



Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2024

Вариант 11-05

В ответах всех задач допустимы обыкновенные дроби
и радикалы.

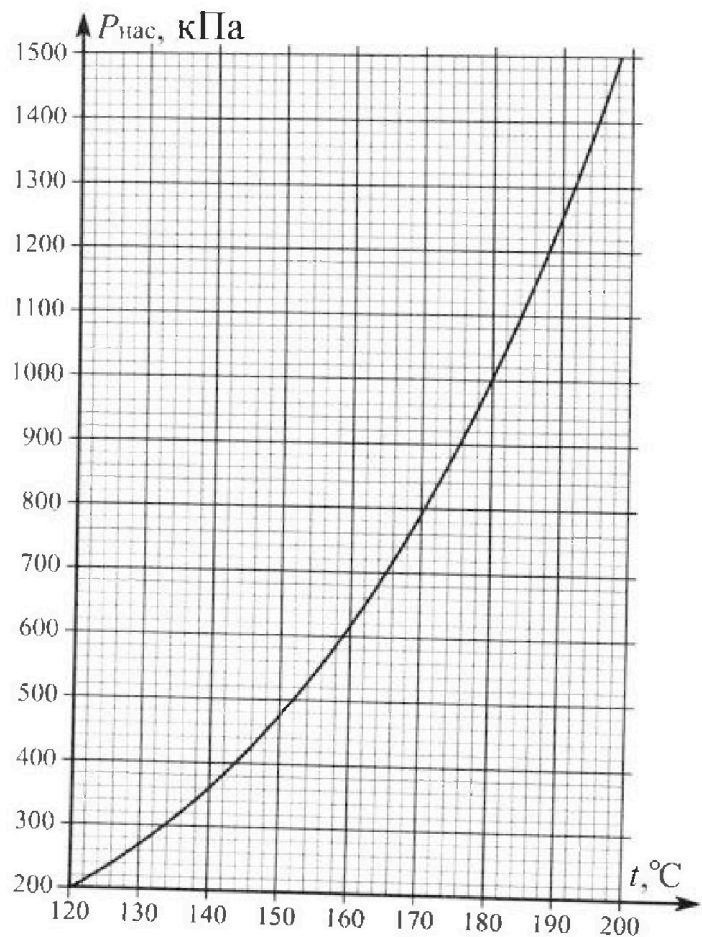


1. Из игрушечной пушки стреляют три раза одним и тем же снарядом. Масса пушки без снаряда в 4 раза больше массы снаряда. Первый раз пушку закрепляют, а ствол направляют вертикально вверх. В результате выстрела снаряд поднялся на высоту $H = 13/3$ м. Во второй раз пушку закрепляют на горизонтальном полу, 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.

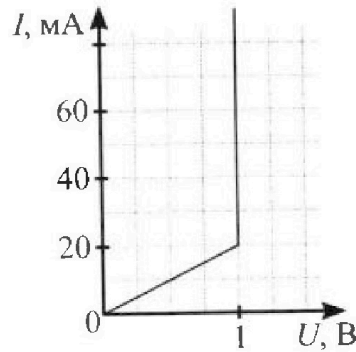
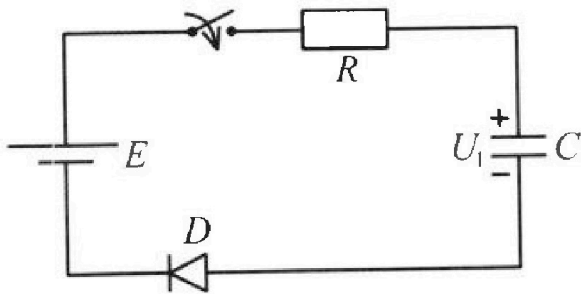
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2024

Вариант 11-05

*В ответах всех задач допустимы обыкновенные дроби
и радикалы.*

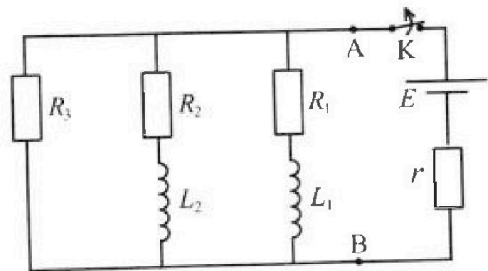
В цепи (см. рис.) ЭДС идеального источника $E = 9$ В, $R = 100$ Ом, $C = 60$ мкФ, конденсатор заряжен до напряжения $U_1 = 3$ В. Вольтамперная характеристика диода D приведена на рисунке. Ключ разомкнут, затем ключ замыкают.

- 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.

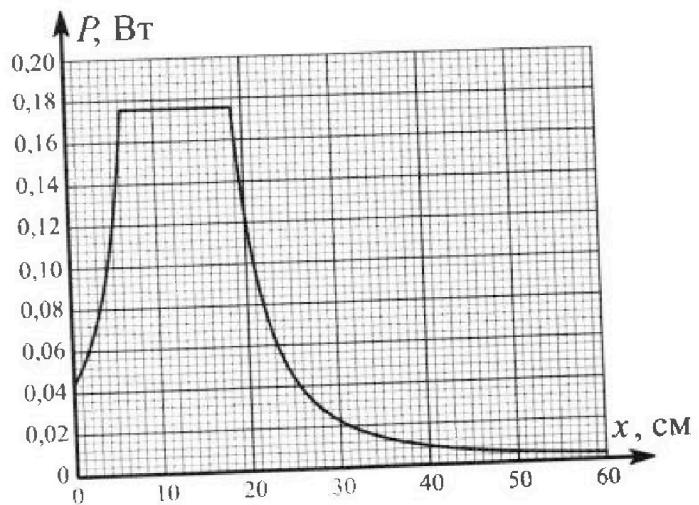
- 1) Найти ток I_0 через катушку L_1 при замкнутом ключе.
- 2) Найти скорость изменения (по модулю) тока в катушке L_1 сразу после размыкания ключа.
- 3) Найти заряд q_3 , протекший через резистор R_3 после размыкания ключа.



Каж дый 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.

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 1

из I случая: m - масса снаряда и m масса пушки в километрах
из ЗСЭ вся энергия пушки перешла в кинетическую
и потекла в патекальце

$$E_m = \frac{mV_m^2}{2} = mgH \quad (V_m - \text{максимальная скорость снаряда})$$

$$V_m^2 = 2gH$$

в II случае:

время подъёма и спуска $V_m \sin \varphi - gt = 0 \Rightarrow t = \frac{V_m \sin \varphi}{g}$
время падения $V_m \sin \varphi \cdot \cos \varphi \cdot 2 = \frac{2gH \cdot 2 \sin \varphi \cdot \cos \varphi}{g}$

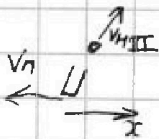
$$S_2 = V_m \cdot \cos \varphi (t \cdot 2) = \frac{V_m^2 \cdot \sin \varphi \cdot \cos \varphi \cdot 2}{g} = \frac{2gH \cdot 2 \sin \varphi \cdot \cos \varphi}{g}$$

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

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

в III случае

импульс по ОХ сохраняется. Энергия системы сохраняется.



$$\text{ЗСУ: } 0 = V_{mIII} \cos \varphi - m \cdot 4 \cdot V_{II} \Rightarrow V_{mIII} = \frac{4V_{II}}{\cos \varphi}$$

$$\text{ЗСЭ: } mgH = \frac{m(V_{mIII})^2}{2} + \frac{4m(V_{II})^2}{2} \quad V_{mIII} = \sqrt{2gH - (V_{mIII})^2}$$

$$V_{mIII} \cos \varphi = 2 \sqrt{2gH - (V_{mIII})^2} \Rightarrow V_{II}^2 = \frac{8gH}{4 + \cos^2 \varphi} = g \cdot \frac{8 \cdot 13}{3(4 + \frac{9}{13})}$$

аналогично с II случаем получаем высоту

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

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.

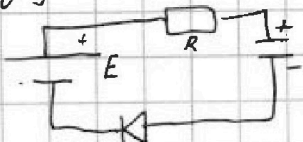
1 2 3 4 5 6 7

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 $U_D = 1V$

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

диод и провод будет открыт. значим мы верно предположили, (если диод будет не полностью открыт то падение будет меньше напряжения еще меньше, а ток будет больше, но тогда ток ток был ток ток был больше и диод был открыт)

$$I_1 = 0,05 \text{ A}$$

2) Когда ток будет $20 \mu\text{A}$, то диод еще будет полностью открыт. А падение напряжения на резисторе будет $I_2 R = 0,02 \cdot 100 = 2 \text{ B}$

$$E = U_D + I_2 R + U_2 \rightarrow U_2 = E - U_D - I_2 R = 5 - 1 - 2 = 6 \text{ B}$$

$$U_2 = 6 \text{ B}$$

3) что того как диод не перестанет быть полностью открытым:

$q = U_0 \cdot \frac{dq}{dt}$, если дадим ток на время то $Q_{\text{открыто}} = U_0 q$ заряд прошедший через диод.

$$\frac{C U_1^2}{2} + E (U_2 - U_1) = Q_{\text{открыто}} + Q_{R_1} + \frac{C U_2^2}{2} \rightarrow$$

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

после этого ток диод перестанет быть полностью открыт его ток соответствует резистору $R_D = \frac{U_D}{I_D} = \frac{1}{0,02} = 50 \text{ Ом}$ и диод можно представить как резистор

$$\frac{C U_2^2}{2} + E (C E - C U_2) = Q_{R+D} + \frac{C E^2}{2} \rightarrow Q_{RD} = \frac{C}{2} (U_2^2 - E^2) + E C (E - U_2)$$

$Q_{RD} = Q_{R_2} + Q_D$ (предположим что диод полностью открыт как резистор и конденсатор)

$$\frac{Q_{R_2}}{Q_D} = \frac{I^2 R \cdot dt}{I^2 R_D \cdot dt} \rightarrow Q_{R_2} = Q_{RD} \cdot \frac{R_D}{R}$$

$$Q_{RD} = Q_{R_2} \left(1 + \frac{R_D}{R} \right) = Q_{R_2} 1,5 \rightarrow Q_{R_2} = \frac{Q_{RD}}{1,5} = \frac{C}{1,5} \left(\frac{81 - 54}{2} + 18 - 49,5 \right) = C \cdot 3 \text{ B} = 18 \cdot 10^{-6} \text{ Кл}$$

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

Ответ: $81 \cdot 10^{-6} \text{ Кл}$; $I_1 = 0,05 \text{ A}$; $U_2 = 6 \text{ B}$; $Q = 81 \cdot 10^{-6} \text{ Кл}$

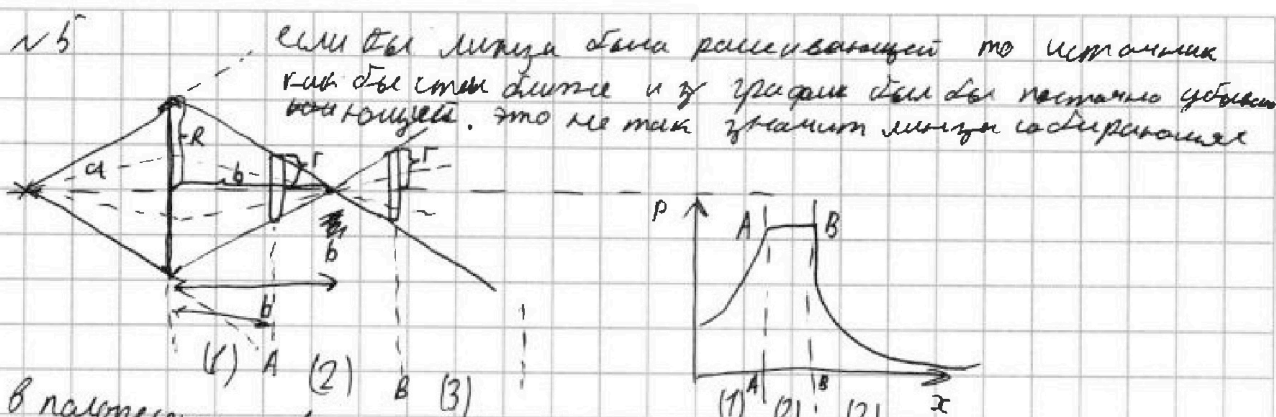


На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

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!



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

в области (2) все лучи преломленные через линзу попадают на датчик.

из симметрии на участке (2) расстояние b в котором находится изображение источника $b = \frac{a+b}{2} = \frac{32+19}{2} = 12,5 \text{ см}$

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

$$P(x) = \frac{P_{\text{max}} \cdot \frac{b}{b+x} \cdot R}{\pi r^2} = \text{const} \cdot \frac{b \cdot R}{r^2}$$

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

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

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

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

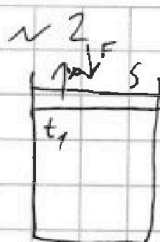


На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

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!



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

$$\frac{p_1}{p_0} = \frac{150 \text{ кПа}}{100 \text{ кПа}} = 1,5$$

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

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

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

сухой воздух

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

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{\frac{p_0}{k(T_1 + 273)}}{\frac{0,5 p_0}{k(T_1 + 273)}} = 2$$

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

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

2) ток через катушку тоже может мгновенно переместиться 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 R_3 и на R_2, L_2 и на $R_1 + L_1$ равны
Матричные тоже выполняются на R_3 и на R_2, L_2 и на $R_1 + L_1$ равны

$$R_3 I_3 = R_2 I_2 + L_2 \dot{I}_2 = R_3 I_3 + L_3 \dot{I}_3$$

$$R_3 I_3 = R_2 I_2 + L_2 \dot{I}_2 = R_3 I_3 + L_3 \dot{I}_3$$

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

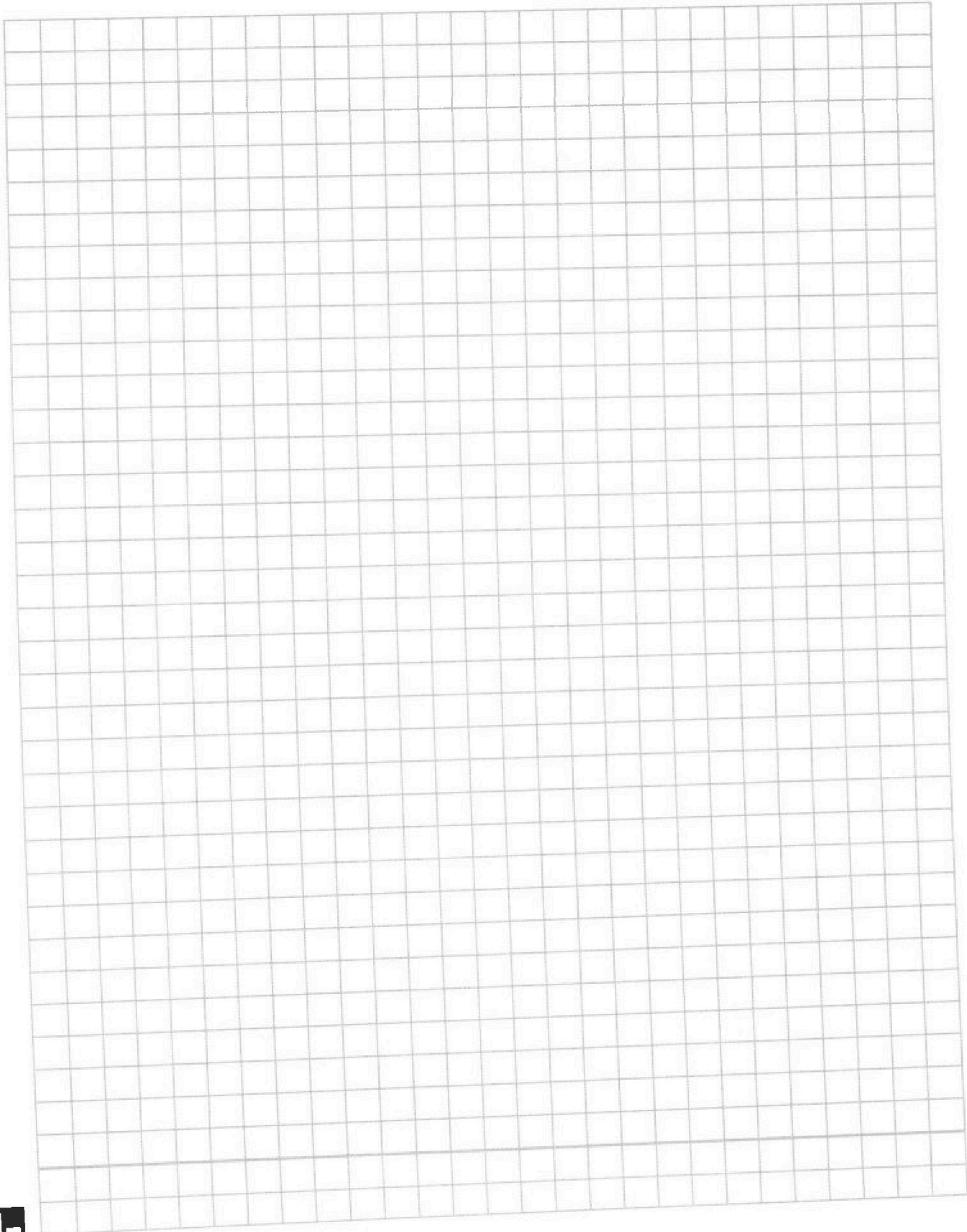


На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

1	2	3	4	5	6	7
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

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!

$m v_n^2 = m g H$ $v_n = \sqrt{2 g H}$ $\varphi = \frac{3}{4}$ $0 = v_n \sin \varphi - g t$

$m g H = \frac{m v^2}{2} + \frac{4 m v_n}{2}$

$0 = m v \cos \varphi - 4 m v_n$ $\sin \varphi = \frac{32}{\sqrt{17}}$ $\cos \varphi = \frac{3}{\sqrt{17}}$

$S_2 = v_n \cos \varphi \cdot t = \frac{v_n \cos \varphi \cdot v_n \sin \varphi}{g} = \frac{v_n^2 \sin^2 \varphi}{g} = \frac{2 \cdot 12}{13} = \frac{24}{13}$

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

$P_n + P_{c.b.} = S \cdot F = R_1$ $100 \times 10^4 \cdot S \cdot L \cdot 100 \rho_0 = \gamma R T_1$ $150 = 150000$

$P_n(T_2) + P_{c.b.n} = \frac{5 \rho_0 \cdot F}{S}$ $S \cdot L \cdot \frac{\rho_0}{2} = \gamma R T_2$ $P_{c.b.n} = \frac{\gamma c_b R T_2}{S \cdot (L-x)}$

$(L-x) \cdot F = \gamma R T_2 \left(\frac{5 \rho_0}{2} + \frac{\gamma c_b}{S(L-x)} (T_2 - T_1) \right) + 3 R \gamma (T_2 - T_1)$

$x \cdot F = \gamma R T_2 \left(\frac{5 \rho_0}{2} + 3 \right) (T_2 - T_1)$

$P_n(T_2) = 1,5 \frac{F}{S} - \frac{\rho_0}{2} \frac{\gamma R T_2}{(L-x) T_1}$

~ 3 $\frac{66}{x} \frac{66}{1000} = 0,05 \text{ MA} = 50 \text{ MA}$ $v = R I = 0,02 \cdot 100 = 26$ $q = 2 + 1 + \frac{1}{2} = 3,5$

$\frac{C U^2}{2} + \int E \rho (g - \frac{U_1}{3}) = \frac{C q^2}{2} + Q$ $\Delta P = v \cdot I = v \cdot q'$

~ 4 $E = \frac{R I}{S} \frac{L}{S}$ $P = v \cdot \Delta q'$ $W = v \cdot \Delta Q$

~ 5 $R I \frac{R \Delta q}{\Delta t} = v$ $R q' = v$ $R q = \Delta v$ $R q' = v$

$\frac{P}{P_n} = \frac{5 \pi R^2}{\pi R^2} \cdot \frac{3}{8}$ $\frac{61}{488} \cdot \frac{61}{424} \cdot \frac{61}{366}$ $R \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{dI}{dt}$

$P = n k t (t_1 + 2 t_2) \frac{v_n^2 \cos^2 \varphi}{4} = 2 g H - v_n^2 \frac{1}{4}$

$g H = \frac{(v_n^2 \cos^2 \varphi)}{2} + 2 (v_n^2)$ $v_n^2 = \frac{2 g H}{1 + \frac{\cos^2 \varphi}{4}} = \frac{8 g H}{4 + \cos^2 \varphi}$

$\frac{2 g H - v_n^2 \frac{1}{4}}{4} = v_n^2$ $P = I R \cdot I = I^2 R$

$\frac{32 \cdot 25}{89} = \frac{132}{225} \cdot \frac{6}{160} \cdot \frac{69}{423} \cdot \frac{48}{53} \cdot \frac{23}{135} \cdot \frac{6}{810}$ $Q R_2 = \frac{R}{R_0}$

$Q R_1 = \frac{Q R_2 \cdot R_0}{R}$ $R \cdot R \frac{1}{0,5 R} + \frac{1}{2 R} = \frac{R}{2,5 R}$

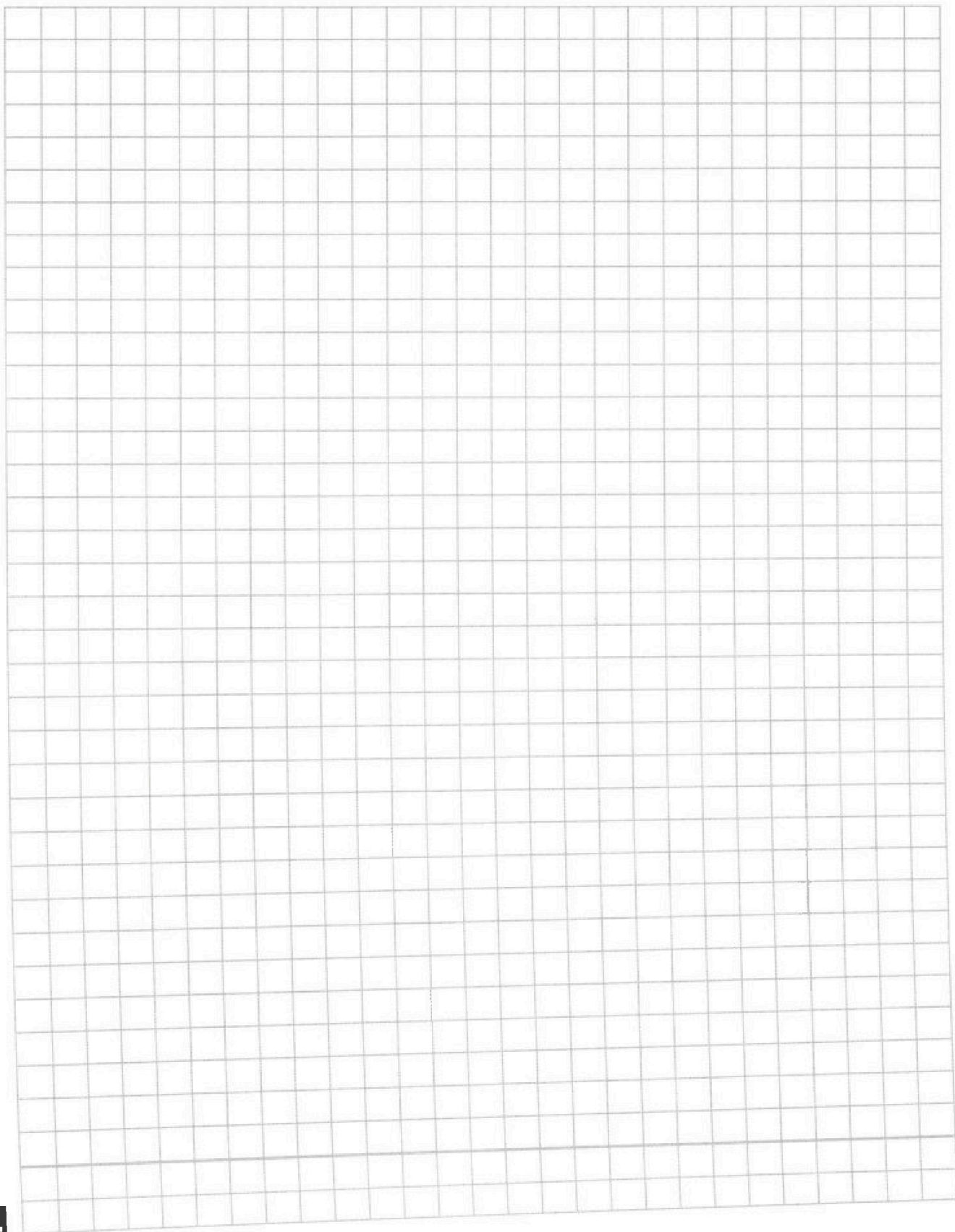


На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

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!



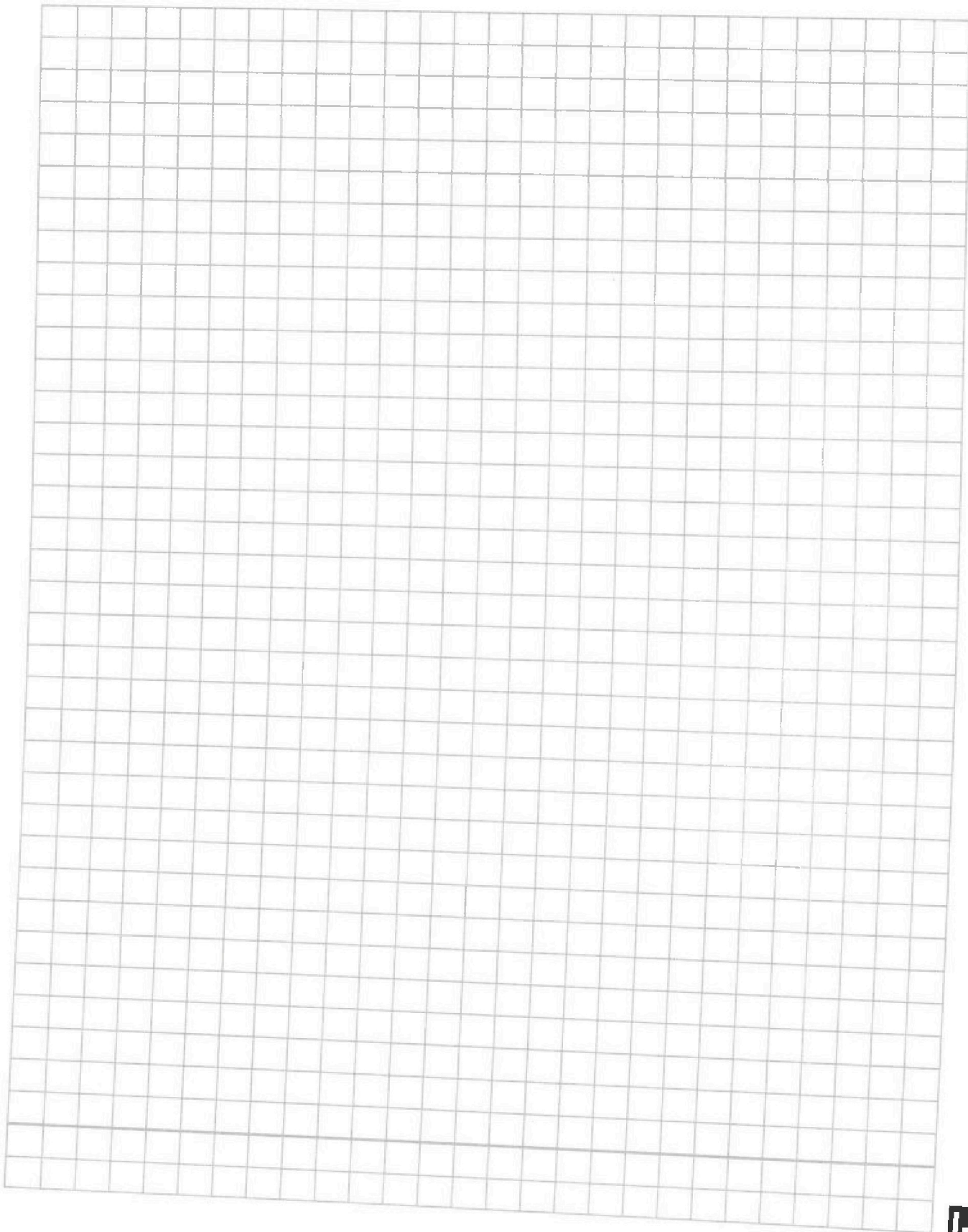


На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

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

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!

