



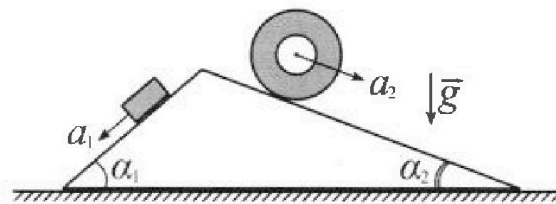
# Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2024

## Вариант 11-01



В ответах всех задач допустимы обыкновенные дроби и радикалы.

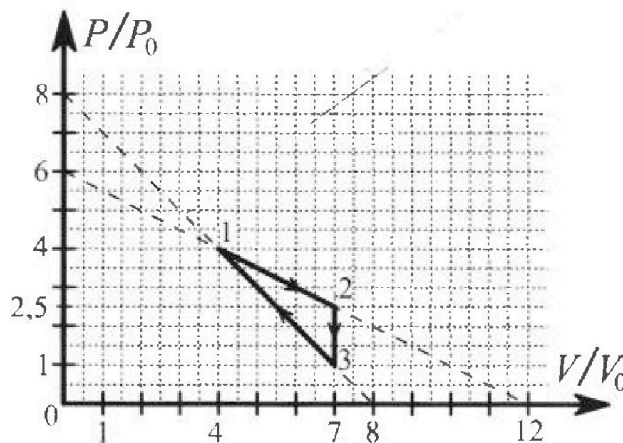
1. С клина, находящегося на шероховатом горизонтальном столе, соскальзывает брусок массой  $m$  с ускорением  $a_1 = 5g/13$  и скатывается без проскальзывания полый цилиндр массой  $4m$  с ускорением  $a_2 = 5g/24$  (см. рис.). Клин остается в покое. Углы наклона поверхностей клина к горизонту  $\alpha_1$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

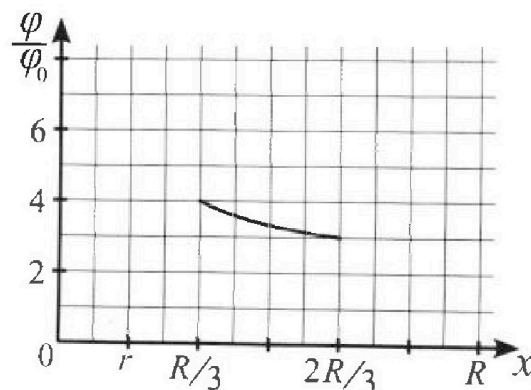
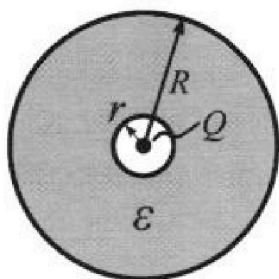


- 1) Найдите отношение модуля приращения внутренней энергии газа в процессе 2-3 к работе газа за цикл.
- 2) Найдите отношение максимальной температуры газа в процессе 1-2 к температуре газа в состоянии 1.
- 3) Найдите КПД цикла.

Ответы выразите числом в виде обыкновенной дроби или целого числа.

3. В центре полого шара с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon$  и радиусами поверхностей  $r$  и  $R$  находится шарик с зарядом  $Q$  (см. рис.). Известна графическая зависимость потенциала  $\varphi$  электрического поля внутри диэлектрика от расстояния  $x$  от центра полого шара в интервале изменений  $x$  от  $R/3$  до  $2R/3$  (см. рис.). Здесь  $\varphi_0$  — потенциал в некоторой точке вне шара. Потенциал в бесконечно удаленной точке принят равным нулю.

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





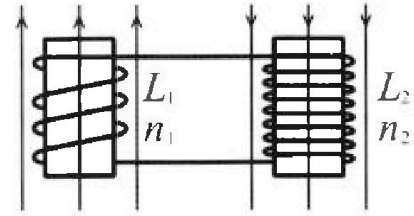
Олимпиада «Физтех» по физике,  
февраль 2024

Вариант 11-01



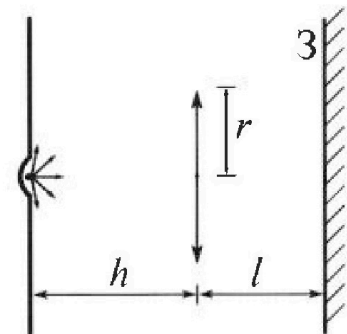
В ответах всех задач допустимы обыкновенные дроби  
и радикалы.

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. В начале 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 неосвещенной части зеркала.
- 2) Найдите площадь неосвещенной части стены.

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

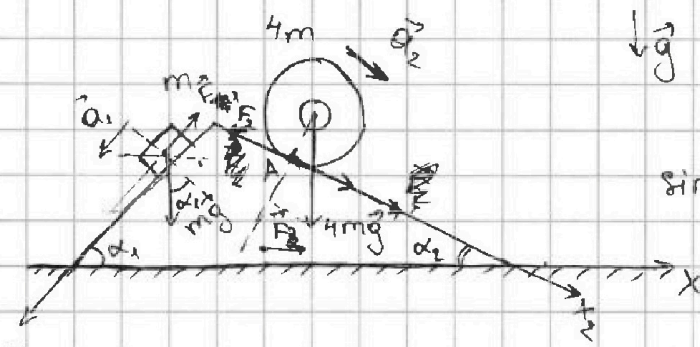


На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

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)  $X_1: ma_1 = mg \sin \alpha_1 - F_{T1} = mg \sin \alpha_1 - F_1 \Rightarrow$   
 $\Rightarrow F_1 = mg \sin \alpha_1 - ma_1 = m \left( g \frac{3}{5} - \frac{5g}{13} \right) = mg \frac{39-25}{65} =$   
 $= mg \frac{14}{65}$

2)  $X_2:$  Две т. касания цилиндра к шне.

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

$$4ma_2 = 4mg \sin \alpha_2 - F_2 \Rightarrow F_2 = 4mg \left( \sin \alpha_2 - \frac{5}{24} \right) =$$

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

24	312	4
13	28	78
72	32	
24		
312		

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

$$= mg \left( \frac{48}{25} - \frac{4}{65} \left( \frac{39-14}{5} \right) - \frac{1}{169} \left( 4 \cdot 12 \cdot 5 - \frac{55 \cdot 62}{2} \right) \right) =$$

$$= mg \left( \frac{4}{5} \cdot \frac{288}{65} - \frac{240-110}{169} \right) = mg \left( \frac{4}{13} - \frac{130}{169} \right) = -\frac{286}{169} mg$$

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

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





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 окружности ор. циклом)

$p_2 V_2 = \nu R T_2$   
 $p_3 V_3 = \nu R T_3 \Rightarrow \nu R (T_2 - T_3) = p_2 V_2 - p_3 V_3 =$   
 $= 3p_0 7V_0 - 7V_0 p_0 = 14 V_0 p_0$

$\frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_3) = |\Delta U_{23}| = \frac{3}{2} \cdot \frac{14}{7} V_0 p_0 = 21 p_0 V_0$

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

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

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

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

$\Delta T_{12}$  В процессе 1-2  $T$  сначала  $\uparrow$ , потом  $\downarrow$   
 $T_{\text{max}}$  достигается, когда  $\frac{3}{2} \nu R dT = 0$  и график цикла касается

$dQ_{12} = dA_{12} = dp dV \Rightarrow \oint$  адиабаты

$p^* V^* = pV \Rightarrow p^* V^* = pV$

$C_p = \nu R$   
 $C_v = \frac{3}{2} \nu R$   
 При объеме равном  $\frac{5}{8} V_2$  произойдет смена знака теплоемкости и газ начнет остывать.

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

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

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





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!

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

$$\begin{array}{r} 61 \\ -55 \\ \hline 305 \\ 183 \\ \hline 2135 \end{array} \quad \begin{array}{r} 16 \\ \cdot 39 \\ \hline 144 \\ 48 \\ \hline 624 \\ 2 \\ \hline 4892 \end{array}$$

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

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

$$\text{по дифференциалу при } p_0 \text{ и } p$$

$$\cancel{p} \cdot V^*$$

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

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

$$\Rightarrow \Delta T = \frac{-\Delta p \Delta V}{\frac{3}{2} VR - CV} \Rightarrow \Delta T' = 0$$

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

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

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

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

$$Q_{12} = \frac{35}{8} V_0 (V^* - 4V_0) (p_1 + p^*) + \frac{3}{2} VR (T_{\max} - T_1) =$$

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

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

$$\begin{array}{r} 16 \\ \cdot 16 \\ \hline 96 \\ 16 \\ \hline 256 \end{array} \quad \begin{array}{r} 237 \\ 3339 \\ \cdot 128 \\ \hline 26212 \\ 6678 \\ \hline 3339 \\ 427392 \end{array}$$

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

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

365  
4065  
1405  
1143



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

Внутри диэлектрика.

Из шарика

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

$$\varphi_1 = E_0 \cdot \frac{R}{6}$$

~~$\varphi_2 = k \frac{Q}{R}$~~

$$\varphi_{R/3} = \frac{E_0 \cdot R}{\epsilon \cdot 3} = 4 \varphi_0$$

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

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

~~$$\varphi_{R/3} = \frac{E_0}{\epsilon} \cdot \left( \frac{R}{3} - \frac{R}{6} \right) + \frac{E_0 \cdot R}{\epsilon}$$~~

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

~~$$E_0 \cdot \frac{R}{6} - \frac{E_0 \cdot R}{6} + \frac{E_0 \cdot R}{\epsilon}$$~~

$$\varphi_{R/4} = \frac{E_0 \cdot R}{\epsilon \cdot 4}$$



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.



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

$$L_1 = 4L$$

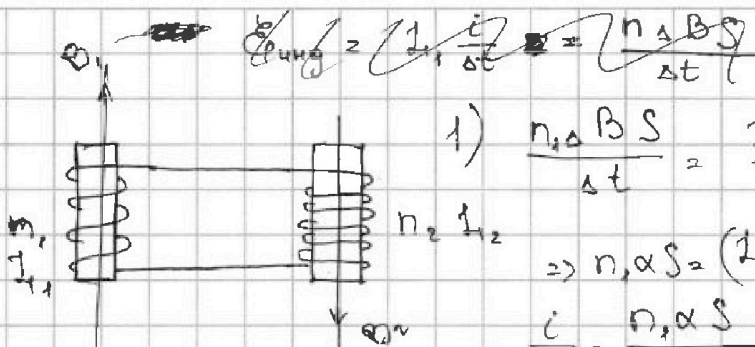
$$L_2 = 4L$$

$$n_1 = n$$

$$n_2 = 2n$$

S

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



$$\Phi_{\text{инд}} = (L_1 + L_2) i = \frac{n_1 \Delta B S}{\Delta t} i$$

$$1) \frac{n_1 \Delta B S}{\Delta t} = \frac{L_1 i}{\Delta t} + \frac{L_2 i}{\Delta t} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow n_1 \alpha S = (L_1 + L_2) \frac{i}{\Delta t} \Rightarrow$$

$$= \frac{i}{\Delta t} = \frac{n_1 \alpha S}{L_1 + L_2} = \frac{n_1 \alpha S}{5L}$$

$$2) \frac{n_1 \Delta B_1 S}{R} = \frac{L_1 J_1}{R}$$

$$\frac{n_2 \Delta B_2 S}{R} = \frac{L_2 J_2}{R}$$

Для любого момента времени  
из условия  $J_1 = J_2$

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

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

$$\frac{n_1 B_0 S}{R} = \frac{L_1 J}{R}$$

$$\frac{2n_2 \frac{4B_0}{3} S}{R} = \frac{L_2 J}{R}$$

Т.к. катушки соединены ~~последовательно~~  
последовательно, а напряж.  $B$   
в обеих катушках одинаково  
то отсюда токов  $B$  них, то

$$\frac{n_1 \Delta B_1 S}{R} + \frac{n_2 \Delta B_2 S}{R} = (L_1 + L_2) \frac{J}{R} \Rightarrow$$

$$J = \left( \frac{n_1 B_0 S}{2} + \frac{2n_2 \frac{4B_0}{3} S}{3} \right) : (L_1 + L_2) = \frac{n_1 B_0 S}{5L} \left( \frac{3 + 16}{6} \right) =$$

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

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

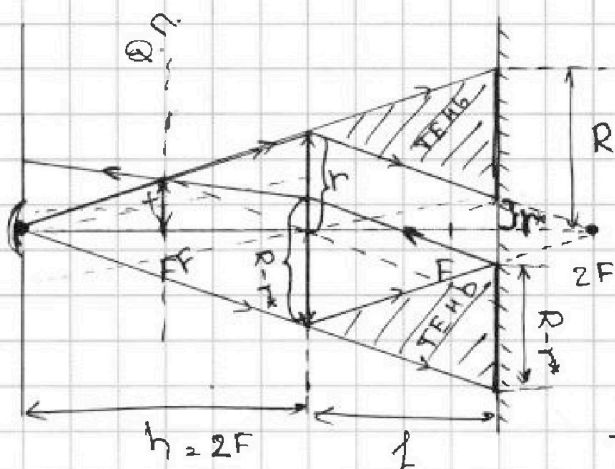


1  2  3  4  5  6  7

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-  
 ломясь, 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 оси), 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  $\Gamma O O$   
 войдут край в линзу крайние  
 лучи после отражения в  
 зеркале

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

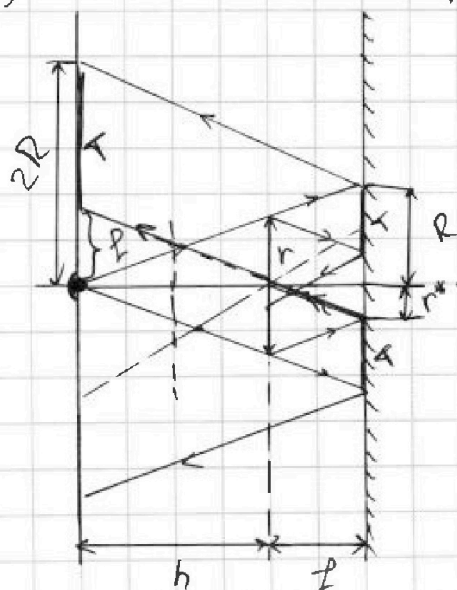
$$\Delta = R - r^* - r = 1 \text{ см.}$$

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

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

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

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







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

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

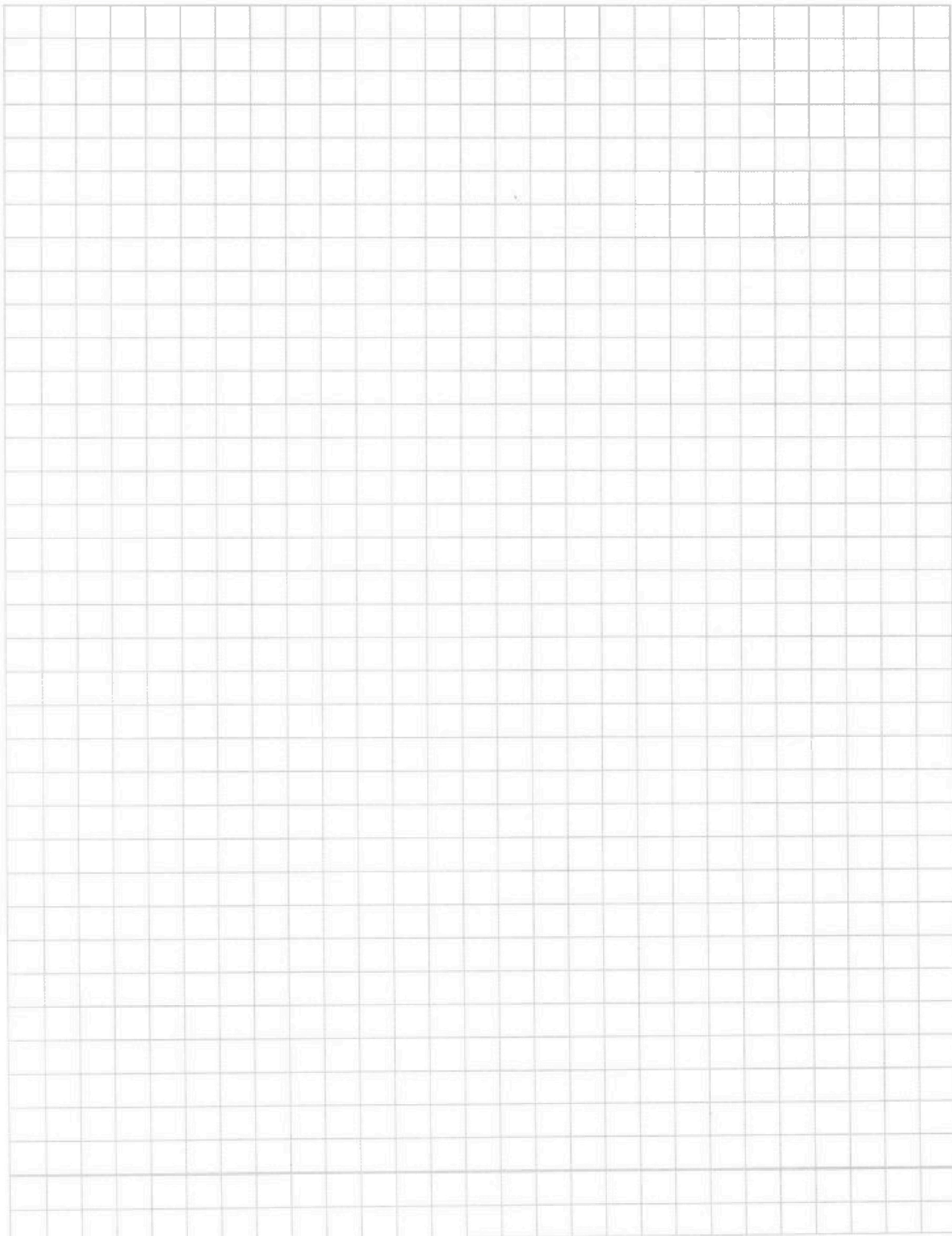


На одной странице можно оформлять **только одну** задачу. Отметьте **крестиком** номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

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!





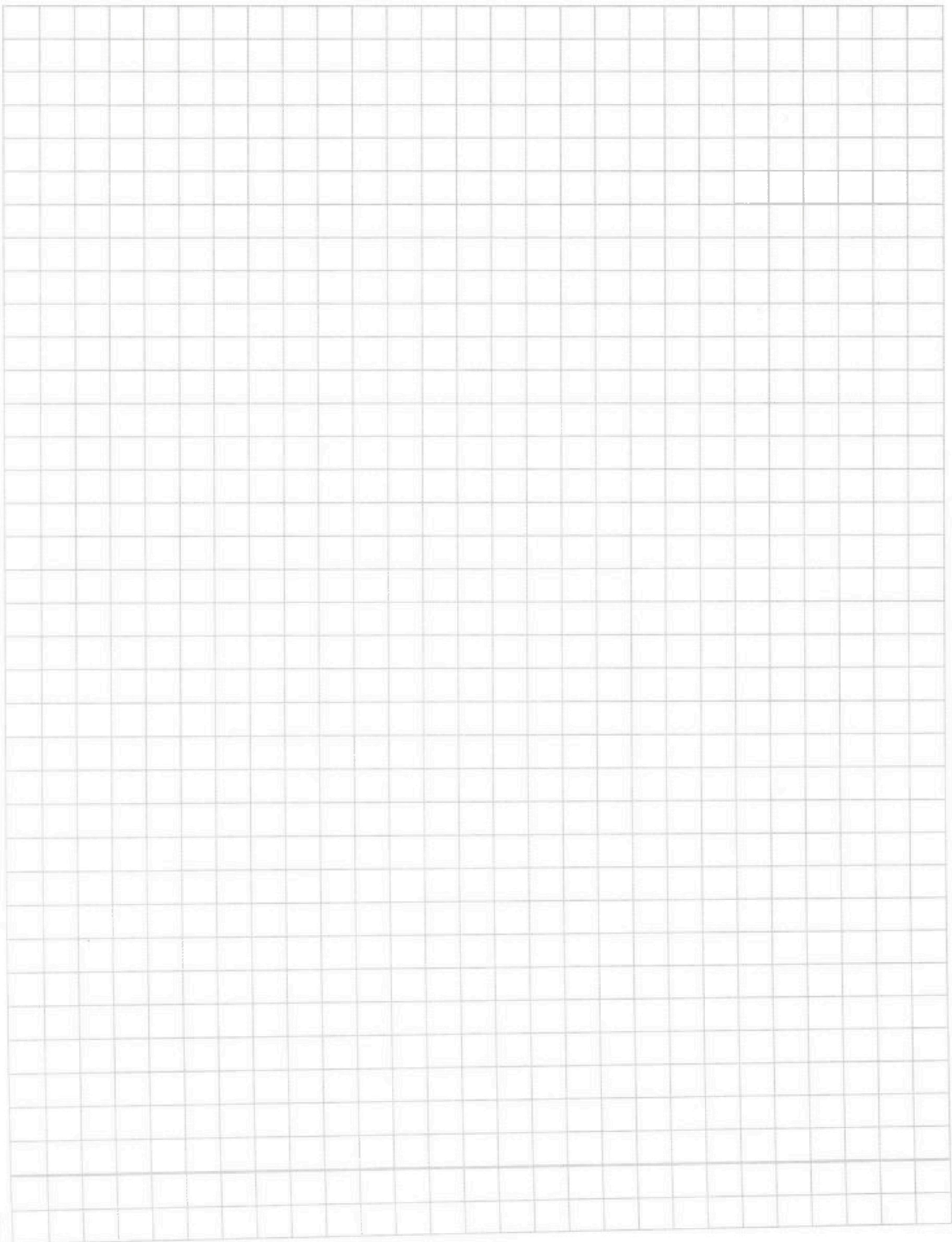


На одной странице можно оформлять **только одну задачу**. Отметьте **крестиком** номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

1	2	3	4	5	6	7
<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!

