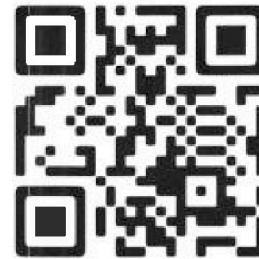




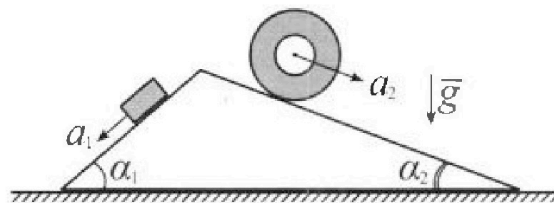
# Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2024

## Вариант 11-03



В ответах всех задач допустимы обыкновенные дроби и радикалы.

1. С клина, находящегося на шероховатом горизонтальном столе, соскальзывает брусок массой  $m$  с ускорением  $a_1 = 6g/13$  и скатывается без проскальзывания полый цилиндр массой  $2m$  с ускорением  $a_2 = g/4$  (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.

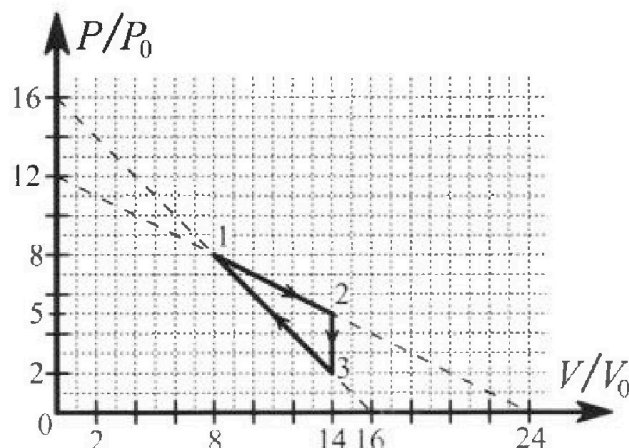


- 1) Найти силу трения  $F_1$  между бруском и клином.
- 2) Найти силу трения  $F_2$  между цилиндром и клином.
- 3) Найти силу трения  $F_3$  между столом и клином.

Каждый ответ вы разить 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.

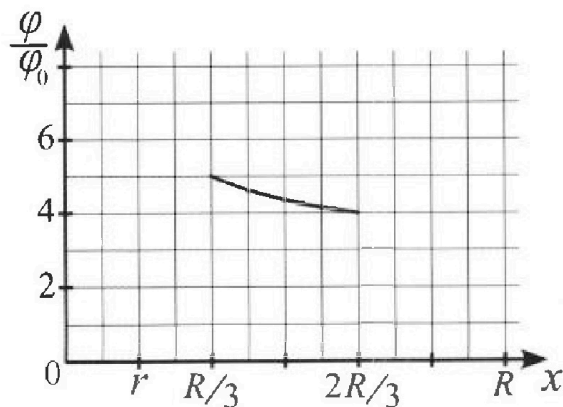
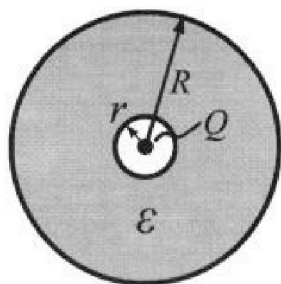
- 1) Найдите отношение модуля приращения внутренней энергии газа в процессе 1-2 к работе газа за цикл.
- 2) Найдите отношение максимальной температуры газа в процессе 1-2 к температуре газа в состоянии 3.
- 3) Найдите КПД цикла.



Ответы выразите числом в виде обыкновенной дроби или целого числа.

3. В центре полого шара с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon$  и радиусами поверхностей  $r$  и  $R$  находится шарик с зарядом  $Q$  (см. рис.). Известна графическая зависимость потенциала  $\phi$  электрического поля внутри диэлектрика от расстояния  $x$  от центра полого шара в интервале изменений  $x$  от  $R/3$  до  $2R/3$  (см. рис.). Здесь  $\phi_0$  — потенциал в некоторой точке вне шара. Потенциал в бесконечно удаленной точке принят равным нулю.

- 1) Считая известными  $r$ ,  $R$ ,  $Q$ ,  $\epsilon$ , найти аналитическое выражение (в виде формулы) для потенциала внутри диэлектрика при  $x = 5R/6$ .
- 2) Используя график, найти численное значение  $\epsilon$ .





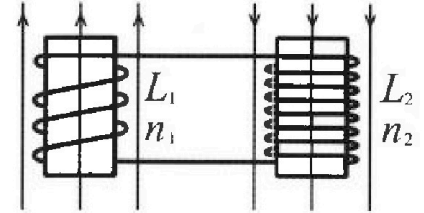
Олимпиада «Физтех» по физике,  
февраль 2024

Вариант 11-03

В ответах всех задач допустимы обыкновенные дроби  
и радикалы.

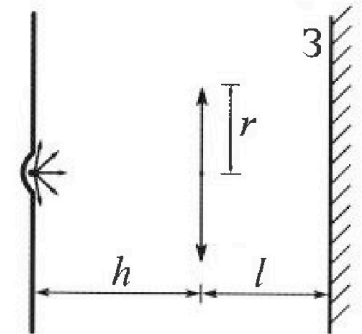


4. Две катушки с индуктивностями  $L_1 = L$  и  $L_2 = 16L$  и числами витков  $n_1 = n$  и  $n_2 = 4n$  помещены во внешние однородные магнитные поля с постоянными во времени индукциями (см. рис.). Площадь витка каждой катушки  $S$ . Индукции внешних полей направлены перпендикулярно плоскостям витков 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 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  $B_0/3$ , не изменив направления, а в катушке с индуктивностью  $L_2$  индукция внешнего поля уменьшилась от  $3B_0$  до  $9B_0/4$ , 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  $F = h/3$ . Главная оптическая ось линзы горизонтальна и проходит через лампочку. Радиус линзы  $r = 5$  см. Справа от линзы на расстоянии  $l = 2h/3$  расположено параллельно стене плоское зеркало  $Z$ . 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  $[см^2]$  в виде  $\gamma\pi$ , где  $\gamma$  - 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

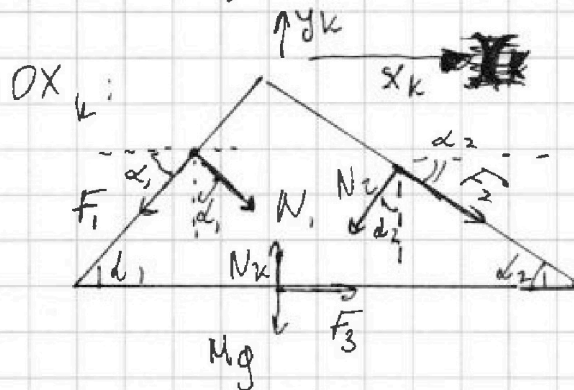
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!



Пусть  $Mg$  - сила тяжести действующая на клин  
 $N_k$  - сила реакции  
 $F_{\text{эле опоры}}$  действующая со стороны стола  
 $Ox_k$  ось вдоль верха стола  
 $Oy_k$  - поперек

2<sup>й</sup> 3. К. где клин:

Пусть  $F_3$  направлена вправо  
 $Ox_k$  - ось вдоль верха стола  
 $Oy_k$  - поперек



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

$$F_3 = \frac{9}{65} mg \cdot \frac{4}{5} + 2mg \cdot \frac{5 \cdot \frac{12}{13}}{13} - \frac{4}{26} mg \cdot \frac{12}{13}$$

$$- mg \cos \alpha_1 \cdot \sin \alpha_1 = \left( \frac{9 \cdot 4}{65 \cdot 5} + \frac{10 \cdot 12}{13 \cdot 13} - \frac{4}{26} \right) mg$$

$$F_3 = \frac{9}{65} \cdot mg \cdot \cos \alpha_1 + 2mg \cos \alpha_2 \cdot \sin \alpha_2 - mg \cos \alpha_1 \cdot \sin \alpha_1 - \frac{4}{26} mg \cdot \cos \alpha_2$$

$$F_3 = mg \left( \frac{9 \cdot 4}{65 \cdot 5} + \frac{2 \cdot 5 \cdot 12}{13 \cdot 13} - \frac{3 \cdot 4}{5 \cdot 5} - \frac{4 \cdot 12}{26 \cdot 13} \right)$$

$$F_3 = mg \left( \frac{9 \cdot 4 \cdot 13 + 2 \cdot 5 \cdot 12 \cdot 5^2 - 13^2 \cdot 3 \cdot 4 - 4 \cdot 12 \cdot 5^2}{5^2 \cdot 13^2} \right) =$$

$$= mg \left( \frac{5^2 (120 - 42) + 3 \cdot 13 (3 - 13) \cdot 4}{5^2 \cdot 13^2} \right) = \frac{48 \cdot 5^2 - 12 \cdot 13 \cdot 10}{5^2 \cdot 13^2} =$$

$$= mg \cdot \frac{6 \cdot 5^2 - 120}{5^2 \cdot 13} = mg \frac{30 - 24}{5 \cdot 13} = \frac{6}{65} mg$$

Ответ на вопрос э:  $F_3 = \frac{6}{65} mg$

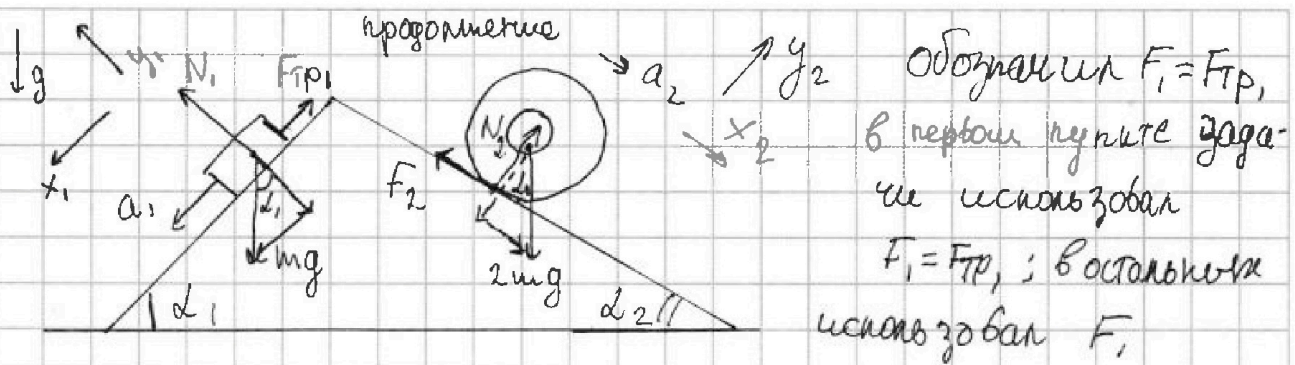


На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

1  2  3  4  5  6  7

СТРАНИЦА  
— 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!



1)  $Ox_1$  - ось вдоль движения бруска;  $Oy_1$  - ось поперек движения бруска

$N_1$  - сила реакции опоры бруска;  $F_{тр}$  - сила трения <sup>между</sup> бруском и клином

2. 2-й 3. л. где ~~бруска~~ бруска:  $Oy_1: N_1 = mg \cos \alpha_1$

$Ox_1: mg \sin \alpha_1 - F_{тр} = ma_1$ ;  ~~$F_{тр} = m(g \sin \alpha_1 - a_1)$~~   $F_{тр} = m(g \sin \alpha_1 - a_1)$

$$F_{тр} = m \left( g \cdot \frac{3}{5} - g \frac{6}{13} \right) = mg \left( \frac{3 \cdot 13 - 6 \cdot 5}{13 \cdot 5} \right) = mg \frac{9}{65}$$

Опишем на пункт 1:  $F_1 = F_{тр} = \frac{9}{65} mg$

3)  $N_2$  - сила реакции опоры где ~~целиндра~~ цилиндра

во время движения цилиндра в точке касания действуют сила трения ~~полюс~~ т.е. нем проскальзывание

2-й 3. л. где цилиндра:  $Ox_2$  - ось вдоль движения цилиндра  
 $Oy_2$  - поперек движения:  $Oy_2: 2mg \cos \alpha_2 = N_2$

$Ox_2: 2mg \sin \alpha_2 - F_2 = 2ma_2$ ;  $F_2 = 2m(g \sin \alpha_2 - a_2) = 2m \left( g \cdot \frac{5}{13} - g \frac{1}{4} \right)$

$$= 2mg \left( \frac{20 - 13}{13 \cdot 4} \right) = mg \cdot \frac{7}{26}$$

Опишем на пункт 2:  $\frac{7}{26} mg$

4) по 3-ему 3. л. на клин со стороны бруска и цилиндра действуют силы равные по модулю  $F_1, F_2$  и  $N_1, N_2$





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!

4)  $T = \frac{P U}{j R}$  (по М-К) подставим  $P = 12 - \frac{1}{2} \frac{U}{U_0}$

$$T = \left( 12 - \frac{1}{2} \frac{U}{U_0} \right) \cdot \frac{U}{R \cdot j} = \left( - \frac{1}{2} \frac{U^2}{U_0} + 12U \right) \cdot \frac{1}{R \cdot j}$$

уравнение параболы график верши вниз

$$T_{\max} = \text{в вершине параболы} = - \frac{b}{2a} = \frac{12U_0}{2 \cdot \left( -\frac{1}{2} \right)}$$

$$= \frac{-12 \cdot (-2 \cdot U_0)}{1 \cdot 2} = 12U_0; \text{ в точке } 12U_0 \text{ значение}$$

равно  $P_{\text{ро}}$ :  $T_{\max} = \frac{6 \cdot 12 P_0 U_0}{j R}$

$$\frac{T_{\max}}{T_3} = \frac{6 \cdot 12 P_0 U_0}{28 \cdot P_0 U_0} = \frac{18}{7} \text{ Изменил на } \frac{18}{7}$$

5)  $\eta = \frac{A_{\Sigma}}{Q_{\text{н}}}$ ;  $Q_{\text{н}}$  - кол-во теплоты, которой газ в действительности получил

в процессе 2-3 газ отдал тепло

процесс 1-2: до  $T_{\max}$   $Q > 0$  т.к.  $A > 0$ ;  $\Delta U > 0$

после  $T_{\max}$   $\Delta U < 0$ ;  $A > 0$

процесс 3-1:  $P(U) = \frac{16P_0}{P_0} - \frac{U}{U_0}$   $T(U) = \left( 16U - \frac{U^2}{U_0} \right) \cdot \frac{1}{R \cdot j}$

$$U_0 = \frac{-16}{-2} = 8U_0; \text{ значит в процессе 3-1 темпера}$$

тура всё время росла



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!

$\Delta) \mathcal{E}_i = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}; \quad \Phi = B \cdot S \cos \alpha \quad \cos \alpha = 1$   
 $\mathcal{E}_i = - L \dot{I}$

по закону楞次定律 индукционный ток в катушке 1: направлен влево

знаем ток  $I$  по правому правилу буравчика идет по часовой стрелке

$\Phi(x) = \frac{kQ}{x} + \frac{kQ(\epsilon - 1)}{R}$

из графика: при  $x = \frac{R}{3}; \frac{\Phi}{\Phi_0} = 5$  при  $x = \frac{2R}{3}$

$\frac{\Phi}{\Phi_0} = 4; \quad 4 \left( \frac{kQ(2-\epsilon) \cdot 3}{R} + \frac{kQ(\epsilon-1)}{R} \right) = 5 \left( \frac{kQ(2-\epsilon) \cdot 3}{2R} + \frac{kQ(\epsilon-1)}{R} \right)$

$\cdot \frac{2R}{kQ}; \quad 8(2-\epsilon) \cdot 3 + (2\epsilon - 2) \cdot 4 = 5(2-\epsilon) + 10(\epsilon-1)$   
 $48 - 24\epsilon + 8\epsilon - 8 = 30 - 5\epsilon + 10\epsilon - 10$   
 $11\epsilon = 20; \quad \epsilon = \frac{20}{11}$

$\frac{20}{11}$



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!

$$\frac{6}{5} \frac{kQ}{R} = \left( \frac{6kQ}{5R} - \frac{kQ'}{5R} \right) \epsilon$$

$$Q' = \frac{\frac{6}{5} \frac{kQ}{R} (\epsilon - 1)}{\frac{k\epsilon}{5R}} = \frac{6 \cdot 5 \cdot Q \cdot \frac{\epsilon - 1}{\epsilon}}{5} = \frac{6Q(\epsilon - 1)}{\epsilon}$$

$$\varphi_x = \frac{6kQ}{5R} - \frac{6kQ'}{5R} + \frac{kQ'}{R} = \frac{6kQ}{5R} - \frac{6kQ \cdot \epsilon - 1}{5 \cdot R \cdot \epsilon}$$

$$\varphi_x = \frac{6kQ}{5R} \left( 1 - \frac{\epsilon - 1}{\epsilon} \right) = \frac{6kQ}{5R\epsilon} \quad \text{— ответ на вопрос 3}$$

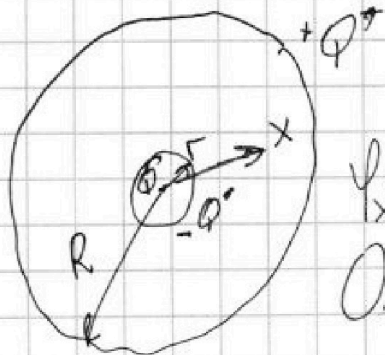
диэлектрик уменьшает поле в  $\epsilon$  раз пусть заряд внутренней полн сферической пов-сти =  $Q'$

$$E_{x_1} = \frac{kQ}{x_1^2} = \frac{kQ'}{x_1^2} \quad \bullet \quad \text{— с диэлектриком; } E_{x_1} \text{ — напряженность в точке } x_1$$

$$E_{x_1} = \frac{kQ}{x_1^2} \quad \text{— без диэлектрика} \quad \frac{kQ}{x_1^2} = \epsilon \left( \frac{kQ}{x_1^2} + \frac{kQ'}{x_1^2} \right) / R^2 x_1 > R$$

$Q' = Q(\epsilon - 1)$ ; если  $-Q'$  — заряд внутренней пов-сти

$$\text{то } +Q' \text{ — заряд внешней } \varphi_x = \frac{kQ}{x} + \frac{kQ'}{R} = \frac{kQ'}{x}$$



будем считать из графика,  $x > 5$

$$\varphi_x = \frac{kQ}{R} \left( \frac{6}{5} - \frac{\epsilon - 1}{5} \right) = \frac{kQ}{5R} (7 - \epsilon)$$

$$\text{Ответ на вопрос 3: } \varphi_x = \frac{kQ}{5R} (7 - \epsilon)$$



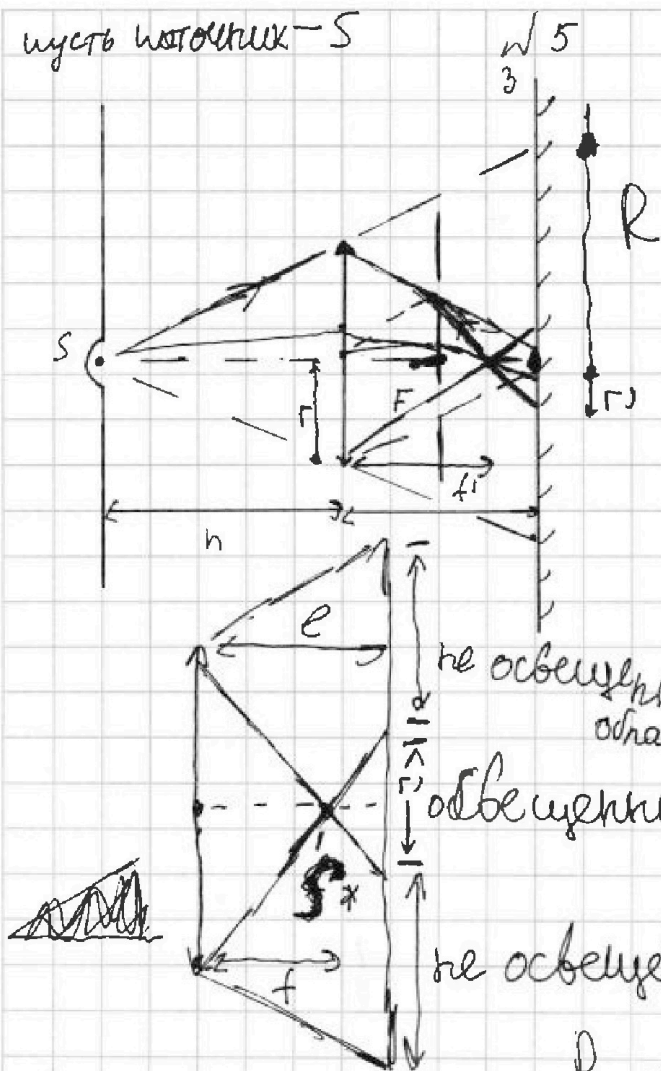


1  2  3  4  5  6  7

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!

пусть источник — S



с) лучи показанные на рисунке будут преломляться.

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{h} + \frac{1}{f}$$

формула тонкой линзы

$$h = 3F; \quad \text{~~3F~~}$$

f — расстояние от линзы до изображения:

$$\frac{1}{f} = \frac{3-1}{3} F \Rightarrow f = \frac{3}{2} F$$

r — радиус освещенного участка

не освещенная область

R — расстояние от оси до начала освещенной поверхности зеркала!

$$\frac{r_1}{r} = \frac{4}{3 \cdot 4} = \frac{1}{3}$$

по подобию

$$\frac{R}{r} = \frac{5}{3}; \quad S_0 \text{ не освещенной поверхности: } \pi(R^2 - r^2)$$

$$S_0 = \pi r^2 \left( \frac{25}{9} - \frac{1}{9} \right) = \pi r^2 \cdot \frac{24}{9}$$

$$= \pi r^2 \cdot \frac{8}{3} = \frac{25 \cdot 8}{3} = \frac{200}{3} \pi \text{ см}^2$$

Ответ на п. 1:  $\frac{200}{3} \pi \text{ см}^2$



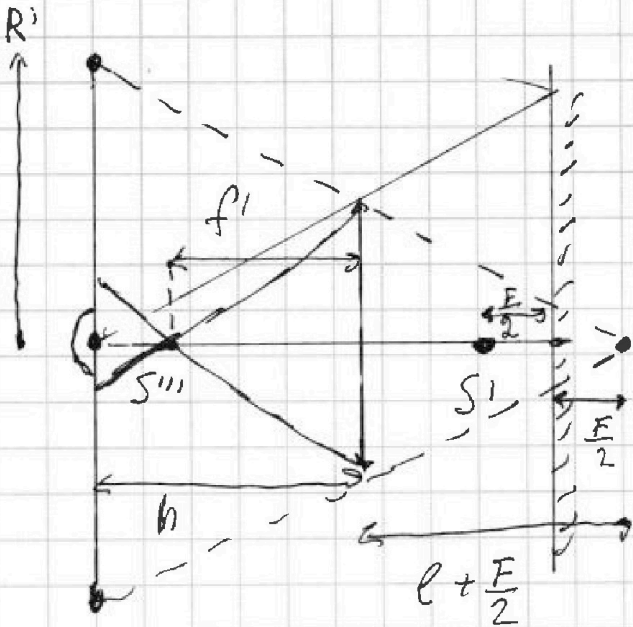
На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

1  2  3  4  5  6  7

СТРАНИЦА  
\_\_ 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!

W5 продолжение



$S''$  - изображение  $S'$   
 $S'$  - изображение  $S$   
после прохода  
"через линзу"

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{l + \frac{E}{2}} + \frac{1}{f'}$$

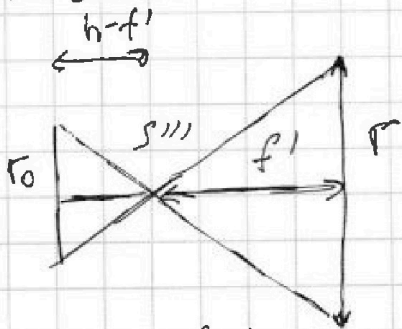
$f'$  - расстояние <sup>изображения</sup>  
от линзы  $S''$

$$\frac{1}{F} = \frac{2}{5F} + \frac{1}{f'}$$

$$\frac{1}{f'} = \frac{5-2}{5} \frac{1}{F}; f' = \frac{5}{3} F$$

крайний  
луч, который не

попадёт на линзу и выйдёт из  $S''$ , пересекает  
плоскость сетки на расстоянии  $R'$  от оси линзы



$S'''$  - изображение источника  $S''$   
пусть  $r_0$  - радиус освещенного  
круга;

$$r_0 = \frac{h - f'}{f'} r = \frac{4 \cdot 0.3}{3 \cdot 5} r = \frac{4}{5} r$$

$$\frac{R'}{r} = \frac{l + h + \frac{E}{2}}{l + \frac{E}{2}} = \frac{11}{2} \cdot \frac{3}{5} = \frac{11}{5}$$

$\Rightarrow$  подобие  
треугольников

Ответ:

$S_1$  - площадь неосвещенной поверхности зеркала:  $\llcorner$

$$\pi r^2 \left( \left( \frac{11}{5} \right)^2 - \left( \frac{4}{5} \right)^2 \right) = \pi r^2 \cdot \frac{121 - 16}{25} = \frac{105 \pi \text{ см}^2}{25}$$

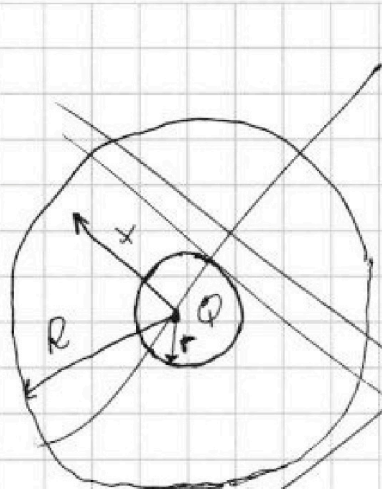


На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

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!



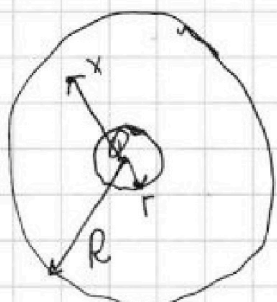
$$\sqrt{3} \quad \varphi_x = k \frac{Q}{x \cdot \epsilon} = \frac{6}{5} k \frac{Q}{R \epsilon}$$

Потенциал на поверхности  $\varphi = \frac{6}{5} k \frac{Q}{R \epsilon}$   
 2) при увеличении радиуса в 5 раз потенциал уменьшится в  $\frac{4}{5}$  раза

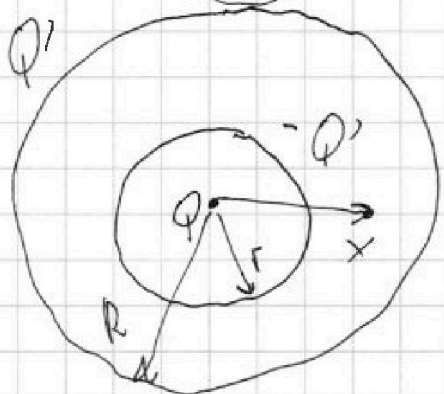
Т.к.  $\varphi \sim \frac{1}{x}$

$\sqrt{3}$

пусть на сферической поверхности с радиусом R заряд  $Q'$ , тогда  $-Q'$ , заряд сферической поверхности  $\Gamma$ ; по З.С.З.



потенциал в точке с координатой x



$$\varphi_x = \frac{kQ}{x} - \frac{kQ'}{x}; \text{если бы не}$$

было симметрично, то потенциал был бы в  $\epsilon$  раз больше

$$\varphi_x \text{ без дип. } \frac{kQ}{x};$$

$$\epsilon = \frac{kQ}{x}$$

$$\frac{\frac{kQ}{x} - \frac{kQ'}{x} + \frac{kQ'}{R}}{\frac{6kQ}{5R} - \frac{kQ'}{5R}} = \frac{\frac{6kQ}{5R}}{\frac{6kQ}{5R}} = \epsilon$$

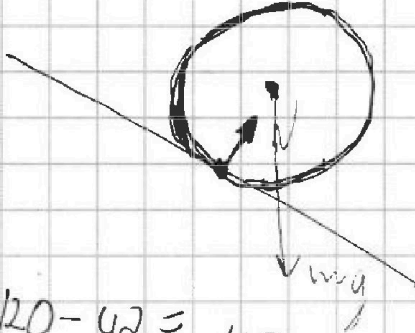


На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

1  2  3  4  5  6  7

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!



$$20 - 42 = 48$$

$$13 \cdot 6$$

$$\frac{5}{13}g - \frac{1}{4}g =$$

$$\frac{20 - 13}{4 \cdot 13} = \frac{7}{52}$$

⊙ → a,  $\frac{1}{3} =$

$$1 = \frac{1}{3} + x$$

