

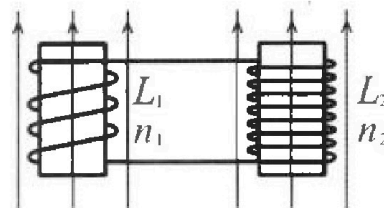
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2024

Вариант 11-04

В ответах всех задач допустимы обыкновенные дроби
и радикалы.

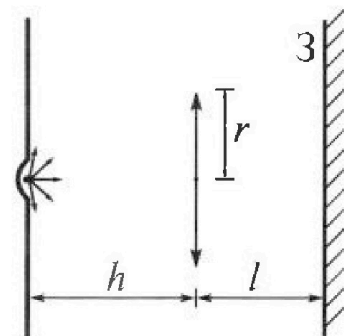


4. Две катушки с индуктивностями $L_1 = L$ и $L_2 = 9L/4$ и числами витков $n_1 = n$ и $n_2 = 3n/2$ помещены во внешние однородные магнитные поля с постоянными во времени индукциями (см. рис.). Площадь витка каждой катушки S . Индукции внешних полей направлены перпендикулярно плоскостям витков катушек. Катушки находятся достаточно далеко друг от друга. Омическое сопротивление катушек и соединительных проводов пренебрежимо мало. 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 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 З. Считать, что свет, идущий мимо линзы, проходит плоскость линзы беспрепятственно. Размеры стены и зеркала намного больше размеров линзы.



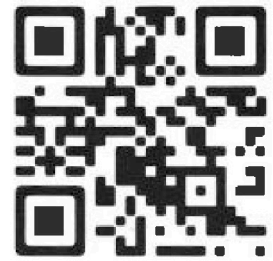
- 1) Найдите площадь неосвещенной части зеркала.
- 2) Найдите площадь неосвещенной части стены.

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



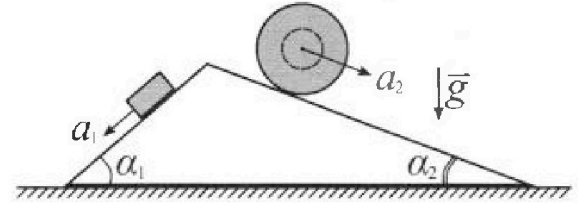
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2024

Вариант 11-04



В ответах всех задач допустимы обыкновенные дроби и радикалы.

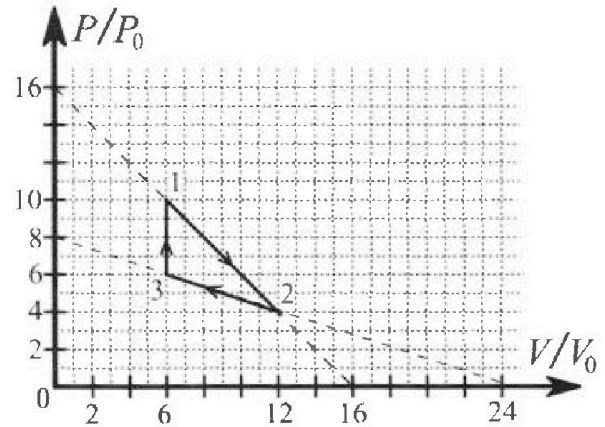
1. С клина, находящегося на шероховатом горизонтальном столе, соскальзывает брусок массой m с ускорением $a_1 = 5g/17$ и скатывается без проскальзывания полый шар массой $9m/4$ с ускорением $a_2 = 8g/27$ (см. рис.). Клин остается в покое. Углы наклона поверхностей клина к горизонту α_1 ($\sin \alpha_1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

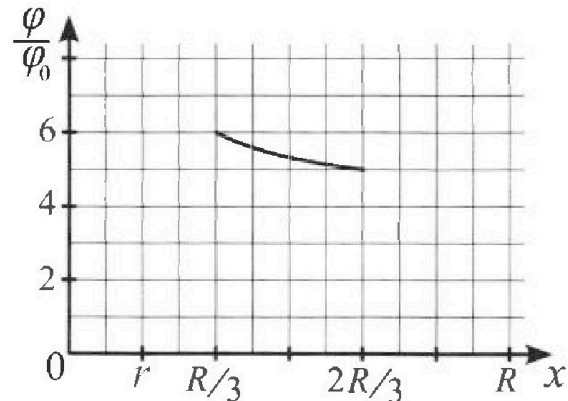
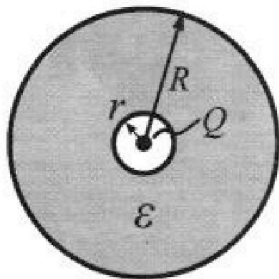


- 1) Найдите отношение модуля приращения внутренней энергии газа в процессе 1-2 к работе газа за цикл.
- 2) Найдите отношение максимальной температуры газа в процессе 1-2 к температуре газа в состоянии 3.
- 3) Найдите КПД цикла.

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 .



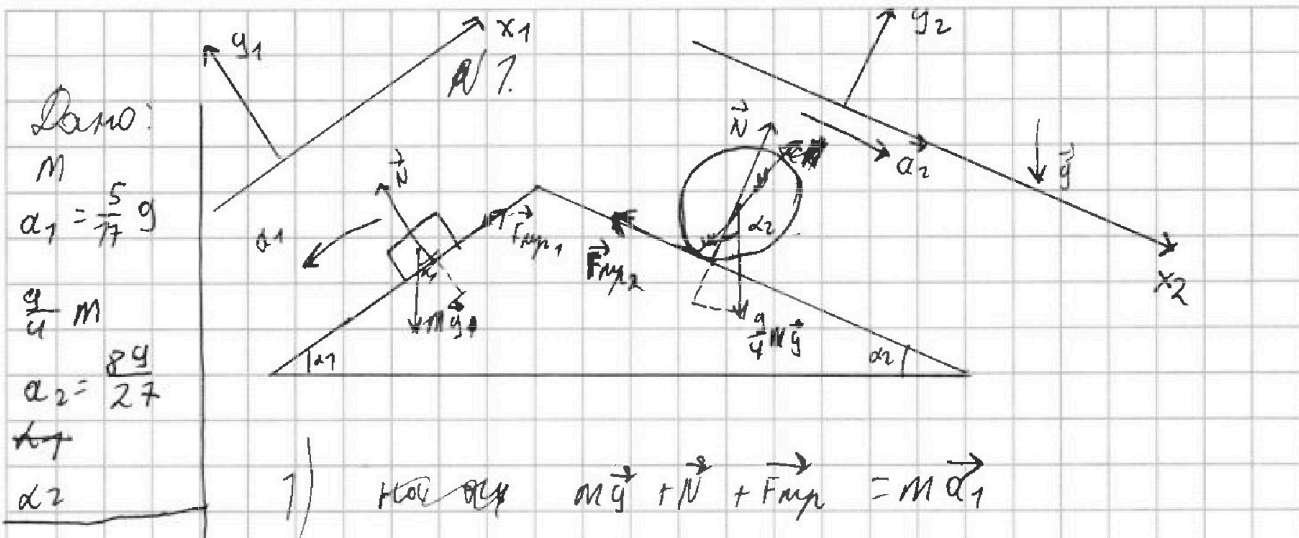


На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

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!



на ось x_1 :

$$-Ma_1 = F_{mp1} - Mg \cdot \sin \alpha_1$$

$$F_{mp1} = Mg \sin \alpha_1 - Ma_1$$

$$F_{mp1} = M \left(g \cdot \frac{3}{5} - \frac{5}{27}g \right)$$

$$F_{mp1} = Mg \left(\frac{3 \cdot 27 - 5 \cdot 5}{5 \cdot 27} \right)$$

$$F_{mp1} = Mg \left(\frac{81 - 25}{135} \right)$$

$$F_{mp1} = \frac{56}{135} Mg$$

$$2) \frac{g}{4}M\vec{g} + \vec{N} + \vec{F}_{mp2} = 0$$

на ось x_2 : $\frac{g}{4}Mg \cdot \sin \alpha_2 - F_{mp2} = \frac{g}{4}M a_2$

$$F_{mp2} = Mg \left(\frac{g}{4} \cdot \sin \alpha_2 - \frac{g}{4} \cdot \frac{8}{27} \right)$$

$$F_{mp2} = Mg \left(\frac{g}{4} \cdot \frac{8}{17} - \frac{g}{4} \cdot \frac{8}{27} \right)$$

$$F_{mp2} = Mg \left(\frac{18}{17} - \frac{2}{3} \right) = F_{mp2} = Mg \left(\frac{18 \cdot 3 - 2 \cdot 17}{77 \cdot 3} \right)$$



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.

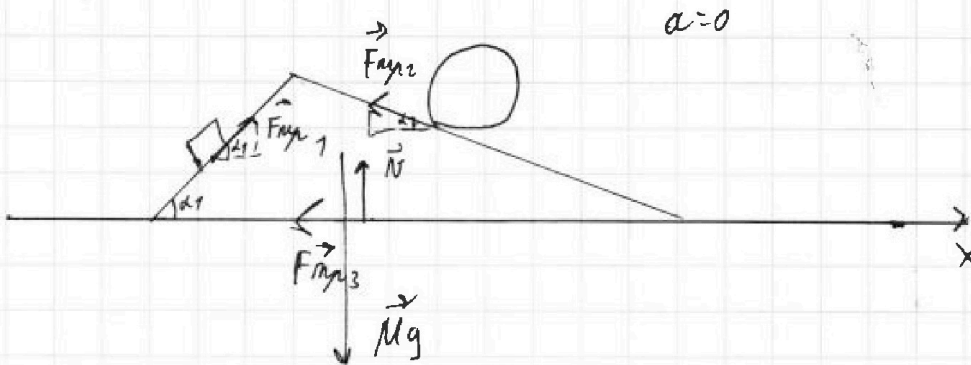
1 2 3 4 5 6 7

СТРАНИЦА
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!

$$F_{\text{мр}2} = Mg \left(\frac{54-37}{51} \right) \quad F_{\text{мр}2} = \frac{20}{51} Mg$$

3)



$$\begin{array}{r} \times 51 \\ 177 \\ \hline 357 \\ 51 \\ \hline 887 \end{array}$$

Силы на ось x: $F_{\text{мр}1} \cos \alpha_1 - F_{\text{мр}2} \cos \alpha_2 - F_{\text{мр}3} = 0$

$$F_{\text{мр}3} = \frac{26}{85} Mg \cdot \frac{4}{5} - \frac{20}{51} Mg \cdot \frac{15}{17}$$

$$\begin{array}{r} \times 289 \\ 704 \\ \hline 1756 \\ 284 \\ \hline 29556 \end{array}$$

$$F_{\text{мр}3} = Mg \left(\frac{704}{425} - \frac{300}{867} \right) = Mg \left(\frac{704}{425} - \frac{100}{289} \right)$$

$$F_{\text{мр}3} = \frac{704 \cdot 289 - 42500}{425 \cdot 289} Mg = \frac{29556 - 42500}{425 \cdot 289} Mg < 0 \Rightarrow$$

направление действия силы вдоль Ox.

$$F_{\text{мр}3} = \frac{(42500 - 29556) Mg}{722825} = \frac{12944 Mg}{722825}$$

$$\begin{array}{r} \times 425 \\ 289 \\ \hline 1445 \\ 578 \\ \hline 1156 \\ 722825 \end{array}$$

$$\frac{12944}{722825} Mg$$

Ответ: $F_1 = \frac{26}{85} Mg$; $F_{\text{мр}2} = \frac{20}{51} Mg$; $F_{\text{мр}3} = \frac{12944}{722825} Mg$

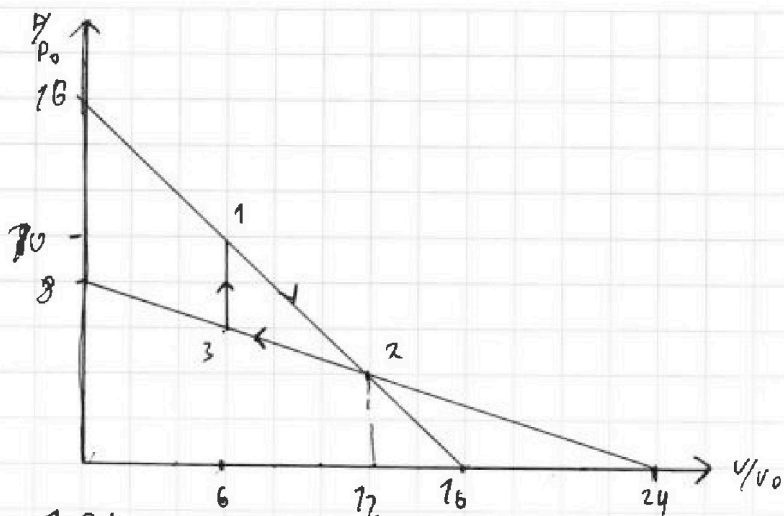
На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.



1 2 3 4 5 6 7

СТРАНИЦА
1 из 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!



1-2:
 Процесс 1-2 может быть изохорно нагрев и изохорно охлаждение. Для этого нужно найти T_{max} и P, V при T_{max} .

- 1) К-?
- 2) П-?
- 3) Д-?

1-2:
 2) 1-2: $\frac{P}{P_0} = 16 - \frac{V}{V_0}$ $P = P_0(16 - \frac{V}{V_0})$

$PV = \nu RT$ $T \rightarrow \max$ при $\frac{PV}{\nu} \rightarrow \max$ $PV = P_0 V (16 - \frac{V}{V_0})$ | dV

~~$P = 16 P_0 - \frac{2V}{V_0} P_0$~~

$\nu RT = P_0 V (16 - \frac{V}{V_0})$

$\nu RT = 16 P_0 V - \frac{P_0}{V_0} \cdot V^2$ | dV

$0 = 16 P_0 - \frac{2 P_0 V}{V_0}$

$\frac{2V}{V_0} = 16$ $V = 8 V_0$ $P = P_0 (16 - 8) = 8 P_0$

при T_{max} на 1-2: $V = 8 V_0$ $P = 8 P_0$

$\nu RT_{1-2} = 64 P_0 V_0$

в точке 3: $\nu RT_3 = 6 V_0 \cdot 6 P_0$

$\nu RT_3 = 36 V_0 P_0$

$P = P_0$
 $V = 6 V_0$ } из условия.

$n = \frac{T_{1-2}}{T_3} = \frac{64 P_0 V_0}{\frac{36 P_0 V_0}{\nu R}} = \frac{64}{36} = \frac{16}{9}$



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 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!

$$1) \Delta U_{1-2} = \frac{3}{2} UR \Delta T = \frac{3}{2} UR (T_2 - T_1) = \frac{3}{2} (72V_0 \cdot 4P_0 - 70P_0 \cdot 6V_0)$$

$$= \frac{3}{2} (42V_0P_0 - 60V_0P_0)$$

$$\Delta U_{1-2} = -\frac{3 \cdot 6}{2} V_0 P_0 = -78 V_0 P_0$$

$$A_y = \frac{(72V_0 - 6V_0)(70P_0 - 6P_0)}{2} = \frac{6V_0 \cdot 4P_0}{2} = 72 P_0 V_0$$

- из мощности

$$K = \frac{|\Delta U_{1-2}|}{A_y} = \frac{78 P_0 V_0}{72 P_0 V_0} = 1,5$$

3) В процессе 1-2 может быть точка адiabаты.

$\Delta U = \Delta A$. Если она есть, то процесс слева от нее нагрев, справа охлаждение.

тогда объем в точке адiabаты равен $\frac{5}{8}$ от начального $V_{01} = \frac{5}{8} \cdot 6V_0 = 7,5V_0 > 7,2V_0 \Rightarrow$

точки адiabаты под 1-2 - нет. $\Rightarrow Q_{12}$ - полностью нагрев. Аналогично с 2-3 - всегда охлаждение.

$$Q_H = Q_{31} + Q_{12} \quad |Q_{x1}| = |Q_{23}|$$

$$Q_{31} = \Delta U_{31} = \frac{3}{2} UR (T_1 - T_2) = \frac{3}{2} (70P_0 \cdot 6V_0 - 6P_0 \cdot 6V_0) = \frac{3}{2} \cdot 24 P_0 V_0$$

$$= 36 P_0 V_0$$

$$Q_{12} = \Delta U + A = \frac{3}{2} UR (T_2 - T_1) + \frac{(70P_0 + 4P_0)}{2} \cdot 6V_0$$

$$Q_{12} = \frac{3}{2} (72 \cdot 4 P_0 V_0 - 70 \cdot 6 P_0 V_0) + 7 P_0 V_0 \cdot 6V_0$$

$$Q_{12} = -78 V_0 P_0 + 42 V_0 P_0 = 24 P_0 V_0$$

$$Q_H = 36 P_0 V_0 + 24 P_0 V_0 = 60 P_0 V_0$$



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
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!

$$|Q_x| = |Q_{23}| = (\Delta U + A) = \frac{3}{2} U R (T_2 - T_3) + (6P_0 + 4P_0) \cdot 6V_0$$
$$= \frac{3}{2} (72V_0 \cdot 4P_0 - 6V_0 \cdot 6P_0) = 30P_0V_0 = 1,5 \cdot 72V_0P_0 + 30P_0V_0$$

$$48P_0V_0$$

$$\eta = \frac{Q_H - Q_X}{Q_H} = \frac{A}{Q_H} = \frac{60P_0V_0 - 48P_0V_0}{60P_0V_0} = \frac{1}{5}$$

$$(\eta = 20\%)$$

Ответ: 1) $K=1,5$ 2) $n=\frac{16}{9}$ 3) $\eta=\frac{1}{5}$ ($\eta=20\%$)



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!

из графика видно:

$$\frac{\varphi_1}{\varphi_2} = \frac{6}{5} \quad \frac{\frac{Q}{4\sqrt{60R}} \cdot \frac{\xi+2}{2\xi}}{\frac{Q}{4\sqrt{60R}} \cdot \frac{2\xi+1}{2\xi}} = \frac{6}{5}$$

$$\frac{2(\xi+2)}{2\xi+1} = \frac{6}{5}$$

$$70(\xi+2) = 72\xi+6$$

$$70\xi+20 = 72\xi+6$$

$$2\xi = 14$$

$$\underline{\xi = 7}$$

$$\text{Ответ: 1) } \varphi_x = \frac{Q}{4\sqrt{60R}} \cdot \left(\frac{17\xi+1}{72\xi} \right) \quad 2) \xi = 7$$

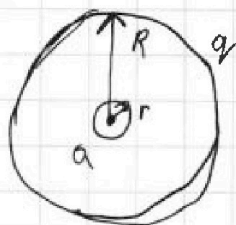


1 2 3 4 5 6 7

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:
r, R
q, ε



$$\varphi = \frac{kq}{\epsilon x}$$

NЗ

На шаре радиусом R находится
поляризованный заряд q

$$q = \frac{\epsilon - 1}{\epsilon} \cdot Q$$

1) найдем потенциал φ_x

$$\varphi_x = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{R} + \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{12Q}{\epsilon \cdot 11R}$$

$$\varphi_x = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q(\epsilon - 1)}{R\epsilon} + \frac{12Q}{4\pi\epsilon_0 \epsilon \cdot 11R}$$

$$\varphi_x = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 \epsilon R} \left(\frac{\epsilon - 1}{\epsilon} + \frac{12}{\epsilon \cdot 11} \right)$$

$$\varphi_x = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 \epsilon R} \left(\frac{11\epsilon - 11 + 12}{11\epsilon} \right) = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 \epsilon R} \left(\frac{11\epsilon + 1}{11\epsilon} \right)$$

2) найдем потенциал в точках $\frac{R}{3}$; $\frac{2R}{3}$.

В точке $\frac{R}{3}$:

$$\varphi_1 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{R} + \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{3Q}{\epsilon R}$$

$$\varphi_1 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 \epsilon R} \left(\frac{(\epsilon - 1)Q}{\epsilon} + \frac{3Q}{\epsilon} \right) = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 \epsilon R} \left(\frac{\epsilon - 1 + 3}{\epsilon} \right) = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 \epsilon R} \cdot \frac{\epsilon + 2}{\epsilon}$$

В точке $\frac{2R}{3}$:

$$\varphi_2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{R} + \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{3Q}{2\epsilon R} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 \epsilon R} \left(\frac{(\epsilon - 1)}{\epsilon} \cdot Q + \frac{3Q}{2\epsilon} \right) =$$

$$= \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 \epsilon R} \left(\epsilon - 1 + 1,5 \right) = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 \epsilon R} \cdot \frac{2\epsilon + 1}{2\epsilon}$$

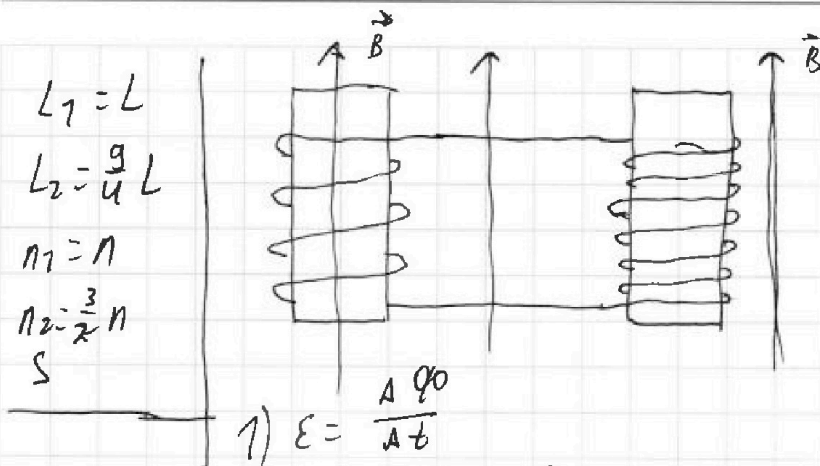


На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

1	2	3	4	5	6	7
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

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!



$$1) \mathcal{E} = \frac{\Delta \Phi_0}{\Delta t}$$
$$-L \frac{dI}{dt} = \frac{\Delta B}{\Delta t} \cdot S$$
$$-L \dot{I} = -\dot{\Phi} \cdot S$$
$$I = \frac{\Delta \Phi}{L}$$

Ответ: 1) $I = \frac{\Delta \Phi}{L}$

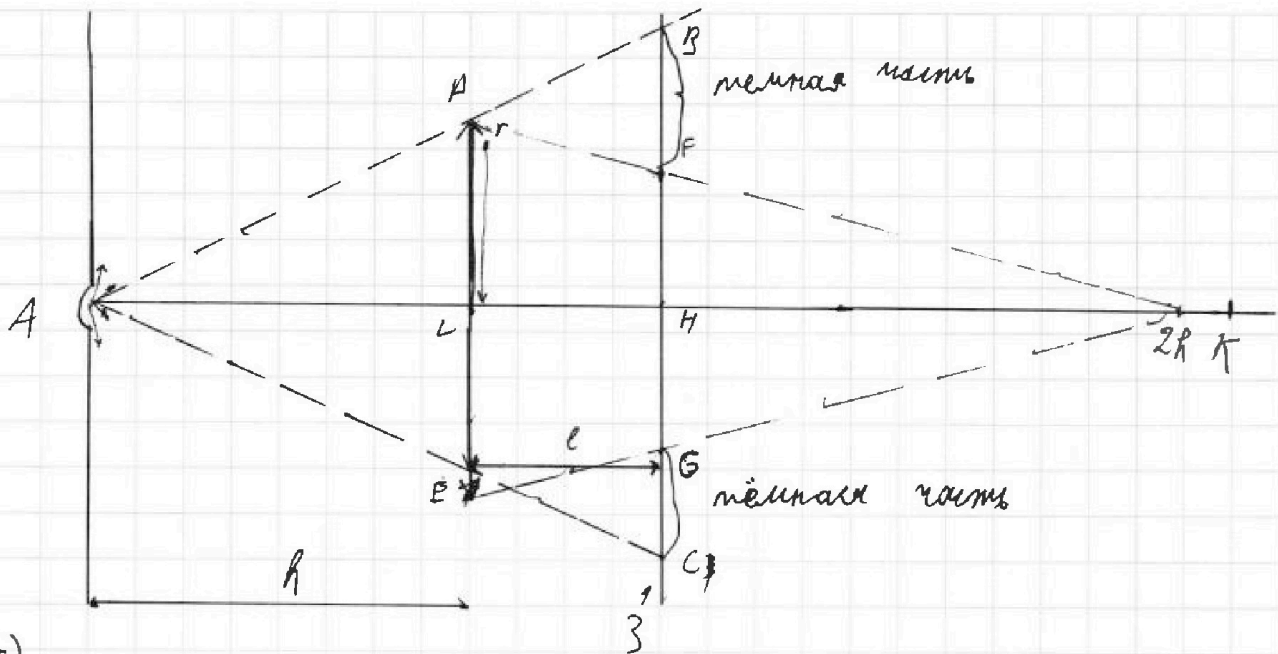


На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

1 2 3 4 5 6 7

СТРАНИЦА
7 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!



1) $\frac{1}{F} = \frac{1}{R} + \frac{1}{d}$
 $\frac{3}{2R} - \frac{1}{R} = \frac{1}{d}$
 $\frac{3-2}{2R} = \frac{1}{d}$ $d = 2R$ - рассмотрим до удобного места
 относительно F и d .

2) $\triangle AED \sim \triangle ABC \Rightarrow \frac{DE}{BC} = \frac{AL}{H}$

$\frac{2r}{BC} = \frac{L}{R+l}$ $BC = \frac{2r \cdot (R+l)}{L} = \frac{2 \cdot 4 \cdot 7.5}{4} = 12$ см
 $S_{BC} = \frac{1}{2} \cdot 12 \cdot 4 = 24$ см²
 $S_{кр. BC} = \frac{1}{2} \cdot 12 \cdot 4 = 24$ см²

3) $\triangle KFG \sim \triangle KDE \Rightarrow \frac{KH}{KL} = \frac{FG}{DE}$

$\frac{2R - \frac{R}{2}}{2R} = \frac{FG}{2r}$ $\frac{3}{4} = \frac{FG}{2r}$ $FG = 1.5r = 6$ см
 $r_{FG} = \frac{6}{2} = 3$ см

$S_{\text{мелкая часть}} = S_{BC} - S_{FG} = 24 - 9 = 15$ см²
 $S_{\text{мелкая часть}} = S_{BC} - S_{FG} = 36\sqrt{6} - 9\sqrt{6} = 27\sqrt{6}$



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!

$$\text{угл. пад.} = \text{угл. отр.} \Rightarrow \triangle EGT = \triangle EGM$$

$$TE = LE - LT$$

$$TE = LE - GO$$

$$TE = 4 - 3 = 1$$

$$TG = \frac{R}{2}$$

из $\triangle TGE$:

$$\text{tg } \beta = \frac{1}{\frac{R}{2}} = \frac{2}{R}$$

$$\text{tg } \beta = \frac{HX}{1,5R}$$

$$\frac{2}{R} = \frac{HX}{1,5R}$$

т.к. $HX = 3 = GO \Rightarrow$ все лучи ^{которые проходят через точку} приходят в

центр линзы \Rightarrow нет ослепленного круга

внутри $\Rightarrow S_{\text{тени}} = S_1 = \pi \cdot 2^2 \cdot 0,5 = 14 \text{ см}^2$

Ответ: 1) 27 см^2 2) 14 см^2

лучи вышедший из центра по краю линзы
после всех преобразований выйдут параллельными лучами нормально к оси OPT

$$TE = LE - LT$$

$$LE = r = 4$$

$$S_{\text{тени}} = \pi \cdot 4^2 \cdot 0,5 - 0,5 \cdot \pi \cdot 2^2 = 14 \text{ см}^2$$

$$TE = 4 - 3 = 1$$

$$LT = GO = \frac{FG}{2} = 3$$

$$S_{\text{света}} = 27 \text{ см}^2$$

Ответ: 1) 27 см^2
2) 14 см^2

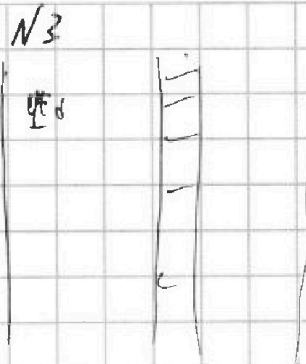
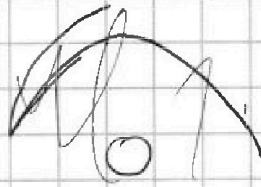


На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

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!

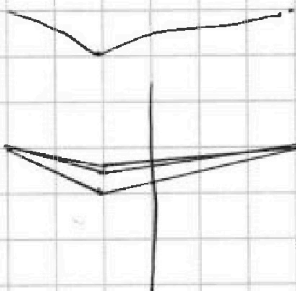


0

$$q_1 = \frac{Q(\epsilon - 1)}{\epsilon}$$

$$\frac{R}{3} \cdot \frac{1}{4\sqrt{\epsilon}\epsilon_0} \cdot \frac{Q}{R} + \frac{1}{4\sqrt{\epsilon}\epsilon_0} \cdot \frac{3Q}{\epsilon R}$$

$$\frac{Q(\epsilon - 1)}{4\sqrt{\epsilon}\epsilon_0 R} + \frac{3Q}{4\sqrt{\epsilon}\epsilon_0 \epsilon R} = \frac{Q}{4\sqrt{\epsilon}\epsilon_0 R} \quad (102)$$



$\frac{2R}{3}$

$$q_2 = \frac{Q(\epsilon - 1)}{4\sqrt{\epsilon}\epsilon_0 R} + \frac{3Q}{4\sqrt{\epsilon}\epsilon_0 \epsilon R}$$

$$\frac{Q}{4\sqrt{\epsilon}\epsilon_0 R} \left(\epsilon - 1 + \frac{3}{\epsilon} \right) = \frac{Q}{4\sqrt{\epsilon}\epsilon_0 R} \frac{\epsilon + 9\epsilon}{\epsilon}$$

$$\frac{Q}{4\sqrt{\epsilon}\epsilon_0 R} \cdot \frac{2\epsilon + 7}{2\epsilon}$$

$$\Delta = \frac{Q_H - Q_x}{Q_H} = 1 - \frac{Q_x}{Q_H}$$

$$= \frac{A}{Q_H} = \frac{72\%}{36\%} = 2$$