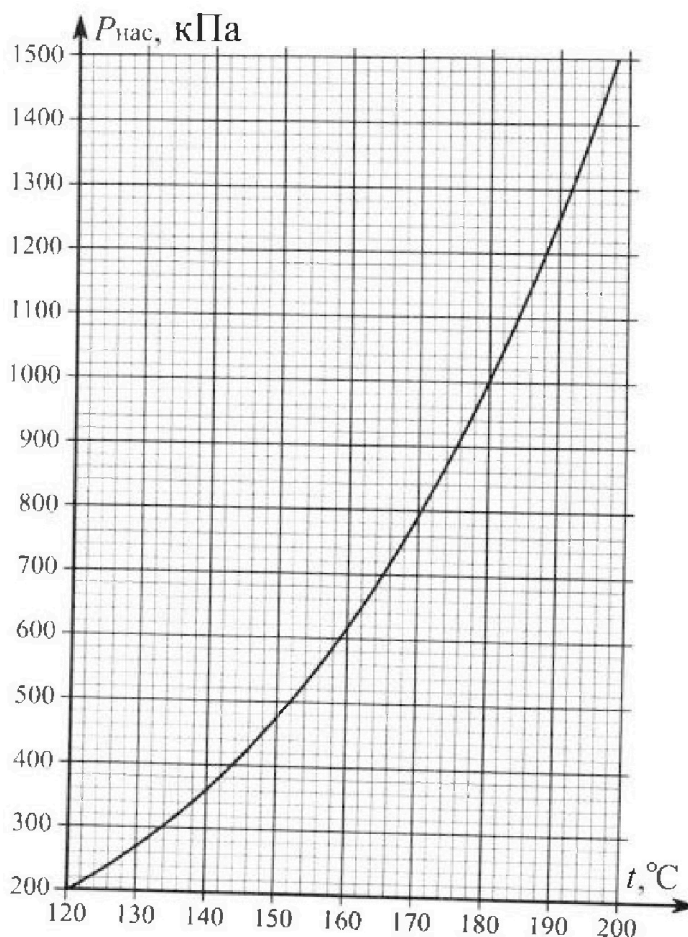


1. Из игрушечной пушки стреляют три раза одним и тем же снарядом. Масса пушки без снаряда в 4 раза больше массы снаряда. Первый раз пушку закрепляют, а ствол направляют вертикально вверх. В результате выстрела снаряд поднялся на высоту $H = 13/3$ м. Во второй раз пушку закрепляют на горизонтальном полу, ствол направляют под углом φ ($\operatorname{tg} \varphi = 2/3$) к горизонту и стреляют. Третий раз пушка может скользить по горизонтальной поверхности пола без трения, поступательно, не отрываясь от пола. Ствол при третьем выстреле направлен под углом φ к горизонту.

- 1) Найти дальность полета S_2 снаряда при втором выстреле.
- 2) На каком расстоянии S_3 от места выстрела снаряд упадет на пол при третьем выстреле?

Размеры пушки и сопротивление воздуха не учитывать. Снаряд вылетает под действием сжатой легкой пружины. Ответы дать в метрах в виде обыкновенной дроби или целого числа.

2. В цилиндрическом теплоизолированном сосуде с площадью основания $S = 10 \text{ см}^2$ под лёгким, теплоизолированным, способным свободно перемещаться поршнем находится в равновесии влажный воздух с относительной влажностью $\varphi_1 = 100\%$ при температуре $t_1 = 100^\circ\text{C}$. Над поршнем вакуум. Поршень удерживается в равновесии силой $F = 150 \text{ Н}$, направленной вдоль оси сосуда внутрь. В некоторый момент времени сила становится равной $1,5F$, и затем остаётся постоянной. Считайте, что нормальное атмосферное давление $P_0 \approx 100 \text{ кПа}$. Воздух и водяной пар считать идеальными газами с молярными теплоемкостями при постоянном объеме $C_{11} = 5R/2$ (сухой воздух), $C_{12} = 3R$ (пар). На рисунке представлена зависимость давления насыщенного пара воды от температуры $P_{\text{нас}}(t)$.



- 1) Найти отношение начального равновесного давления P_1 к P_0 .
- 2) Найти в сосуде отношение числа молекул воды N_2 к числу молекул сухого воздуха N_1 .
- 3) Найти отношение температуры T_2 после установления термодинамического равновесия к начальной температуре T_1 . Температуры T_2 и T_1 по шкале Кельвина. Ответ дать в виде обыкновенной дроби.
- 4) Найти относительную влажность воздуха φ_2 в сосуде после установления термодинамического равновесия.

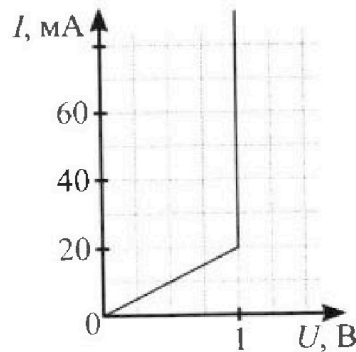
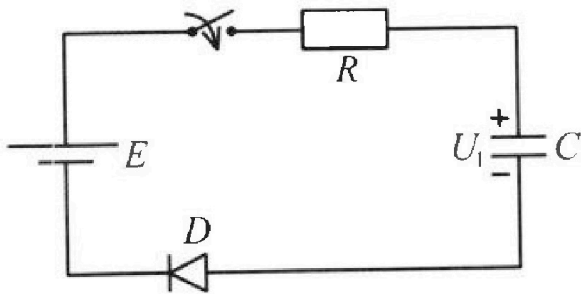
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2024

Вариант 11-05

В ответах всех задач допустимы обыкновенные дроби
и радикалы.

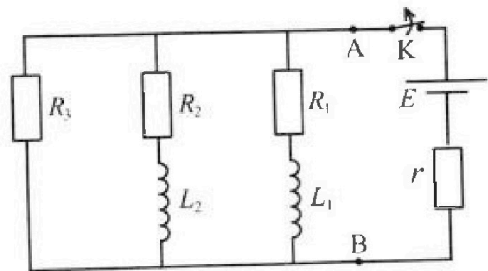
В цепи (см. рис.) ЭДС идеального источника $E = 9$ В, $R = 100$ Ом, $C = 60$ мкФ, конденсатор заряжен до напряжения $U_1 = 3$ В. Вольтамперная характеристика диода D приведена на рисунке. Ключ разомкнут, затем ключ замыкают.

- 1) Найти ток I_1 в цепи сразу после замыкания ключа.
- 2) Найти напряжение U_2 на конденсаторе в момент, когда ток в цепи станет $I_2 = 20$ мА.
- 3) Какое количество теплоты Q выделится на резисторе после замыкания ключа?



4. В цепи (см. рис.) ЭДС идеального источника E , $R_1 = R_2 = R$, $R_3 = 2R$, $r = R/5$, $L_1 = L$, $L_2 = 2L$. Ключ K замкнут, режим в цепи установился.

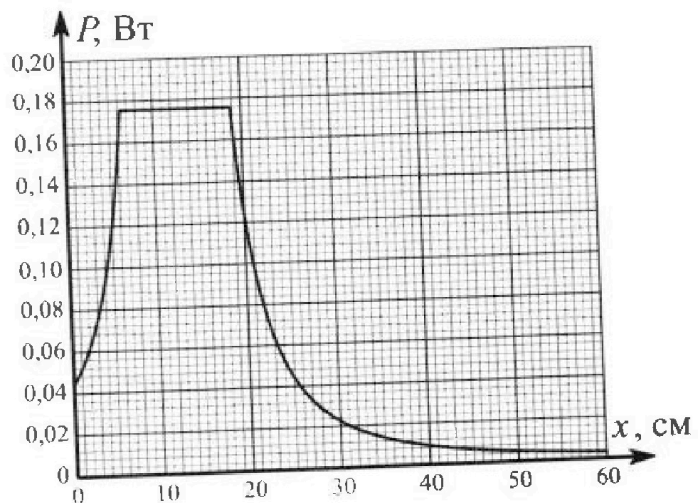
- 1) Найти ток I_0 через катушку L_1 при замкнутом ключе.
- 2) Найти скорость изменения (по модулю) тока в катушке L_1 сразу после размыкания ключа.
- 3) Найти заряд q_3 , протекший через резистор R_3 после размыкания ключа.



Каждый ответ выразить через E , R , L с числовым коэффициентом в виде обыкновенной дроби.

5. Точечный источник излучает свет одинаково по всем направлениям. На некотором расстоянии от него расположили датчик в форме диска, регистрирующий мощность P падающего света. Ось симметрии датчика проходит через источник. Между источником и датчиком на фиксированном расстоянии $a = 32$ см от источника расположили тонкую линзу радиусом $R = 2$ см так, что главная оптическая ось линзы совпала с осью симметрии датчика. На рисунке представлен график зависимости показаний датчика от расстояния x между линзой и датчиком.

- 1) Найти радиус датчика r , считая его меньше радиуса линзы.
- 2) Найти фокусное расстояние F линзы.
- 3) Найти мощность источника P_0 , считая $R \ll a$.





На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.



СТРАНИЦА
1 ИЗ 1

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!

№ 1

из I случая: m - масса шара и $4m$ масса пушки в момент выстрела
из ЗСЭ вся энергия пружины перешла в кинетическую

и потом в потенциальную

$$E_{\text{п}} = \frac{mV_{\text{ш}}^2}{2} = mgh \quad (V_{\text{ш}} - \text{максимальная скорость шара})$$

$$V_{\text{ш}}^2 = 2gh$$

в II случае:

время подлёта пушки

время подлёта

$$S_2 = V_{\text{ш}} \cdot \cos \varphi (t-1) = V_{\text{ш}} \sin \varphi - gt = 0 \Rightarrow t = \frac{V_{\text{ш}} \sin \varphi}{g}$$

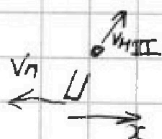
$$V_{\text{ш}} \sin \varphi$$

$$\sin \varphi = \frac{2}{\sqrt{13}} \quad \cos \varphi = \frac{3}{\sqrt{13}}$$

$$= \frac{18}{3} \cdot 4 \cdot \frac{2}{\sqrt{13}} \cdot \frac{3}{\sqrt{13}} = 8 \text{ м}$$

в III случае

импульс по ОХ сохраняется. Энергия системы сохраняется.



$$\text{ЗСД: } 0 = V_{\text{ш III}} \cos \varphi - m \cdot 4 \cdot V_{\text{п}} \Rightarrow V_{\text{ш III}} = \frac{4V_{\text{п}}}{\cos \varphi}$$

$$\text{ЗСЭ: } mgh = \frac{m(V_{\text{ш III}})^2}{2} + \frac{4m(V_{\text{п}})^2}{2} \quad V_{\text{п}} = \sqrt{2gh - (V_{\text{ш III}})^2}$$

$$V_{\text{ш III}} \cos \varphi = 2 \sqrt{2gh - (V_{\text{ш III}})^2} \Rightarrow V_{\text{ш}}^2 = \frac{8gh}{4 + \cos^2 \varphi} = g \cdot \frac{8 \cdot 13}{3(4 + \frac{9}{13})}$$

аналогично с II случаем получаем высоту

$$S_3 = \frac{V_{\text{ш}}^2}{g} 2 \cos \varphi \sin \varphi = \frac{8}{g} \cdot \frac{8 \cdot 13}{3(4 + \frac{9}{13})} \cdot \frac{2}{\sqrt{13}} \cdot \frac{3}{\sqrt{13}} = \frac{32}{4 + \frac{9}{13}} = \frac{32 \cdot 13}{4 \cdot 13 + 9} = \frac{416}{61} \text{ м}$$

Ответ: $S_2 = 8 \text{ м}$ $S_3 = \frac{416}{61} \text{ м}$



На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

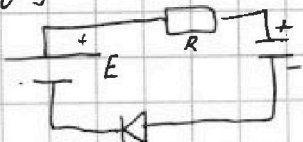
1 ☐ 2 ☐ 3 ☒ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐

СТРАНИЦА

1 ИЗ 1

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!

N 3



- 1) Предположим что диод полностью открыт, тогда падение напряжения на открытом диоде $U_D = 1\text{ В}$

$$E = I_1 R + U_1 + U_D \text{ тогда } I_1 = \frac{E - U_1 - U_D}{R} = \frac{5 - 4 - 1}{100} = 0,05 \text{ А} - \text{при этом ток}$$

диод и резистор будет открыт. Значит мы верно предположили. (если диод будет не полностью открыт то падение будет меньше, а ток будет больше, но тогда ток был бы больше и диод был открыт)

$$I_1 = 0,05 \text{ А}$$

- 2) Если ток будет 20 мА , то диод еще будет полностью открыт. А падение напряжения на резисторе будет $I_2 R = 0,02 \cdot 100 = 2 \text{ В}$ тогда:

$$E = U_D + I_2 R + U_2 \rightarrow U_2 = E - U_D - I_2 R = 5 - 1 - 2 = 2 \text{ В}$$

$$U_2 = 2 \text{ В}$$

- 3) Но того как диод не перестанет быть полностью открытым:

$$p = U_D \cdot \frac{dq}{dt}, \text{ если считать на время то } Q_{\text{открыто}} = U_D q, \text{ заряд прошедший через диод. } \frac{C U_1^2}{2} + E(C U_2 - C U_1) = Q_{\text{открыто}} + Q_{R_1} + \frac{C U_2^2}{2}$$

$$\rightarrow Q_{R_1} = \frac{C}{2} (U_1^2 - U_2^2) + C(U_2 - U_1)(E - U_D) = C \cdot \left(\frac{24 + 9 - 36}{2} \right) = 0,60 \cdot 6 \cdot 10^{-6} \cdot 10,5 =$$

$$63 \cdot 10^{-6} \text{ Дж}$$

После этого то как диод перестанет быть полностью открыт его ток совпадает с резистором $R_D = \frac{U_D}{I_1} = \frac{1}{0,02} = 50 \text{ Ом}$ и диод можно представить как резистор $\frac{C U_2^2}{2} + E(C U_2 - C U_1) = Q_{R+D} + \frac{C E^2}{2} \rightarrow Q_{RD} = \frac{C}{2} (U_2^2 - E^2) + E C (E - U_2)$

$$Q_{RD} = Q_{R_2} + Q_D \text{ (потери относятся также как мощности и моменты)}$$

$$\left(\text{принципиально противоположно} \right) \frac{Q_{R_2}}{Q_D} = \frac{I^2 R \cdot dt}{I^2 R_D \cdot dt} \rightarrow Q_D = Q_{R_2} \cdot \frac{R_D}{R}$$

$$Q_{RD} = Q_{R_2} \left(1 + \frac{R_D}{R} \right) = Q_{R_2} 1,5 \rightarrow Q_{R_2} = \frac{Q_{RD}}{1,5} = \frac{C}{1,5} \left(\frac{81}{10} - 6 + 18 - 495 \right) = C \cdot 38 = 18 \cdot 10^{-3} \text{ Дж}$$

$$Q = Q_{R_1} + Q_{R_2} = 81 \cdot 10^{-6} \text{ Дж}$$

$$\text{Ответ: } 81 \cdot 10^{-6} \text{ Дж } I_1 = 0,05 \text{ А } U_2 = 2 \text{ В } Q = 81 \cdot 10^{-6} \text{ Дж}$$



На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

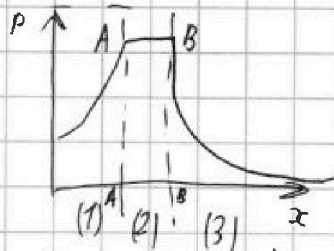
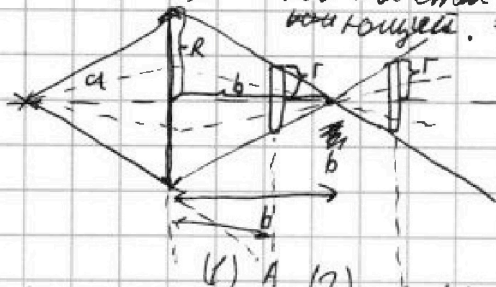
1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☒ 6 ☐ 7 ☐

СТРАНИЦА
1 из 1

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!

№5

Если бы линза была рассеивающей то источник как бы стал дивергентным и у график был бы настолько удобным вычислялся. Но не так значит линза собирающая



В областях (1) (3) не все параллельные лучи от линзы попадают на датчик.

В области (2) все лучи параллельные через линзу попадают на датчик.

из симметрии на участке (2) расстояние b в котором находится изображение источника $b = \frac{a+b}{2} = \frac{6+14}{2} = 12,5 \text{ см}$

из формулы тонкой линзы: $\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{F}$ $F = \frac{ab}{a+b} = \frac{32 \cdot 12,5}{44,5} = \frac{32 \cdot 25}{89} = \frac{800}{89}$

$$P(x) = \frac{P_{\text{ист}} \cdot \frac{b}{a} \cdot R}{\pi r^2} = \frac{P_{\text{ист}} \cdot b \cdot R}{\pi a^2 r^2}$$

из подобия треугольников $\frac{R}{r} = \frac{b-x}{b} \Rightarrow r = R(1 - \frac{x}{b}) = 2 \cdot \frac{1}{2} = 1 \text{ см}$

3) Если считать $R \ll a$ то $\frac{P_{\text{датчик}}}{P_0} = \frac{\pi r^2}{4\pi a^2}$ телесный угол линзы

$$P_0 = \frac{P_{\text{датчик}} \cdot 4a^2}{r^2} = 0,146 \cdot 4 \cdot \left(\frac{32}{2}\right)^2 = 0,404 \cdot 256 = 103,224 \text{ Вт}$$

Ответ: $r = 1 \text{ см}$; $F = \frac{800}{89} \text{ см}$; $P_0 = 103,224 \text{ Вт}$

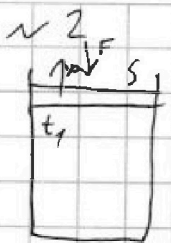


На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.



СТРАНИЦА
1 ИЗ 1

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!



По II закону Ньютона для поршня $p_1 S = F \Rightarrow p_1 = \frac{F}{S}$
давление в сосуде $\frac{F}{S} = \frac{150}{0,001} = 150 \text{ кПа} = p_1$

$$\frac{p_1}{p_0} = \frac{150 \text{ кПа}}{10 \text{ кПа}} = 1,5$$

т.к. температура $t_1 = 100^\circ$ то $p_{\text{нал. пар.}}$ равно p_0

т.е. в сосуде пар при давлении p_0 (насыщенный пар (т.к. $\varphi_1 = 100\%$)) отстоит:

$$p_1 = p_{\text{с.в.}} + p_{\text{пар}} = p_0 + p_{\text{с.в.}} = 1,5 p_0 \Rightarrow p_{\text{с.в.}} = 0,5 p_0$$

сухой воздух

Отношение количества молекул равно отношению концентраций т.к. одинаковый объем:

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{p_2}{p_1} = \frac{\frac{p_0}{K(T_1 + 273)}}{\frac{p_0}{K(T_2 + 273)}} = 2$$

Ответ: $p_1 = 1,5 p_0$; $\frac{n_2}{n_1} = 2$



На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐

СТРАНИЦА
1 ИЗ 1

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!

~4 ток через r

$$1) I_0 = \frac{E - E \left(\frac{R}{5 \left(\frac{R}{5} + \frac{R}{5} \right)} \right)}{R} = \frac{2}{3} \frac{E}{R}$$

2) ток через катушку тоже может мгновенно поменяться по этому ток не будет меняться

Ответ 1) $I_0 = \frac{2}{3} \frac{E}{R}$ 2) скорость изменения равна нулю

напряжения на катушке и на R₃ и на R₂ и L₂ и на R₁ + L₁ равны

$$R_3 I_3 = R_2 I_2 + L_2 \left(\frac{dI_2}{dt} \right) = R_3 I_3 + L_3 \left(\frac{dI_3}{dt} \right)$$
$$R_3 I_3 = R_2 I_2 + L_2 \left(\frac{dI_2}{dt} \right) = R_3 I_3 + L_3 \left(\frac{dI_3}{dt} \right)$$

Ответ 1) $I_0 = \frac{2}{3} \frac{E}{R}$ 2) скорость изменения тока в начале мал

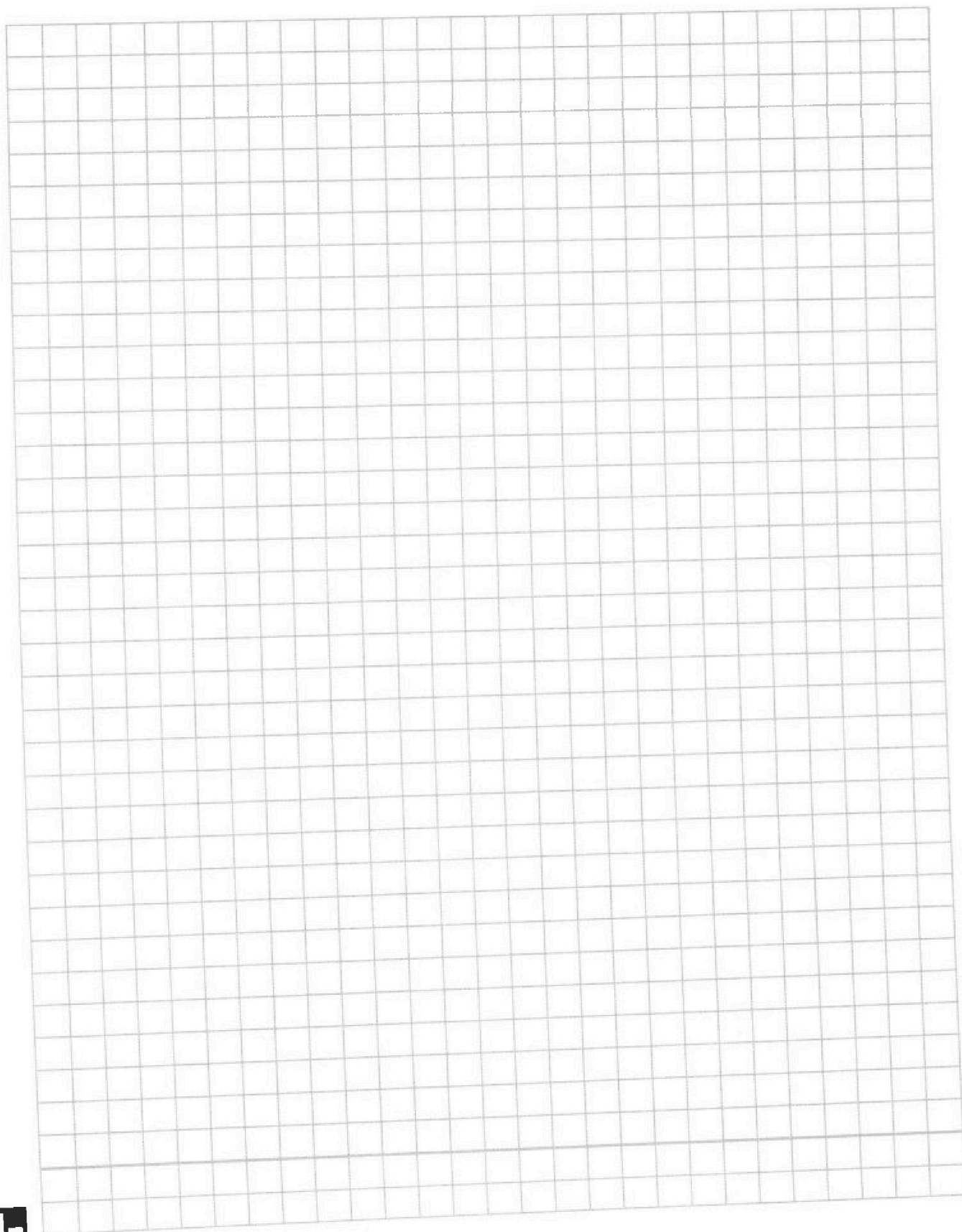


На одной странице можно оформлять **только одну задачу**. Отметьте **крестиком** номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

СТРАНИЦА
__ ИЗ __

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!





На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.



СТРАНИЦА

из

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!

$\frac{m V_n^2}{2} = m g H$ $V_n = \sqrt{2 g H}$ $\varphi = \frac{\pi}{3}$ $0 = V_n \sin \varphi - g t$

$m g H = \frac{m V_n^2}{2} + \frac{4 m V_n^2}{2}$ $0 = m V_n \cos \varphi - 4 m V_n$ $\sin \varphi = \frac{32}{\sqrt{3}}$ $\cos \varphi = \frac{3}{\sqrt{3}}$ $S_2 = V_n \cos \varphi \cdot t = \frac{V_n \cos \varphi}{g} \cdot V_n \sin \varphi = \frac{V_n^2 \sin \varphi \cos \varphi}{g} = \frac{V_n^2 \sin \frac{\pi}{3} \cos \frac{\pi}{3}}{g} = \frac{2 \cdot 1 \cdot 12}{13} = \frac{24}{13} \text{ м}$

$S_3 = 2 t \frac{2 V_n \sin \varphi}{g}$ $T_1 = (t_1 + 2 t_2) \frac{10}{100 \cdot 100} = \frac{150}{900} = 150000$

$P_H + P_{C.B.} = S \cdot F = R_1$ $100 \times 10^4 \cdot S \cdot L \cdot 100 p_0 = \gamma R T_1$ $S \cdot L \cdot \frac{p_0}{2} = \gamma R T_1$ $P_{C.B.} = \frac{\gamma C_0 R T_2}{S \cdot (L-x)} = \frac{8 \cdot L \cdot \frac{p_0}{2} T_2}{S \cdot (L-x) T_1} = \frac{p_0 (L T_2)}{S \cdot (L-x) T_1}$

$P_H(T_2) + P_{C.B.} = 55 \cdot \frac{F}{S}$ $(L-x) \cdot F = \gamma R T_1 \left(\frac{5R}{2} \cdot \frac{V_{C_0}}{T_2 - T_1} + 3R \frac{V_0}{T_2 - T_1} \right)$ $x \cdot F = \left(\frac{5R}{2} \gamma \frac{S L p_0}{R T_1} + \frac{3R S L p_0}{R T_1} \right) (T_2 - T_1)$ $x \cdot F = \left(\frac{5 p_0 L}{T_1} + 3 \right) (T_2 - T_1)$

$P_H(T_2) = 1,5 \frac{F}{S} - \frac{p_0 (L T_2)}{S \cdot (L-x) T_1}$ $U = R I = 0,02 \cdot 100 = 26$ $q = 2 + 1 + \frac{1}{2} = 3,5$

$\frac{C_0 V^2}{2} + \frac{1}{2} C_0 (q - \frac{1}{3}) = \frac{C_0 q^2}{2} + Q$ $\Delta P = U \cdot I = U \cdot q'$ $P = U \cdot \Delta q'$ $W = U \cdot \Delta q$

$E = \frac{R \cdot \frac{1}{S}}{\frac{1}{S} + \frac{1}{S}}$ $R I$ $R \frac{\Delta q}{\Delta t} = U$ $R q' = U$ $R Q = \Delta U$ $R q' H =$

$\frac{P}{P_H} = \frac{S \pi p^2}{\pi R^2} = \frac{3}{100} \cdot \frac{100 \cdot 10^4 \cdot 25 \cdot 25}{100} = 7500$ $\frac{61}{488} \cdot \frac{61}{424} \cdot \frac{61}{366} = \frac{416}{50}$

$P = n k T (t_1 + 2 t_2) \frac{V_n^2 \cos^2 \varphi}{4} = 2 g H - V_n^2 \frac{\sin^2 \varphi}{4}$ $V_n^2 = \frac{2 g H}{1 + \frac{\cos^2 \varphi}{4}} = \frac{8 g H}{4 + \cos^2 \varphi}$

$2 g H - V_n^2 \frac{\sin^2 \varphi}{4} = V_n^2$ $P = I R \cdot I$ $p = I^2 R$ $Q =$ $Q R_2 = \frac{R}{R_0}$ $Q R_0 = \frac{Q R_2 \cdot R_0}{R_0}$ $R R \frac{1}{0,5 R} + \frac{1}{2 R} = \frac{R}{2,5 R}$

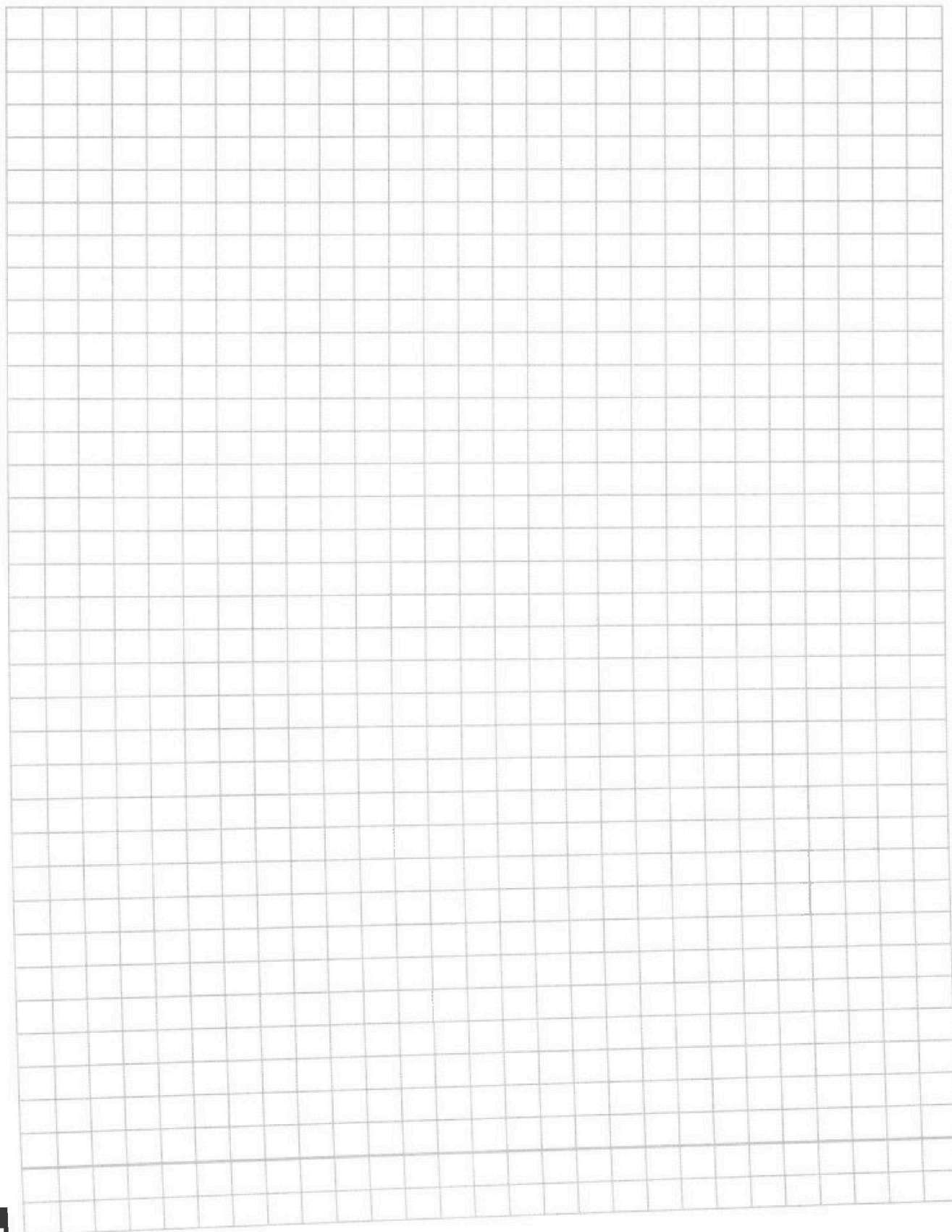


На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

СТРАНИЦА
__ ИЗ __

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!





На одной странице можно оформлять **только одну задачу**. Отметьте **крестиком** номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

1
☐

2
☐

3
☐

4
☐

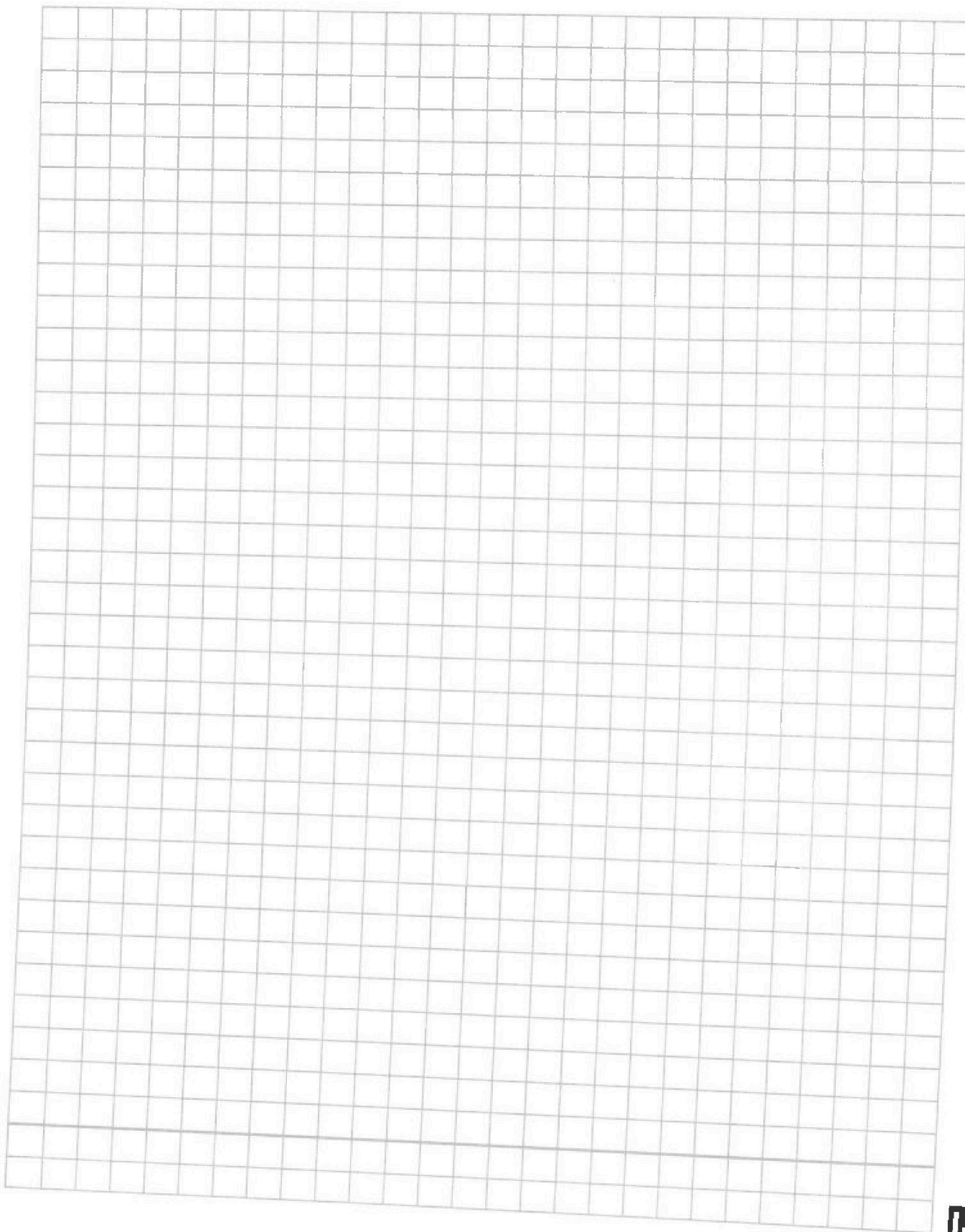
5
☐

6
☐

7
☐

СТРАНИЦА
__ ИЗ __

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!





На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

СТРАНИЦА
__ ИЗ __

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!

