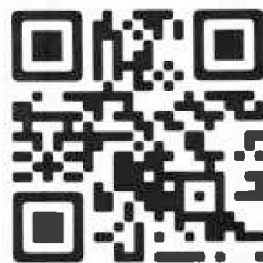




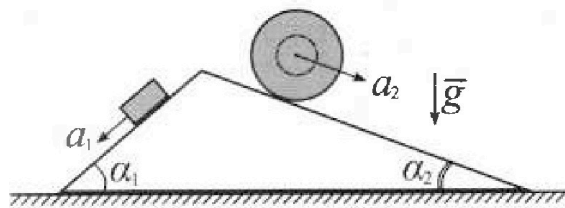
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2024

Вариант 11-04

В ответах всех задач допустимы обыкновенные дроби
и радикалы.



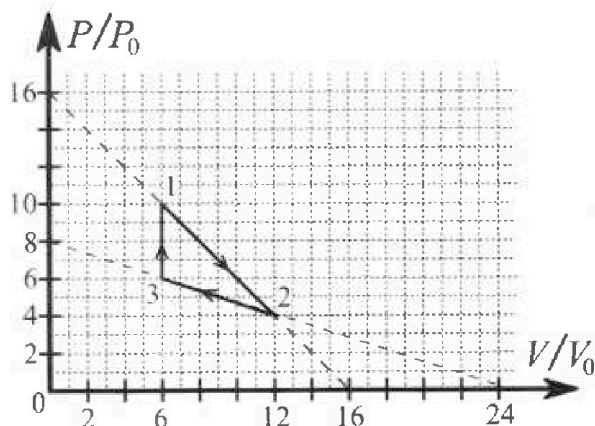
1. С клина, находящегося на шероховатом горизонтальном столе, соскальзывает брусок массой m с ускорением $a_1 = 5g/17$ и скатывается без проскальзывания полый шар массой $9m/4$ с ускорением $a_2 = 8g/27$ (см. рис.). Клин остается в покое. Углы наклона поверхностей клина к горизонту α_1 ($\sin \alpha_1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

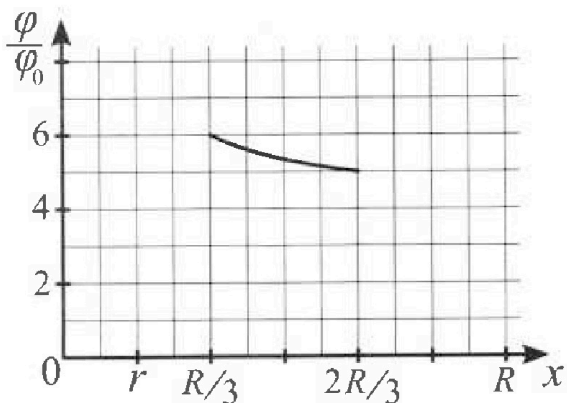
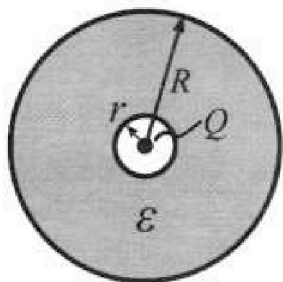


- 1) Найдите отношение модуля приращения внутренней энергии газа в процессе 1-2 к работе газа за цикл.
- 2) Найдите отношение максимальной температуры газа в процессе 1-2 к температуре газа в состоянии 3.
- 3) Найдите КПД цикла.

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 .



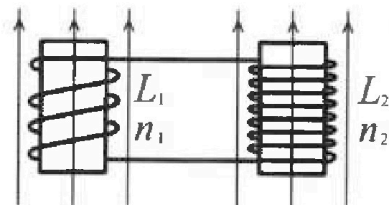
Олимпиада «Физтех» по физике,
февраль 2024

Вариант 11-04

В ответах всех задач допустимы обыкновенные дроби
и радикалы.

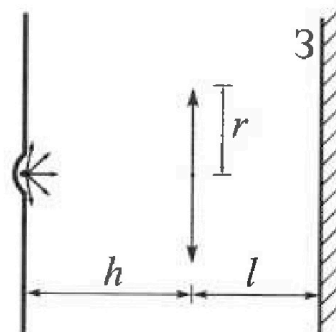


4. Две катушки с индуктивностями $L_1 = L$ и $L_2 = 9L/4$ и числами витков $n_1 = n$ и $n_2 = 3n/2$ помещены во внешние однородные магнитные поля с постоянными во времени индукциями (см. рис.). Площадь витка каждой катушки S . Индукции внешних полей направлены перпендикулярно плоскостям витков катушек.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



1 ☒ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐

СТРАНИЦА
1 из 6

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

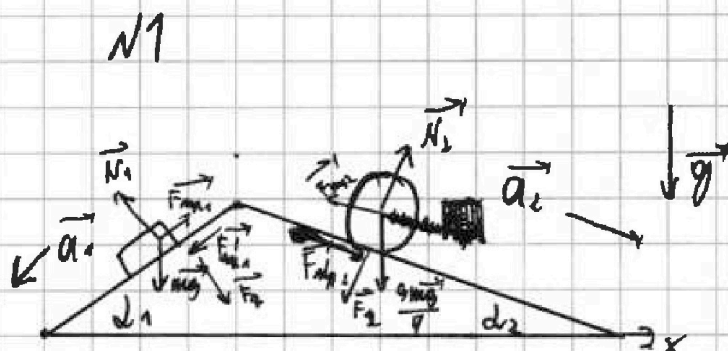
$$|\vec{a}_1| = \frac{5g}{17}, \quad m; \frac{9m}{4}$$

$$|\vec{a}_2| = \frac{8g}{17}$$

$$\sin d_1 = \frac{3}{5}, \quad \cos d_1 = \frac{4}{5}$$

$$\sin d_2 = \frac{1}{17}, \quad \cos d_2 = \frac{15}{17}$$

Найти: $F_{\text{уп}1}, F_{\text{уп}2}, F_{\text{уп}3}$.



Решение

1) По II з-ну Ньютона для блока:

$$m\vec{a}_1 = \vec{N}_1 + m\vec{g} + \vec{F}_{\text{уп}1}$$

По ОХ (вниз по скл.): $ma_1 = mg \cdot \sin d_1 - F_{\text{уп}1} =$

$$\Rightarrow F_{\text{уп}1} = m(g \sin d_1 - a_1) = m(g \cdot \frac{3}{5} - \frac{5g}{17}) = \frac{26}{85} mg$$

2) По II з-ну Ньютона для шара:

$$\frac{9m}{4}\vec{a}_2 = \vec{N}_2 + \frac{9m}{4}\vec{g} + \vec{F}_{\text{уп}2}$$

По ОХ (вниз по скл.): $\frac{9m}{4}a_2 = \frac{9m}{4}g \cdot \sin d_2 + F_{\text{уп}2} =$

$$\Rightarrow F_{\text{уп}2} = \frac{9m}{4}(g \cdot \frac{1}{17} - g \cdot \frac{8}{17}) = \frac{9mg}{4} \cdot \frac{80}{17 \cdot 17} = \frac{20}{51} mg$$

3) III-к кин. шаров $\Rightarrow \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_{\text{уп}1} + \vec{F}_{\text{уп}2} + \vec{F}_{\text{уп}3} = \vec{0}$

По ОХ (вниз по скл.): $-F_{\text{уп}1} \cdot \sin(90-d_1) + F_1 \cdot \sin d_1 + F_2 \cdot \sin d_2 + F_{\text{уп}2} \cdot \sin(90-d_2) + F_{\text{уп}3} = 0$

$$-F_{\text{уп}1} \cdot \frac{4}{5} + mg \cdot \frac{4}{5} \cdot \frac{3}{5} + \frac{9mg}{4} \cdot \frac{15}{17} \cdot \frac{8}{17} + F_{\text{уп}2} \cdot \frac{15}{17} + F_{\text{уп}3} = 0$$

$$\frac{4 \cdot 151}{17} mg + \frac{210}{51 \cdot 17} mg + F_{\text{уп}3} = 0$$

$$\frac{204 - 210}{51 \cdot 17} mg + F_{\text{уп}3} = 0 \Rightarrow F_{\text{уп}3} = \frac{2}{209} mg$$

Ответ: 1) $\frac{26}{85} mg$; 2) $\frac{20}{51} mg$; 3) $\frac{2}{209} mg$



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 6

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!

№2

Дано

процесс 1-2-3-1

Найти: $\frac{|U_{12}|}{A}$; $\frac{T_{max,12}}{T_3}$; η

Решение

$$1) A_{1234} = S(\text{численно}) = \frac{1}{2} \cdot 4p_0 \cdot 6V_0 = 12p_0V_0.$$

$$|U_{12}| = \left| \frac{3}{2} Q_{12} \cdot T_{12} \right| = \frac{3}{2} |p_2 V_2 - p_1 V_1| = \frac{3}{2} [48p_0V_0 - 60p_0V_0] = 18p_0V_0$$

$$\frac{|U_{12}|}{A_{1234}} = \frac{18p_0V_0}{12p_0V_0} = \frac{3}{2}$$

$$2) T_3 = \frac{36p_0V_0}{Q_R}$$

$$T_{max,12} = \frac{pV}{Q_R}$$

$$p = (16V_0 - V) \frac{p_0}{V_0}$$

$$\text{Составим уравнение } T_{max,12} = \frac{p_0(16V_0 - V)V}{Q_R}$$

$$\text{Найдем max при } V = 8V_0. \\ V \in [0; 16V_0]$$

$$T_{max,12} = \frac{64V_0p_0}{Q_R}$$

$$\frac{T_{max,12}}{T_3} = \frac{64V_0p_0}{36p_0V_0} = \frac{64}{36} = \frac{16}{9}$$

$$3) \eta = \frac{A}{Q} \cdot 100\%$$

$$Q = Q_{12} + Q_{31} \quad (Q_{23} < 0)$$

$$Q_{12} = A_{12} + U_{12} = \frac{4p_0 + 10p_0}{2} \cdot 6V_0 - 18p_0V_0 = 24p_0V_0.$$

$$Q_{31} = A_{31} + U_{31} = U_{31} = \frac{3}{2} (60p_0V_0 - 36p_0V_0) = 36p_0V_0.$$

$$\eta = \frac{12p_0V_0}{36p_0V_0 + 24p_0V_0} \cdot 100\% = \frac{12}{60} \cdot 100\% = \frac{1}{5} \cdot 100\% \Rightarrow \eta = 20\%$$

$$\text{Ответ: } 1) \frac{3}{2}; 2) \frac{16}{9}; 3) 20\%$$



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
3 из 6

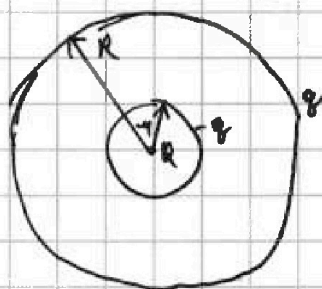
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!

Дано

$3R$
 Q
 $U(x), x \in [R; \frac{2R}{3}]$

Найти: U ; E .

N3



Решение

1) Рассмотрим U_1 при $x = \frac{R}{3}$ и U_2 при $x = \frac{2R}{3}$.

$$U_1 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{Q}{\frac{R}{3}} - \frac{q}{\frac{R}{3}} + \frac{q}{R} \right) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{3Q - 2q}{R} = 6U_0$$

$$U_2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{Q}{\frac{2R}{3}} - \frac{q}{\frac{2R}{3}} + \frac{q}{R} \right) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{3Q - q}{2R} = 5U_0$$

$$\frac{3(3Q - 2q)}{3Q - q} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{6}{5}$$

$$15Q - 10q = 9Q - 3q \Rightarrow 6Q = 7q \Rightarrow q = \frac{6Q}{7}$$

$$U = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{12Q}{11R} - \frac{12q}{11R} + \frac{q}{R} \right) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{12Q - q}{11R} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{12Q - \frac{6Q}{7}}{11R} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{78Q}{77R}$$

2) III-к электростатическое поле, но ($\vec{E}$ будем рассматривать при $x = \frac{R}{2}$).

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{1}{\epsilon} \cdot \frac{4Q}{R^2}$$

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{4Q}{R^2} - \frac{4q}{R^2} \right)$$

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

$$\frac{Q}{\epsilon} = Q - \frac{6Q}{7} = \frac{Q}{7}$$

$$\epsilon = 7$$

Ответ: 1) $\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{78Q}{77R}$; 2) $\epsilon = 7$



1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☒ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐

СТРАНИЦА
6 из 6

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!

24

Дано

$$l_1 = l_2$$

$$l_2 = \frac{9l}{4}$$

$$n_1 = n$$

$$n_2 = \frac{3n}{2}$$

Найти: I' ; I

Решение

$$1) \mathcal{E} = -\frac{d\Phi}{dt} S n = -(l_1 + l_2) \cdot I'$$

$$d\Phi = (l_1 + l_2) \cdot I' = 1 \quad I' = \frac{d\Phi}{l_1 + l_2}$$

$$2) I_1' = \frac{\frac{3\mu_0}{4} - \mu_0}{4 + (l_1 + l_2)} S n = -\frac{\mu_0 S n}{4 + (l_1 + l_2)}$$

$$I_2' = -\frac{\mu_0 S n}{8 + (l_1 + l_2)}$$

$$I = \frac{7\mu_0 S n}{4(l_1 + l_2)}$$

По правилу Ленца и правилу правой руки индук. ток против. нап.

$$\text{Ответ: } 1) I' = \frac{d\Phi}{l_1 + l_2}; \quad 2) I = \frac{7}{4} \frac{\mu_0 S n}{l_1 + l_2}$$

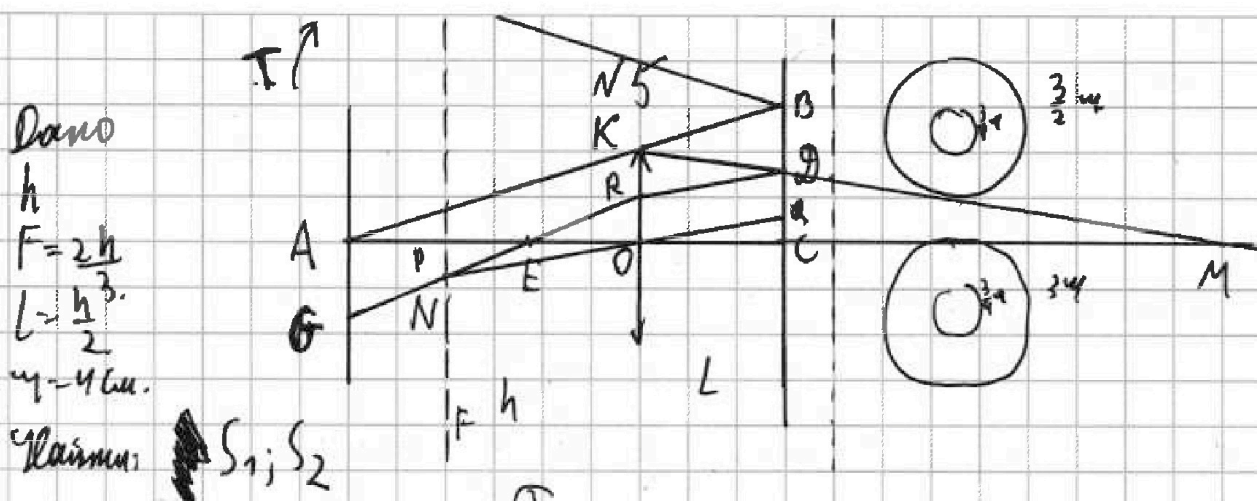


На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☒ 6 ☐ 7 ☐

СТРАНИЦА
4 из 6

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!



Решение

$$1) \triangle AKO \sim \triangle ABC \Rightarrow \frac{KO}{AC} = \frac{AO}{AO+OC} \Rightarrow \frac{\mu}{AC} = \frac{h}{h+L} = \frac{h}{h+\frac{h}{2}} = \frac{2}{3} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow AC = \frac{3\mu}{2}$$

$$\triangle KOM \sim \triangle OCM \Rightarrow \frac{OC}{KO} = \frac{MC}{OM}$$

по формуле тонкой линзы

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F} \Rightarrow \frac{1}{h} + \frac{1}{OM} = \frac{3}{2h}$$

$$\frac{OC}{\mu} = \frac{2h-L}{2h} = \frac{2h-\frac{h}{2}}{2h} = \frac{3}{4} \Rightarrow$$

$$OC = \frac{3}{4}\mu.$$

$$OM = 2h.$$

$$S_1 = \pi \left(\frac{9\mu^2}{4} - \frac{9\mu^2}{16} \right) = \pi \cdot \frac{27\mu^2}{16} = 27\pi \text{ см}^2$$

$$2) \triangle NPO \sim \triangle OCQ \Rightarrow \frac{PN}{QC} = \frac{PO}{OC} = \frac{F}{L} = \frac{\frac{2}{3}h}{\frac{h}{2}} = \frac{4}{3}$$

$$PN = \frac{4}{3}QC = \frac{4}{3} \cdot \frac{\mu}{4} = \frac{\mu}{3}$$

$$\triangle PEN \sim \triangle EOR \Rightarrow \frac{PE}{EO} = \frac{PN}{OR} = \frac{2}{3}$$

$$PE+EO = F = \frac{2}{3}h \Rightarrow PE = \frac{2}{5} \cdot \frac{2}{3} = \frac{4}{15}h$$

$$\triangle AEG \sim \triangle PEN \Rightarrow \frac{PN}{AG} = \frac{PE}{AE} = \frac{\frac{\mu}{3}}{\frac{4}{15}h + \frac{1}{3}h} = \frac{4}{9}$$

$$AG = \frac{9}{4} \cdot PN = \frac{9}{4} \cdot \frac{\mu}{3} = \frac{3\mu}{4}$$



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
5 из 6

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!

$$AT = 2BC = 3\text{ см}$$

$$S_2 = \pi \left(9\text{ см}^2 - \frac{9\text{ см}^2}{16} \right) = \pi \cdot \frac{9\text{ см}^2 \cdot 15}{16} = 135\pi \text{ см}^2$$

Ответ: 1) $27\pi \text{ см}^2$; 2) $135\pi \text{ см}^2$

$$\begin{array}{r} 894 \\ 189 \\ 24 \\ \hline 959 \end{array} \quad \text{mag} \quad \begin{array}{r} 300 \\ 150 \\ 12 \\ \hline 150 \end{array} + \begin{array}{r} 300 \\ 520 \\ \hline 57-14 \end{array} \quad \text{mag}$$

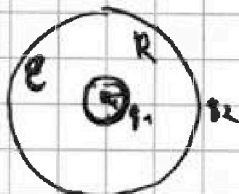


На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

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!



$$q_1 < 0$$

$$q_2 > 0$$

$$|q_1| = |q_2|$$

$$x = \frac{11R}{12}$$

$$\phi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{r}$$

$$\phi_1 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{Q+q_1}{\frac{R}{3}} + \frac{q_1}{R} \right) = 6\phi_0$$

$$\phi_2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{Q+q_1}{\frac{2R}{3}} + \frac{q_1}{R} \right) = 5\phi_0$$

$$\frac{3(Q-q) + q}{R} = \frac{6}{5}$$

$$\frac{3Q - 3q + q}{3Q - 3q + 2q} = \frac{5}{6}$$

$$\frac{3Q - 2q}{3Q - q} = \frac{5}{6}$$

$$15Q - 5q = 10Q - 12q$$

$$4q = 5Q$$

$$q = \frac{5}{4}Q$$

$$\begin{array}{r} 12 \\ 3 \overline{) 36} \\ \underline{36} \\ 0 \end{array}$$

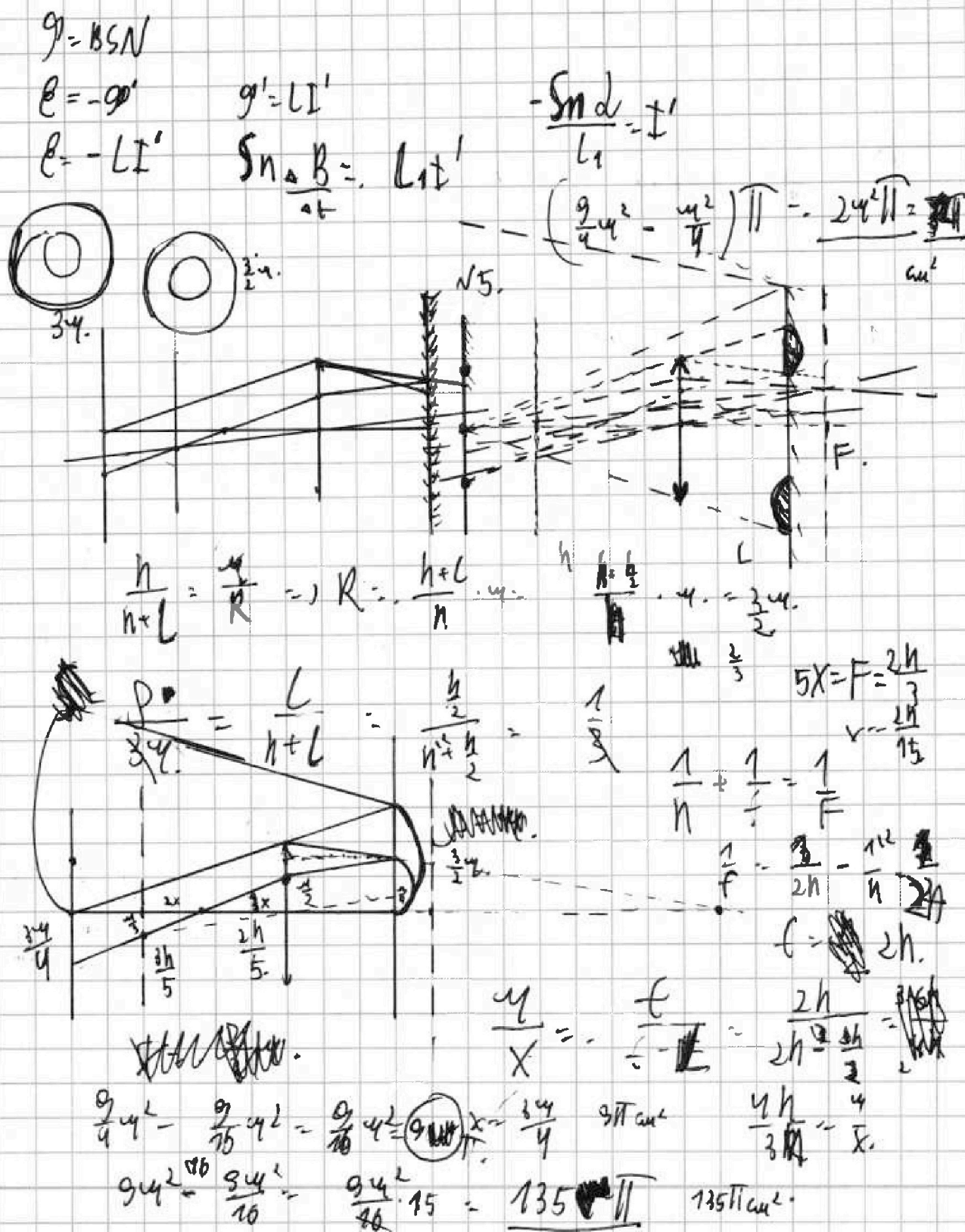
$$\phi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{12Q}{11R} + \frac{12q}{11R} + \frac{q}{R} \right) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{12Q - q}{11R} \right)$$

$$= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{12Q - \frac{5}{4}Q}{11R} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{81Q}{44R}$$

$$E = \frac{E}{\epsilon} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{4Q}{R^2}$$

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{4Q}{R^2} - \frac{4q}{R^2} \right) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{4 \cdot \frac{5}{4}Q}{R^2}$$

$$\frac{1}{\epsilon} \cdot \frac{4Q}{R^2} = \frac{5Q}{R^2} \quad \epsilon = \frac{4}{5}$$





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.

☐☐☐☐☐☐☐

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!

$$L_1 = L$$

$$N_1 = N$$

$$L_2 = \frac{9L}{4}$$

$$N_2 = \frac{3N}{2}$$

S

$$-\frac{\partial BSN}{\partial t} = (L+4L)I'$$

$$I_1' = \frac{\frac{3B_0}{4} - B_0^{14}}{L+4L} S \quad \text{и} \quad I_1 = -\frac{B_0}{4L} S$$

$$I_2' = \frac{\frac{9B_0}{3} - 4B_0^{13}}{L+4L} S \quad \text{и} \quad I_2 = \frac{3N}{2} \quad \text{и} \quad -\frac{\partial BSN}{\partial t} = (L+4L)I'$$

$$\left(-\frac{B_0}{4} S + 2B_0^{14} S \right) = \frac{9B_0 S}{4(L+4L)}$$