



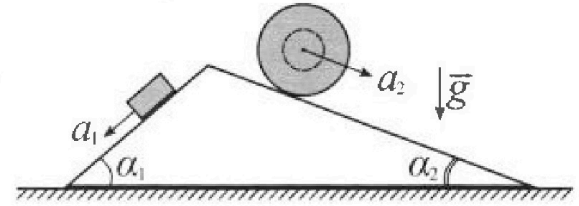
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2024

Вариант 11-04



В ответах всех задач допустимы обыкновенные дроби и радикалы.

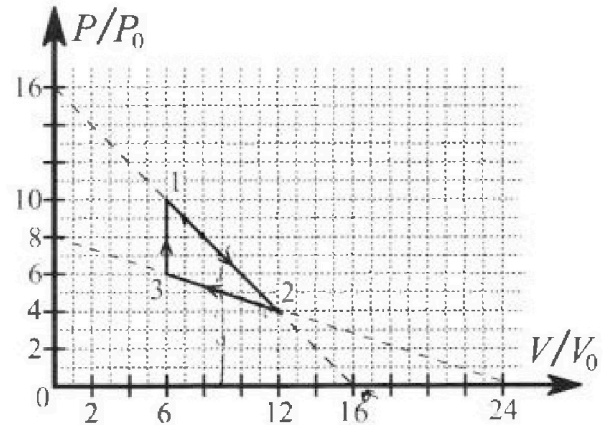
1. С клина, находящегося на шероховатом горизонтальном столе, соскальзывает брусок массой m с ускорением $a_1 = 5g/17$ и скатывается без проскальзывания полый шар массой $9m/4$ с ускорением $a_2 = 8g/27$ (см. рис.). Клин остается в покое. Углы наклона поверхностей клина к горизонту α_1 ($\sin \alpha_1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

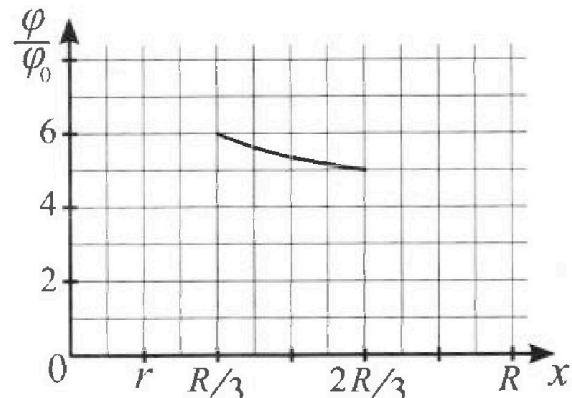
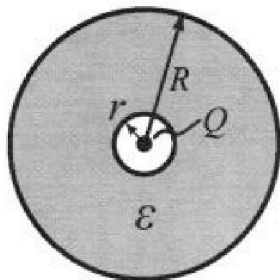


- 1) Найдите отношение модуля приращения внутренней энергии газа в процессе 1-2 к работе газа за цикл.
- 2) Найдите отношение максимальной температуры газа в процессе 1-2 к температуре газа в состоянии 3.
- 3) Найдите КПД цикла.

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 .



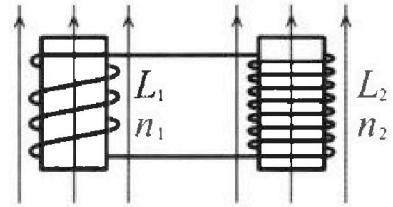
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2024

Вариант 11-04

В ответах всех задач допустимы обыкновенные дроби
и радикалы.

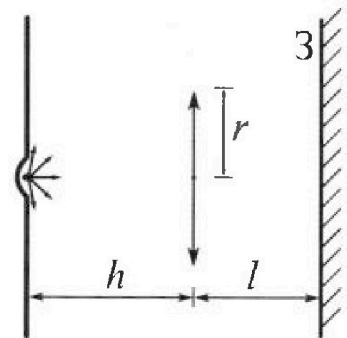


4. Две катушки с индуктивностями $L_1 = L$ и $L_2 = 9L/4$ и числами витков $n_1 = n$ и $n_2 = 3n/2$ помещены во внешние однородные магнитные поля с постоянными во времени индукциями (см. рис.). Площадь витка каждой катушки S . Индукции внешних полей направлены перпендикулярно плоскостям витков катушек. 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) 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 γ - целое число или простая обыкновенная дробь.



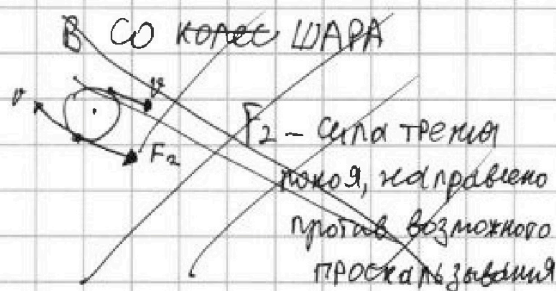
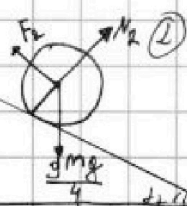
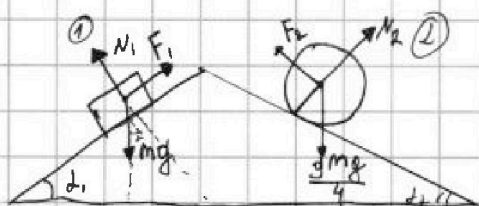
На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

1 2 3 4 5 6 7

СТРАНИЦА
1 из 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.



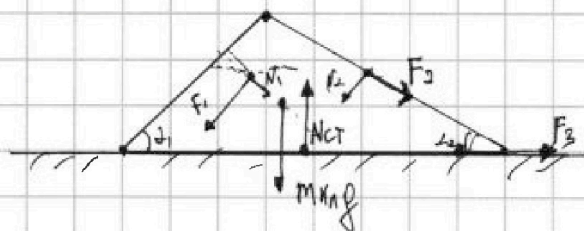
1) 2 ЗН для блока: $mg \sin \alpha_1 - F_1 = m a_1 = m \cdot \frac{5}{14} g$; $N_1 = mg \cos \alpha_1$

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

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:

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

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

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

$Q_{н}$ - $Q_{нагревателя}$ $Q_{х}$ - $Q_{холодильника}$; $\eta = 1 - \frac{Q_{х}}{Q_{н}}$

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

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

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

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: $\frac{P}{P_0} = 10 - \frac{V}{V_0}$

~~Из~~ Из графиков ясно, что $p \cdot V = \max$, при $p = 8p_0$; $V = 8V_0$

$$\text{Тогда } T_{12} = \frac{64 p_0 V_0}{p R}; \quad \alpha = \frac{T_{12}}{T_3} = \frac{64}{36} = \frac{16}{9}$$

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!

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

$\frac{2}{4} mg \sin \alpha = \frac{2}{4} mg \cdot \frac{3}{4} = \frac{3}{4} mg = \alpha^* \cdot A$ $\alpha^* = \frac{3}{4} g$ $d_a = \frac{3}{24} g \leq d^*$

$\frac{24}{14}$
 $\frac{189}{24}$
 $\frac{459}{14}$

$\frac{H \cdot c}{KA \cdot \Delta t} = \frac{B \cdot c}{m \cdot \Delta t}$ $\frac{H \cdot \eta}{A \cdot \Delta t}$
 $\frac{270}{189}$ $\frac{20}{57}$

$24 \cdot 4 = 135 + 54 = 189$

$\frac{450}{3} = 150$ $\frac{459}{3} = 153$ $\frac{16}{3} = 6$

$\frac{300}{20} = 15$
 $\frac{200}{20} = 10$
 $\frac{100}{20} = 5$

$\frac{4}{25} \cdot \left(\frac{26}{14} - 3 \right) = \frac{4}{25} \left(\frac{26-51}{14} \right) = \frac{4}{25} \left(\frac{-25}{14} \right) = -\frac{4}{14}$

$\frac{102 \cdot 114}{6}$

$51 + 17 = 68$

$140 - 68$

$\frac{68}{57}$
 $\frac{119}{14}$
 $\frac{702}{102}$

$42 + 10 = 52$

$P = B \cdot S$

$\frac{S}{4} - S_1 = 24$ $E_0 = \varphi'$
 $S - S_1 = 185$ $S \cdot (-1) = E_0 \cdot \frac{135}{100}$

$\frac{12 \cdot 10}{100}$
 $\frac{120}{100}$

$\frac{42}{18} = \frac{21}{9} = \frac{7}{3}$

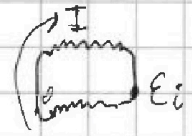
$S = 106$; $S = 36 \cdot 4$

$\frac{18}{12} = \frac{3}{2} = 1.5$

$E_0 = S_2$

$S_1 = 36 - 27 = 9 \Rightarrow S$

$T = \frac{P \cdot V}{OR}$



$6 \cdot 8 = 48$ $\frac{48}{60} = \frac{8}{10}$
 $6 \cdot 10 = 60$

$T = T_{max}$, при $P \cdot V = \max$

~~$\frac{P}{V} = \frac{4}{10} = 0.4$~~ * K

$10 - 6$
 $4 - 12$

$\frac{P}{P_0} + (-16) = \frac{V}{V_0} \cdot \frac{P}{P_0} = \frac{V}{V_0} + 16$

$\frac{P}{P_0} = 76 - \frac{V}{V_0}$

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



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

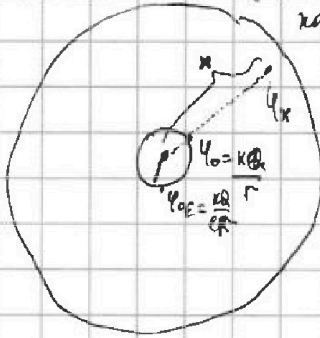
СТРАНИЦА
1 из 1

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!

φ_0 - потенциал в плоскости на r

φ_{0E} - потенциал на поверхности на r

Задача №3.



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

$$E = \frac{kQ}{\epsilon \epsilon_0 l^2} \quad (\text{в гауссовой сфере})$$

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

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

$$E = \frac{kQ}{\epsilon \epsilon_0 l^2} \quad (\text{в гауссовой сфере})$$

$$\varphi_0 - \varphi_x = \int_R^l \frac{kQ}{\epsilon \epsilon_0 l^2} \cdot \Delta l = \int_R^l \frac{kQ}{\epsilon} \cdot (-l)^{-2} ; \quad \varphi_{0E} - \varphi_x = \frac{kQ}{\epsilon} \cdot \left(-\frac{12}{11R} - \left(-\frac{1}{R} \right) \right)$$

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

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

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



1 2 3 4 5 6 7

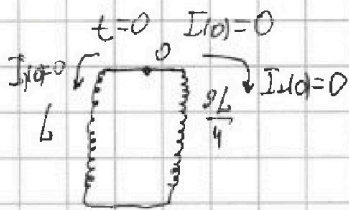
СТРАНИЦА
1 из 1

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.

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



$$\mathcal{E}_i(-2Sn)$$

$$0 - 2Sn = I_1' \cdot L$$

$$0 - (2Sn) = I_2' \cdot \frac{5}{9} L$$

$$I_1'(0) \cdot 5 \mu_0 n^2 = I_1' - I_2'$$

$$I_1' = -\frac{4+5n^2}{9L} + \frac{2Sn}{L} = \frac{5}{9} \frac{2 \cdot S \cdot n \cdot \Delta}{L}$$

Ответ: ~~$I_1' = \frac{5}{9} \cdot 2 \cdot S \cdot l$~~

1) $I_1' = \frac{5 \cdot 2 \cdot S}{9L}$



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~~

φ_x

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

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

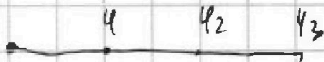
$$\varphi_0 = \frac{kq \cdot 3}{\epsilon R} - \frac{kq \cdot 3}{2\epsilon R}$$

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

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

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

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



$\infty \varphi = 0$

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

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

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

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

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