



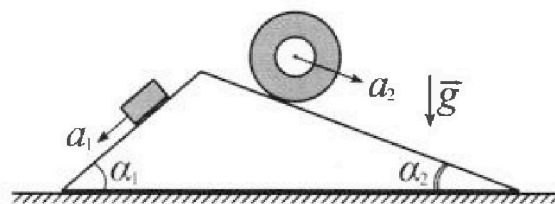
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2024

Вариант 11-01

В ответах всех задач допустимы обыкновенные дроби
и радикалы.



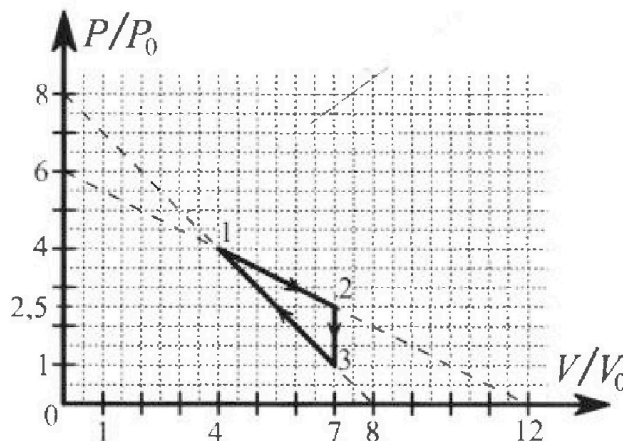
1. С клина, находящегося на шероховатом горизонтальном столе, соскальзывает брусок массой m с ускорением $a_1 = 5g/13$ и скатывается без проскальзывания полый цилиндр массой $4m$ с ускорением $a_2 = 5g/24$ (см. рис.). Клин остается в покое. Углы наклона поверхностей клина к горизонту α_1 ($\sin \alpha_1 = 3/5$, $\cos \alpha_1 = 4/5$) и α_2 ($\sin \alpha_2 = 5/13$, $\cos \alpha_2 = 12/13$). Направления всех движений лежат в одной вертикальной плоскости.



- 1) Найти силу трения F_1 между бруском и клином.
- 2) Найти силу трения F_2 между цилиндром и клином.
- 3) Найти силу трения F_3 между столом и клином.

Каждый ответ выразить через m и g с числовым коэффициентом в виде обыкновенной дроби.

2. С идеальным одноатомным газом совершают циклический процесс 1-2-3-1. На рисунке представлена зависимость P/P_0 от V/V_0 . Здесь V и P - объем и давление газа, V_0 и P_0 - некоторые неизвестные объем и давление.

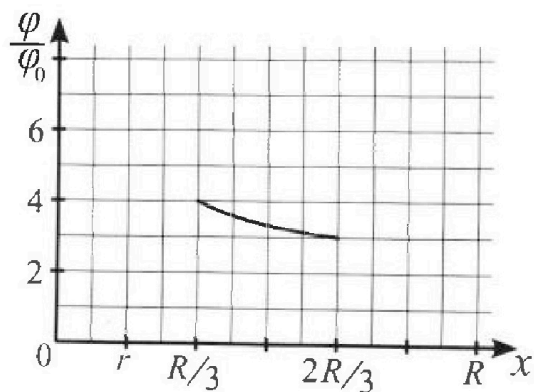
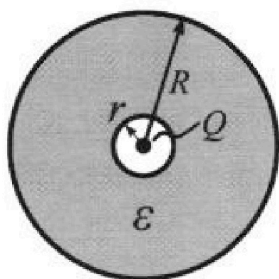


- 1) Найдите отношение модуля приращения внутренней энергии газа в процессе 2-3 к работе газа за цикл.
- 2) Найдите отношение максимальной температуры газа в процессе 1-2 к температуре газа в состоянии 1.
- 3) Найдите КПД цикла.

Ответы выразите числом в виде обыкновенной дроби или целого числа.

3. В центре полого шара с диэлектрической проницаемостью ϵ и радиусами поверхностей r и R находится шарик с зарядом Q (см. рис.). Известна графическая зависимость потенциала φ электрического поля внутри диэлектрика от расстояния x от центра полого шара в интервале изменений x от $R/3$ до $2R/3$ (см. рис.). Здесь φ_0 — потенциал в некоторой точке вне шара. Потенциал в бесконечно удаленной точке принят равным нулю.

- 1) Считая известными r , R , Q , ϵ , найти аналитическое выражение (в виде формулы) для потенциала внутри диэлектрика при $x = R/4$.
- 2) Используя график, найти численное значение ϵ .





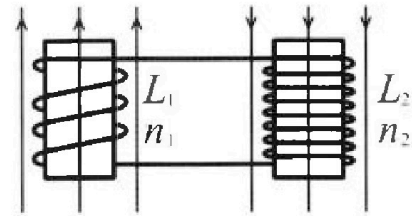
Олимпиада «Физтех» по физике,
февраль 2024

Вариант 11-01

В ответах всех задач допустимы обыкновенные дроби
и радикалы.

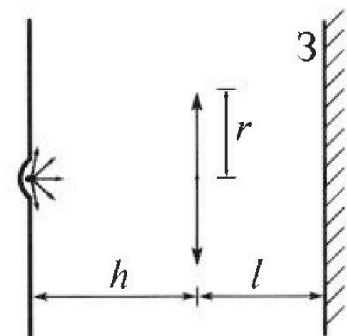


4. Две катушки с индуктивностями $L_1 = L$ и $L_2 = 4L$ и числами витков $n_1 = n$ и $n_2 = 2n$ помещены во внешние однородные магнитные поля с постоянными во времени индукциями (см. рис.). Площадь витка каждой катушки S . Индукции внешних полей направлены перпендикулярно плоскостям витков катушек. Катушки находятся достаточно далеко друг от друга. Омическое сопротивление катушек и соединительных проводов пренебрежимо мало. Вначале тока в катушках нет.



- 1) С какой скоростью (по модулю) начнет изменяться ток в катушках, если в катушке с индуктивностью L_1 индукция внешнего поля начнет возрастать со скоростью $\Delta B / \Delta t = \alpha (\alpha > 0)$, а во второй катушке внешнее поле останется неизменным?
- 2) За некоторое время индукция внешнего поля в катушке с индуктивностью L_1 уменьшилась от B_0 до $B_0/2$, не изменив направления, а в катушке с индуктивностью L_2 индукция внешнего поля уменьшилась от $2B_0$ до $2B_0/3$, не изменив направления. Внешние поля в катушках изменялись неравномерно. Найти ток (по модулю) в катушках к концу изменения внешних полей. Ответ дать с числовым коэффициентом в виде обыкновенной дроби.

5. В стене сделана небольшая выемка, внутри которой находится маленькая лампочка так, что прямой свет от лампочки на стену не попадает (см. рис.). Справа от лампочки на некотором расстоянии h расположена тонкая собирающая линза с фокусным расстоянием $F = h/2$. Главная оптическая ось линзы горизонтальна и проходит через лампочку. Радиус линзы $r = 3$ см. Справа от линзы на расстоянии $l = 2h/3$ расположено параллельно стене плоское зеркало 3. Считать, что свет, идущий мимо линзы, проходит плоскость линзы беспрепятственно. Размеры стены и зеркала намного больше размеров линзы.



- 1) Найдите площадь неосвещённой части зеркала.
- 2) Найдите площадь неосвещённой части стены.

Ответы дайте в $[\text{см}^2]$ в виде $\gamma\pi$, где γ - целое число или простая обыкновенная дробь.

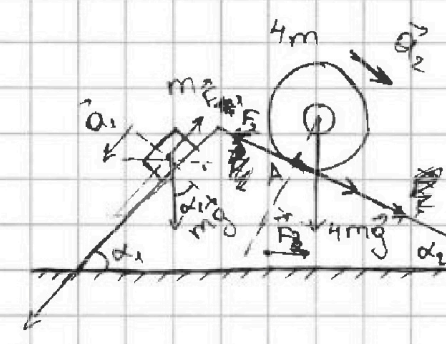


На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

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!



Дано
 $m_1 = m, a_1 = 5g/13$
 $m_2 = 4m, a_2 = \frac{5g}{24}$
 $\sin \alpha_1 = \frac{3}{5}; \cos \alpha_1 = \frac{4}{5}$
 $\sin \alpha_2 = \frac{5}{13}; \cos \alpha_2 = \frac{12}{13}$

1) $x_1: ma_1 = mg \sin \alpha_1 - F_1 \Rightarrow$
 $\Rightarrow F_1 = mg \sin \alpha_1 - ma_1 = m \left(g \frac{3}{5} - \frac{5g}{13} \right) = mg \frac{39-25}{65} =$
 $= mg \frac{14}{65}$

2) $x_2:$ Две т. касания цилиндра клина.

$4mg \sin \alpha_2 = F_2 = 4mg \frac{5}{13}$

$4ma_2 = 4mg \sin \alpha_2 - F_2 \Rightarrow F_2 = 4mg \left(\sin \alpha_2 - \frac{5}{24} \right) =$
 $= 4mg \left(\frac{5}{13} - \frac{5}{24} \right) = 4mg \frac{120-65}{312} = 4mg \frac{55}{312} = \frac{55}{78} mg$

24	312	4
13	28	78
72	32	
24		
312		

3) $x: F_{3x} = mg \cos \alpha_1 \sin \alpha_1 - F_1 \cos \alpha_1 -$
 $- 4mg \cos \alpha_2 \sin \alpha_2 + F_2 \cos \alpha_2 =$
 $= mg \left(\frac{4}{5} \cdot \frac{3}{5} - \frac{14}{65} \cdot \frac{4}{5} - 4 \cdot \frac{12}{13} \cdot \frac{5}{13} + \frac{55}{78} \cdot \frac{12}{13} \right) =$

$= mg \left(\frac{48}{25} - \frac{4}{65} \left(\frac{39-14}{65} \right) - \frac{1}{169} \left(4 \cdot 12 \cdot 5 - \frac{55 \cdot 62}{8} \right) \right) =$
 $= mg \left(\frac{4}{5} \cdot \frac{288}{65} - \frac{240-110}{169} \right) = mg \left(\frac{4}{13} - \frac{130}{169} \right) = -\frac{286}{169} mg$

$F_3 = |F_{3x}| = \frac{286}{169} mg$

Ответ: $F_1 = \frac{14}{65} mg; F_2 = \frac{55}{78} mg; F_3 = \frac{6}{13} mg$



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 2

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!

Дано: $i = 3$

1) $A_{\text{цикл}} = (7V_0 - 4V_0)(2,5p_0 - p_0) \frac{1}{2} =$

$= \frac{3V_0 \cdot 1,5p_0}{2} = \frac{4,5}{2} V_0 p_0$ (площадь фигуры на оср. циклом)

$p_2 V_2 = \nu R T_2$

$p_3 V_3 = \nu R T_3 \Rightarrow \nu R (T_2 - T_3) = p_2 V_2 - p_3 V_3 =$

$= 3p_0 7V_0 - 7V_0 p_0 = 14 V_0 p_0$

$\frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_3) = |\Delta U_{23}| = \frac{3}{2} \cdot 14 V_0 p_0 = 21 p_0 V_0$

$\eta_1 = \frac{21 p_0 V_0 \cdot 2}{4,5 p_0 V_0} = \frac{|\Delta U_{23}|}{A_{\text{цикл}}} = \frac{42}{4,5} = \frac{84}{9} = \frac{28}{3}$

2) $p_1 V_1 = \nu R T_1 \Rightarrow T_1 = \frac{p_1 V_1}{\nu R} = \frac{4p_0 4V_0}{\nu R} = \frac{16 p_0 V_0}{\nu R}$

$dQ_{12} = dA_{12} + dU_{12} = d(pV) + \frac{3}{2} \nu R dT$

$A_{12} = \frac{(7-4)V_0 \cdot (4+2,5)p_0}{2} = \frac{3V_0 \cdot 6,5p_0}{2} = \frac{19,5}{2} p_0 V_0$

В процессе 1-2 T сначала $\uparrow$, потом $\downarrow$

T_{max} достиж. когда $\frac{3}{2} \nu R dT = 0$ и график

$dQ_{12} = dA_{12} = dp dV \Rightarrow$ цикл касается

адиабаты

$p^* V^* = pV^{\text{ср.св.}} \Rightarrow p^* V^* = p^*$

$C_p = \frac{5}{2} \nu R$

$C_v = \frac{3}{2} \nu R$

При объёме равном $\frac{5}{8} V_2$ произойдёт смена знака теплоёмкости и газ начнёт остывать.

1-2 - прямая, задаётся $\frac{p}{p_0} = -\frac{1}{2} \frac{V}{V_0} + 6$

$V^* = \frac{5}{8} V_2 = \frac{5}{8} \cdot 7V_0 = \frac{35}{8} V_0 \Rightarrow p^* = p_0 \left(6 - \frac{35}{16}\right) = 3 \frac{13}{16} p_0$

$T^* = T_{\text{max}} = \left(\frac{61}{16} p_0 \cdot \frac{35}{8} V_0\right) : \nu R$



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
2 ИЗ 2

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!

$$\frac{T_{\max}}{T_1} = \frac{61 \cdot 35 p_0 V_0 \cancel{VR}}{4 \cdot 16 \cdot 8 \cancel{VR} \cdot p_0 V_0 \cdot 39} = \frac{2135}{4892} = \frac{2135}{1248}$$

$$\begin{array}{r} 61 \\ - 35 \\ \hline 305 \\ 183 \\ \hline 2135 \end{array} \quad \begin{array}{r} 16 \\ \cdot 39 \\ \hline 144 \\ 48 \\ \hline 624 \\ 2 \\ \hline 4892 \end{array}$$

$$dQ_{12} = dA_{12} + dU_{12} \Rightarrow \text{при } T_{\max} \quad Q'_{12} = 0$$

$$0 = (A_{12} + U_{12})' = (\Delta p \Delta V + \frac{3}{2} VR \Delta T)' =$$

по дифференциалу при $p = \text{const}$

$$\Delta p \Delta V + \frac{3}{2} VR \Delta T = 0$$

$$Q_{12} = A_{12} + U_{12} \Rightarrow \frac{3}{2} VR \Delta T = Q_{12} - A_{12} =$$

$$= \cancel{Q_{12}} - \cancel{Q_{12}} = C_V \Delta T - \Delta p \Delta V \Rightarrow \Delta T \left(\frac{3}{2} VR - C_V \right) = -\Delta p \Delta V \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \Delta T = \frac{-\Delta p \Delta V}{\frac{3}{2} VR - C_V} \Rightarrow \Delta T = 0$$

$$3) \eta = \frac{A_{\text{полн}}}{Q} = \frac{9 p_0 V_0}{4(3 p_0 V_0 + \frac{427767}{256} p_0 V_0)} = \frac{9}{4(3 + \frac{427767}{256})}$$

$$Q = Q_{12} + Q_{31} = 3 p_0 V_0$$

$$Q_{31} = \frac{3}{2} VR (T_1 - T_3) - A_{13} = \frac{3}{2} VR \frac{7V_0 p_0}{VR} - \frac{(p_0 + 4p_0) \cdot 3V_0}{2} =$$

$$p_0 V_0 = VR T_3 = T_3 = \frac{7V_0 p_0}{VR} = \frac{21}{2} p_0 V_0 - \frac{15}{2} p_0 V_0 = 3 p_0 V_0$$

$$Q_{12} = \frac{4}{2} (V^* - 4V_0) (p_1 + p^*) + \frac{3}{2} VR (T_{\max} - T_1) =$$

$$= \frac{(\frac{35}{8} V_0 - 4V_0) (\frac{61}{16} p_0 + 4p_0)}{2} + \frac{3}{2} VR \frac{(2135 - 1248) p_0 V_0}{VR} =$$

$$= \frac{3}{8} \cdot \frac{125}{16} \cdot \frac{1}{2} p_0 V_0 + \frac{3}{2} \cdot 1113 p_0 V_0 = p_0 V_0 \left(\frac{375}{256} + \frac{3 \cdot 1113 \cdot 128}{256} \right)$$

$$\begin{array}{r} 16 \\ \cdot 16 \\ \hline 96 \\ 16 \\ \hline 256 \end{array} \quad \begin{array}{r} 37 \\ 3339 \\ \hline 128 \\ 26212 \\ 6678 \\ \hline 3339 \\ 427392 \end{array}$$

$$= p_0 V_0 \cdot \frac{427767}{256}$$

Ответ. 1) $\eta = \frac{28}{3}$ 2) $\frac{2135}{1248}$

365
4065
1113



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!

Дано
 $r, R, Q, \epsilon, x = \frac{R}{3}$

Из шарика

$$r = \frac{R}{3} \cdot \frac{1}{2} = \frac{R}{6}$$

$$\varphi = E_0 \cdot \frac{R}{6}$$

$$\varphi = \frac{E_0}{\epsilon} \cdot \left(\frac{R}{3} - \frac{R}{6} \right) + \frac{E_0 R}{4}$$

$$\frac{E_0 R}{6} = \frac{E_0 R}{6} + \frac{E_0 R}{4}$$

Внутри диэлектрика.

~~$\varphi = kQ$~~

$$\varphi_R = \frac{E_0 R}{\epsilon} = 4\varphi_0$$

$$\varphi_{\frac{2R}{3}} = \frac{E_0 2R}{\epsilon} = 3\varphi_0$$

$$\Rightarrow \varphi_0 = \frac{E_0 R}{3}$$

$$\Rightarrow E_0 = \frac{-3\varphi_0}{R}$$

$$\varphi_R = \frac{E_0 R}{\epsilon} = \frac{R}{4}$$



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!

Дано

$$L_1 = 4L$$

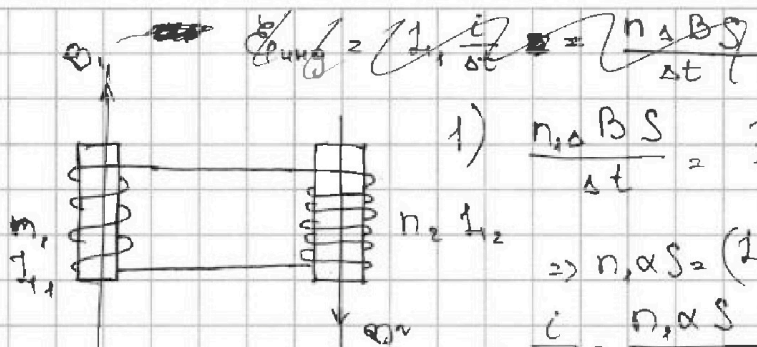
$$L_2 = 4L$$

$$n_1 = n$$

$$n_2 = 2n$$

$$S$$

$$\frac{\Delta B}{\Delta t} = \alpha$$



$$1) \frac{n_1 \Delta B_1 S}{\Delta t} = \frac{l_1 i}{\Delta t} + \frac{l_2 i}{\Delta t} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow n_1 \alpha S (l_1 + l_2) \frac{i}{\Delta t} \Rightarrow$$

$$= \frac{i}{\Delta t} = \frac{n_1 \alpha S}{l_1 + l_2} = \frac{n_1 \alpha S}{5L}$$

$$2) \frac{n_1 \Delta B_1 S}{R} = \frac{l_1 J_1}{R}$$

$$\frac{n_2 \Delta B_2 S}{R} = \frac{l_2 J_2}{R}$$

Для любого момента времени
из приращения J

$$J_1 = J_2$$

$$\Delta B_1 = B_0 - B_0/2 = \frac{B_0}{2}$$

$$\Delta B_2 = 2B_0 - \frac{2B_0}{3} = \frac{4B_0}{3}$$

$$\frac{n_1 B_0 S}{R} = \frac{l_1 J}{R}$$

Т.к. катушки соединены ~~последовательно~~
последовательно, а напр. $\vec{B}$
в обеих катушках одинаково
по от катушки токов в них, то

$$\frac{n_1 \Delta B_1 S}{R} + \frac{n_2 \Delta B_2 S}{R} = (l_1 + l_2) \frac{J}{R} \Rightarrow$$

$$J = \left(\frac{n_1 B_0 S}{2} + \frac{2n_2 \frac{4B_0}{3} S}{3} \right) : (l_1 + l_2) = \frac{n_1 B_0 S}{5L} \left(\frac{3 + 16}{6} \right) =$$

$$= \frac{19}{30} \frac{n_1 B_0 S}{L}$$

$$\text{Ответ: } \frac{i}{\Delta t} = \frac{n_1 \alpha S}{5L}; J = \frac{19}{30} \frac{n_1 B_0 S}{L}$$



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.

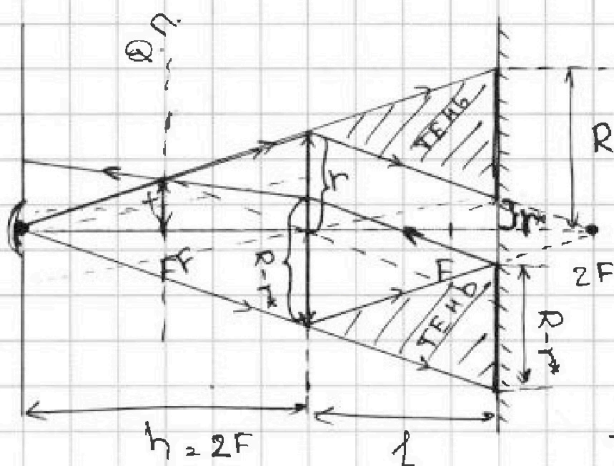
1 2 3 4 5 6 7

☐ ☐ ☐ ☐ ☒ ☐ ☐

СТРАНИЦА
1 из 2

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!

Дано
 $h, F = \frac{h}{2}$
 $r = 3 \text{ см}$
 $l = \frac{2h}{3}$



лучи прошедшие
 чуть выше
 линзы, не пре-
 люмясь, осве-
 тят зеркало
 образуя границу
 света. обл и темн.
 обл.

$$\frac{r}{h} = \frac{R}{h+l} \Rightarrow$$

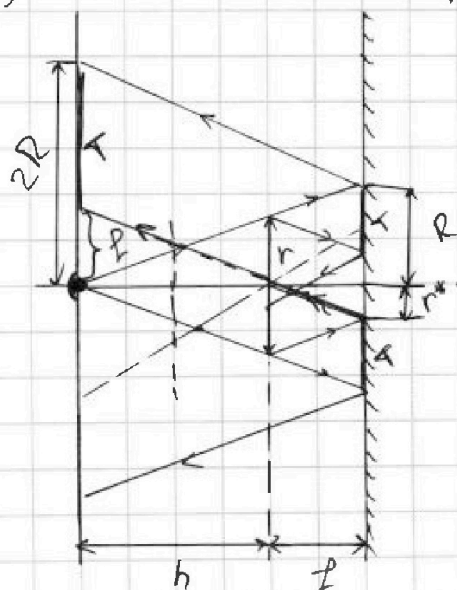
$$\Rightarrow R = \frac{h+l}{h} r = \frac{5h}{3h} r = \frac{5}{3} \cdot 3 \text{ см} = 5 \text{ см}.$$

лучи прошедшие $\frac{2}{3}$ край линзы пойдут в
 $2F$ за линзой ($h = 2F$ по усл), но попадут на
 зеркало

$$\frac{r^*}{2F-l} = \frac{r}{2F} \Rightarrow r^* = r \frac{h - \frac{2h}{3}}{h} = \frac{hr}{3h} = \frac{3 \text{ см}}{3} = 1 \text{ см}.$$

$$1) S_{\text{осв.з}} = \pi R^2 - \pi r^{*2} = \pi (5^2 \text{ см}^2 - 1^2 \text{ см}^2) = 24 \pi \text{ см}^2$$

2)



$$R - r^* = 5 \text{ см} - 1 \text{ см} = 4 \text{ см}$$

4 см - $r = 4 \text{ см} - 3 \text{ см} = 1 \text{ см}$ над ГОО
 войдут край в линзу крайние
 лучи после отражения в
 зеркале

$$\frac{x}{F} = \frac{r}{2F} = x = \frac{r}{2} = 1,5 \text{ см}$$

$$\Delta = R - r^* - r = 1 \text{ см}.$$

$$\frac{x-\Delta}{F} = \frac{r-\Delta}{2F} \Rightarrow R-\Delta = 2\Delta \Rightarrow R = 3\Delta = 3 \text{ см}$$

$$l-\Delta = 2x-2\Delta \Rightarrow 2\Delta = 3 \text{ см} - 1 \text{ см} = 2 \text{ см}.$$

$$l = 2x - \Delta = 3 \text{ см} - 1 \text{ см} = 2 \text{ см}.$$

$$S_{\text{осв.л}} = \pi (4R^2 - l^2) = \pi (4 \cdot 25 \text{ см}^2 - 4 \text{ см}^2) = 96 \pi \text{ см}^2$$



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
2 ИЗ 2

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!

Ответ: $S_{\text{несв.з}} = 24 \pi \text{ см}^2$

$S_{\text{несв.с}} = 96 \pi \text{ см}^2$



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
☐

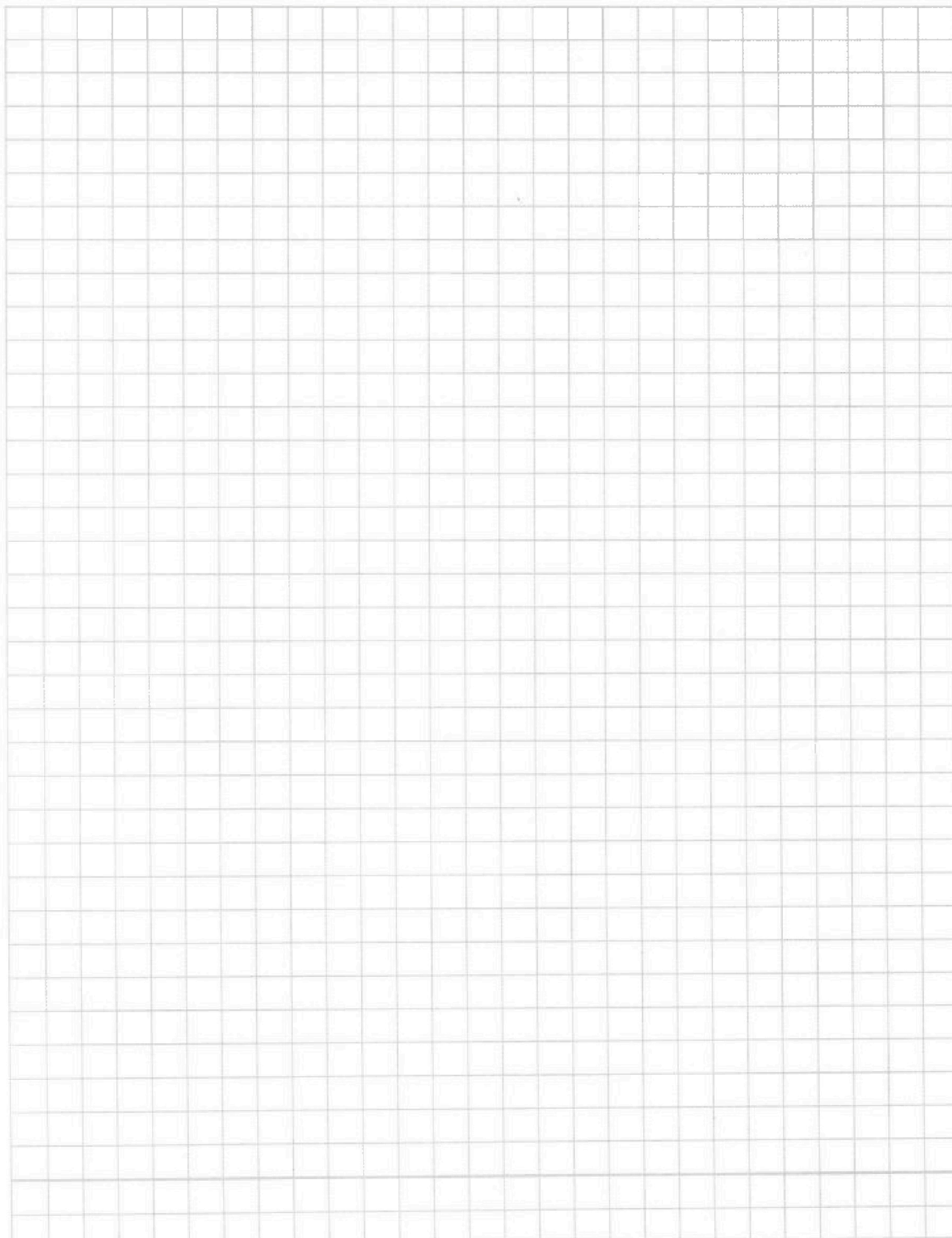
5
☐

6
☐

7
☐

СТРАНИЦА
__ 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
☐

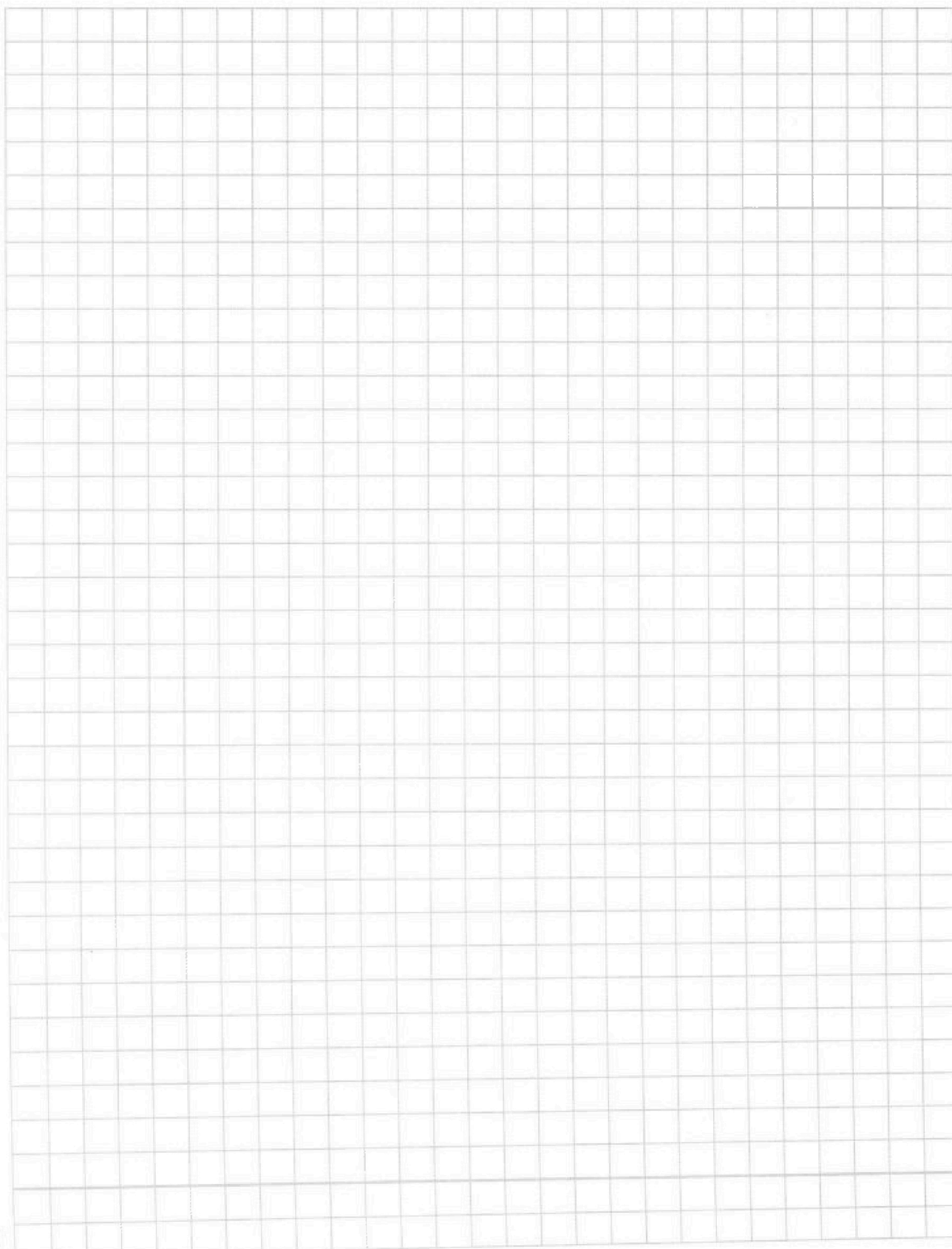
5
☐

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!

