



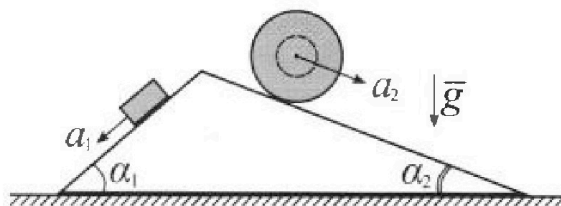
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2024

Вариант 11-04

В ответах всех задач допустимы обыкновенные дроби
и радикалы.



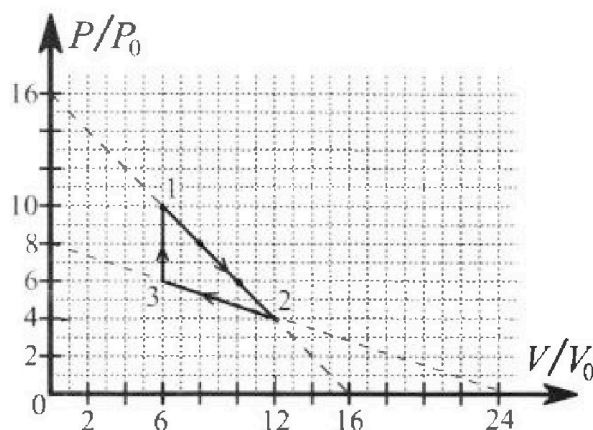
1. С клина, находящегося на шероховатом горизонтальном столе, соскальзывает брусок массой m с ускорением $a_1 = 5g/17$ и скатывается без проскальзывания полый шар массой $9m/4$ с ускорением $a_2 = 8g/27$ (см. рис.). Клин остается в покое. Углы наклона поверхностей клина к горизонту α_1 ($\sin \alpha_1 = 3/5$, $\cos \alpha_1 = 4/5$) и α_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 τ 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.

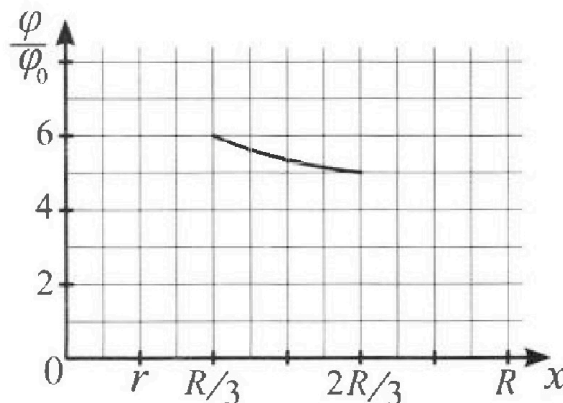
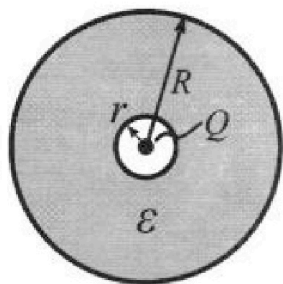


- 1) Найдите отношение модуля приращения внутренней энергии газа в процессе 1-2 к работе газа за цикл.
- 2) Найдите отношение максимальной температуры газа в процессе 1-2 к температуре газа в состоянии 3.
- 3) Найдите КПД цикла.

Ответы выразите числом в виде обыкновенной дроби или целого числа.

3. В центре полого шара с диэлектрической проницаемостью 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 $x = 11R/12$.
- 2) Используя график, найти численное значение ϵ .



$$\psi_2 - \psi_1 = E d$$
$$\psi \propto \frac{1}{x} \Rightarrow \frac{1}{x} - \frac{1}{x} = \frac{1}{x} \downarrow$$

$$\frac{32}{16} = \frac{2}{1}$$
$$\frac{(4-2-10)C}{8} = -2 \cdot C$$
$$\frac{4 \cdot R^3}{8} = 12$$
$$x^{-2} \rightarrow \frac{x^{-1}}{-2} = -\frac{1}{x}$$

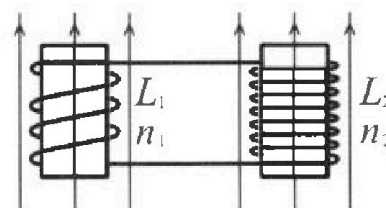
Олимпиада «Физтех» по физике,
февраль 2024

Вариант 11-04

В ответах всех задач допустимы обыкновенные дроби
и радикалы.

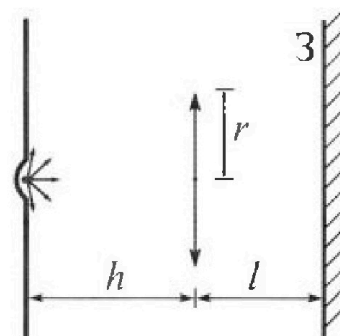


4. Две катушки с индуктивностями $L_1 = L$ и $L_2 = 9L/4$ и числами витков $n_1 = n$ и $n_2 = 3n/2$ помещены во внешние однородные магнитные поля с постоянными во времени индукциями (см. рис.). Площадь витка каждой катушки S . Индукции внешних полей направлены перпендикулярно плоскостям витков катушек. 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 неосвещённой части зеркала.
- 2) Найдите площадь неосвещённой части стены.

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



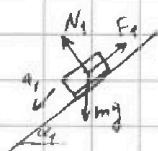
На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

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!

1)

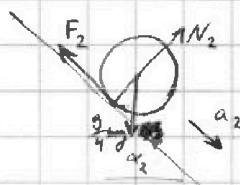


$$a_1 m = mg \sin \alpha + F_1$$

$$F_1 = mg \left(\sin \alpha - \frac{5}{17} \right) = \frac{26}{5 \cdot 17} mg = \frac{26}{85} mg$$

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

2)

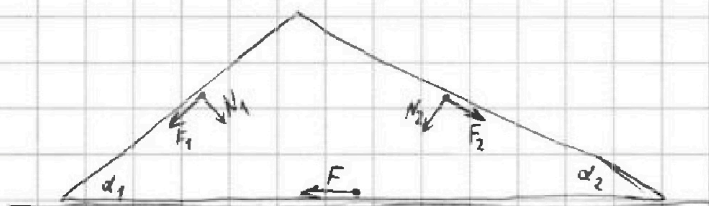


$$a_2 m \cdot \frac{9}{4} = \frac{9}{4} mg \sin \alpha_2 - F_2$$

$$F_2 = mg \left(\frac{9}{4} \cdot \frac{8}{17} - \frac{9}{4} \cdot \frac{8}{27} \right) = mg \left(\frac{18}{17} - \frac{2}{3} \right)$$

$$F_2 = \frac{20}{51} mg$$

3)



$$N_1 = mg \cos \alpha_1 = \frac{4}{5} mg$$

$$N_2 = \frac{4}{5} mg \cos \alpha_2 = \frac{15 \cdot 9}{17 \cdot 4} mg$$

$$F = F_1 \cos \alpha_1 - N_1 \sin \alpha_1 + N_2 \sin \alpha_2 - F_2 \cos \alpha_2 = mg \left(\frac{26}{85} \cdot \frac{4}{5} - \frac{4}{5} \cdot \frac{3}{5} + \frac{15 \cdot 9}{17 \cdot 4} \cdot \frac{8}{17} - \frac{20}{51} \cdot \frac{15}{17} \right) = \frac{mg}{17^2 \cdot 5^2} (17 \cdot 4 \cdot 26 - 17^2 \cdot 4 \cdot 3 + 5^2 \cdot 15 \cdot 9 \cdot 2 - 5^2 \cdot 20 \cdot 5) = \frac{mg}{17^2 \cdot 5^2} (17 \cdot 4 \cdot (-25) + 5^3 \cdot 34) = \frac{mg}{17} (-4 + 5 \cdot 2) = \frac{6}{17} mg$$



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.



2



3



4



5



6



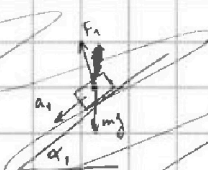
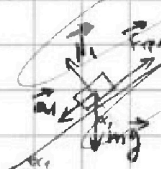
7



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!

1)  

$\vec{F}_1 = \vec{N}_1 + \vec{F}_{тр1}$, N_1 - сила нормальной реакции опоры
 $F_{тр1} = \mu_1 N_1$ μ_1 - коэффициент трения между брусом и клином
 $F_{тр1}$ - сила трения клина брусом

$\begin{cases} a_1 m = mg \sin \alpha_1 - F_{тр1} \\ N_1 = mg \cos \alpha_1 \end{cases}$

$\frac{170}{2} = 50 + 35$

$a_1 m = mg \sin \alpha_1 - \mu_1 mg \cos \alpha_1$

$\frac{5}{12} mg = \frac{3}{5} mg - \mu_1 \cdot \frac{4}{5} mg$

$\frac{4}{5} \mu_1 = \frac{3}{5} - \frac{5}{12} = \frac{2 \cdot 13}{5 \cdot 12}$

$\mu_1 = \frac{13}{2 \cdot 12}$

$26 - \frac{12 \cdot 3}{51}$

$34 = 12 \cdot 2$

$3 \cdot 9 \cdot 2 - 20$
 $5 \cdot 6 - 20 = 34$
 $51 = 30 \cdot 12 = 17 \cdot 3$

$F_1 = \sqrt{N_1^2 + \mu_1^2 N_1^2} = mg \cos \alpha_1 \sqrt{1 + \mu_1^2} = mg \cdot \frac{4}{5} \sqrt{1 + \frac{13^2}{(2 \cdot 12)^2}}$

$F_1 = mg \cdot \frac{4}{5 \cdot 2 \cdot 12} \sqrt{4 \cdot 289 + 169}$

$F_1 = \frac{2 \sqrt{53}}{17} mg$

$$\int_0^r \frac{kQ}{x^2} dx = -\frac{kQ}{x} \Big|_0^r = -\left(\frac{kQ}{r} - \infty\right)$$

$$\frac{68}{2} = 34$$

$$\frac{37}{2} = 15 + 2 = 17$$





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)

$$\Delta U_{12} = \frac{3}{2} (P_2 V_2 - P_1 V_1) = \frac{3}{2} P_0 V_0 (4 \cdot 12 - 10 \cdot 6) = -18 P_0 V_0$$

работу эту можно найти как площадь цикла на графике

$$A_r = (10 - 6) P_0 \cdot (12 - 6) V_0 \cdot \frac{1}{2} = 12 P_0 V_0$$

$$\frac{|\Delta U_{12}|}{A_r} = \frac{18 P_0 V_0}{12 P_0 V_0} = \frac{3}{2}$$

2) найдем T_3

$$P_3 V_3 = \nu R T_3 \Rightarrow T_3 = \frac{36 P_0 V_0}{\nu R}$$

найдем $T_{12} \leftarrow$ max температур на 1-2

$$\begin{cases} PV = \nu R \cdot T \\ \frac{P}{P_0} = 16 - \frac{V}{V_0} \end{cases} \leftarrow \text{из графика 1-2}$$

$$T = \frac{P_0}{\nu R} \left(16 V - \frac{V^2}{V_0} \right) \Rightarrow \max T \text{ при } \left(16 V - \frac{V^2}{V_0} \right)' = 0$$

$$16 = \frac{2V}{V_0}$$

$$V = 8 V_0$$

$$T_{12} = \frac{8 P_0 \cdot 8 V_0}{\nu R}$$

$$\frac{T_{12}}{T_3} = \frac{36 \frac{P_0 V_0}{\nu R}}{64 \frac{P_0 V_0}{\nu R}} = \frac{9}{16}$$

3)

~~процесс 1-2~~
найдем P_1, V_1 при $dQ = 0$

$$dQ = P dV + \frac{3}{2} d(PV) = P_0 \left(16 - \frac{V}{V_0} \right) dV + \frac{3}{2} d \left(P_0 \left(16 - \frac{V}{V_0} \right) V \right)$$

0

$$0 = (16 V_0 - V) dV + \frac{3}{2} (16 V_0 dV - dV^2)$$

$$16 V_0 - V + 3 \cdot 8 V_0 - 3V = 0$$

$$4V = 40 V_0$$

$$V = 10 V_0$$

т.е. тепло поглощается до $V = 10 V_0$



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!

в процессе 2-3 тепло отдается, т.к.

$$\frac{P}{P_0} = -\frac{V}{V_0} \cdot \frac{1}{3} + 24$$

$$dQ = P dV + \frac{3}{2} d(PV) = 0$$

$$0 = (24V_0 - \frac{1}{3}V) dV + \frac{3}{2} (24V_0 dV - \frac{1}{3} 2V dV)$$

$$5 \cdot 12 V_0 = \frac{4}{3} V$$

$$V = 5 \cdot 3 \cdot 3 V_0 = 45 V_0$$

в процессе 3-1 тепло поглощается

поглощенное тепло $Q_{\text{погл}} = Q_{31} + Q_{12} = \frac{3}{2} (10 \cdot 6 - 6 \cdot 6) P_0 V_0 + \frac{3}{2} (\frac{10 \cdot 6}{3} - 10 \cdot 6) P_0 V_0 + \frac{10 \cdot 6 \cdot 4}{2} P_0 V_0$

$$Q = 36 P_0 V_0 + 32 P_0 V_0 = 68 P_0 V_0$$

$$A_r = 12 P_0 V_0 \text{ из ч. 1}$$

$$\eta = \frac{A_r}{Q} = \frac{12}{68} = \boxed{\frac{3}{17}}$$



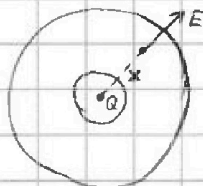
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

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)



найдем напряженность эл. ст. поля на расстоянии x от заряда

$$x < r: E = \frac{kQ}{x^2}$$

$$x \geq r: E = \frac{kQ}{\epsilon x^2}$$

потенциал при раст. r
от шарика

$$\varphi_r = \frac{kQ}{r}$$

потенциал на раст. $x > r$

$$\varphi = \frac{kQ}{r} - \int_r^x \frac{kQ}{\epsilon x^2} dx = \frac{kQ}{r} + \frac{kQ}{\epsilon} \left(\frac{1}{x} - \frac{1}{r} \right) = \frac{kQ}{r} - \frac{kQ}{\epsilon r} + \frac{kQ}{\epsilon x}$$

при $x = \frac{11}{12} R$

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

2)

$$\frac{\varphi_{R/3}}{\varphi_{2R/3}} = \frac{6}{5}$$

$$\varphi_{R/3} = \frac{kQ}{r} \left(1 - \frac{1}{\epsilon} \right) + \frac{kQ}{\epsilon} \cdot \frac{3}{R}$$

$$\varphi_{2R/3} = \frac{kQ}{r} \left(1 - \frac{1}{\epsilon} \right) + \frac{kQ}{\epsilon} \cdot \frac{3}{2R}$$

$$\frac{6}{5} = \frac{\frac{\epsilon-1}{\epsilon r} + \frac{3}{\epsilon R}}{\frac{\epsilon-1}{\epsilon r} + \frac{3}{2\epsilon R}} = \frac{\frac{(\epsilon-1)R + 3r}{rR}}{\frac{2R(\epsilon-1) + 3r}{2rR}} = \frac{2(\epsilon-1)R + 6r}{2(\epsilon-1)R + 3r} = 1 + \frac{3r}{2(\epsilon-1)R + 3r}$$

$$5 \cdot 3r = 2(\epsilon-1)R + 3r$$

$$12r = 2R(\epsilon-1)$$

$$\frac{6r}{R} = \epsilon - 1$$

$$\epsilon = \frac{6r}{R} + 1$$

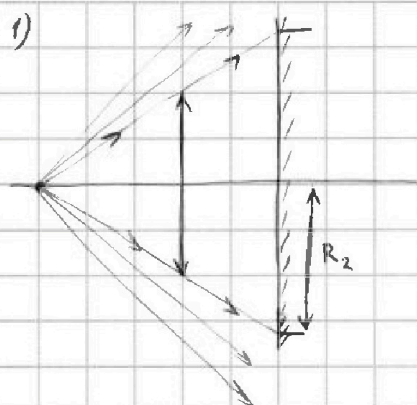


На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☒ 6 ☐ 7 ☐

СТРАНИЦА
1 ИЗ 3

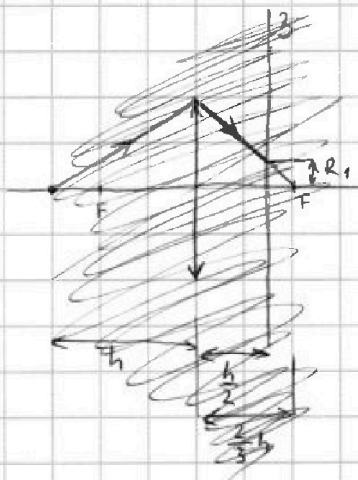
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!



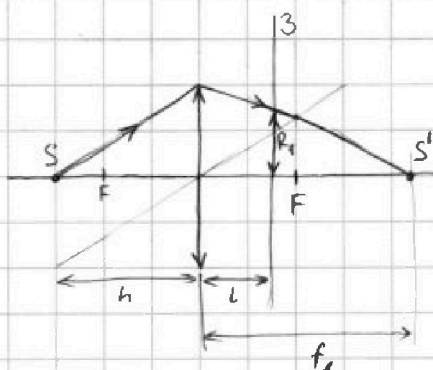
все зеркало, кроме круга радиуса R_2 , освещают лучи не проходящие через линзу

$$\frac{R_2}{r} = \frac{h+l}{h} = 1,5$$

$$R_2 = 6 \text{ см}$$



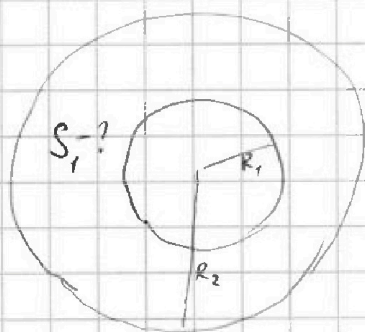
круг радиуса R_1 освещ. лучи проходящие через линзу



$$\frac{1}{h} + \frac{1}{f_1} = \frac{1}{F} \Rightarrow \frac{1}{f_1} = \frac{1}{F} - \frac{1}{h} = \left(\frac{3}{2} - 1\right) \frac{1}{h} = \frac{1}{2h}$$
$$f_1 = 2h$$

$$\frac{R_1}{r} = \frac{f_1 - l}{f_1} = 1 - \frac{\frac{h}{2}}{2h} = \frac{3}{4}$$

$$R_1 = 3 \text{ см}$$



$$S_1 = \pi R_2^2 - \pi R_1^2 = \pi (6^2 - 3^2) \text{ см}^2$$

$$S_1 = \pi \cdot 27 \text{ см}^2$$

$$S_1 = \pi \cdot 27 \text{ см}^2$$

$$R_4 = \frac{3}{2} \cdot \frac{2}{3} R_1 = R_1 = 3 \text{ cm}$$



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
☐

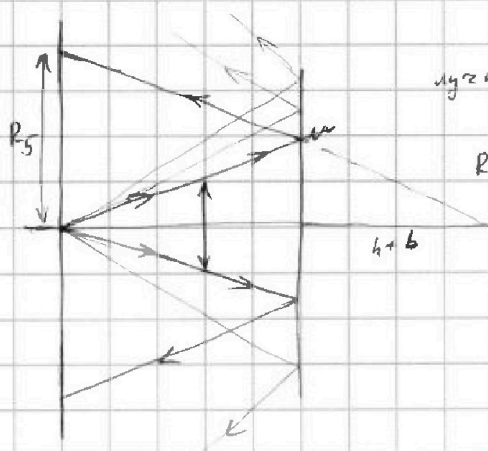
5
☒

6
☐

7
☐

СТРАНИЦА
3 из 3

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!



лучи не преломл. в линзе ~~и~~ не освещ. круг радиуса R_5

$$R_5 = 2R_2 = 12 \text{ см}$$

лучи, которые преломились 1 раз ~~и~~ нет, т.к. все лучи лучей, преломившихся первый раз, попадают на линзу, а лучи, которые в первый раз не попали на линзу после отражения.

$$S_2 = \pi R_5^2 - \pi R_2^2 = \pi (12^2 - 3^2) \text{ см}^2 = \boxed{\pi \cdot 135 \text{ см}^2}$$



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
☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐

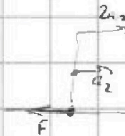
СТРАНИЦА
из

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

$$a_2 \cdot m = \frac{8}{27} \cdot \frac{9}{4} m = \frac{2}{3} m$$

$$\frac{9}{4} m \cdot \frac{8}{17} = \frac{18}{17} m$$



$$\frac{P}{P_0} = -\frac{1}{3} \cdot \frac{V}{V_0} + 24$$

$$-P_0 \left(24 \frac{V_0}{V_0} - \frac{1}{3} \frac{V}{V_0} \right) dV +$$

$$\frac{3}{2} \left(24 V_0 dV - \frac{1}{3} \cdot 2V dV \right)$$

$$T_0 \cdot 2R = PV$$

$$\frac{P}{P_0} =$$

$$P_0 \left(-\frac{V}{V_0} + 16 \right) P_0$$

$$PV = V \left(-\frac{V}{V_0} + 16 \right) P_0$$

$$T = \frac{P_0}{DR} \left(16V - \frac{V^2}{V_0} \right)$$

$$T_{max} \text{ при } \left(16V - \frac{V^2}{V_0} \right)' = 0$$

$$\left(\frac{6}{8} \right)^2 = \left(\frac{3}{4} \right)^2$$

$$16 - \frac{2V}{V_0} = 0$$

$$2V = 16V_0$$
$$V = 8V_0$$

$$\frac{3 \cdot 3^2 - 8 \cdot 5}{5 \cdot 3^2} = \frac{81 - 40}{5 \cdot 3^2} = \frac{41}{5 \cdot 27}$$

$$16 \cdot$$

$$\begin{array}{r} 4 \\ \times 12 \\ \hline 119 \\ 12 \\ \hline 289 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 4 \\ \times 27 \\ \hline 189 \\ 54 \\ \hline 729 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 15 \\ \times 16 \\ \hline 96 \\ 225 \\ \hline 2400 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 41 \\ \times 41 \\ \hline 164 \\ 1641 \\ \hline 1681 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 11664 \\ \times 1681 \\ \hline 13345152 \end{array}$$

$$36 - \frac{20^2}{25} = 36 - 16 = 20$$

$$\frac{3 \cdot 17 - 25}{5 \cdot 17} = \frac{26}{5 \cdot 17}$$

$$\begin{array}{r} 33 \\ \times 289 \\ \hline 1758 \\ + 169 \\ \hline 13251 \end{array}$$

$$53 \cdot 5^2$$

$$\begin{array}{r} 13251 \\ \times 5 \\ \hline 66255 \end{array}$$



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!

