

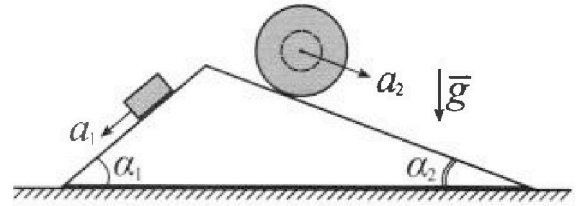
# Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2024

## Вариант 11-04

В ответах всех задач допустимы обыкновенные дроби  
и радикалы.



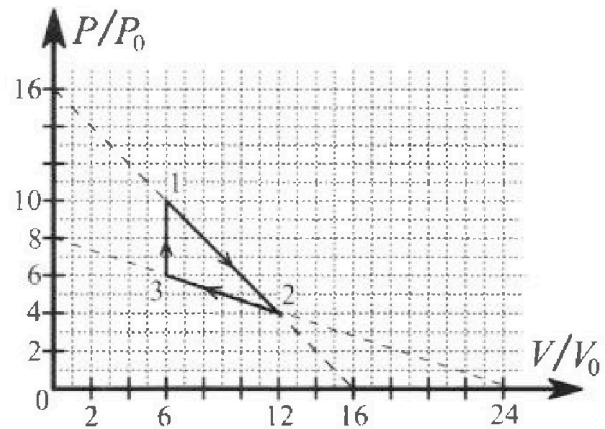
1. С клина, находящегося на шероховатом горизонтальном столе, соскальзывает брусок массой  $m$  с ускорением  $a_1 = 5g/17$  и скатывается без проскальзывания полый шар массой  $9m/4$  с ускорением  $a_2 = 8g/27$  (см. рис.). Клин остается в покое. Углы наклона поверхностей клина к горизонту  $\alpha_1$  ( $\sin \alpha_1 = 3/5$ ,  $\cos \alpha_1 = 4/5$ ) и  $\alpha_2$  ( $\sin \alpha_2 = 8/17$ ,  $\cos \alpha_2 = 15/17$ ). 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 шаром 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.

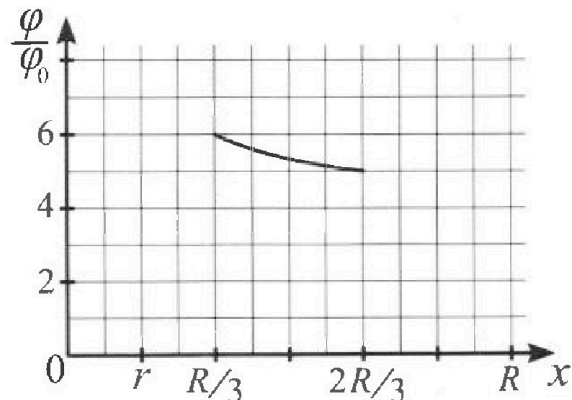
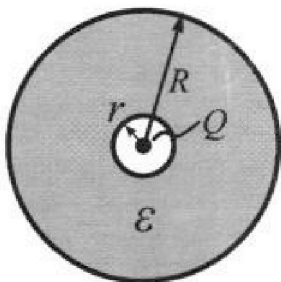


- 1) Найдите отношение модуля приращения внутренней энергии газа в процессе 1-2 к работе газа за цикл.
- 2) Найдите отношение максимальной температуры газа в процессе 1-2 к температуре газа в состоянии 3.
- 3) Найдите КПД цикла.

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.

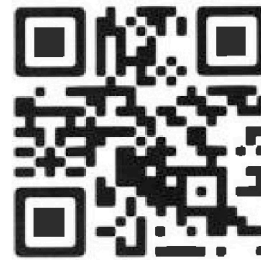
- 1) Считая известными  $r$ ,  $R$ ,  $Q$ ,  $\epsilon$ , найти аналитическое выражение (в виде формулы) для потенциала внутри диэлектрика при  $x = 11R/12$ .
- 2) Используя график, найти численное значение  $\epsilon$ .



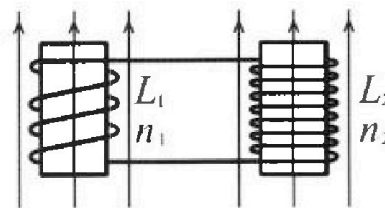
Олимпиада «Физтех» по физике,  
февраль 2024

Вариант 11-04

В ответах всех задач допустимы обыкновенные дроби  
и радикалы.

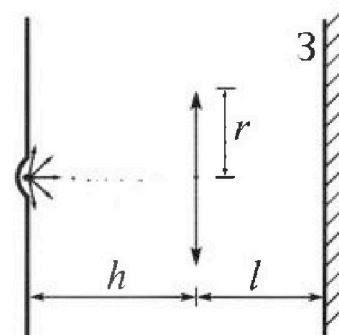


4. Две катушки с индуктивностями  $L_1 = L$  и  $L_2 = 9L/4$  и числами витков  $n_1 = n$  и  $n_2 = 3n/2$  помещены во внешние однородные магнитные поля с постоянными во времени индукциями (см. рис.). Площадь витка каждой катушки  $S$ . Индукции внешних полей направлены перпендикулярно плоскостям витков 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 уменьшаться 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  $3B_0/4$ , не изменив направления, а в катушке с индуктивностью  $L_2$  индукция внешнего поля уменьшилась от  $4B_0$  до  $8B_0/3$ , 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  $F = 2h/3$ . Главная оптическая ось линзы горизонтальна и проходит через лампочку. Радиус линзы  $r = 4$  см. Справа от линзы на расстоянии  $l = h/2$  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  $[см^2]$  в виде  $y\pi$ , где  $y$  - целое число или простая обыкновенная дробь.

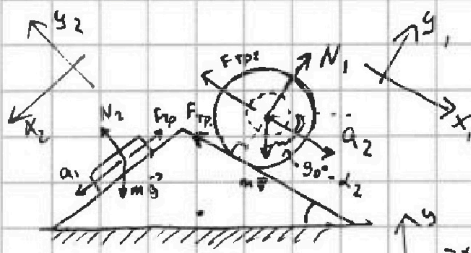


На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

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!



Запишем 2 3-н Ньютона для

1) Шара в проекции на оси

$$Ox_1: ma_2 = mg \cdot \sin d_2 - F_{тр2}$$

$$Oy_1: 0 = -mg \cos(d_2) + N_1$$

$$\Rightarrow F_{тр2} = \frac{9}{4} mg \left( \frac{8}{27} + \frac{8}{17} \right) \quad (m_{ш} = \frac{9}{4} m)$$

$$F_{тр2} = \frac{18 mg (27-17)}{27 \cdot 17} = \frac{9 \cdot 20 \cdot mg}{27 \cdot 17} = \frac{20}{51} mg$$

2) Бруска в проекции на оси:

$$Ox_2: ma_1 = mg \sin d_1 - F_{тр1}$$

$$0 = -mg \cos d_1 + N_2$$

$$\Rightarrow F_{тр1} = mg \left( \frac{3}{5} - \frac{5}{17} \right) =$$

$$= mg \cdot \left( \frac{51-25}{85} \right) = \frac{26}{85} mg$$

На клин действуют:

• вес бруска ( $N_2 = mg \cos d_1$ )

• вес шара ( $N_1 = \frac{9}{4} mg \cos d_2$ )

•  $F_{тр}$  бруска и шара ( $F_2 = \frac{20}{51} mg$ )

•  $F_{тр}$  а стол ( $F_3$  - кверху)

и  $F_1 = \frac{26}{85} mg$  соответств

2 3-н Ньютона для клина в пр-ч на

$$Ox: 0 = N_1 \cdot \sin d_2 + F_{тр2} \cdot \cos d_2 + F_{тр1} \cdot \cos d_1 - N_2 \sin d_1 + F_{3x}$$

$F_{3x}$  - проекция  $F_3$  на  $Ox$ .

$$\Rightarrow F_{3x} = \frac{9}{4} mg \left( \frac{9}{4} \cdot \frac{15}{17} \cdot \frac{8}{17} - \frac{20}{51} \cdot \frac{15}{17} + \frac{26}{85} \cdot \frac{4}{5} - \frac{4}{5} \cdot \frac{3}{5} \right) =$$

$$= -mg \cdot \left( \frac{15}{289} \left( -\frac{20}{3} + 18 \right) + \frac{4}{25} \left( \frac{26}{17} - 3 \right) \right) =$$

$$= -mg \left( \frac{15}{289} \cdot \frac{34}{3} + \frac{4}{25} \cdot \left( -\frac{25}{17} \right) \right) = -mg \left( \frac{10}{17} - \frac{4}{17} \right) = \frac{-6}{17} mg$$

$\Rightarrow$  на правую в дргт. сторону

Ответ:  $F_1 = \frac{26}{85} mg$ ,  $F_2 = \frac{20}{51} mg$ ,  $F_3 = \frac{6}{17} mg$



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!

① 1) На участках  $1 \rightarrow 2$  и  $2 \rightarrow 3$   $\frac{P}{P_0} = \alpha \left(\frac{V}{V_0}\right) + C$

$1 \rightarrow 2$   $\frac{P}{P_0} = -\frac{1}{3} \frac{V}{V_0} + 16$   $\Leftrightarrow P = \left(-\frac{P_0}{3}\right) \cdot V + 16P_0$

$2 \rightarrow 3$   $\frac{P}{P_0} = -\frac{1}{3} \frac{V}{V_0} + 8$   $P = \left(-\frac{P_0}{3}\right) \cdot \frac{V}{3} + 8P_0$

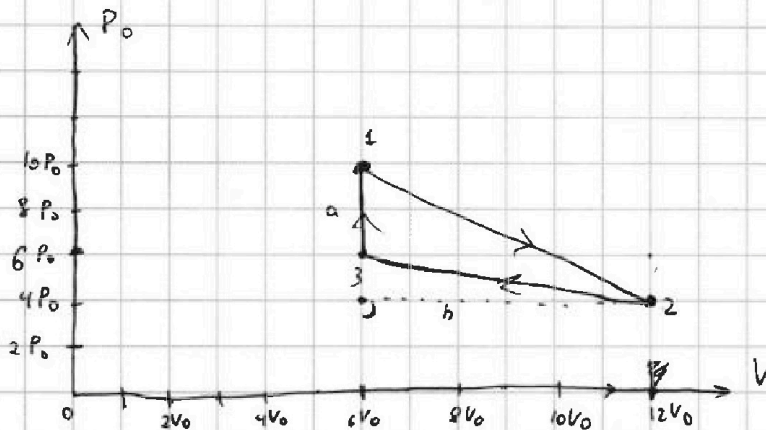
$3 \rightarrow 1$   $\frac{V}{V_0} = \text{const} = 6$ ,  $\frac{P}{P_0} \in [6; 10] \Rightarrow$  ~~идет~~ из <sup>хорош</sup> ~~область~~.

2) в нач. момент времени (1)  $P_1 = 10P_0$   
 $V_1 = 6V_0$

(3)  $P_3 = 6P_0$   
 $V_3 = 6V_0$

(2)  $P_2 = 4P_0$   
 $V_2 = 12V_0$

3) Построим на основе (1) график  $P(V)$



Работа газа  $\rightarrow$  это площадь  $\Delta \Rightarrow$

$$A_{1231} = \frac{1}{2} h \cdot a = \frac{1}{2} \cdot 6V_0 \cdot 4P_0 = 12P_0V_0$$

$$|\Delta E_{12}| = \left| \frac{1}{2} (P_1V_1 - P_2V_2) \right| = \frac{3}{2} \cdot P_0V_0 \cdot |60 - 48| = \frac{3}{2} \cdot 12 \cdot P_0V_0 = 18P_0V_0$$

$$\Rightarrow \frac{\Delta E_{12}}{A_{1231}} = \frac{18}{12} \frac{P_0V_0}{P_0V_0} = \frac{3}{2}$$

②  $P = \left(-\frac{P_0}{3}\right) \cdot V + 16$   $V \in [6V_0; 12V_0]$  ? max T.

по 3-ку Менделеева Клапейрона  $\partial RT = PV = \left(-\frac{P_0}{3}\right) \cdot V + 16 \cdot V$   
 $\leftarrow$  подставим  $P(V)$  из (1)

$\Rightarrow T = \alpha \cdot V^2 + \beta \cdot V + C$ ,  $\alpha < 0 \Rightarrow$   $\exists$  есть макс. в точке - середине

$\frac{0 + 16V_0}{2} = 8V_0 \Leftrightarrow$  в которой  $T = \text{max}$

отрезка  $[0; \frac{16P_0V_0}{6P_0}]$

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

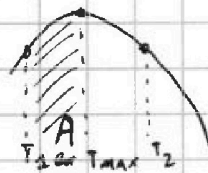
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!

$$T_{\text{MAX}12} = \frac{8V_0 \cdot 8p_0}{DR}$$

в то же время  $T_3$ :  $DR T_3 = 36 p_0 V_0 \Rightarrow T_3 = \frac{36 p_0 V_0}{DR}$

$$\Rightarrow \frac{T_{\text{MAX}12}}{T_3} = \frac{64}{36} = \frac{16}{9}$$

③ Таким образом в процессе (1→2)

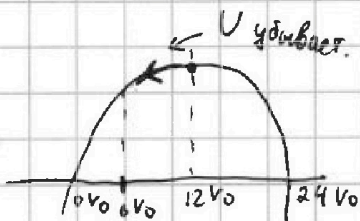


⇒ ~~подведена энергия~~  $\Delta U = \frac{i}{2} (p_1 V_{1\text{max}} - p_2 V_2) = \frac{3}{2} p_0 V_0 (64 - 60) = 4 \cdot 6 p_0 V_0$

$$\Delta Q_{12} = \Delta U + A_{12} = 6 p_0 V_0 + \frac{(4 p_0 + 8 p_0) \cdot 8 V_0}{2} =$$

$$= 6 p_0 V_0 (p_0 + 3 p_0) = 48 p_0 V_0 = p_0 V_0 (6 + 6 \cdot 8) = 54 p_0 V_0$$

2→3 тепло не подводится (на  $EA$  с  $6V_0; 12V_0$  функция  $DR T = \frac{1}{3} p_0 V_0$  не меняет множителя.



$$\Delta Q_{31} = \Delta p \cdot \Delta V = 4 p_0 \cdot 6 V_0 = 24 p_0 V_0 \quad (A=0 \text{ т.к. } \Delta V=0)$$

$$\Rightarrow \eta = \frac{A}{Q_{12} + Q_{23} + Q_{31}} = \frac{12 p_0 V_0}{24 p_0 V_0 + 54 p_0 V_0} = \frac{12}{78} = \frac{2}{13}$$

$$= \frac{2}{4+9} = \frac{2}{13}$$

Ответ: 1)  $\frac{\Delta Q}{A} = \frac{3}{2}$

2)  $T_{\text{MAX}} = \frac{16}{9}$

3)  $\eta = \frac{2}{13}$

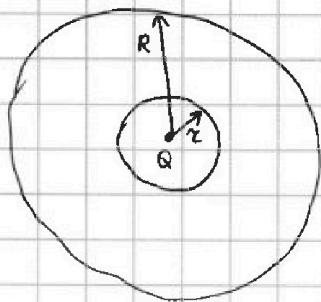


На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

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!



$$\text{для } \begin{cases} x \in (0; R] & \varphi = \frac{kQ}{x} + C_2 \\ x \in [r; R] & \varphi = \frac{k \cdot Q}{x} \cdot \frac{1}{\epsilon} + C_1 \\ x \in [R; +\infty) & \varphi = \frac{kQ}{x} \end{cases}$$

$$\begin{cases} \varphi\left(\frac{2}{3}R\right) = k \cdot \frac{3}{2} \cdot \frac{Q}{R} \cdot \frac{1}{\epsilon} + C_1 = 5\varphi_0 \\ \varphi\left(\frac{R}{3}\right) = k \cdot 3 = \frac{Q}{R} \cdot \frac{1}{\epsilon} + C_1 = 6\varphi_0 \end{cases}$$

из графика  
для n=2.

1)  $\leftarrow \varphi(R)$ . В силу того, что поле конесно  $\frac{kQ}{R} \cdot \frac{1}{\epsilon} + C_1 = \frac{kQ}{R}$ .

$$\Rightarrow C_1 = \frac{kQ}{R} \left(1 - \frac{1}{\epsilon}\right)$$

$$\Rightarrow \varphi\left(\frac{11}{12}R\right) = \frac{kQ}{R} \cdot \frac{12}{11} \cdot \frac{1}{\epsilon} + \frac{kQ}{R} \left(1 - \frac{1}{\epsilon}\right) = \frac{kQ}{R} \left(\frac{12}{11} \cdot \frac{1}{\epsilon} + 1 - \frac{1}{\epsilon}\right) =$$

$$= \frac{kQ}{R} \left(\frac{1}{11\epsilon} + 1\right), \quad k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}$$

2)  $\Rightarrow 6 \cdot \varphi\left(\frac{2}{3}R\right) - 5 \cdot \varphi\left(\frac{R}{3}\right) = 0 = \frac{kQ}{\epsilon R} \cdot \frac{3}{2} \cdot 6 + C_1 - \frac{kQ}{\epsilon R} \cdot 3 \cdot 5 - 5C_1$

$$= \frac{kQ}{\epsilon R} \cdot \frac{15}{2} - \frac{kQ}{R} \left(1 - \frac{1}{\epsilon}\right) = 0$$

$$\Rightarrow \frac{15}{2\epsilon} = 1 - \frac{1}{\epsilon} \quad -\frac{15}{2\epsilon} + \frac{2}{2\epsilon} = 1 \quad \frac{-13}{2\epsilon} = 1$$

$$\frac{kQ}{\epsilon R} (9 - 15) + C_1 = 0$$

$$\epsilon = -\frac{13}{2}$$

$$6 \cdot \frac{kQ}{\epsilon R} = \frac{kQ}{R} \left(1 - \frac{1}{\epsilon}\right) \Leftrightarrow \frac{6}{\epsilon} = 1 - \frac{1}{\epsilon}$$

$$\Leftrightarrow \frac{7}{\epsilon} = 1 \Leftrightarrow \epsilon = 7$$

Ответ: 1)  $\varphi\left(\frac{11}{12}R\right) = \frac{kQ}{R} \left(\frac{1}{11\epsilon} + 1\right)$

2)  $\epsilon = 7$



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!

①  $L = -\frac{dI}{dt}$ ,  ~~$\Phi = n_1 \cdot S_1 \cdot B_1$~~

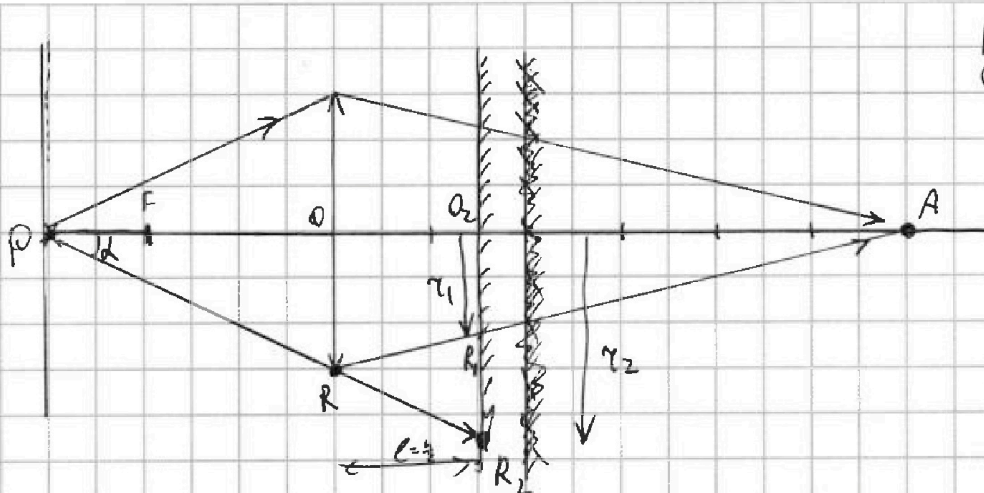
На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.



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!



P - источник  
O - оптическая  
O<sub>2</sub> не то же самое  
R - коды зеркала  
R<sub>1</sub> = не AR и  
зеркала  
(O) A находится  
далеко  
R<sub>2</sub> = PR и зеркала

1) ~~по заданию~~ построим изображение и отражения источника в зеркале.

(такая (•) A, что лучи из (•) A идут по пути отражения от зеркала)  
лучи из P находятся на расстоянии d от линзы

$$\Rightarrow \text{по ф-ле тонкой линзы} \quad \frac{1}{F} = \frac{1}{h} + \frac{1}{d}$$

$$\Rightarrow \frac{1}{d} = \frac{3}{2} \cdot \frac{1}{h} - \frac{1}{h} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{h} \Leftrightarrow d = 2h$$

2) В луч из (•) O приходит в (•) A если через линзу  $\Rightarrow$

лучи с углами от (0 до  $\alpha$ ) (с 0 до  $\alpha$ ) покрывают некоторую обл. стены

( $\alpha$  - угол при котором луч проходит по границе линзы)

~~лучи~~ лучи с углами от ( $\alpha$  до  $\frac{\pi}{2}$ ) (с 0 до  $\alpha$ ) ~~идут~~ идут прямо

$\Rightarrow$  непокрытым остается кольцо.

3) радиусе  $r_1$  найдем из:  $\Delta O_2 R_1 A \sim \Delta O R A$  по 2 углам (90° и обобщенный  $\angle A$ )

$$\Rightarrow \frac{r_1}{r} = \frac{A O_2}{A O} = \frac{2h - \frac{h}{2}}{2h} = \frac{3/2}{2} = 3/4$$

4) радиусе  $r_2$ :  $\Delta P R_2 O_2 \sim \Delta P R O \Rightarrow \frac{r_2}{r} = \frac{P O_2}{P O} = \frac{h + \frac{h}{2}}{h} = \frac{3}{2}$

$$\Rightarrow S = \pi \cdot (r_2^2 - r_1^2) = \pi r^2 \left( \frac{9}{4} - \frac{9}{16} \right) = \frac{9}{16} \pi r^2 (3) = \frac{27}{16} \pi \cdot 16 \text{ см}^2 = 27 \pi \text{ см}^2$$

Кольцо на стене



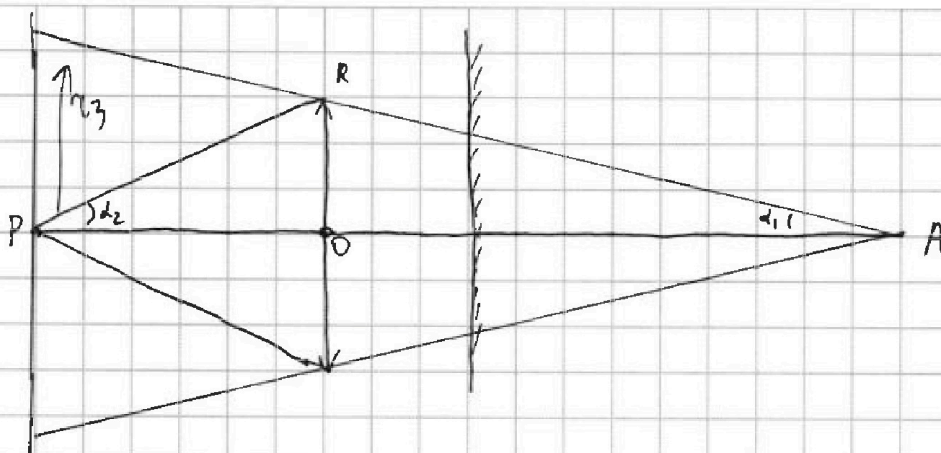


На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

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!



- 1) Пользуясь св-ми отражения: свет от зеркала - суть свет из (•A)  
2)  $\Rightarrow$  В лупа проходящего через линзу из (•A) свет попадет в (•P)  
(обратимость лучей)

- 3)  $\Rightarrow$  если луч не через линзу, то в копр-и.  $\Rightarrow$  не освещен иррад, радиуса  $r_3$ , из подобия  $\frac{r_3}{r} = \frac{AP}{OP} = \frac{34}{21}$   $r_3 = \frac{3}{2}r$

$$\Rightarrow S_{\text{лупы}} = \pi \cdot \frac{9}{4} r^2 = \pi \cdot \frac{9}{4} \cdot 16 \text{ см}^2 = 36 \pi \text{ см}^2$$

Ответ: 1)  $27\pi$

2)  $36\pi$



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 \_\_

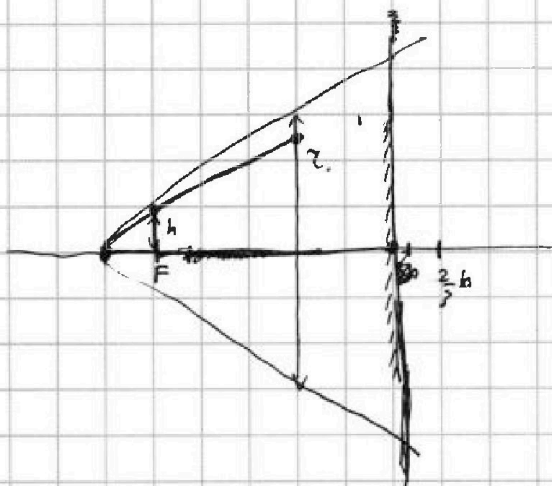
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!

*черновик*

$$\frac{9}{17} \cdot \frac{2}{17} \cdot \frac{15}{17} \left( -\frac{20}{3} + \frac{9 \cdot 2}{18} \right) = \frac{30}{289} \left( \frac{27}{3} - \frac{10}{3} \right) = \frac{17 \cdot 30}{3 \cdot 289} = \frac{10}{17}$$

$$\frac{4}{25} \left( \frac{26}{17} - 3 \right) = \frac{4}{25} \left( \frac{-25}{17} \right)$$

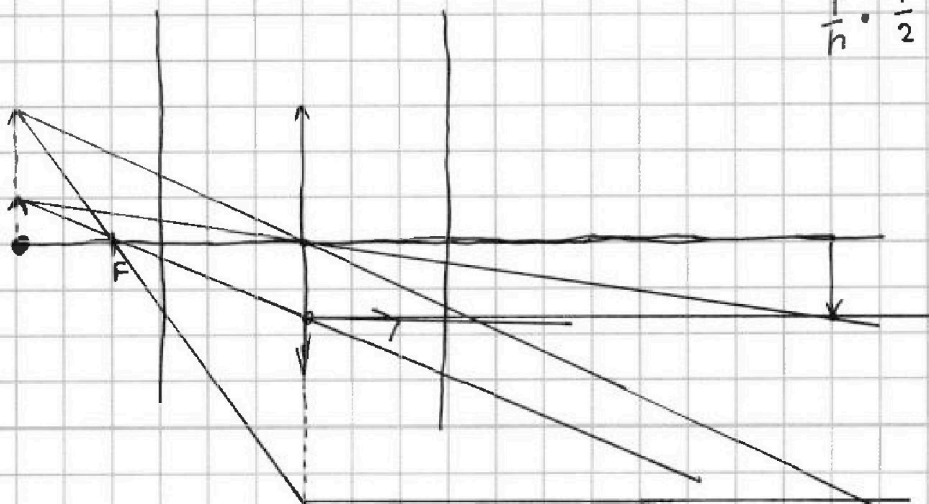
$$C = \frac{9}{\Delta\varphi} = \frac{9}{\Delta\varphi \cdot \frac{1}{2}} = 2 \cdot \frac{9}{\Delta\varphi}$$



$$\frac{1}{F} = \frac{1}{a} + \frac{1}{b}$$

$$\frac{3}{a} \cdot \left( \frac{1}{b} \right) = \left( \frac{1}{b} \right) + \frac{1}{b}$$

$$\frac{1}{h} = \frac{1}{2}$$



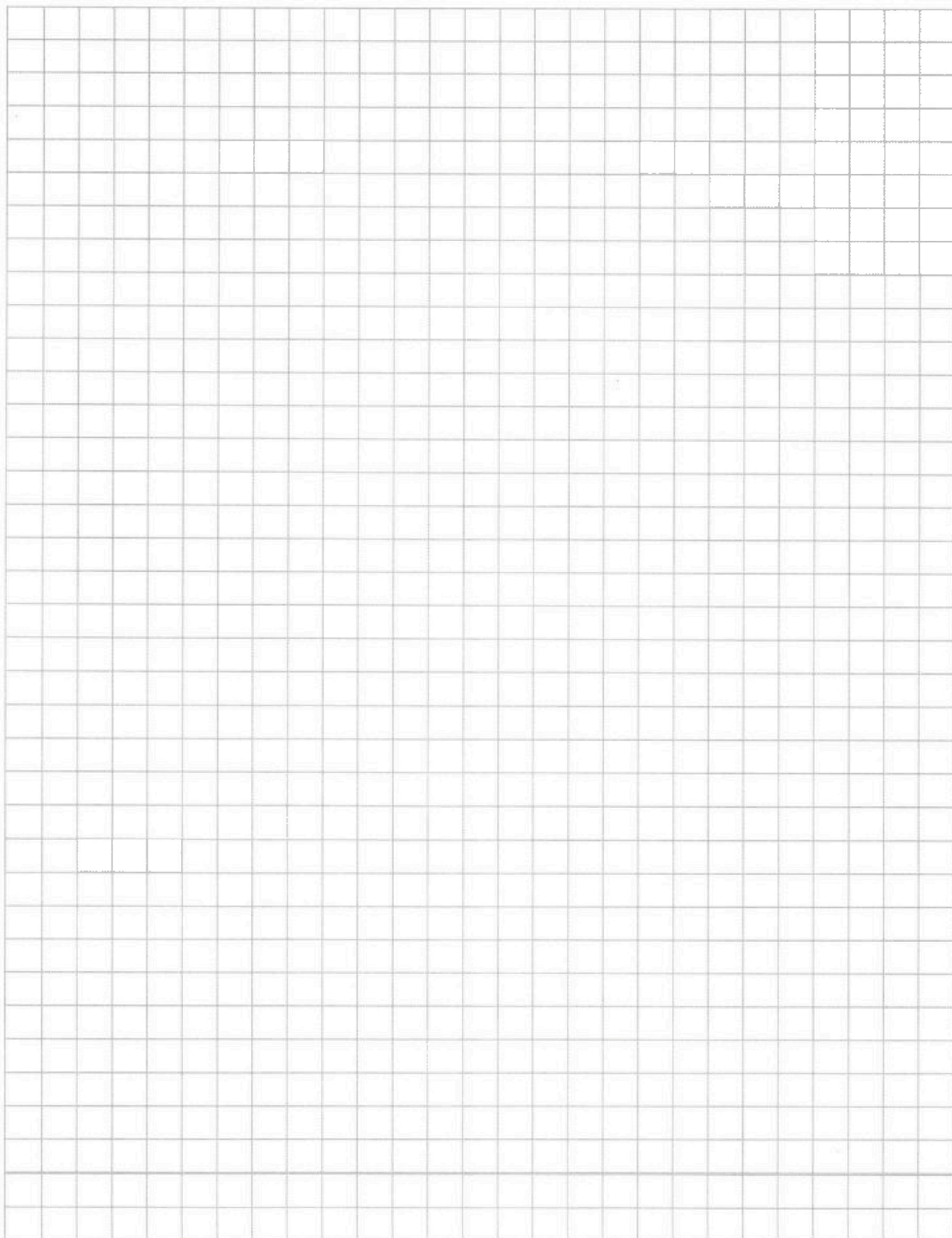


На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

1  2  3  4  5  6  7

СТРАНИЦА  
\_\_ 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!

