



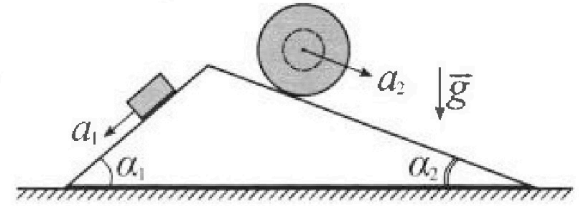
# Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2024

## Вариант 11-04



В ответах всех задач допустимы обыкновенные дроби и радикалы.

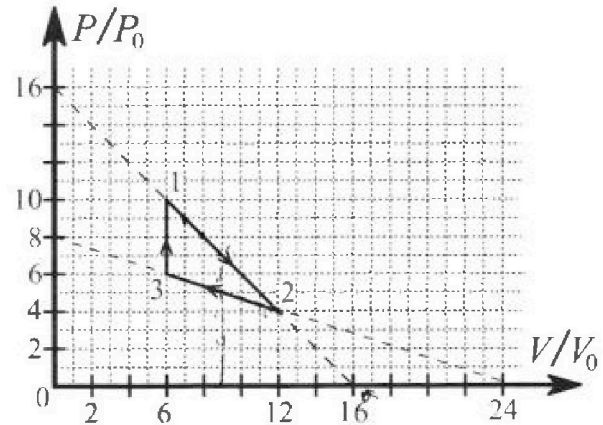
1. С клина, находящегося на шероховатом горизонтальном столе, соскальзывает брусок массой  $m$  с ускорением  $a_1 = 5g/17$  и скатывается без проскальзывания полый шар массой  $9m/4$  с ускорением  $a_2 = 8g/27$  (см. рис.). Клин остается в покое. Углы наклона поверхностей клина к горизонту  $\alpha_1$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

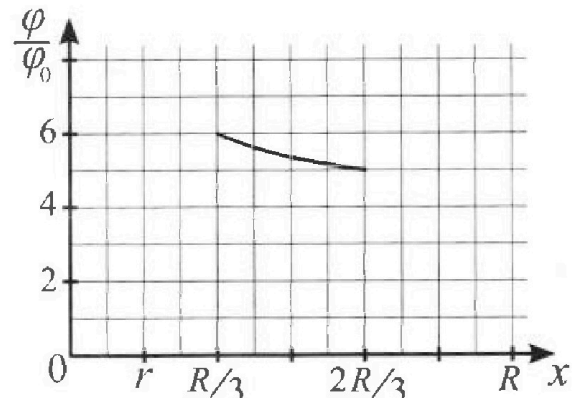
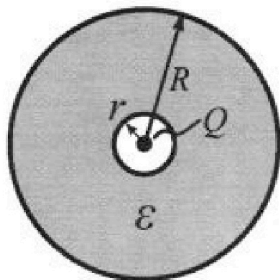


- 1) Найдите отношение модуля приращения внутренней энергии газа в процессе 1-2 к работе газа за цикл.
- 2) Найдите отношение максимальной температуры газа в процессе 1-2 к температуре газа в состоянии 3.
- 3) Найдите КПД цикла.

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  $\epsilon$ .



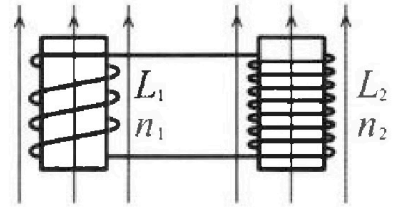
# Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2024

## Вариант 11-04

В ответах всех задач допустимы обыкновенные дроби  
и радикалы.

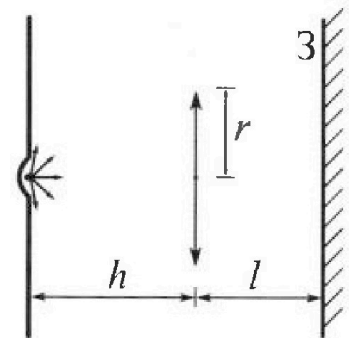


4. Две катушки с индуктивностями  $L_1 = L$  и  $L_2 = 9L/4$  и числами витков  $n_1 = n$  и  $n_2 = 3n/2$  помещены во внешние однородные магнитные поля с постоянными во времени индукциями (см. рис.). Площадь витка каждой катушки  $S$ . Индукции внешних полей направлены перпендикулярно плоскостям витков 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  $[\text{см}^2]$  в виде  $\alpha\beta$ , где  $\gamma$  - целое число или простая обыкновенная дробь.



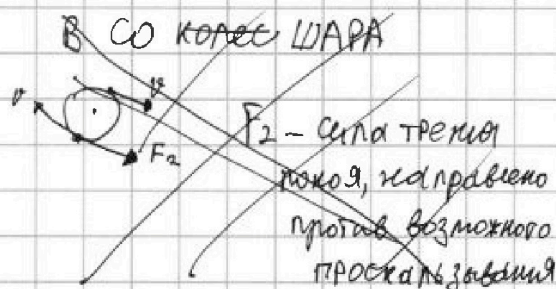
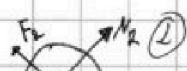
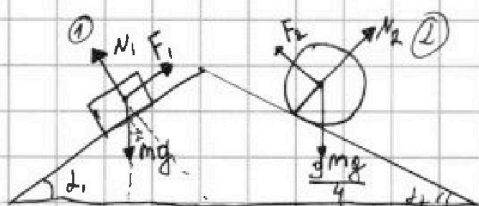
На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

1  2  3  4  5  6  7

СТРАНИЦА  
1 из 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!

## Задача №1.



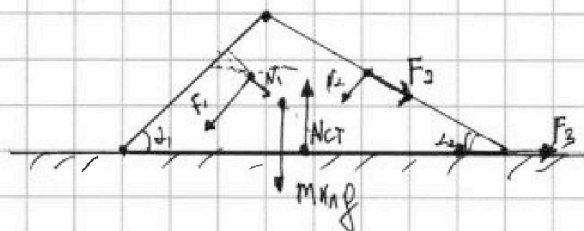
1) 2 ЗН для блока:  $mg \sin \alpha_1 - F_1 = m a_1 = m \cdot \frac{5}{14} g$ ;  $N_1 = mg \cos \alpha_1$

$$F_1 = mg \left( \frac{3}{5} - \frac{5}{14} \right) = \frac{51 - 25}{85} = \frac{26}{85} mg$$

2) 2 ЗН для шара:  $\frac{9}{4} mg \sin \alpha_2 - F_2 = \frac{9}{4} m a_2 = \frac{9}{4} m \cdot \frac{8}{24} g$ ;  $N_2 = \frac{9}{4} mg \cos \alpha_2$

$$F_2 = \frac{9}{4} mg \left( \frac{8}{14} - \frac{8}{24} \right) = 18 mg \left( \frac{24 - 14}{450} \right) = \frac{160}{450} mg = \frac{60}{153} mg = \frac{20}{51} mg$$

3) Картина сил для клина



$m_{\text{кл}}$  - масса клина  
Предположим направление сил трения  $F_3$  как на рисунке.

$$-F_1 \cos \alpha_1 + N_1 \sin \alpha_1 + F_2 \cos \alpha_2 - N_2 \sin \alpha_2 + F_3 = 0$$

$$F_3 = F_1 \cos \alpha_1 - N_1 \sin \alpha_1 - F_2 \cos \alpha_2 + N_2 \sin \alpha_2$$

$$F_3 = \frac{26}{85} \cdot \frac{4}{5} mg - mg \cdot \frac{4}{5} \cdot \frac{3}{5} - \frac{20}{51} mg \cdot \frac{15}{14} + \frac{9}{4} mg \cdot \frac{8}{14} \cdot \frac{15}{14}$$

$$F_3 = mg \left( \frac{26 \cdot 4}{85 \cdot 5} - \frac{12}{25} - \frac{20 \cdot 5}{14 \cdot 14} + \frac{9 \cdot 2 \cdot 15}{14 \cdot 14} \right) = mg \left( \frac{140}{14 \cdot 14} - \frac{4}{14} \right)$$

$$F_3 = \frac{mg}{14} \left( \frac{140 - 68}{14} \right) = \frac{mg}{14} \cdot \frac{102}{14} = \frac{6}{14} mg$$



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  
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!

Задача №1.

Ответ:

$$1) F_1 = \frac{26}{85} \text{ мг}$$

$$2) F_2 = \frac{20}{57} \text{ мг}$$

$$3) F_3 = \frac{6}{14} \text{ мг}$$



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!

## Задача №2.

$i = 3$  - кол-во степеней свободы 1-го атомного газа.

$A_{гр} = S_{гр} \cdot P_0 V_0$  (формула  $S_{гр}$  - площадь под графиком из условия)

$$A_{12} = \frac{4+3}{2} \cdot (12-6) P_0 V_0 = 42 P_0 V_0$$

УР-ия Менг-Амат:

$$\Delta U_{12} = \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_1) = \frac{3}{2} \nu R \left( \frac{60 P_0 V_0}{\nu R} + \frac{48 P_0 V_0}{\nu R} \right) =$$

$$1: 10 P_0 \cdot 6 V_0 = \nu R T_1$$

$$= -18 P_0 V_0; \quad \left( W = \frac{|\Delta U_{12}|}{A} \right)$$

$$2: 4 P_0 \cdot 12 V_0 = \nu R T_2$$

$$3: 6 P_0 \cdot 6 V_0 = \nu R T_3$$

$A = A_{12} + A_{23} + A_{31}$  - работа газа за цикл

$$T_1 = \frac{60 P_0 V_0}{\nu R}$$

$A_{31} = 0$  (изохор.);  $A_{23} = -5 \cdot 6 P_0 V_0$

$$T_2 = \frac{48 P_0 V_0}{\nu R}$$

$$A = 42 P_0 V_0 - 30 P_0 V_0 = 12 P_0 V_0$$

$$T_3 = \frac{36 P_0 V_0}{\nu R}$$

$$W = \frac{18 P_0 V_0}{12 P_0 V_0} = 1,5 \cdot \frac{3}{2}$$

Первое начало термодинамики:

$$Q_{12} = -18 P_0 V_0 + 42 P_0 V_0 = 24 P_0 V_0 \quad Q_{12} > 0$$

$$Q_{23} = \frac{3}{2} \nu R \left( \frac{36-48}{\nu R} \right) P_0 V_0 + (-30 P_0 V_0) = -48 P_0 V_0 < 0$$

$$Q_{31} = \frac{3}{2} \nu R \cdot \frac{P_0 V_0}{\nu R} (60-36) = 36 P_0 V_0; \quad > 0$$

$Q_H$  -  $Q_{нагревателя}$   $Q_X$  -  $Q_{холодильника}$ ;  $\eta = 1 - \frac{Q_X}{Q_H}$

$$Q_H = Q_{12} + Q_{31}; \quad Q_X = -Q_{23}; \quad \left( \eta = 1 - \frac{48}{60} = \frac{2}{10} \right)$$

$$P \cdot V = \nu R T \Rightarrow T = \frac{P \cdot V}{\nu R}; \quad \text{т.к. } \nu R = \text{const}$$

$T = T_{max}$ , когда  $P \cdot V = \text{max}$



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!

Задача №2.

Из графиков 1-2 заметим, что:  $\frac{P}{A} \cdot \frac{P}{B} = 16 - \frac{V}{V_0}$

~~Из~~ Из графиков ясно, что  $P \cdot V = \max$ , при  $P = 8P_0$ ;  $V = 8V_0$

$$\text{Тогда } T_{12} = \frac{64 P_0 V_0}{UR}; \quad \alpha = \frac{T_{12}}{T_3} = \frac{64}{36} = \frac{16}{9}$$

Ответ:

1)  $\frac{3}{2}$

2)  $\frac{16}{9}$

3)  $\frac{2}{10}$



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 черновком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!

$l = \frac{n \cdot l}{s}$   $F = BIl$   $\text{Черновик}$   $(RS) = E_0$   $J' = E_0 \cdot A$   
 $B =$   $RS = E_0$

$\frac{2}{4} mg \sin \alpha = \frac{2}{4} mg \cdot \frac{3}{4} = \frac{3}{4} mg = a^* \cdot m$   $a^* = \frac{3}{4} g$   $a_n = \frac{3}{24} g \leq a^*$

$\frac{24}{14} \cdot \frac{H \cdot c}{KA \cdot H} = \frac{B \cdot c}{m^2 \cdot 459}$   $\frac{H \cdot 1}{A \cdot m^2}$   $24 \cdot 4 = 135 + 54 = 189$   
 $\frac{189}{24} = 7.875$   $\frac{450}{3} = 150$   $\frac{459}{3} = 153$   $\frac{16}{3} = 6$   
 $\frac{20}{57}$   $\frac{450}{3} = 150$   $\frac{459}{3} = 153$   $\frac{16}{3} = 6$

$\frac{308}{459} \cdot \frac{308}{20} = 20$

$\frac{4}{25} \cdot \left( \frac{26}{14} - 3 \right) = \frac{4}{25} \left( \frac{26-51}{14} \right) = \frac{4}{25} \left( \frac{-25}{14} \right) = -\frac{4}{14}$   $\frac{102}{6} = 17$   
 $51 + 17 = 68$   $140 - 68 = 72$   $\frac{68}{57} = 1.19$   $\frac{14}{702}$   $42 + 10 = 52$

$P = B \cdot S$   $\frac{S}{4} - S_1 = 24$   $E_0 = \varphi'$   $\frac{135}{24} = 5.625$   $\frac{12 \cdot 10}{1000} = 0.12$   
 $S - S_1 = 185$   $S \cdot (-1) = E_0 \cdot \frac{135}{100}$   $\frac{42}{18} = \frac{21}{9} = \frac{7}{3}$   
 $S = 106$ ;  $S = 36 \cdot 4$   $\frac{18}{12} = \frac{3}{2} = 1.5$

$E_0 = S_2$   $S_1 = 36 - 27 = 9$   $68 = 48$   $6 \cdot 10 = 60$   $\frac{48}{60} = \frac{4}{5}$   
 $T = \frac{P \cdot V}{OR}$   $\frac{10-6}{4-12}$   $\frac{P}{P_0} = 76 - \frac{\sqrt{V}}{V_0}$

$T = T_{max}$ , при  $P \cdot V = \max$   $\frac{P}{P_0} = \frac{4}{10} = 0.4$   $\frac{P}{P_0} + (-16) = \frac{V}{V_0} \cdot \frac{P}{P_0} = \frac{V}{V_0} + 16$

$P \cdot V = \max$ ;  $P = 16 P_0 - \frac{V}{V_0} \cdot P_0$ ;  $V = 16 V_0 - \frac{P}{P_0} \cdot V_0$   
 $P = P_0 \left( 16 - \frac{V}{V_0} \right)$ ;  $V = V_0 \left( 16 - \frac{P}{P_0} \right)$



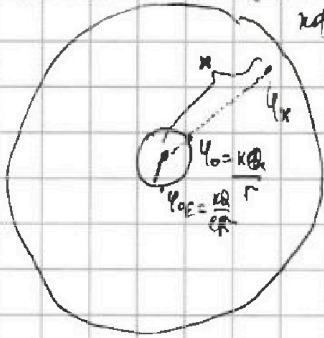
На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

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!

$\varphi_0$  - потенциал в плоскости на  $r$   
 $\varphi_{0E} \varphi_{0x}$  - потенциал на поверхности на  $r$



Задача №3.

$$\Delta\varphi = E \cdot \Delta l \quad ; \quad \Delta\varphi = \varphi_0 - \varphi_x = \int E \Delta l$$

$$E = \frac{kQ}{\epsilon \epsilon_0 r^2} \quad (\text{в вакууме})$$

$$\varphi_x = \frac{kQ}{\epsilon \cdot \frac{11}{12} R} = \frac{12kQ}{11\epsilon R}$$

$$\Delta\varphi = E \cdot \Delta l \quad (\text{при } \Delta l \rightarrow 0 \text{ можно считать поле однородным})$$

$$E = \frac{kQ}{\epsilon \epsilon_0 r^2} \quad (\text{в вакууме})$$

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \int_{r_1}^{r_2} \frac{kQ}{\epsilon \epsilon_0 r^2} \Delta l = \left[ \frac{kQ}{\epsilon} \cdot (-l)^{-1} \right] ; \quad \varphi_{0E} - \varphi_x = \frac{kQ}{\epsilon} \cdot \left( -\frac{12}{11R} - \left( -\frac{1}{r} \right) \right)$$

$$\varphi_{0E} - \varphi_x = \frac{kQ}{\epsilon} \cdot \left( -\frac{12}{11R} - \left( -\frac{1}{r} \right) \right) = \frac{kQ}{\epsilon} \left( \frac{1}{r} - \frac{12}{11R} \right)$$

$$\varphi_0 - \varphi_x \quad \varphi_x = \varphi_{0E} - \frac{kQ}{\epsilon} \left( \frac{1}{r} - \frac{12}{11R} \right) = \frac{12kQ}{11\epsilon R}$$

$$\text{Ответ: } 1) \varphi_x = \frac{12kQ}{11\epsilon R}$$





1  2  3  4  5  6  7

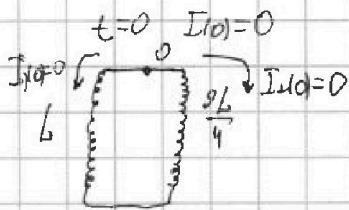
СТРАНИЦА  
1 из 1

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!

### Задача №4

1 — магнитный поток через катушку 1.

$$\Phi_1 = B_1 \cdot S \cdot n; \quad \Phi_1' = \frac{\Delta B_1}{\Delta t} \cdot S \cdot n = \mathcal{E}_i = -2 S \cdot n$$



$$0 - 2 S n = I_1' \cdot l$$

$$0 - (2 S n) = I_2' \cdot \frac{l}{4}$$

$$I_1'(0) \cdot l = I_2'$$

$$I' = -\frac{2 S n \Delta}{9 l} + \frac{2 S n \Delta}{l} = \frac{5}{9} \frac{2 S \cdot n \cdot \Delta}{l}$$

Ответ:  ~~$I' = \frac{5}{9} \cdot 2 \cdot S \cdot l$~~

1)  $I' = \frac{5 \cdot 2 \cdot S}{9 l} \cdot$

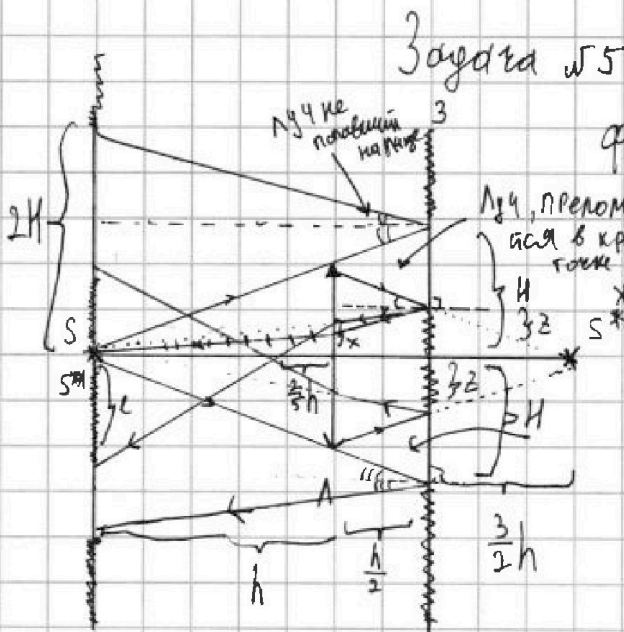


На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

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!



$$d = h; F = \frac{2}{3} h$$

Ф. тонкой линзы:

$$\frac{1}{h} + \frac{1}{f} = \frac{3}{2h} \Rightarrow \frac{1}{f} = \frac{1}{2h}; f = 2h$$

$S^*$  - Изобр в л.

$S^*$  является мнимым предметом для Веркала.

$S^{**}$  - изобр  $S^*$  в зеркале,

$S^{**}$  находится на  $\frac{3}{2}h$  слева от зеркала

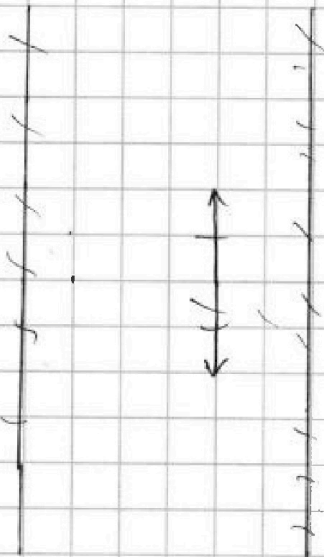
$S^{**}$  - мнимый предмет для линзы

$$d_1 = h$$

$$-\frac{1}{d_1} + \frac{1}{f_2} = \frac{1}{F}; +\frac{1}{h} + \frac{3}{2h} + \frac{3}{2h} = \frac{1}{f_2}$$

$$f_2 = \frac{2}{5} h$$

Рисунок хода лучей  
- освещенная часть



Метод Гауссов:

$$\frac{2H}{3h} = \frac{r}{h} \Rightarrow H = \frac{3}{2} r$$

$$\frac{2z}{3h} = \frac{x}{h}; \frac{r}{2h} = \frac{2z}{3h}; z = \frac{3}{4} r; z = \frac{3}{4} r$$

$S_1$  - площадь освещенной области зеркала (кольца)

$$S_1 = \pi R^2 - \pi z^2 = \pi \left( \frac{9}{4} r^2 - \frac{9}{16} r^2 \right) = \frac{24\pi r^2}{16}$$

$$S_1 = \frac{24 \cdot \pi \cdot 16 \text{ см}^2}{16} = 24\pi \text{ см}^2$$

$$\frac{8r}{3h} = \frac{5x}{2h}; l = \frac{3}{2} x = \frac{3}{2} \cdot \frac{1}{2} z = \frac{1}{2} z = \frac{1}{2} \cdot \frac{3}{4} r = \frac{3}{8} r$$

$$l = \frac{3}{2} x; x = \frac{2}{3} z \Rightarrow l = z = \frac{3}{4} r$$



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!

Задача 5.

$S_2$  - площадь несветящейся части стены (кольцо)

$$S_2 = \pi \cdot (24)^2 - \pi \cdot z^2 = \pi \left( 9r^2 - \frac{9}{16} r^2 \right) = \frac{9 \cdot 15 \pi r^2}{16}$$

$$S_2 = 135 \pi \cdot \text{см}^2$$

Ответ:

1)  $S_1 = 24 \cdot \pi \cdot \text{см}^2$

2)  $S_2 = 135 \cdot \pi \cdot \text{см}^2$



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!

Черновик

$$\frac{P}{P_0} = \frac{16\sqrt{0} - \sqrt{0}}{\sqrt{0}}$$

$$\frac{P\sqrt{0} - 16P_0\sqrt{0} - \sqrt{0}P_0}{P_0\sqrt{0}} = 0$$

$$64 = 88$$

$$36 = 8 \cdot 6$$

$$\frac{8 \cdot 8}{6 \cdot 6} = \frac{4 \cdot 4}{3 \cdot 3} = \frac{16}{9}$$

$$E = \frac{kq}{r^2}$$

$$\Delta \varphi_1 - \varphi_2 = \sum E \cdot \Delta r ; \varphi_1 - \varphi_2 = \int \frac{kq}{r^2} \Delta r$$

$$kq \int_0^r \frac{1}{r^2} \Delta r = \left| -\frac{1}{r} \right|_0^r = \frac{1}{r}$$

$$\left( \frac{r^{-3}}{-3} \right)'$$

$$\left( r^{-1} \right)' = -1 \cdot r^{-2} = r^{-2}$$

$$\frac{1}{0} - \frac{1}{r}$$

$$\frac{kq}{l} = \frac{3kq}{2\epsilon r} \cdot 1$$

$$-\frac{1}{r} ; \frac{1}{R} + \frac{1}{r} = \frac{R-r}{Rr}$$

$$\frac{kq}{r}$$

$$\epsilon = \frac{3l}{2r}$$

$$\varphi_0 - \varphi_x$$

$$\frac{kq}{r} - \frac{kq}{\epsilon l}$$

~~R~~

$\varphi_x$

$$\frac{\varphi_0}{6}$$

$$\varphi_1 = \frac{kq \cdot 3}{\epsilon \cdot R}$$

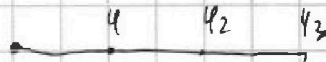
$$\varphi_0 = \frac{kq \cdot 3}{\epsilon R} - \frac{kq \cdot 3}{2\epsilon R}$$

$$\varphi_0 = \frac{3}{2} \frac{kq}{\epsilon R}$$

$$\varphi_2 = \frac{kq \cdot 3}{\epsilon \cdot R}$$

$$\varphi - \varphi_2 = \frac{kq}{r} - \frac{kq}{2r} = \frac{1}{2} \frac{kq}{r}$$

$$\frac{kq}{r}$$



$\infty \varphi = 0$

$$\varphi_1 - \varphi_3 = \varphi^* \Rightarrow \varphi_3^* = \varphi_1 - \varphi^*$$



$$\varphi_2 - \varphi_3 = \frac{kq}{2r} - \frac{kq}{3r} = \frac{1}{6} \frac{kq}{r}$$

$$kq \cdot \left( -\frac{1}{3r} + \frac{1}{2r} \right) = \frac{kq}{6r}$$

$$\frac{5kq \cdot 2\epsilon R}{\epsilon R \cdot 3 \cdot kq}$$

$$\frac{\varphi_1 - \varphi_2}{\varphi_0 - \varphi_0} = 1 \quad \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{\varphi_0} = 1 \quad \varphi_1 - \varphi_2 = \varphi_0$$