



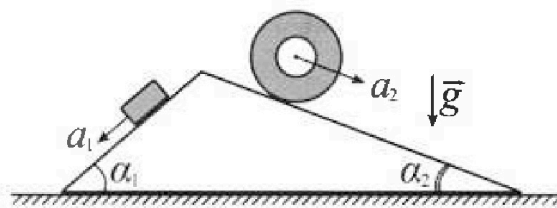
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2024

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 α_1 ($\sin \alpha_1 = 3/5$, $\cos \alpha_1 = 4/5$) и α_2 ($\sin \alpha_2 = 5/13$, $\cos \alpha_2 = 12/13$). Направления всех движений лежат в одной вертикальной плоскости.

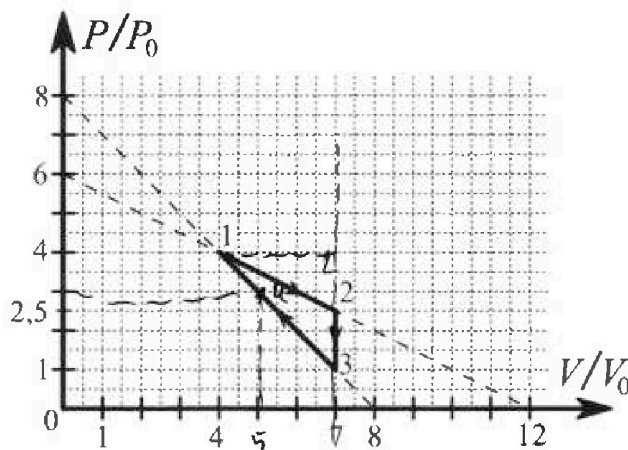


- 1) Найти силу трения F_1 между бруском и клином.
- 2) Найти силу трения F_2 между цилиндром и клином.
- 3) Найти силу трения F_3 между столом и клином.

Каждый ответ выразить через m и g с ч 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.

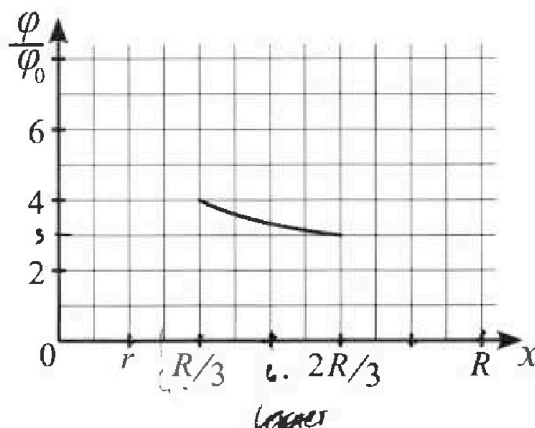
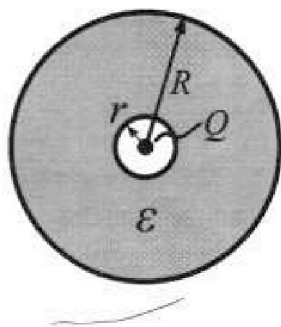
- 1) Найдите отношение модуля приращения внутренней энергии газа в процессе 2-3 к работе газа за цикл.
- 2) Найдите отношение максимальной температуры газа в процессе 1-2 к температуре газа в состоянии 1.
- 3) Найдите КПД цикла.



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 .



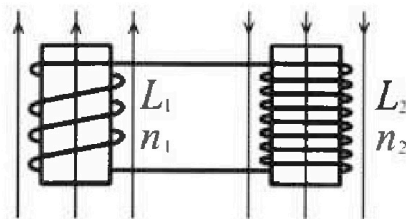
Олимпиада «Физтех» по физике,
февраль 2024

Вариант 11-01

В ответах всех задач допустимы обыкновенные дроби
и радикалы.

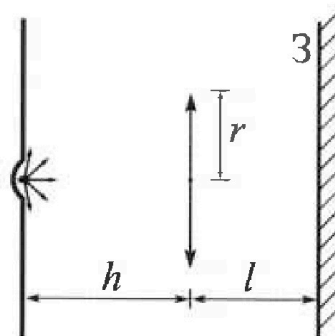


4. Две катушки с индуктивностями $L_1 = L$ и $L_2 = 4L$ и числами витков $n_1 = n$ и $n_2 = 2n$ помещены во внешние однородные магнитные поля с постоянными во времени индукциями (см. рис.). Площадь витка каждой катушки S . Индукции внешних полей направлены перпендикулярно плоскостям витков катушек. Катушки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



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

1 ☒ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐

СТРАНИЦА
1 ИЗ 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!

N1.

Дано:

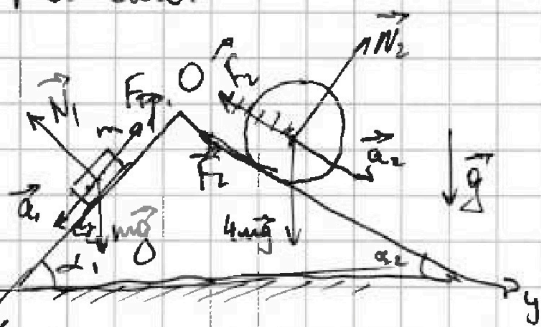
$$a_2 = \frac{5g}{24}$$

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

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

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

Решение:



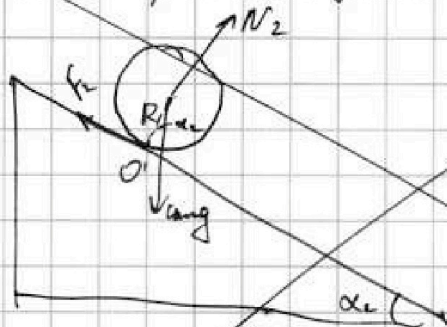
1) По 2-ому закону Ньютона:

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

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

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

2) Рассмотрим отдельно второй цилиндр



Угол γ тоже ускорение
при повороте от точки O

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

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

$$\Rightarrow \beta =$$

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



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.

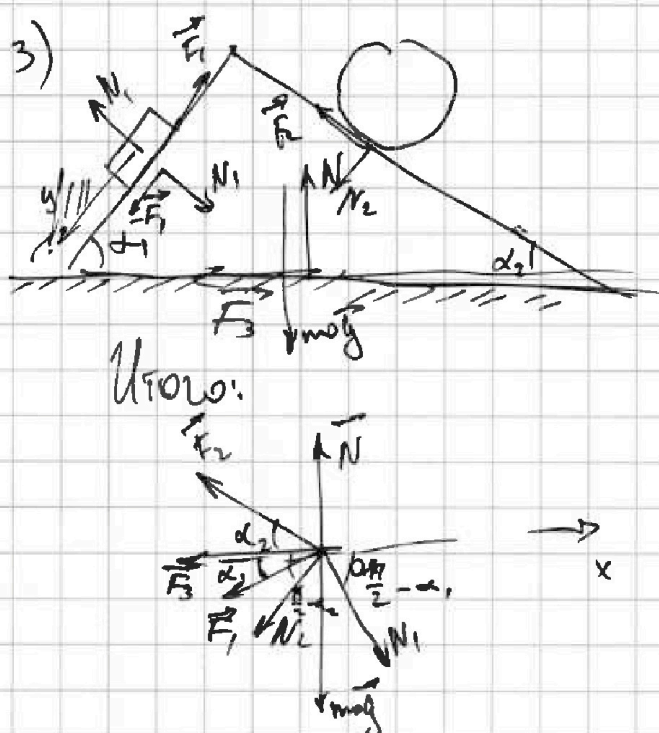
1 ☒ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐

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. противоположна с ускорением a_1 .

$$F_2 = \frac{5mg}{3g}$$



т.к. клин неподвижен,
то $\sum \vec{F}_i = 0$
то - масса клина.

Запишем равенства на $O''x$:

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

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

$N_1 = N_1 = mg \cos \alpha_1$ - т.к. тело m вдоль оси не отрываемся
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 ☐

СТРАНИЦА
5 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!

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

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

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

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

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

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

$$\frac{mg}{13} \left(\frac{6500 + 220}{25 \cdot 13} \right) - \frac{12mg}{25} = -F_3$$

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

$$\frac{mg 556 - 156mg}{13 \cdot 25} = -F_3$$

$$\frac{400mg}{25 \cdot 13} = -F_3$$

$$\frac{16}{13} mg = -F_3 \Rightarrow F_3 = -\frac{16}{13} mg \Rightarrow \text{сила направлена}$$

$$\text{вправо, а не влево и } F_3 = \frac{16}{13} mg$$

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



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!

N2.

Дано:

$\nu = 3$ -
количество
степеней
свободы

Решение:

1) Точка 2 (7; 3,5)

Точка 3 (7; 1)

Точка 1 (4; 4)

T - максимальная

температура в процессе

$1 \rightarrow 2$.

1) $|\Delta U_{23}|$ - ?

2) $\frac{A_{\text{температура}}}{T_1}$ - ?

3) η - ?

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

$$V_2 = 7 V_0$$

$$\Delta U_{23} = \frac{3}{2} \left(7 p_0 V_0 - \frac{35}{2} p_0 V_0 \right)$$

$$p_3 = p_0$$

$$V_3 = 7 V_0$$

$$\Delta U_{23} = \frac{3}{2} \left(\frac{(14 - 35) p_0 V_0}{2} \right)$$

$$= \frac{3}{2} \left(-\frac{21}{2} p_0 V_0 \right) = -\frac{63}{4} p_0 V_0$$

A - работа газа, численно равна площади p - V диаграммы $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3$, помноженная на $p_0 V_0$.

$$A = \frac{1}{2} (7 - 4) (3,5 - 1) p_0 V_0 = \frac{1}{2} \cdot 3 \cdot \frac{3}{2} = \frac{9}{4} p_0 V_0$$

$$\left| \frac{\Delta U_{23}}{A} \right| = \frac{\frac{63}{4} p_0 V_0}{\frac{9}{4} p_0 V_0} \cdot \frac{4}{3 p_0 V_0} = 2.$$

2) η - 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!

упр. $4V_0 = 2RT_1$; 2-кон-во газа.

$$16p_0V_0 = 2RT_1$$

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

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

$b = 6p_0$ - из графики.

~~$p(8V_0)$~~

$$p(2V_0) = 0 \Rightarrow a \cdot 2V_0 + 6p_0 = 0 \Rightarrow$$

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

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

$$p(V) \cdot V = 2RT \Rightarrow T = \frac{p(V) \cdot V}{2R} \Rightarrow T_{\text{max}} = T'_{\text{max}} \text{ из } p(V) \cdot V$$

-max

$$T = \frac{-\frac{p_0}{2V_0} \cdot V^2 + 6p_0V}{2R} \Rightarrow 2RT = -\frac{p_0V^2}{2V_0} + 6p_0V - \text{это параб.}$$

в верш. вшз.

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

$-6V_0$.

$$\Rightarrow 2RT' = -\frac{p_0}{2V_0} \cdot 36V_0^2 + 6p_0 \cdot 6V_0$$

$$\Rightarrow 2RT' = -18p_0V_0 + 36p_0V_0 = 18p_0V_0 \Rightarrow$$



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 ☐

СТРАНИЦА
8 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!

$$\begin{aligned} \nu R T' &= 18 p_0 V_0 \\ \nu R T_1 &= 16 p_0 V_0 \end{aligned} \Rightarrow \frac{T'}{T_1} = \frac{18 p_0 V_0}{16 p_0 V_0} = \frac{18}{16} = \frac{9}{8}$$

3) В процессе $2 \rightarrow 3$ газ отдаёт тепло, а в процессах $1 \rightarrow 2$ и $3 \rightarrow 1$ на каких-то участках получает затем отдаёт

По первому началу Термодинамики

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

Рассмотрим процесс $1 \rightarrow 2$.

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

по Менделееву-Клапейрову

$pV = \nu R T$, про дифференцируем это уравн

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

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

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

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



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
9 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!

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

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

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

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

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

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

$V < 7,5V_0 \Rightarrow$ из на всем участке $1 \rightarrow 2$
выполняется, т.к. $7V_0 < 7,5V_0$

$$Q_{12} = \Delta U_{12} + A_{12} = \frac{3}{2} \left(\frac{35p_0 V_0}{2} - 16p_0 V_0 \right) = \frac{3}{2} \cdot \frac{3}{2} p_0 V_0$$

$$= \frac{9}{4} p_0 V_0$$

Уравнение p(V) для процесса $1 \rightarrow 3$

$$b = 8p_0$$

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

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 ☐

СТРАНИЦА
10 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!

$$5 \left(-\frac{p_0}{v_0} V + 8p_0 \right) + 3V \cdot \left(-\frac{p_0}{v_0} \right) > 0$$

$$40p_0 - \frac{5p_0 V}{v_0} - \frac{3V p_0}{v_0} > 0$$

$$40p_0 - \frac{8V p_0}{v_0} > 0 \quad | : 8p_0$$

$$5 - \frac{V}{v_0} > 0$$

$$\frac{V}{v_0} < 5$$

$$V < 5v_0$$

$$\text{или } 5v_0 \quad p = 3p_0$$

$$Q_{13}^+ = \frac{3}{2} (16p_0 v_0 - 15p_0 v_0) - \frac{1}{2} (v_0) (7p_0)$$

на сепараторе

$$dQ = 5p dV + 3V dp > 0 \quad | : dV < 0, \text{ т.е. раз измерен}$$

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

$$5 \left(-\frac{p_0}{v_0} V + 8p_0 \right) + 3V \cdot \left(-\frac{p_0}{v_0} \right) < 0$$

$$40p_0 - \frac{5p_0 V}{v_0} - \frac{3V p_0}{v_0} < 0 \quad | : 8p_0$$

$$V > 5v_0 \quad \text{точки с координатами } 5v_0; 3p_0$$

$$Q_{31}^+ = \Delta U_{31} + A_{31}$$

$$Q_{31}^+ = Q_{34} = \Delta U_{34} + A_{34} = \frac{3}{2} \left(\frac{15p_0 v_0}{2} - 7p_0 v_0 \right) - \frac{1}{2} 2v_0 \cdot (3p_0 + p_0)$$



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!

$$Q_{34} = +12\rho_0 V_0 - 4\rho_0 V_0 = 8\rho_0 V_0.$$

$$\eta = \frac{A}{Q_{34} + Q_{12}} = \frac{\frac{9}{4}\rho_0 V_0}{\frac{9}{4}\rho_0 V_0 + 8\rho_0 V_0} = \frac{\frac{9}{4}}{\frac{9}{4} + 8} = \frac{9}{9 + 32} = \frac{9}{41}$$

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



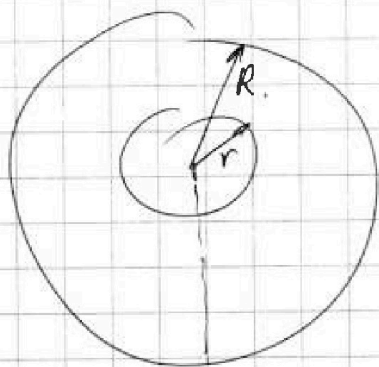
На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐

СТРАНИЦА
15 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!

№3.



1) Потенциал сферы

наружи шара

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

Потенциал внутри шара

сфера гравитационная

$$\begin{aligned} \varphi(x) &= - \int \frac{kQ}{x^2} dx - \int \frac{kQ}{\varepsilon x^2} dx = -kQ \left(-\frac{1}{x} + \frac{1}{\varepsilon x} \right) \\ &= \frac{kQ}{x} - \frac{kQ}{\varepsilon x} = \frac{kQ}{x} + \frac{kQ}{\varepsilon x} - \frac{kQ}{\varepsilon x} \\ \varphi\left(\frac{R}{\varepsilon}\right) &= \frac{kQ}{R} + \frac{4kQ}{\varepsilon R} - \frac{kQ}{\varepsilon R} = \frac{kQ}{R} + \frac{3kQ}{\varepsilon R} \\ &= \frac{kQ}{R} \left(\frac{\varepsilon+3}{\varepsilon} \right); \text{ т.к. } Rr = \frac{R}{\varepsilon} - \text{из графика, а } \frac{R}{\varepsilon} > \frac{R}{6}. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2) \quad 4\varphi_0 &= \varphi\left(\frac{R}{3}\right) = \frac{kQ}{R} + \frac{3kQ}{\varepsilon R} - \frac{kQ}{\varepsilon R} = \frac{kQ}{R} + \frac{2kQ}{\varepsilon R} \\ &= \frac{kQ}{R} \left(\frac{\varepsilon+2}{\varepsilon} \right) \Rightarrow \varphi_0 = \frac{kQ}{4R} \left(\frac{\varepsilon+2}{\varepsilon} \right) \end{aligned}$$

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

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



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
☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐

СТРАНИЦА
16 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!

$$\Rightarrow \frac{\cancel{KQ}}{3R} \left(\frac{2\varepsilon+1}{2\varepsilon} \right) = \frac{\cancel{KQ}}{4R} \left(\frac{\varepsilon+2}{\varepsilon} \right)$$

$$\begin{aligned} \text{Числитель} &= \frac{R}{3} \\ \text{знаменатель} &= \frac{R}{12} \\ r &= \frac{R}{6} \end{aligned}$$

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

$$\Rightarrow 2\varepsilon = 8 \Rightarrow \varepsilon = 4$$

$$\text{Ответ: } 1) \varphi\left(\frac{R}{4}\right) = \frac{\cancel{KQ}}{R} \left(\frac{\varepsilon+3}{\varepsilon} \right) \quad 2) \varepsilon = 4$$



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
☒

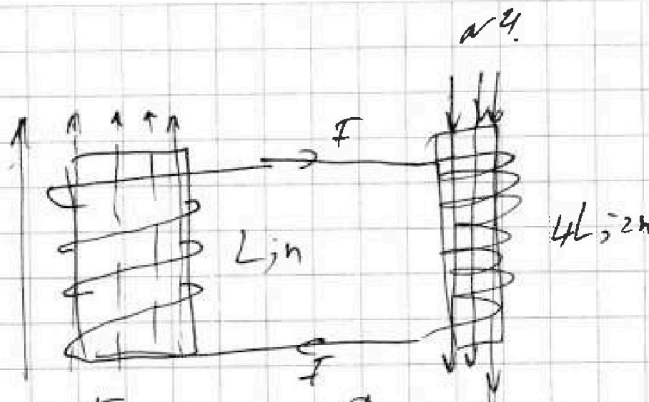
5
☐

6
☐

7
☐

СТРАНИЦА
- 17 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:

$$1) \Phi' \rightarrow \mathcal{E}_i = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = - \frac{\Delta (N B S)}{\Delta t} = - \frac{N S \Delta B}{\Delta t} = - N S \alpha$$

$$\Phi = L I_0 \Rightarrow \Phi' = L I_0'$$

$$\Rightarrow L I_0' = N S \alpha \Rightarrow I_0' = \frac{N S \alpha}{L}$$

2) П.и. на катушке на катушках равен в любой момент, т.е.:

$$\frac{\Delta \Phi_1}{\Delta t} = \frac{\Delta \Phi_2}{\Delta t} \Rightarrow \Delta \Phi_1 = \Delta \Phi_2 \Rightarrow \frac{B_0}{2} \cdot 4n \cdot S - B_0 n S = \frac{2B_0}{3} \cdot 4n \cdot S - \frac{B_0}{2} \cdot 4n \cdot S$$
$$\frac{B_0 n S}{2} = \frac{8}{3} B_0 n S - 8 B_0 n S$$



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
18 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!

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

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



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

$$\Delta\Phi_1 = \Delta\Phi_1^{in} + \Delta\Phi_1^{out}, \Delta\Phi_2 = \Delta\Phi_2^{in} + \Delta\Phi_2^{out}$$

$\Delta\Phi_1^{in}$ - поток создаваемого током, $\Delta\Phi_1^{out}$ - поток создаваемый внешним маг. полем.

~~$\Delta\Phi_1$~~

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

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

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

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

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

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

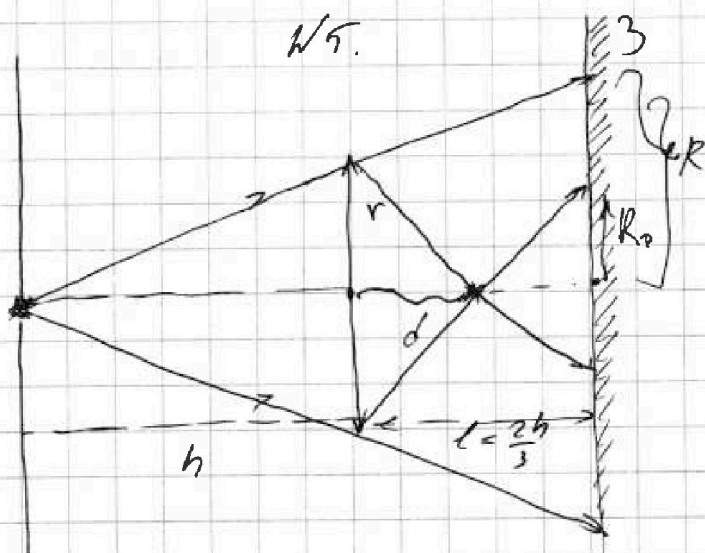
Ответы: 1) $I_0 \cdot \frac{n S a}{L}$ 2) $I = \frac{13}{18} \frac{B_0 n S}{L}$



1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☒ 6 ☐ 7 ☐

СТРАНИЦА
13 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:
 $F = \frac{h}{2}$
 $r = 3 \text{ см.}$
 $l = \frac{2h}{3}$

1) Из формулы тонкой линзы.

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

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

R - радиус зонта в которую не попадает свет,

r - радиус зонта через линзу; R_0 - радиус зонта в которую попадает свет от предмета линзы.

Из подобия Δ -мн.

$$\frac{R}{R_0} = \frac{h}{l} \Rightarrow R = \frac{r \cdot h}{l} = \frac{r \cdot \frac{2h}{3}}{h} = \frac{2}{3} r$$

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



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!

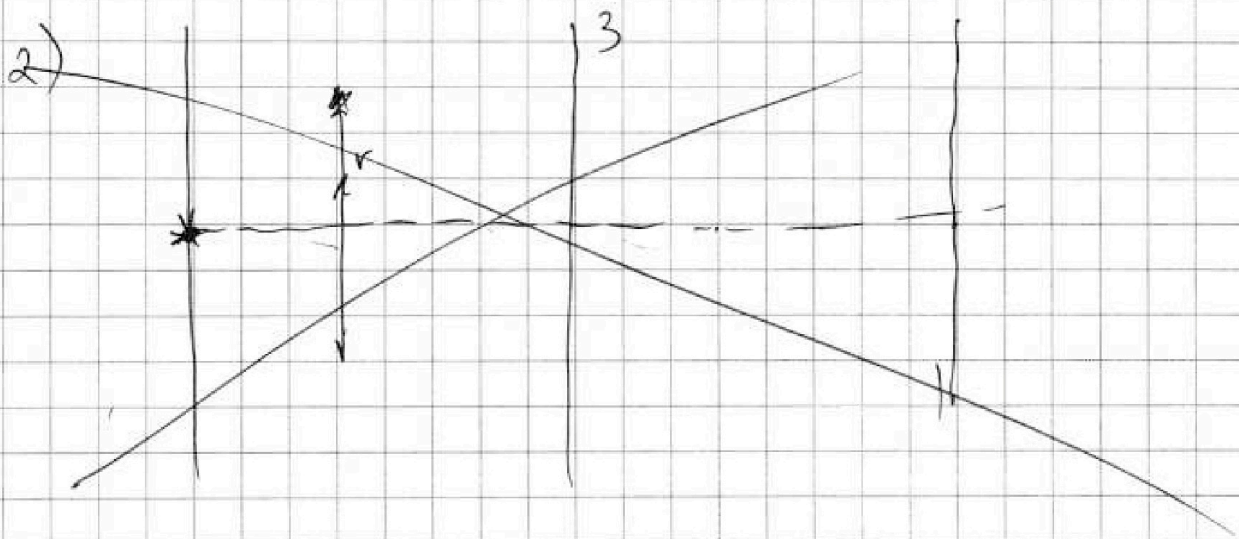
Из подобия Δ -шмов для света проходящего
через линзу

$$\frac{R_0}{1-d} = \frac{r}{d} \Rightarrow R_0 = \frac{r(1-d)}{d} = r\left(\frac{1}{d} - 1\right) =$$
$$= r\left(\frac{\frac{24}{3}}{\frac{1}{2}} - 1\right) = \frac{r}{3}$$

Площадь не освещенной зоны зеркала

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

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



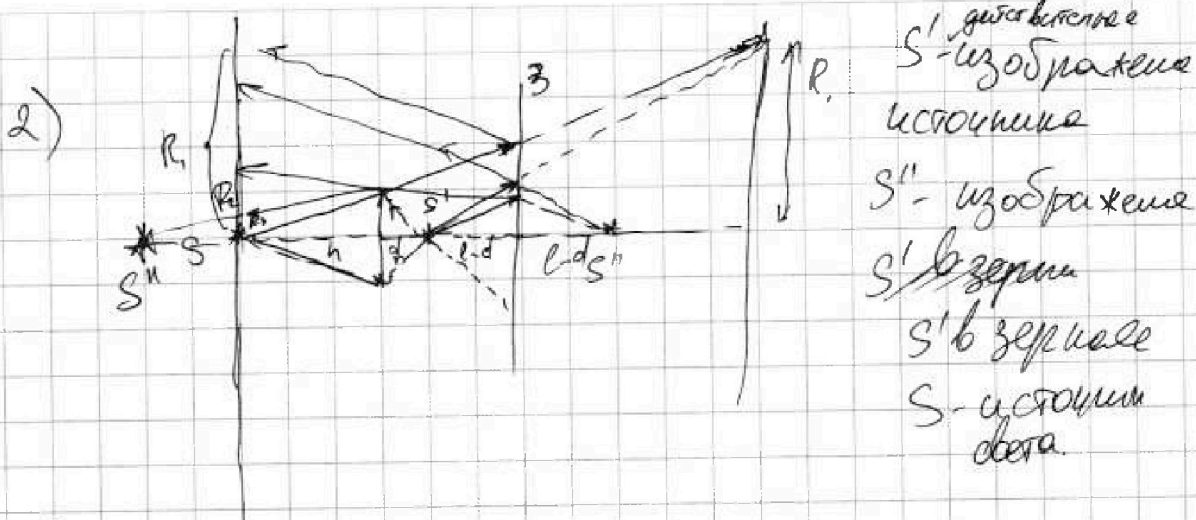


На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

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!



R_1 - расстояние до крайнего отражённого на предметном зеркале, из подобия.

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

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

R_2 - расстояние до крайнего луча предметного один раз через линзу и до предмета образованного от зеркала. из подобия.

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



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!

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

R_3 - расстояние до крайнего луча ~~на~~ прошедшего
через линзу двукратного

из формулы тонкой линзы:

$\frac{1}{F} = \frac{1}{2l-d} + \frac{1}{K}$; K - расстояние от линзы до изображения
 S'' формы равного ширины.

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

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

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 освещенной поверхности ~~на~~ стене.

$$S_{\text{осв}} = \pi R_3^2 = \pi \left(\frac{r}{5} \right)^2$$

Ответ на стене будет выглядеть так

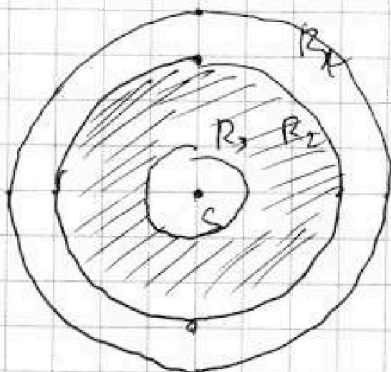


На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

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 центра

крайнего луча источника S

Из подобия Δ -шников.

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

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

Взаимных фотонных зон не нагреть.

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

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

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



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
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!

Черновики

$$\begin{array}{r} 24 \\ \times 20 \\ \hline 480 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 1 \\ 13 \\ \times 40 \\ \hline 520 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 3 \\ 260 \\ \times 25 \\ \hline 130 \\ + 52 \\ \hline 6500 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 1 \\ 56 \\ \times 13 \\ \hline 168 \\ + 56 \\ \hline 728 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} + 6500 \\ + 728 \\ \hline 7228 \end{array} \quad \begin{array}{r} 13 \\ 1556 \\ \hline 65 \\ 72 \\ \hline 65 \\ 78 \end{array}$$

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

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

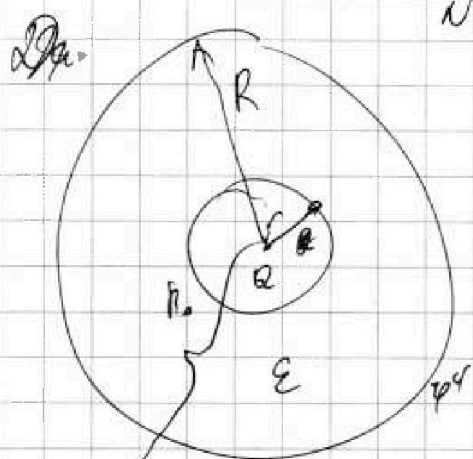


На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

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!



Пусть расстояние
до точки второй
потенциал $\varphi_0 - R_0$:

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

~~Пусть потенциал при $r=R_0$ — φ_0 ⇒~~

~~Потенциал вблизи поверхности шара.~~

~~$\varphi_0 =$~~

~~Потенциал снаружи шара определяется как~~
 ~~$\varphi(x) = \frac{kq}{x}$~~

~~Потенциал в области шара определяется.~~

~~как $\frac{kq}{R} + \frac{kq}{R_0}$~~

$$\varphi(x) = \frac{kq}{R_0} + \int_R^x E(x) dx = \frac{kq}{R_0} - \int_R^x \frac{kq}{x^2 \epsilon_0} dx = \frac{kq}{R_0} - \frac{kq}{\epsilon_0} \int_R^x \frac{1}{x^2} dx =$$

~~$E(x) = \frac{kq}{\epsilon_0 x^2}$~~

$$= \frac{kq}{\epsilon_0} \left(-\frac{1}{x} \right) \Big|_R^x = \frac{kq}{\epsilon_0} \left(-\frac{1}{x} + \frac{1}{R} \right)$$



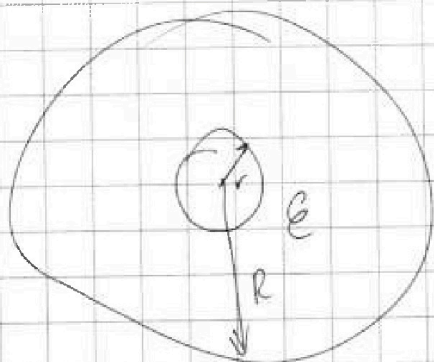
На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

1 ☐ 2 ☐ 3 ☒ 4 ☒ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐

СТРАНИЦА
13 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!

N3



Потенциал снаружи

шара:

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

Потенциал внутри

шара с диэлектриком

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

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

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

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



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
☐

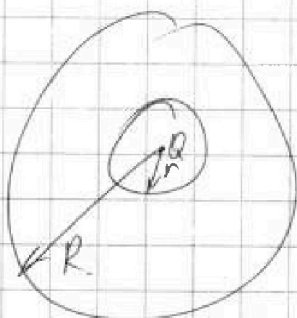
6
☐

7
☐

СТРАНИЦА
14 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!

№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
☐

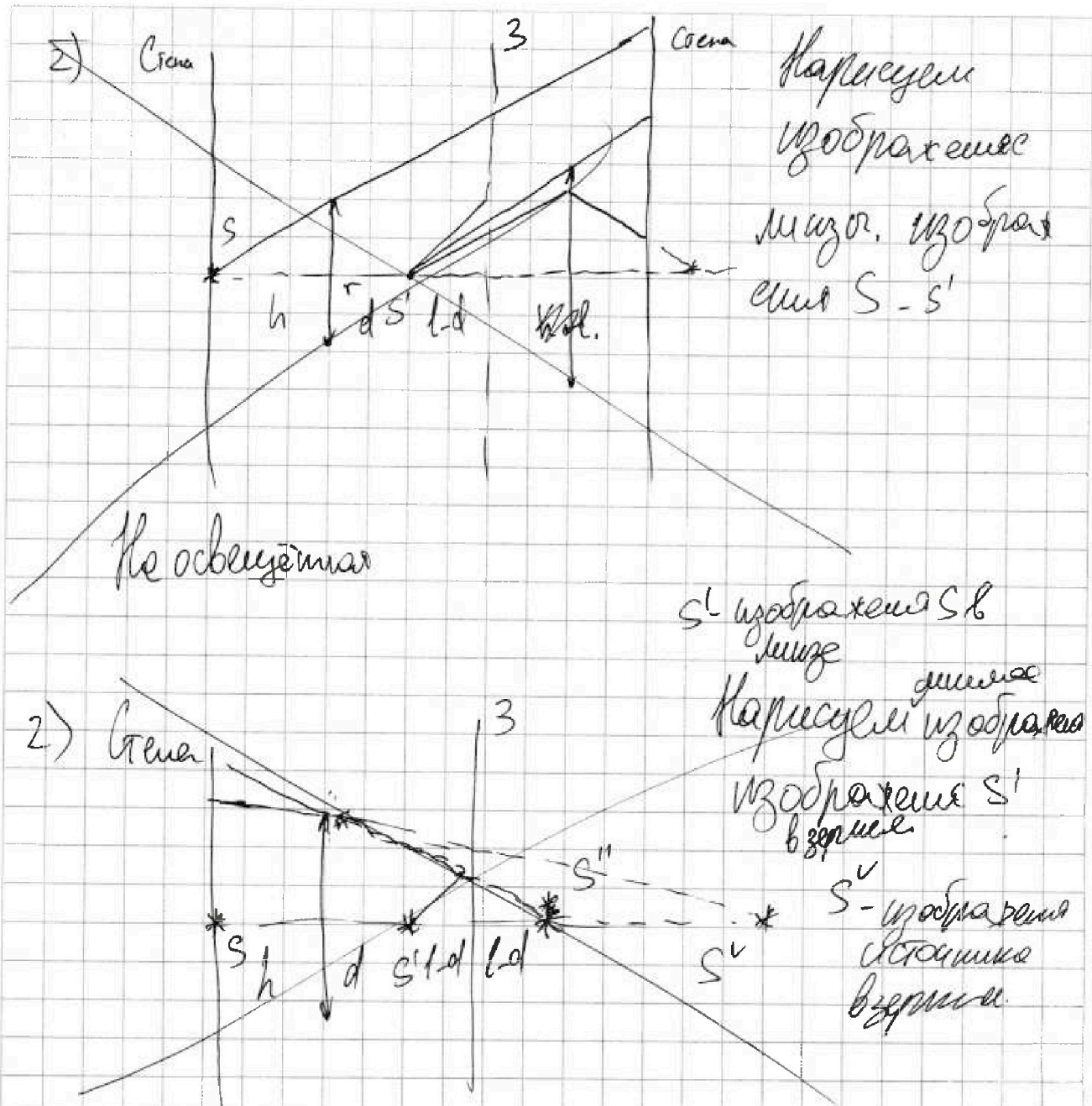
5
☒

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!





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
25 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!

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Потенциал внутри газетрета

$$\varphi(x) = \frac{kq}{R} + \int_R^x E(x) dx; E(x) = \frac{kq}{\epsilon x^2}$$

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

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

$$= \frac{2kq}{R} + \frac{kq}{\epsilon x} \quad (R < x < R)$$

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

$$\varphi(x) = - \int \frac{kq}{x^2} dx - \int_R^x \frac{kq}{\epsilon x^2} dx =$$

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

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

Из графика для точки φ_0

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

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