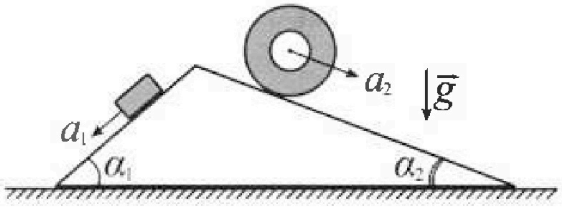
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2024

Вариант 11-01

В ответах всех задач допустимы обыкновенные дроби и радикалы.

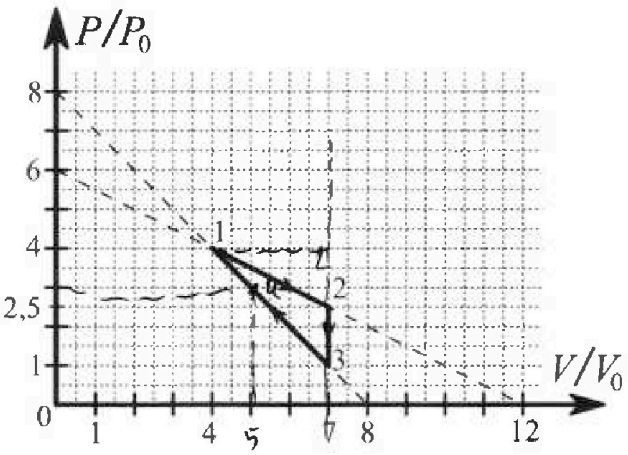
1. С клина, находящегося на шероховатом горизонтальном столе, соскальзывает брусок массой m с ускорением $a_1 = 5g/13$ и скатывается без проскальзывания полый цилиндр массой $4m$ с ускорением $a_2 = 5g/24$ (см. рис.). Клин остается в покое. Углы наклона поверхностей клина к горизонту $\alpha_1 (\sin\alpha_1 = 3/5, \cos\alpha_1 = 4/5)$ и $\alpha_2 (\sin\alpha_2 = 5/13, \cos\alpha_2 = 12/13)$. 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 цилиндром и клином.
3) Найти силу трения F_3 между столом и клином.

Каждый ответ выразить через m и g с ч исловым 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.

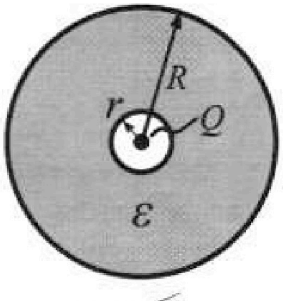


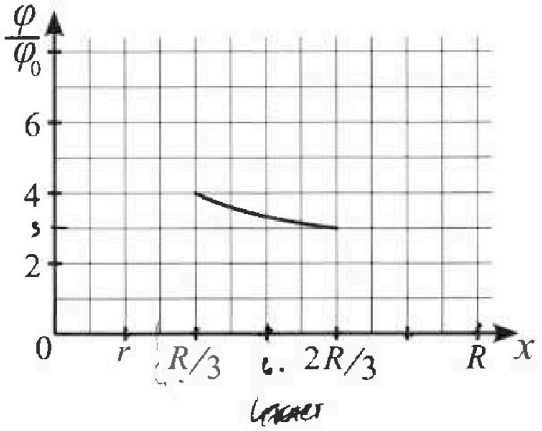
1) Найдите отношение модуля приращения внутренней энергии газа в процессе 2-3 к работе газа за цикл.
2) Найдите отношение максимальной температуры газа в процессе 1-2 к температуре газа в состоянии 1.
3) Найдите КПД цикла.

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 $x = R/4$.
2) Используя график, найти численное значение ε.



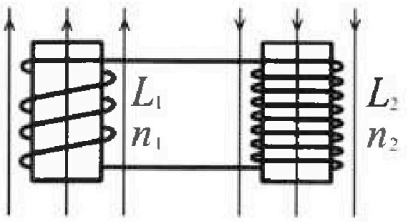


Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2024

Вариант 11-01

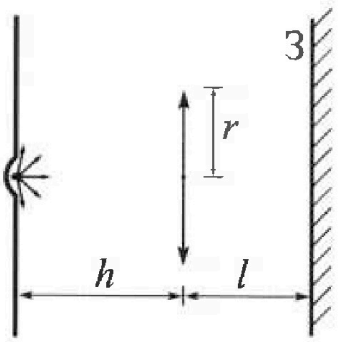
В ответах всех задач допустимы обыкновенные дроби и радикалы.

4. Две катушки с индуктивностями $L_1 = L$ и $L_2 = 4L$ и числами витков $n_1 = n$ и $n_2 = 2n$ 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 возрастать 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 $B_0/2$, не изменив направления, а в катушке с индуктивностью L_2 индукция внешнего поля уменьшилась от $2B_0$ до $2B_0/3$, 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 $F = h/2$. Главная оптическая ось линзы горизонтальна и проходит через лампочку. Радиус линзы $r = 3$ см. Справа от линзы на расстоянии $l = 2h/3$ 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 ☐

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.

Дано:

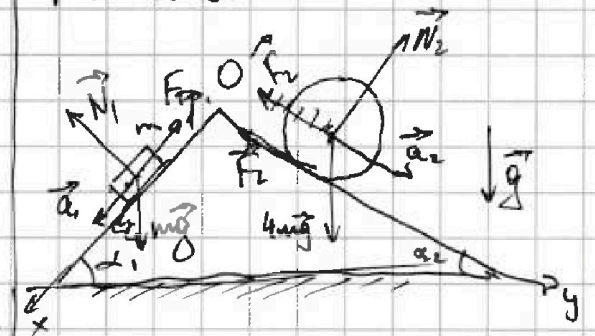
$a_2 = \frac{5g}{24}$

$a_1 = \frac{5g}{13}$

$\sin\alpha_1 = \frac{3}{5}$

$\sin\alpha_2 = \frac{5}{13}$

Решение:



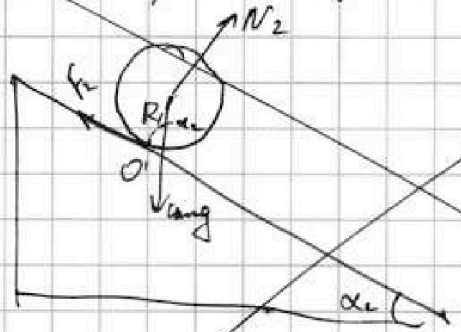
1) По 2-му закону Ньютона:

$ma_1 = mg\sin\alpha_1 - F_1 \Rightarrow F_1 = mg\sin\alpha_1 - ma_1$

$F_1 = mg\cdot\frac{3}{5} - \frac{5mg}{13} = \frac{3mg}{5} - \frac{5mg}{13} = \frac{3\cdot 13mg}{65} - \frac{25mg}{65} =$

$= \frac{(39-25)mg}{65} = \boxed{\frac{14}{65}mg}$

2) Рассмотрим отдельно катушку цилиндр



Угол Угловое ускорение при повороте отн. точки O'

$J\beta = 4mgR\sin\alpha_2$

$J = 4mR^2$

$\Rightarrow \beta = \frac{4mgR\sin\alpha_2}{4mR^2} = \frac{g\sin\alpha_2}{R}$

$a_2 = \beta\cdot R = g\sin\alpha_2$

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.

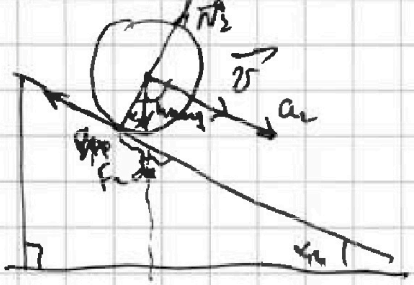
1 ☒ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐

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!

По 2-Закону Ньютона.

$4ma_2 =$

2) Рассмотрим движение цилиндра.



Пусть цилиндр сместился на расстояние dx.

П.к. цилиндр тонкий, то $E_{кин.вращ} = 4mv^2$.

Тогда по теореме об изменении кин. энергии

$$4m(v+dv)^2 - 4mv^2 = A_{внеш.сил.}$$

$$4m(v^2 + 2v\,dv) - 4mv^2 = -F_2 dx + 4mg\,dx\cdot\cos\left(\frac{\pi}{2}-\alpha_2\right)$$

$$8mv\,dv = -F_2 dx + 4mg\,dx\sin\alpha_2$$

$dx = v\,dt$.

$$8m\,dv = -F_2\cdot dt + 4mg\cdot dt\sin\alpha_2 \quad |:dt$$

$$8m\frac{dv}{dt} = -F_2 + 4mg\sin\alpha_2 \qquad \frac{dv}{dt} = a_2$$

$$8ma_2 = -F_2 + 4mg\sin\alpha_2$$

$$\Rightarrow F_2 = 4mg\sin\alpha_2 - 8ma_2$$

$$F_2 = 4mg\cdot\frac{5}{13} - 8m\cdot\frac{5g}{24} = \frac{20mg}{13} - \frac{40mg}{24}$$

$$= \frac{480mg - 520mg}{13\cdot 24} = -\frac{40mg}{13\cdot 24} = -\frac{10mg}{13\cdot 6} = -\frac{5mg}{13\cdot 3}$$

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 [X] 2 [ ] 3 [ ] 4 [ ] 5 [ ] 6 [ ] 7 [ ]

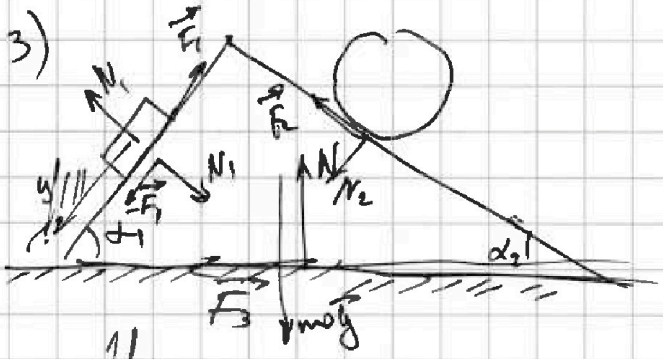
СТРАНИЦА 3 ИЗ 25

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!

т.к. сила получилась отрицательной значит она просто направлена в другую сторону, т.е. сонаправлена с ускорением a_2

$$F_2 = \frac{5mg}{39}$$

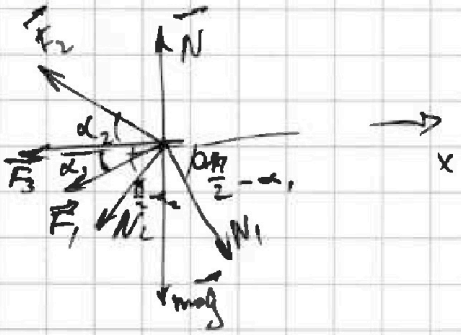
3)



т.к. клин покоится, то $\sum_i \vec{F_i} = 0$

m_0 - масса клина.

Итого:



Запишем равенство сил на $0''_x$:

$$F_2\cos\alpha_2 + F_1\cos\alpha_1 + F_3 + N_2\sin\alpha_2 = N_1\cos(\tfrac{\pi}{2}-\alpha_1)$$

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

$N_1 = mg\cos\alpha_1$ - т.к. тело т вдоль оси не отрывается

Аналогично

$N_2 = 4mg\cos\alpha_2$

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
X						

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!

$F_2\cos\alpha_2 + F_1\cos\alpha_1 + F_3 + 4mg\sin\alpha_2\cos\alpha_2 = mg\sin\alpha_1\cos\alpha_1$

$\frac{5mg}{39}\cdot\frac{12}{13} + \frac{14}{65}mg\cdot\frac{4}{5} + F_3 + 4mg\cdot\frac{12\cdot5}{13^2} =$

$= mg\frac{12}{25} \Rightarrow$ ~~F_3~~ ~~$\frac{mg\cdot 60}{F_3 \cdot 169}$~~ +

$\frac{mg}{13}\left(\frac{60}{39} + \frac{14\cdot4}{5\cdot5} + \frac{4\cdot12\cdot5}{13}\right) + F_3 = mg\frac{12}{25}$

$\frac{mg}{13}\left(\frac{20}{13} + \frac{56}{25} + \frac{240}{13}\right) + F_3 = \frac{12mg}{25}$

$\frac{mg}{13}\left(\frac{260}{13} + \frac{56}{25}\right) - \frac{12}{25}mg = -F_3$

$\frac{mg}{13}\left(\frac{6500 + 728}{25\cdot13}\right) - \frac{12mg}{25} = -F_3$

$\frac{mg}{13}\cdot\frac{556}{25} - \frac{12mg}{25} = -F_3$

$\frac{mg\,556 - 156mg}{13\cdot25} = -F_3$

$\frac{400mg}{25\cdot13} = -F_3$

$\frac{16}{13}mg = -F_3 \Rightarrow F_3 = -\frac{16}{13}mg \Rightarrow$ Сила направена

вдаво, а не вляво и $F_3 = \frac{16}{13}mg$

Отвем: 1) $\frac{14}{65}mg$ 2) $\frac{5mg}{39}$
3) $\frac{16}{13}mg$

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 6 ИЗ 25

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:

$i = 3$ – кол-во степеней свободы

1) $\left|\frac{\Delta U_{23}}{A}\right| - ?$

2) $\frac{A_{T'_{max}}}{T_1} - ?$

3) $\eta - ?$

Решение:

1) Точка 2 (7; 3,5) T' – максимальная температура в процессе 1→2.

Точка 3 (7; 1)

Точка 1 (4; 4)

$\Delta U_{23} = \frac{3}{2}(p_3V_3 - p_2V_2)$; $p_2 = \frac{5}{2}p_0$, $V_2 = 7V_0$, $p_3 = p_0$, $V_3 = 7V_0$

$\Delta U_{23} = \frac{3}{2}\left(7p_0V_0 - \frac{35}{2}p_0V_0\right)$

$\Delta U_{23} = \frac{3}{2}\left(\frac{(14-35)p_0V_0}{2}\right)$

$= \frac{3}{2}\left(-\frac{21}{2}p_0V_0\right) = -\frac{63}{4}p_0V_0$

A – работа газа, численно равна площади Δ-ка 1→2→3, помноженная на p_0V_0

$A = \frac{1}{2}(7-4)(3,5-1)p_0V_0 = \frac{1}{2}\cdot 3\cdot\frac{3}{2} = \frac{9}{4}p_0V_0$

$\left|\frac{\Delta U_{23}}{A}\right| = \frac{63}{4}p_0V_0 \cdot \frac{4}{9p_0V_0} = 7.$

2) По уравнению Менделеева–Клапейрона

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 25

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!

$4p_0 \cdot 4V_0 = \nu R T_1$; ν - кол-во газа.

$16 p_0 V_0 = \nu R T_1$

Запишем уравнение $p(V)$ для процесса 1 → 2.

процесс 1 → 2 - прямая: $\Rightarrow p(V) = aV + b$.

$b = 6p_0$ - из графика.

$p(12V_0) = 0 \Rightarrow a \cdot 12V_0 + 6p_0 = 0 \Rightarrow$

$\Rightarrow a = -\frac{p_0}{2V_0}$

$\Rightarrow p(V) = -\frac{p_0}{2V_0} \cdot V + 6p_0$

$p(V) \cdot V = \nu R T \Rightarrow T = \frac{p(V) \cdot V}{\nu R} \Rightarrow T_{max} = T'$, когда $p(V) \cdot V_{max}$

$T = \frac{-\frac{p_0}{2V_0} \cdot V^2 + 6p_0 V}{\nu R} \Rightarrow \nu R T = -\frac{p_0 V^2}{2V_0} + 6p_0 V$ - это парабола ветвями вниз.

её максимум достигается $V_3 = -\frac{6p_0}{2 \cdot -\frac{p_0}{2V_0}} =$

$= 6V_0$.

$\Rightarrow \nu R T' = -\frac{p_0}{2V_0} \cdot 36V_0^2 + 6p_0 \cdot 6V_0$

$\Rightarrow \nu R T' = -18p_0V_0 + 36p_0V_0 = 18p_0V_0 \Rightarrow$

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 ☐

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!

$\nu R T' = 18 p_0 V_0$

$\nu R T_1 = 16 p_0 V_0$

$\Rightarrow \frac{T'}{T_1} = \frac{18 p_0 V_0}{16 p_0 V_0} = \frac{18}{16} = \frac{9}{8}$

3) в процессе 2→3 - газ отдаёт тепло, а в процессах 1→2 и 3→1 на каких-то участках получает

затем отдаёт

По первому началу Термодинамики

$dQ = dU + dA$, и это должно быть $dQ > 0$, тогда газ получает тепло.

Рассмотрим процесс 1→2.

$dQ = \frac{3}{2}\nu R dT + p dV$

по Менделеева-Клапейрону

$pV = \nu RT$, продифференцируем это уравнение

$p dV + V dp = \nu R dT$

$\Rightarrow dQ = \frac{3}{2} p dV + \frac{3}{2} V dp + p dV = \frac{5}{2} p dV + \frac{3}{2} V dp > 0$

$5 p dV + 3 V dp > 0 \quad | : dV > 0$

$5p + 3V \frac{dp}{dV} > 0$

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 25

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!

$$5\left(6p_0 - \frac{p_0 V}{2V_0}\right) + 3V \cdot -\frac{p_0}{2V_0} > 0$$

~~$5\left(30p_0 - \frac{5}{2}\frac{p_0 V}{V_0} + \frac{6p_0 V}{?}\right)$~~

$$30p_0 - \frac{5p_0 V}{2V_0} - \frac{3p_0 V}{2V_0} > 0$$

$$30p_0 - \frac{4p_0 V}{V_0} > 0 \quad | :2p_0$$

$$15 - \frac{2V}{V_0} > 0 \Rightarrow \frac{2V}{V_0} < 15$$

$$V < \frac{15V_0}{2}$$

$V < 7{,}5V_0 \Rightarrow$ газ на всем участке 1→2

нашлось, т.к. $7V_0 < 7{,}5V_0$

$$Q_{12} = \Delta U_{12} + A_{12} = \frac{3}{2}\left(\frac{35p_0V_0}{4} - 16p_0V_0\right) = \frac{3}{2} \cdot \frac{3}{2}p_0V_0$$

$$= \frac{9}{4}p_0V_0$$

Уравнение pV для процесса 1→3

$b \to 8p_0$

$$p(V) = -\frac{p_0}{V_0} \cdot V + 8p_0$$

Аналогично

$$dQ = 5p + 3V\frac{dp}{dV} > 0$$

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
☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐

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!

$5\left(-\frac{p_0}{V_0}V+8p_0\right)+3V\cdot\left(-\frac{p_0}{V_0}\right)>0$

$40p_0-\frac{5p_0V}{V_0}-\frac{3Vp_0}{V_0}>0$

$40p_0-\frac{8Vp_0}{V_0}>0\ /:8p_0$

$5-\frac{V}{V_0}>0$

$\frac{V}{V_0}<5$

$V<5V_0$ при $5V_0$ $p=3p_0$

~~$Q^{\uparrow}_{13}=\frac{3}{2}(16p_0V_0-15p_0V_0)+\frac{1}{2}(V_0)(7p_0)$~~

На самом деле

$dQ=5pdV+3Vdp>0\ /:dV<0$, т.к. газ сжимают

$5p+3V\frac{dp}{dV}<0$

$5\left(-\frac{p_0}{V_0}V+8p_0\right)+3V\cdot\frac{-p_0}{V_0}<0$

$40p_0-\frac{8p_0V}{V_0}<0\ /:8p_0$

$V_2>5V_0$ Точка с координатами $5V_0;3p_0$

~~$Q^{\uparrow}_{31}=\Delta U'_{31}+A_{31}$~~

$Q^{\uparrow}_{31}=Q_{34}=\Delta U_{34}+A_{34}=\frac{3}{2}(\cancel{15p_0V_0}-7p_0V_0)-\frac{1}{2}\cdot 2V_0\cdot(3p_0+p_0)$

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 11 ИЗ 25

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!

$Q_{34} = +12p_0V_0 - 4p_0V_0 = 8p_0V_0.$

$$\eta = \frac{A}{Q_{34}+Q_{12}} = \frac{\frac{9}{4}p_0V_0}{\frac{9}{4}p_0V_0 + 8p_0V_0} = \frac{\frac{9}{4}}{\frac{9}{4}+8} = \frac{9}{9+32} = \frac{9}{41}$$

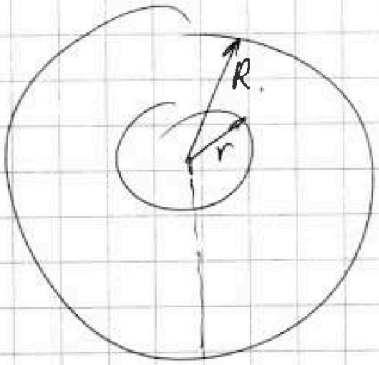
Ответ: 3) $\frac{9}{41}$ 1) 7 2) ~~8~~ $\frac{9}{8}$

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 ☐

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!

№3.



1) Потенциал сферы

снаружи шара

$\varphi(x) = \frac{kQ}{x}$; $x > R$.

Потенциал внутри шара

слой диэлектрика

$$\varphi(x) = -\int_{\infty}^{R} \frac{kQ}{x^2}dx - \int_{R}^{x} \frac{kQ}{\varepsilon x^2}dx = -kQ\left(-\frac{1}{R}+\frac{1}{\infty}\right)$$

$$-\frac{kQ}{\varepsilon}\left(-\frac{1}{x}+\frac{1}{R}\right) = \frac{kQ}{R} + \frac{kQ}{\varepsilon x} - \frac{kQ}{\varepsilon R}$$

$$\varphi\left(\frac{R}{4}\right) = \frac{kQ}{R} + \frac{4kQ}{\varepsilon R} - \frac{kQ}{\varepsilon R} = \frac{kQ}{R} + \frac{3kQ}{\varepsilon R} =$$

$$= \frac{kQ}{R}\left(\frac{\varepsilon+3}{\varepsilon}\right); \text{ т.к. } r = \frac{R}{6} \text{ - из графика, а } \frac{R}{4} > \frac{R}{6}.$$

2) $$4\varphi_0 = \varphi\left(\frac{R}{3}\right) = \frac{kQ}{R} + \frac{3kQ}{\varepsilon R} - \frac{kQ}{\varepsilon R} = \frac{kQ}{R} + \frac{2kQ}{\varepsilon R} =$$

$$= \frac{kQ}{R}\left(\frac{\varepsilon+2}{\varepsilon}\right) \Rightarrow \varphi_0 = \frac{kQ}{4R}\left(\frac{\varepsilon+2}{\varepsilon}\right)$$

$$3\varphi_0 = \varphi\left(\frac{2R}{3}\right) = \frac{kQ}{R} - \frac{kQ}{\varepsilon R} + \frac{3kQ}{2\varepsilon R} = \frac{kQ}{R} + \frac{kQ}{2\varepsilon R}$$

$$\frac{kQ}{R}\left(\frac{2\varepsilon+1}{2\varepsilon}\right) \rightarrow \varphi_0 = \frac{kQ}{3R}\left(\frac{2\varepsilon+1}{2\varepsilon}\right)$$

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 ☐

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!

$\Rightarrow \frac{kQ}{3R}\left(\frac{2\mathcal{E}+1}{2\mathcal{E}}\right) = \frac{kQ}{4R}\left(\frac{\mathcal{E}+2}{\mathcal{E}}\right)$

четверть $= \frac{R}{3}$

клетка $= \frac{R}{12}$

$r = \frac{R}{6}$

$\frac{2\mathcal{E}+1}{6} = \frac{\mathcal{E}+2}{4} \Rightarrow 8\mathcal{E}+4 = 6\mathcal{E}+12 \Rightarrow$

$\Rightarrow 2\mathcal{E} = 8 \Rightarrow (\mathcal{E}=4)$

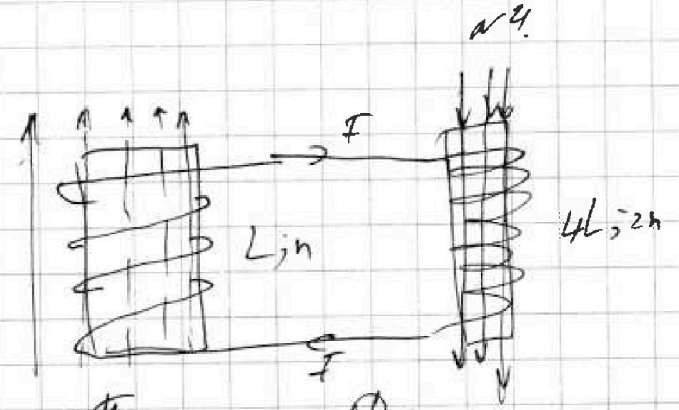
Ответ: 1) $\varphi\left(\frac{R}{4}\right) = \frac{kQ}{R}\left(\frac{\mathcal{E}+3}{\mathcal{E}}\right)$ 2) $\mathcal{E}=4$

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 4 ИЗ 25

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:

$\frac{\Delta B}{\Delta t} = \alpha > 0$

По закону Фарадея:

1) $\Phi' \to \mathcal{E}_i = -\frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = -\frac{\Delta (nBS)}{\Delta t} = -\frac{nS\,\Delta B}{\Delta t} = -nS\alpha$

ΔB

$\Phi = LI_0' \Rightarrow \Phi' = LI_0'$

$\Rightarrow LI_0' = nS\alpha \Rightarrow \boxed{I_0' = \frac{nS\alpha}{L}}$

2) Т.к. напряжения на катушках равны в любой момент, то:

$\frac{\Delta \Phi_1}{\Delta t} = \frac{\Delta \Phi_2}{\Delta t} \Rightarrow \Delta \Phi_1 = \Delta \Phi_2 \Rightarrow$

$\frac{B_0}{2} \cdot nS - B_0 nS = \frac{2B_0}{3} \cdot 4n \cdot S - \frac{B_0}{2} \cdot 4n \cdot S$

$\frac{B_0 nS}{2} = \frac{8}{3} B_0 nS - 8 B_0 nS$

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
☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐

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!

$\frac{\Delta\Phi_1}{\Delta t} = \frac{\Delta\Phi_2}{\Delta t}$

$\frac{d\Phi_1}{dt} = \frac{d\Phi_2}{dt} \Rightarrow d\Phi_1 = d\Phi_2 \Rightarrow$

$\Rightarrow \Delta\Phi_1 = \Delta\Phi_2$

$\frac{\Delta\Phi_1}{\Delta t} = \frac{\Delta\Phi_2}{\Delta t}$

$\Delta\Phi_1 = \Delta\Phi_{1}^{in} + \Delta\Phi_1^{out}$; $\Delta\Phi_i^{in}$ – поток создаваемого током, $\Delta\Phi_i^{out}$ – поток создаваемый внешним маг. полем

$\Delta\Phi_2 = \Delta\Phi_2^{in} + \Delta\Phi_e^{out}$

$\Delta\Phi_1^{in} = L(I-0)$

$\Delta\Phi_1^{out} = -B_0 n S + \frac{B_0}{2} n S = -\frac{B_0 n S}{2}$

$\Delta\Phi_2^{in} = 4L(I-0)$

$\Delta\Phi_2^{out} = -2B_0 \cdot 2n \cdot S + \frac{2B_0}{3} \cdot 2n \cdot S = -4B_0 n S + \frac{8}{3} B_0 n S =$

$= -\frac{8}{3} B_0 n S$

$\Rightarrow LI - \frac{B_0 n S}{2} = 4LI - \frac{8}{3} B_0 n S$

$\Rightarrow 3LI = \frac{8}{3} B_0 n S - \frac{1}{2} B_0 n S \Rightarrow 3LI = \frac{13}{6} B_0 n S \Rightarrow I = \frac{13 B_0 n S}{18 L}$

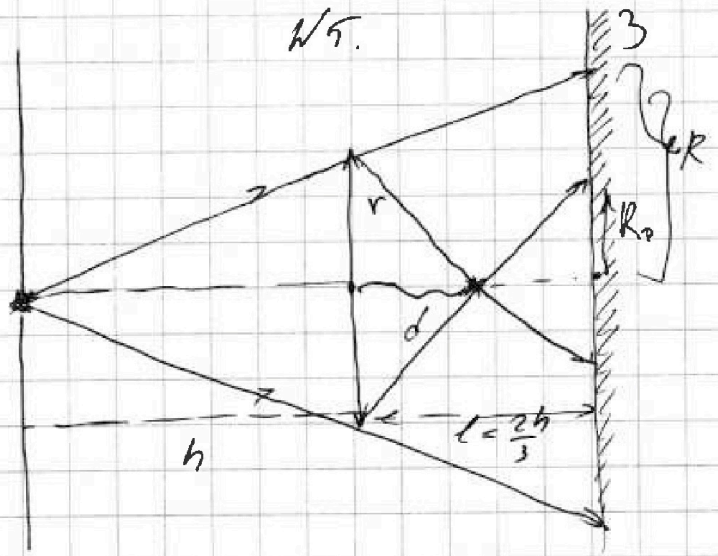
Ответ: 1) $I_0 = \frac{n S_0}{L}$ 2) $I = \frac{13}{18} \frac{B_0 n S}{L}$

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
☐	☐	☐	☐	X	☐	☐

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!

№5.



Дано:
$F=\frac{h}{2}$
$r=3см.$
$l=\frac{2h}{3}$

1) Из формулы тонкой линзы.

$\frac{1}{F}=\frac{1}{d}+\frac{1}{h}$; d - расстояние от линзы до изображения

$\Rightarrow \frac{1}{d}=\frac{1}{F}-\frac{1}{h} \rightarrow d=\frac{F\cdot h}{h-F}=\frac{\frac{h}{2}}{\frac{h}{2}}=h.$

R - радиус зоны в которую не попадает свет, т.к. не проходит через линзу; R_0 - радиус зоны в которую попадает свет от противоположной линзы.

Из подобия Δ-ков

$\frac{r}{R}=\frac{h}{l} \Rightarrow R=\frac{r\cdot l}{h}=r\cdot\frac{\frac{2h}{3}}{h}=\frac{2}{3}r$

$\frac{r}{R}=\frac{h}{h+l} \Rightarrow R=\frac{r(h+l)}{h}=r\cdot\left(1+\frac{2}{3}\right)=\frac{5}{3}r$

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 20 ИЗ 25

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 подобия Δ-ков для света прошедшего через линзу

$$\frac{R_0}{l-d} = \frac{r}{d} \Rightarrow R_0 = \frac{r(l-d)}{d} = r\left(\frac{l}{d}-1\right) =$$

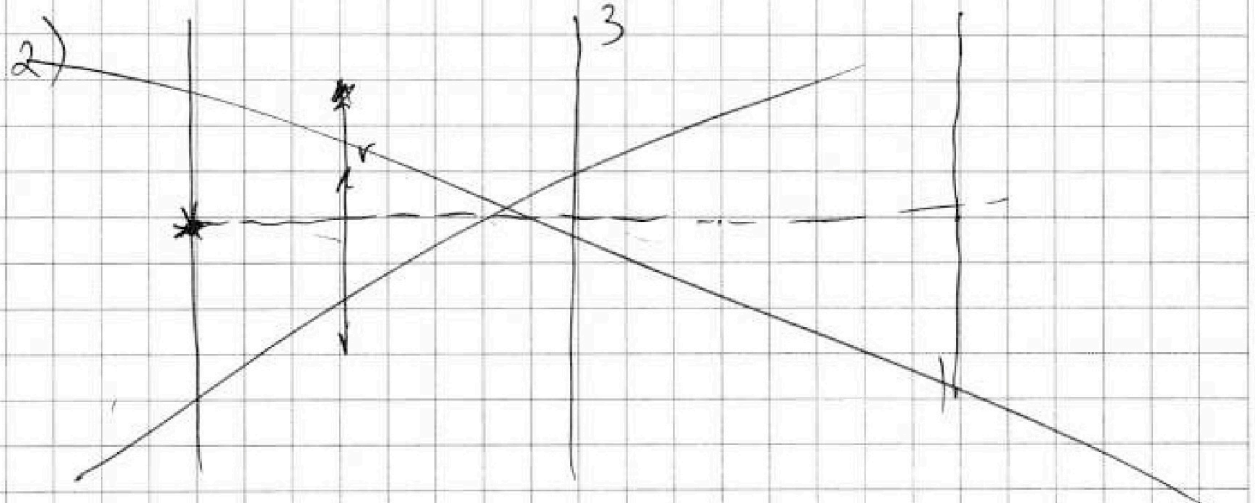
$$= r\left(\frac{\frac{2h}{3}}{\frac{h}{2}} - 1\right) = \frac{r}{3}$$

Площадь не освещённой зоны зеркала

$$S_1 = \pi R^2 - \pi R_0^2 = \pi\left(R^2 - R_0^2\right) =$$

$$= \pi\left(\frac{25}{9}r^2 - \frac{r^2}{9}\right) = \frac{24}{9}r^2\pi = \frac{24}{9}\cdot 3^2\cdot\pi = 24\pi \text{ см}^2$$

2)



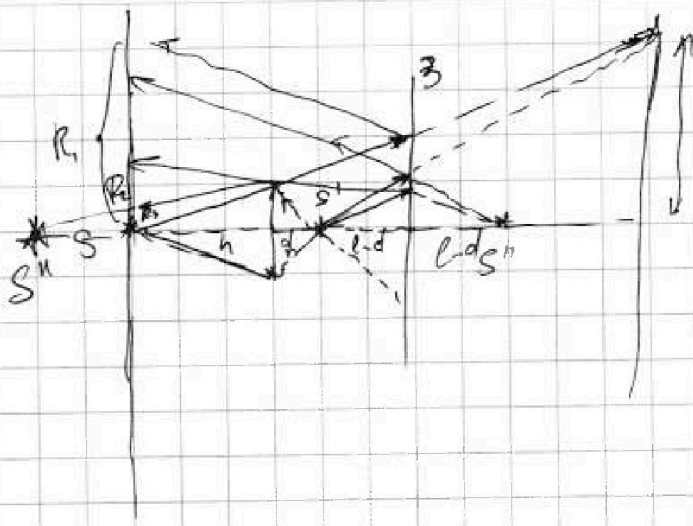
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу. Отметьте **крестиком** номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐

СТРАНИЦА 4 ИЗ 25

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)



S' - действительное изображение источника

S'' - изображение S' в зеркале

S - источник света.

R_1 - расстояние до крайнего отражённого не преломлённого от S зеркала; из подобия.

$\frac{R_1}{h} = \frac{R_1}{2(h+l)} \Rightarrow R_1 = \frac{2r(h+l)}{h} = 2r(1+\frac{l}{h}) =$

$= 2r\left(1+\frac{2}{3}\right) = \frac{10}{3}r$

R_2 - расстояние до крайнего луча преломившегося один раз через линзу и не дошедшего отразившегося от зеркала. Из подобия.

$\frac{r}{2l} = \frac{R_2}{2l+h} \quad \frac{r}{2(l-d)+d} = \frac{R_2}{h+l+l-d} \Rightarrow$

$\Rightarrow R_2 = \frac{r(h+2l-d)}{2l-d} = r\cdot\left(\frac{h+\frac{4h}{3}-\frac{h}{2}}{\frac{4h}{3}-\frac{h}{2}}\right)$

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 23 ИЗ 25

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!

$$R_2 = r\left(\frac{h}{\frac{4h}{3}-\frac{h}{2}}+1\right) = r\left(\frac{hr}{\frac{5}{6}h}\right) = \frac{6}{5}r$$

R_3 - расстояние до крайнего луча прошедшего через линзу два раза

Из формулы тонкой линзы:

$\frac{1}{F} = \frac{1}{2l-d} + \frac{1}{k}$; k - расстояние от линзы до изображения S'' сформированного линзой.

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{F} - \frac{1}{2l-d} \Rightarrow k = \frac{F(2l-d)}{2l-d-F} = \frac{\frac{h}{2}\left(\frac{4h}{3}-\frac{h}{2}\right)}{\frac{4h}{3}-\frac{h}{2}-\frac{h}{2}} =$$

$$= \frac{h}{2}\left(\frac{\frac{5}{6}h}{\frac{1}{3}h}\right) = \frac{h}{2}\cdot\frac{5h}{6}\cdot\frac{3h}{h} = \frac{15h}{12} = \frac{5h}{4}$$

Из подобия

$$\frac{R_3}{\frac{5h}{4}-h} = \frac{r}{\frac{5h}{4}} \Rightarrow R_3 = r\left(\frac{\frac{5h}{4}-h}{\frac{5h}{4}}\right) = r\left(1-\frac{4h}{5h}\right) = \frac{r}{5}$$

Площадь неосвещённой поверхности стола.

$S_{\text{осв}} = \pi R_2^2 - \pi R_3^2$

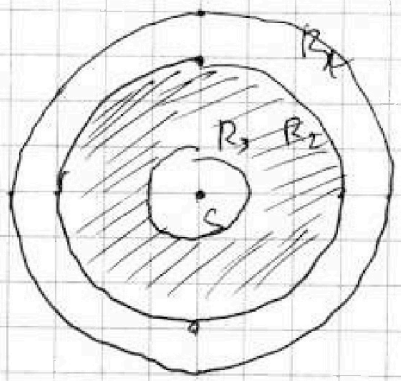
Свет на столе будет наблюдаться так

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 24 ИЗ 25

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!



$R_1 = \frac{10}{3}r$

$R_2 = \frac{6}{5}r$

$R_3 = \frac{5}{5}$

R_4 - расстояние от малого

круглого источника S!

Из подобия Δ-ков.

$$\frac{R_0}{l-d} = \frac{R_4}{l-d+h+l} \Rightarrow R_4 = R_0\left(\frac{l-d+h+l}{l-d}\right) = R_0\left(1+\frac{h+l}{l-d}\right)$$

$$R_0\left(1+\frac{h+\frac{2h}{3}}{\frac{2h}{3}-\frac{h}{2}}\right) = R_0\left(1+\frac{\frac{5}{3}h}{\frac{1}{6}h}\right) = R_0\left(1+\frac{5}{3}\cdot 6\right) = 11R_0 = \frac{11}{3}r$$

Взаимно-дифракционную зону двух не надо.

$$S_2 = \pi\left(R_2^2 - R_3^2\right) = \pi\left(\frac{36}{25}r^2 - \frac{r^2}{25}\right) = \pi\left(\frac{35}{25}r^2\right) =$$

$$= \pi\left(\frac{7}{5}r^2\right) = \pi\left(\frac{7}{5}\cdot 9\right) = \frac{63}{5}\pi \text{ см}^2 = 12{,}6\pi \text{ см}^2$$

Ответ: $S_1 = 24\pi$ см^2; $S_2 = 12{,}6\pi$ 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 ☐

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.

$$\begin{array}{r} 24 \\ \times 20 \\ \hline 480 \end{array} \qquad \begin{array}{r} {\scriptstyle 1} \\ 13 \\ \times 40 \\ \hline 520 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} {\scriptstyle 1} \\ 260 \\ \times 25 \\ \hline 130 \\ +52 \\ \hline 6500 \end{array} \qquad \begin{array}{r} {\scriptstyle 1} \\ 56 \\ \times 13 \\ \hline 168 \\ +56 \\ \hline 728 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 6500 \\ +728 \\ \hline 7228 \\ 65 \\ \hline 72 \\ 65 \\ \hline 78 \end{array} \quad \begin{array}{l} 13 \\ \hline 556 \end{array}$$

$$\frac{8}{3} - \frac{1}{2} = \frac{16}{6} - \frac{3}{6} = \frac{13}{6}$$

$$\begin{array}{r} 12 \\ \times 13 \\ \hline 36 \\ +12 \\ \hline 156 \end{array}$$

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.

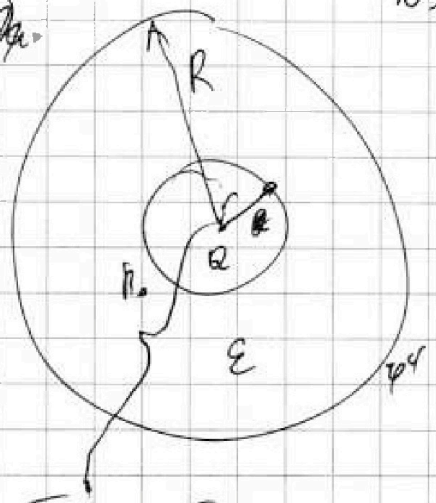
1 ☐ 2 ☐ 3 ☒ 4 ☒ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐

СТРАНИЦА 12 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!

№3

Дано:



Пусть расстояние до точки в которой потенциал $\varphi_0 = R_0$.

$\Rightarrow \varphi_0 = \frac{kq}{R_0}$; $q = Q$.

~~Пусть потенциал шара $\frac{R}{3} = 4\varphi_0 \Rightarrow$~~

~~$\Rightarrow$~~ Потенциал вблизи поверхности шара.

~~$\varphi R =$~~

Потенциал снаружи шара определяется как

$\varphi(x) = \frac{kq}{x}$

Потенциал в диэлектрике определяется.

как $\varphi(x) = \frac{kq}{R} + \frac{kq}{R/\varepsilon} - \int_R^x E(x)\,dx = -\int_R^x \frac{kq}{x\varepsilon\varepsilon_0}\,dx = -A' = -\frac{kq}{\varepsilon\varepsilon_0}\int_R^x \frac{1}{x^2}\,dx =$

$E(x) = \frac{kq}{\varepsilon x^2 \varepsilon_0}$

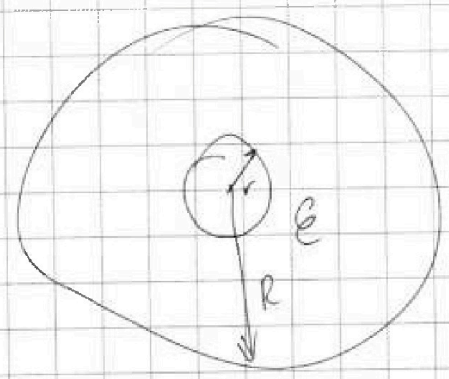
$= -\frac{kq}{\varepsilon\varepsilon_0}\left(-\frac{1}{x}\right)\Big|_R^x = -\frac{kq}{\varepsilon_0}\left(-\frac{1}{x} + \frac{1}{R}\right)$

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
☐	☐	☒	☒	☐	☐	☐

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!

N3



Потенциал снаружи шара:

$\varphi(X) = \frac{kQ}{X}$; $X > R$.

Потенциал внутри шара слой диэлектрика

$\varphi(X) = \frac{kq}{R} + \int_R^X E(x)dx$

$\varphi(X) = -\int_\infty^R \frac{kq}{x^2}dx - \int_R^X \frac{kq}{\varepsilon x^2}dx = -\frac{kq}{\varepsilon}\left(-\frac{1}{R} + \frac{1}{\infty}\right) -$

$-\frac{kq}{\varepsilon}\left(-\frac{1}{x} + R\right) = \frac{kq}{R} + \frac{kq}{\varepsilon x} - \frac{kq}{\varepsilon R}$

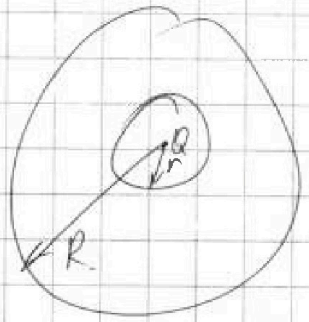
$\varphi\left(\frac{R}{4}\right) = \frac{kq}{R} + \frac{4kq}{\varepsilon R} - \frac{kq}{\varepsilon R} = \frac{kq}{R} + \frac{3kq}{\varepsilon R} = \frac{kq}{R}\left(\frac{\varepsilon+3}{\varepsilon}\right)$

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
☐	☐	☒	☒	☐	☐	☐

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!

№4.

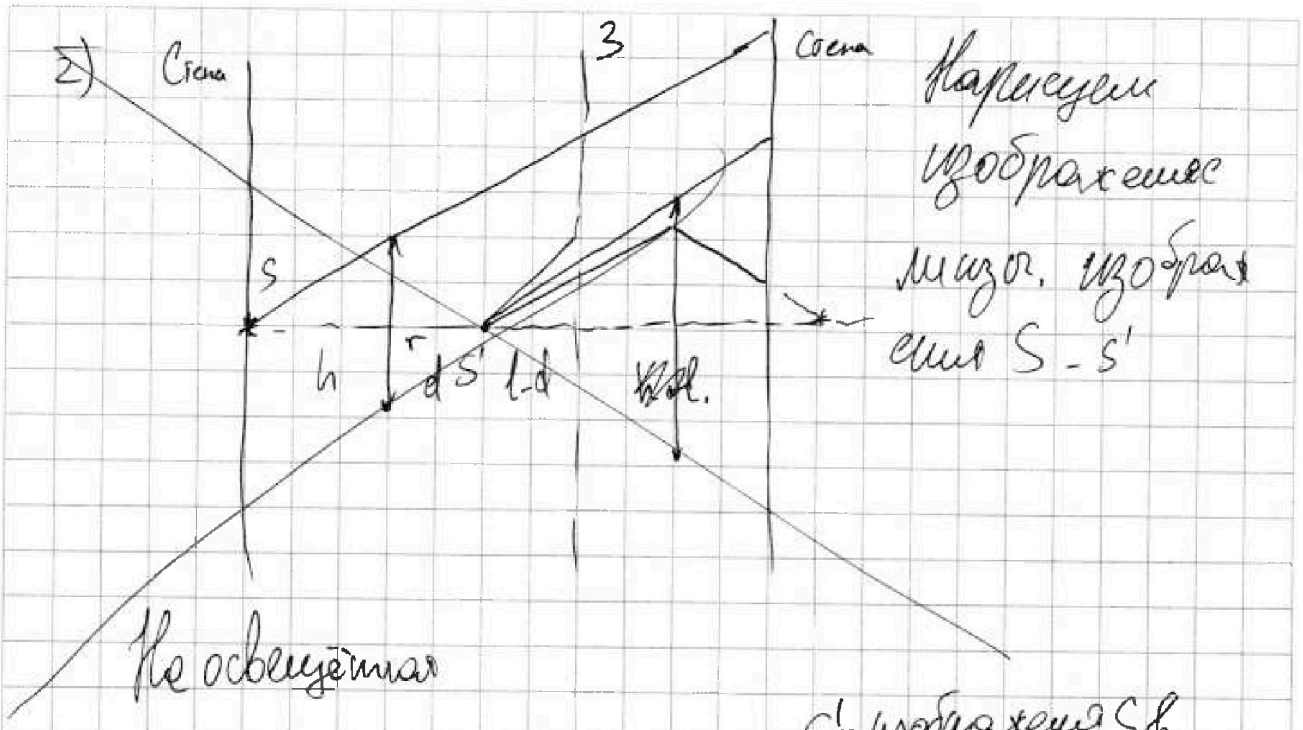


На одной странице можно оформлять **только одну** задачу. Отметьте **крестиком** номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☐	☒	☒	☒

СТРАНИЦА 22 ИЗ 25

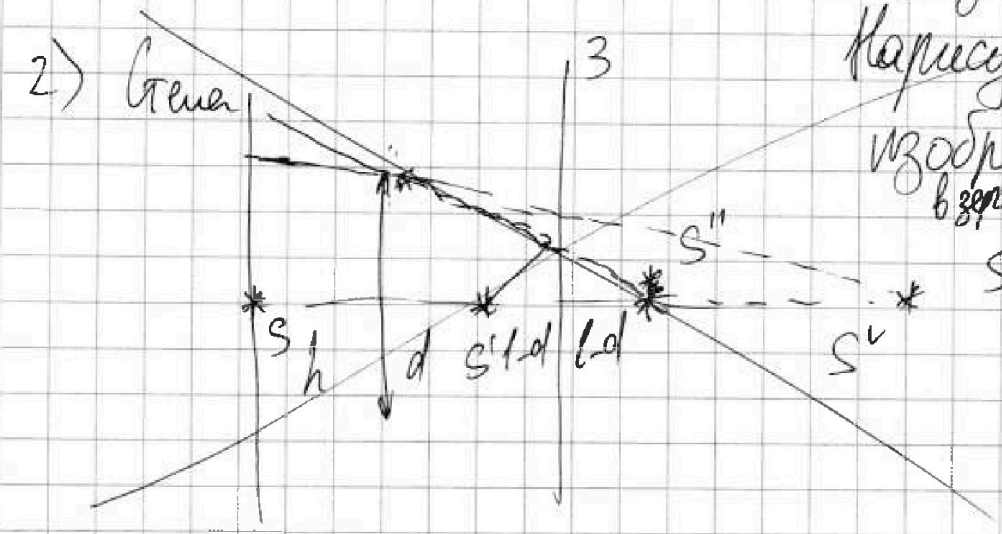
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. **Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно.** Порча QR-кода недопустима!



Нарисуем изображение мнимое. изображения S - S'

Не освещённая

S' изображения S в линзе



Нарисуем мнимое изображение изображения S' в зеркале

S''' - изображение источника в зеркале

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!

1) $\varphi\left(\frac{R}{4}\right) = \frac{kq}{R} - \frac{kq}{\varepsilon R} + \frac{kq}{\varepsilon \frac{R}{4}} = \frac{kq}{R} - \frac{kq}{\varepsilon R} + \frac{4kq}{\varepsilon R}$

$\frac{kq}{R} + \frac{3kq}{\varepsilon R} = \frac{\varepsilon kq + 3kq}{\varepsilon R} = \frac{kq(\varepsilon+3)}{\varepsilon R} = \frac{kQ(\varepsilon+3)}{\varepsilon R}$

2) $3\varphi_0 = \varphi\left(\frac{2R}{3}\right) = \frac{kq}{R} - \frac{kq}{\varepsilon R} + \frac{kq}{\varepsilon 2R} 3 =$

$= \frac{3kq}{2R\varepsilon} + \frac{kq}{R} - \frac{kq}{\varepsilon R} = \frac{kq}{2\varepsilon R} + \frac{kq}{R} = kq\left(\frac{kq}{2\varepsilon R} + \frac{2\varepsilon kq}{2\varepsilon R}\right) = \frac{kR(2\varepsilon+1)}{2\varepsilon R}$

$4\varphi_0 = \varphi\left(\frac{R}{3}\right) = \frac{kq}{R} - \frac{kq}{\varepsilon R} + \frac{kq}{\varepsilon \frac{R}{3}} = \frac{kq}{R} - \frac{kq}{\varepsilon R} + \frac{3kq}{\varepsilon R} =$

$= \frac{kq}{R} + \frac{2kq}{\varepsilon R} = \frac{\varepsilon kq + 2kq}{\varepsilon R} = \frac{kq}{\varepsilon R}(\varepsilon+2) = \frac{kQ}{\varepsilon R}(\varepsilon+2)$

$\Rightarrow \varphi_0 = \frac{kQ(2\varepsilon+1)}{6\varepsilon R} = \frac{kQ}{4\varepsilon R}(\varepsilon+2) \Rightarrow$

$\Rightarrow \frac{2\varepsilon+1}{6} = \frac{\varepsilon+2}{4} \Rightarrow \frac{2\varepsilon+1}{3} = \frac{\varepsilon+2}{2} \Rightarrow$

$\Rightarrow 4\varepsilon + 2 = 3\varepsilon + 6 \Rightarrow \boxed{\varepsilon = 4}$

Ответ: 1) $\frac{kQ(\varepsilon+3)}{\varepsilon R}$ 2) $\varepsilon = 4$.

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 __ 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!

Потенциал снаружи шара

$$\varphi(x) = \frac{kq}{x};\ x > R_1$$

Потенциал внутри диэлектра

$$\varphi(x) = \frac{kq}{R} + \int_{R_2}^{x} E(x)dx;\ E(x) = \frac{kq}{\varepsilon x^2}$$

$$\varphi(x) = \frac{kq}{R} + \int_{R}^{x} \frac{kq}{\varepsilon x^2}dx = \frac{kq}{R}\left(\frac{kq}{R} + -\frac{kq}{\varepsilon}\int_{R}^{x}\frac{1}{x^2}dx\right) =$$

$$= \frac{kq}{R} + \frac{kq}{\varepsilon}\left(-\frac{1}{x} + \frac{1}{R}\right) = \frac{kq}{R} + \frac{kq}{\varepsilon x} + \frac{kq}{R} =$$

$$= \frac{2kq}{R} + \frac{kq}{\varepsilon x}\ (r < x < R)$$

$$\frac{2kq}{R} - \frac{kq}{\varepsilon x}$$

$$\varphi(x) = -\int_{\infty}^{R}\frac{kq}{x^2}dx - \int_{R}^{x}\frac{kq}{\varepsilon x^2}dx =$$

$$= -kq\left(-\frac{1}{R} + \frac{1}{\infty}\right) - \frac{kq}{\varepsilon}\left(-\frac{1}{x} + \frac{1}{R}\right) =$$

$$= \frac{kq}{R} + \frac{kq}{\varepsilon x} - \frac{kq}{\varepsilon R} = \frac{kq}{R} - \frac{kq}{\varepsilon R} + \frac{kq}{\varepsilon x};\ r < x < R.$$

Из графика для точки φ_0

$$\varphi_0 = \frac{kq}{R} = \frac{3kq}{\varepsilon R} + \frac{kq}{\varepsilon}$$

$$\varphi_0 = \frac{kq}{R} - \frac{kq}{\varepsilon R} + \frac{2kq}{\varepsilon R} = \frac{kq}{R} + \frac{2kq}{\varepsilon R} = \frac{4kq}{R_0}$$