



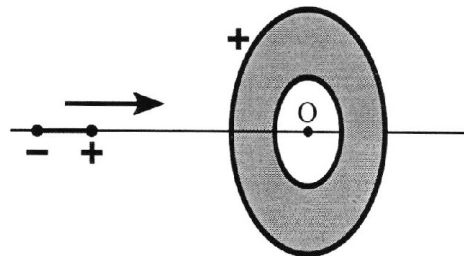
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2025

Вариант 11-01

В ответах всех задач допустимы обыкновенные дроби и радикалы.

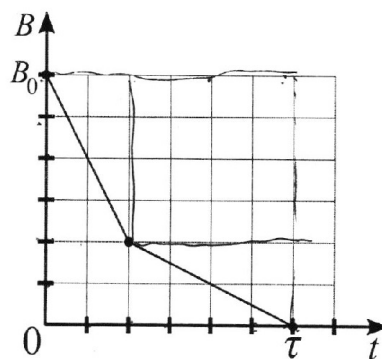
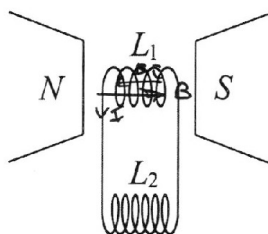


3. В плоском тонком диске в форме круга имеется круглое отверстие (см. рис.). Центры диска и отверстия совпадают в точке O . Диск имеет однородно распределенный по поверхности положительный заряд. Система из двух жестко связанных равных по модулю и противоположных по знаку точечных зарядов (диполь) движется с некоторой начальной скоростью из бесконечно удаленной точки вдоль оси симметрии диска и пролетает через отверстие. Заряды диполя находятся на маленьких шариках, на диполь действуют только силы электрического поля диска, диск закреплен, при пролете диполь не отклоняется от оси диска. Минимальная начальная скорость диполя, необходимая для пролета, равна V_0 . Диполь сообщают начальную скорость $2V_0$.



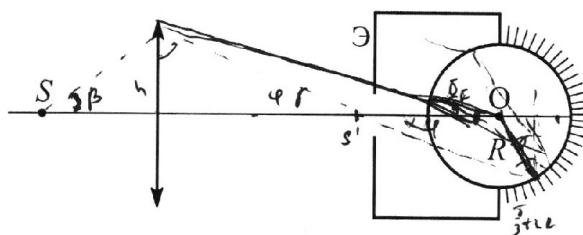
- 1) Найти скорость диполя при пролете центра диполя через центр отверстия.
- 2) Найти разность максимальной и минимальной скоростей диполя при пролете.

4. Катушка индуктивностью $L_1 = L$ с числом витков n и площадью каждого витка S_1 находится во внешнем однородном магнитном поле с индукцией B_0 . Силовые линии поля перпендикулярны плоскости каждого витка. Вторая катушка индуктивностью $L_2 = 4L$ находится вне поля (см. рис.). Сопротивление катушек и соединительных проводов пренебрежимо мало. Изначально тока в катушках нет. Внешнее поле выключают в течение времени τ . Зависимость индукции внешнего поля от времени показана на рисунке. Взаимной индуктивностью катушек пренебречь.



- 1) Найти ток I_0 через катушку L_1 в конце выключения внешнего поля.
- 2) Найти заряд, протекший через катушку L_1 за время выключения внешнего поля.

5. На главной оптической оси тонкой собирающей линзы с фокусным расстоянием F расположены центр O прозрачного шара и точечный источник S , удаленный от линзы на расстояние $a = 1,5F$ (см. рис.). На поверхность шара, противоположную поверхности входа лучей, нанесено идеально отражающее зеркальное покрытие. С шаром жестко скреплен непрозрачный экран $\mathcal{E}$ с небольшим круглым отверстием. Если шар расположен так, что расстояние от центра линзы до ближайшей к нему точки шара равно $b = 8F/3$, то изображение источника в системе «линза-шар» совпадает с самим источником при любом показателе преломления вещества шара.



- 1) Найти радиус R шара.

$$\frac{2}{3} + \frac{1}{2} = 0 \Rightarrow x = 3F$$

После того, как центр шара переместили вдоль оптической оси так, что расстояние от него до центра линзы увеличилось на $\Delta = 2F$, изображение источника снова совпало с самим источником.

- 2) Найти показатель преломления вещества шара.

Отражение света от наружной поверхности шара пренебрежимо мало. Экран $\mathcal{E}$ обеспечивает малость углов α лучей (падающих на шар) с оптической осью и справедливость приближения $\sin \alpha \approx \alpha$.

$$3R + 2R = \frac{F}{3}$$



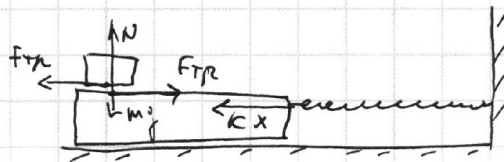
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

1 ☒ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐

СТРАНИЦА
1 из 4

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) Относительное движение качется, когда их скорости не будут совпадать, а не будут они совпадать в результате разных ускорений, соответственно, когда их уск. перестанут быть равными, качется такое движение. Когда же этот момент:



$$\begin{cases} mg = N \\ a_1 \cdot m = -F_{тр} \\ a_2 M = -kx + F_{тр} \end{cases} \Rightarrow -\frac{F_{тр}}{m} = -\frac{kx}{M} + \frac{F_{тр}}{M}$$

$$\frac{kx}{M} = F_{тр} \cdot \frac{M+m}{Mm}$$

$$x = F_{тр} \cdot \frac{M+m}{km}$$

Во все моменты $F_{тр}$ остается постоянной, чтобы не было откл. движения, но $F_{тр\max} = \mu N$, а значит при $x > \mu mg \cdot \frac{M+m}{km}$ - качется откл. движение.

$$x = \mu g \cdot \frac{M+m}{k} = 0.3 \cdot 10 \cdot \frac{3}{27} = \frac{1}{3} \text{ м.}$$



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 4

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 тех же уравнений:

$$\begin{cases} a_1 m + a_2 M = -F_{\text{упр}} - kx + F_{\text{упр}} = -kx \\ a_1 = a_2 \end{cases}$$

$$a \cdot (M+m) = -kx$$

$$a = \frac{d^2 x}{dt^2} = \ddot{x} = \ddot{x} \Rightarrow$$

$$\ddot{x} + \frac{k}{M+m} \cdot x = 0 \quad - \text{это уравнение колебаний,}$$

$$\text{из него найдем } \omega = \sqrt{\frac{k}{M+m}} = 3 \text{ с}^{-1},$$

$$x = x_0 \cdot \sin(\omega t + \varphi_0); \quad \text{В нач. момент:}$$

$$x=0; \quad t=0 \Rightarrow \varphi_0 = 0.$$

$$x = x_0 \sin(\omega t)$$

$$\dot{x} = x_0 \omega \cos(\omega t) \quad - \text{при } t=0: \dot{x}(0) = v_0 = x_0 \omega \Rightarrow$$

$$x_0 = \frac{v_0}{\omega} = v_0 \cdot \sqrt{\frac{M+m}{k}} \approx \frac{2}{3} \text{ м.}$$

$$x_k = \frac{1}{3} \text{ м} \Rightarrow x_k = \frac{x_0}{2} = x_0 \sin(\omega \tau) = x_0 \sin(30^\circ)$$

$$\omega \tau = \frac{\pi}{6} \Rightarrow \tau = \frac{\pi}{6\omega} = \frac{1}{9} \text{ с.}$$

2) Найдем скорость в момент касания отк. губки:

$$\dot{x} = x_0 \omega \cdot \cos\left(\frac{\pi}{6}\right) = v_0 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = v_1$$



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 4

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) Теперь найдем время остановки бруска:

$$F_{\text{тр}} t = m v_1 \Rightarrow t = \frac{m v_1}{\mu g m} = \frac{v_1}{\mu g} = \frac{2 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}}{0.3 \cdot 10} =$$

$$= \frac{2}{\sqrt{3}} \text{ с} \approx \frac{2}{1.7} \approx 0.6 \text{ с}$$

4) Предположим, что доска остановилась быстрее бруска:

тогда у нас всегда есть $F_{\text{тр}}$:

$$m \ddot{x} = -kx + \mu m g$$

$$\ddot{x} + \frac{k}{m} \left(x - \frac{\mu m g}{k} \right) = 0$$

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} = 3 \sqrt{\frac{3}{2}} \text{ с}^{-1}$$

$$x = x_0 \cdot \sin(\omega t + \varphi_0) + \frac{\mu m g}{k}$$

$$x = x_1 \sin(\omega t) + x_2 \cos(\omega t) + \frac{\mu m g}{k}$$

$$\dot{x} = x_1 \omega \cos(\omega t) + x_2 \omega \sin(\omega t) \Rightarrow$$

$$x_1 \omega = \frac{\sqrt{3}}{2} \Rightarrow x_1 = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} = \frac{\sqrt{2}}{3} \text{ м}$$

$$\ddot{x} = -x_1 \omega^2 \sin(\omega t) - x_2 \omega^2 \cos(\omega t) = -x_1 \omega^2 \cos(\omega t) =$$

$$= -\frac{kx + \mu m g}{m} = \frac{-g + 3}{2} = -3 \frac{m}{c^2} = -x_2 \cdot g \Rightarrow x_2 = \frac{1}{3} \text{ м}$$

6 момент $t: v=0: x_1 \cos \varphi = x_2 \sin \varphi \Rightarrow \tan \varphi = \frac{x_1}{x_2} = \frac{\sqrt{2}}{2} \approx 0.7$

$\varphi \approx 40^\circ \approx \frac{2}{3} \pi \Rightarrow t = \frac{2}{3} \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{\sqrt{2}}{3} < t_{\text{бр}} \Rightarrow \text{предполож}$



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



СТРАНИЦА

7 из 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!

меньше верна, а формула верна.

$$\frac{\sin \varphi}{\cos \varphi} = \frac{p}{\sqrt{2}}$$

$$p - \cos^2 \varphi = \frac{\cos^2}{2} \Rightarrow \cos \varphi = \sqrt{\frac{2}{3}}$$

$$\sin \varphi = \sqrt{\frac{1}{3}}$$

$$X = \frac{\sqrt{2}}{6} \cdot \frac{1}{\sqrt{3}} + \frac{1}{3} \cdot \frac{\sqrt{1}}{\sqrt{3}} + \frac{0.3 \cdot 1 \cdot 10}{27} =$$

$$= \frac{1}{2} \cdot \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} - \frac{1}{3} = \frac{1}{\sqrt{6}} + \frac{1}{9} \approx \frac{1}{2.5} + \frac{1}{9} \approx \frac{23}{35} \approx 0.66$$

$$Q = -27 \cdot \frac{2}{3} + 0.3 \cdot 10 \cdot \frac{1}{2} = -16.5 \frac{1}{c^2}$$

$$Q = -16.5 \frac{1}{c^2}$$



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

1 ИЗ 1

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

1) $P_{\text{нас}}(16^\circ) = 60 \text{ кПа} \Rightarrow P_{\text{вз}}^{\text{норм. давл. нагр.}} = \text{неизвестно}$ 40 кПа
 $P_{\text{вз}} = 110 \text{ кПа}$

2) Система находится под вакуумом, а значит
 $P_{\text{с}} = P_{\text{б}} + P_{\text{н}} = \text{const} = 150 \text{ кПа}$

3) При температуре $t_0 = 76^\circ \text{C}$ и $\varphi = \frac{1}{3}$

воды и воздуха (концентрация) все равно больше, чем при $t = 46^\circ$, а к тому же объект увлажняется, а значит вода точно сконденсируется, найдём эту температуру:

$$P_{\text{б}} + P_{\text{н}} = P_{\text{нар}}$$

Заменим ур. Менделеева идеального:

$$P_0 V_0 = \nu R T_0$$

$$P_{\text{к}} V_{\text{к}} = \nu R T_{\text{к}} \Rightarrow P_{\text{к}} = \frac{T_{\text{к}}}{T_0} \cdot \frac{V_0}{V_{\text{к}}} \cdot P_0$$

$$\frac{T_{\text{к}}}{T_0} \cdot \frac{V_0}{V_{\text{к}}} (P_{\text{об}} + P_{\text{н}}) = P_{\text{нар}} \Rightarrow \frac{T_{\text{к}}}{T_0} \cdot \frac{V_0}{V_{\text{к}}} = 1 \Rightarrow$$

$$P_{\text{к}} = P_0 = 40 \text{ кПа} - \text{из графика } t = 76^\circ \text{C}$$

4) В конце при $t = 46^\circ \text{C}$ $P_{\text{нар}} = P_{\text{нас}}(46^\circ \text{C}) = 10 \text{ кПа}$,

$$\Rightarrow P_{\text{вз}} = 140 \text{ кПа} = P_{\text{б}0} \cdot \frac{T_{\text{к}}}{T_0} \cdot \frac{V_0}{V_{\text{к}}} = 110 \cdot \frac{320}{360} \cdot \frac{V_0}{V_{\text{к}}} \Rightarrow$$

$$\frac{V_0}{V_{\text{к}}} = \frac{14}{11} \cdot \frac{9}{8} \Rightarrow \frac{V_{\text{к}}}{V_0} = \frac{8}{9} \cdot \frac{11}{14} = \frac{4 \cdot 11}{9 \cdot 7} = \frac{44}{63} \approx \frac{2}{3} \approx 0.67 \approx 0.7$$



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

1 2 3 4 5 6 7
☐ ☐ ☒ ☐ ☐ ☐ ☐

СТРАНИЦА
1 ИЗ 1

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

1) Запишем ЗСЭ:

$$E_k + E_{\text{пот}} = \text{const} = \frac{m\dot{\sigma}^2}{2} + E_{\text{эл}} \Rightarrow$$

$$\text{при } E_{\text{эл}} = \max \Rightarrow \dot{\sigma} = \min = 0 \text{ (для 1 случая)} \Rightarrow$$

$$E_{\text{эл max}} = \frac{m\dot{\sigma}_0^2}{2}$$

2) При пролете центра диполя через центр отверстия $E_{\text{эл}} = 0$, ввиду симметрии на одинаковых расстояниях по обеим стр. пот. равны, а значит пот. двух зарядов на диполе равны $\Rightarrow E_{\text{эл}} = 0$ (сумма $q_1 q_2$, энергии от б. зарядов диполя ~~равно нулю~~ постоянна, ее мы не учитываем). Значит $E_{\text{эл}} = 0$, ЗСЭ:

$$\frac{4m\dot{\sigma}_0^2}{2} = \frac{m\dot{\sigma}_k^2}{2} \Rightarrow \underline{\dot{\sigma}_k = 2\dot{\sigma}_0 = \dot{\sigma}_{\text{к}}} \leftarrow \text{ск при пролете через центр.}$$

3) Найдем $\dot{\sigma}_{\min}$, она при $E_{\text{эл}} = \max$:

$$\frac{4m\dot{\sigma}_0^2}{2} = E_{\text{эл max}} + \frac{m\dot{\sigma}_{\min}^2}{2} = \frac{m\dot{\sigma}_0^2}{2} + \frac{m\dot{\sigma}_k^2}{2} \Rightarrow \dot{\sigma}_k = \sqrt{3}\dot{\sigma}_0 \Rightarrow$$

$$\dot{\sigma}_{\text{max}} - \dot{\sigma}_{\min} = \dot{\sigma}_0 (2 - \sqrt{3}) \approx 0.3 \dot{\sigma}_0$$



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
1 ИЗ 2

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

е) $\mathcal{E}_i = -\dot{\Phi} = -hS \cdot \frac{dB}{dt}$ - индуцируем из-за изменения внешнего поля

2) Запишем Кирхгофа:

$$\mathcal{E}_{ik} = \mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2 = 0$$

$$-hS \frac{dB}{dt} - L_1 \frac{dI}{dt} - L_2 \frac{dI}{dt} = 0.$$

$$\frac{dI}{dt} = -\frac{hS}{L_1 + L_2} \cdot \frac{dB}{dt}$$

как мы видим, мы имеем закон изменения B , а только результат.

$$I_k - I_0 = -\frac{hS}{L_1 + L_2} \cdot (B_k - B_0)$$

$$I_0 = 0; I_k = I; B_k = 0; B_0 = B_0:$$

$$I = \frac{hS B_0}{L_1 + L_2} = \frac{hS B_0}{5L}$$

$$3) I(B_k) = \frac{hS (B_0 - B_k)}{5L} - \text{ток от } B_k$$

$$I = \frac{dq}{dt} \Rightarrow q = \int_0^{\tau} I dt = \frac{hS}{5L} \int_0^{\tau} (B_0 - B_k) dt =$$

$$= \frac{hS}{5L} \cdot B_0 \tau - \frac{hS}{5L} \int_0^{\tau} B_k dt$$

заметим, что это магнитный заряд $B(t)$



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!

Найдем магнитное поле в центре:

$$\int B_k dt = \frac{1}{2} \cdot \frac{4B_0}{8} \cdot \frac{2L}{2} + \frac{2B_0}{6} \cdot \frac{2L}{6} + \frac{1}{2} \cdot \frac{1B_0}{6} \cdot \frac{4L}{6} =$$
$$= \frac{8B_0 L}{36} + \frac{4B_0 L}{36} = \frac{9B_0 L}{36}$$

$$q = \frac{2}{3} B_0 L \cdot \frac{\mu_0}{5L} = \frac{2B_0 \mu_0}{15L}$$

Ответ: $I = \frac{\mu_0 B_0}{5L}$; $q = \frac{2B_0 \mu_0}{15L}$



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 ☐

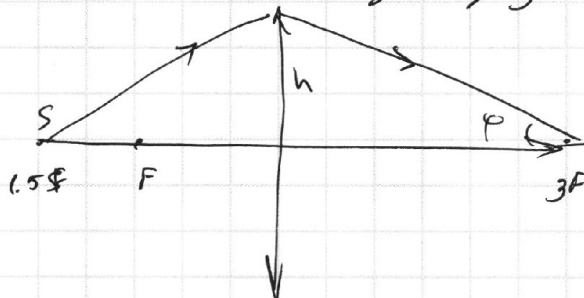
СТРАНИЦА
1 из 3

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) Какими образом изображение S' в линзе через
оптику. r и x :

$$\frac{r}{1.5F} + \frac{r}{x} = \frac{r}{F} \Rightarrow$$

$$x = 3F$$



2) ~~На второй странице выведи, какими
образом ты получишь изображение линзы?~~

~~$$x' = \frac{3F + 1.5F}{3F - 1.5F} = 3F + 1.5F - x =$$~~
~~$$= 3F + \frac{3F - 1.5F}{3F - 1.5F} \cdot \frac{3F - 1.5F}{1.5F - F} =$$~~

2) Если изображение совпадает с источни-
ком, значит, это изображение S' изображения S''
от шара тоже находится на $3F \Rightarrow$ изображение
только от линзы находится в т. O , центр шара,
тогда лучи не преломляются, поэтому не
зависят от n и будет изображение там
же где и источник. $\Rightarrow$

$$\frac{8}{3}F + r = 3F \Rightarrow r = \frac{F}{3}$$



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.

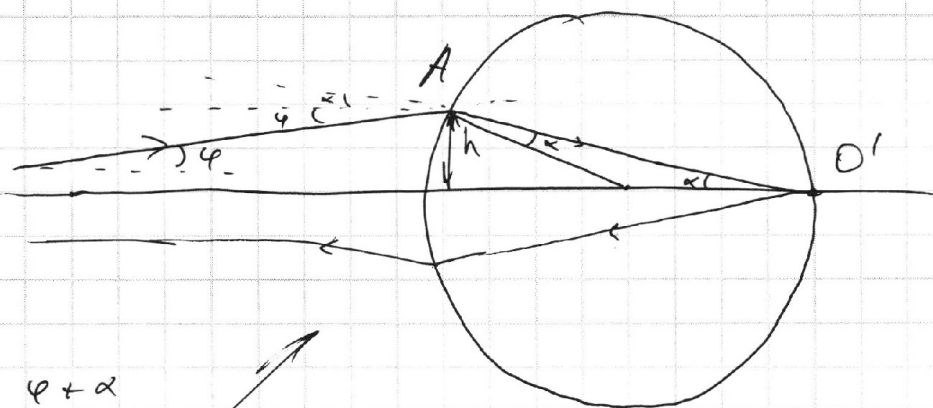
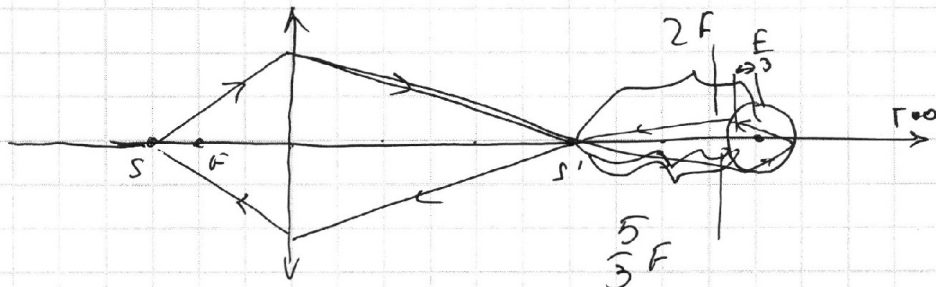
1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☒ 6 ☐ 7 ☐

СТРАНИЦА

2 из 3

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)



$$h = \frac{\varphi + \alpha}{\alpha}$$

луч влетает, прямые световые лучи, отрезавшие от O' и летят в одну

точку, тогда мы получим наше
усл. Закон синусов:

$$\sin(\varphi + \alpha) = h \sin \alpha \Rightarrow h = \frac{\varphi + \alpha}{\alpha}$$

$$\begin{cases} 2R\alpha = h \\ \frac{5}{3}F\varphi = h \end{cases} \Rightarrow 2\frac{F}{3}\alpha = \frac{5}{3}F\varphi \Rightarrow \alpha = \frac{5}{2}\varphi \Rightarrow h = \frac{\frac{5}{2}\varphi}{\frac{\varphi}{2}} = 5$$



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

1
☐

2
☐

3
☐

4
☐

5
☒

6
☐

7
☐

СТРАНИЦА
3 ИЗ 3

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!

Чтобы получить изображение
в точке S , нам нужно, чтобы
поле зрения он был бы симметрично,
только с др. ст. от POO , а значит,
он удалится от точки O' , а
далее пойдет на през. странице.



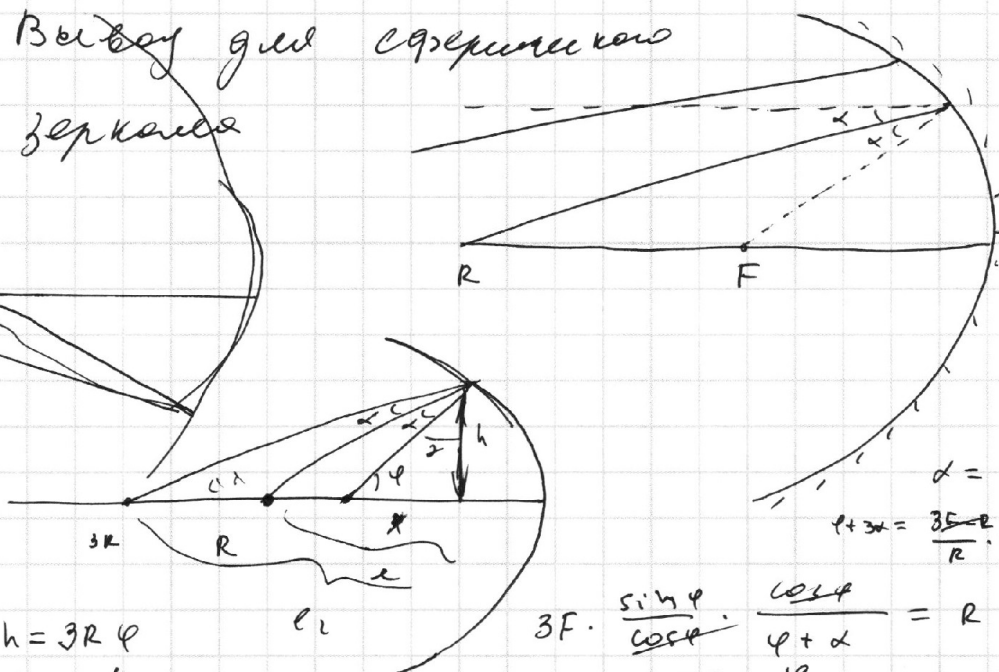
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу. Отметьте **крестиком** номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в **решении каждой задачи отдельно**.

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!

Выбор для сферического
зеркала



$$h = 3R\varphi$$

$$\tan\varphi = \frac{h}{x}$$

$$x = h + g\alpha =$$

$$l_1 = h + g(\alpha + \varphi) = h \cdot \frac{\sin\varphi + R\cos\varphi}{\cos\varphi + \alpha\sin\varphi} = R$$

$$l_2 = h + g(\alpha + 2\alpha) = h \cdot \frac{\sin\varphi + 2\alpha\cos\varphi}{\cos\varphi + 2\alpha\sin\varphi}$$

$$\alpha = \frac{3F-R}{R}\varphi$$

$$\varphi + 3\alpha = \frac{3F-R}{R}\varphi \cdot \varphi \cdot \frac{3F-2R}{3F-R} = \varphi \cdot \frac{3F-2R}{R}$$

$$3F \cdot \frac{\sin\varphi}{\cos\varphi} \cdot \frac{\cos\varphi}{\varphi + \alpha} = R$$

$$3F \cdot \frac{\varphi}{\varphi + \alpha} = R \Rightarrow 3F\varphi = \varphi R + \alpha R$$

$$\varphi = \frac{\alpha R}{3F-R}$$

$$\varphi + 3\alpha = \alpha \left(\frac{R + 3F - 3R}{3F-R} \right) =$$

$$= \alpha \cdot \frac{3F-2R}{3F-R}$$

$$l_2 - l_1 = h \cdot \frac{\sin\varphi\cos\varphi + 2\alpha\cos^2\varphi + 2\alpha\sin^2\varphi - 2\alpha\sin\varphi\cos\varphi - \sin\varphi\cos\varphi - 2\alpha\cos^2\varphi - \alpha\sin^2\varphi}{(\cos\varphi + \alpha\sin\varphi)(\cos\varphi + 2\alpha\sin\varphi)} =$$

$$= h \cdot \frac{-\alpha\cos^2\varphi + \alpha\sin^2\varphi}{\cos^2\varphi + 2\alpha\sin\varphi\cos\varphi + \alpha\sin^2\varphi + \alpha\sin^2\varphi} =$$

$$= h \cdot \frac{\alpha(\sin^2\varphi - \cos^2\varphi)}{\cos^2\varphi + 3\alpha\sin\varphi\cos\varphi} = h \cdot \frac{2(\cos^2\varphi - \sin^2\varphi)}{\sin^2\varphi + 3\alpha\sin\varphi\cos\varphi} =$$

$$= 3F \cdot \frac{\sin\varphi}{\cos\varphi} \cdot \frac{\cos^2\varphi}{\sin\varphi(\sin\varphi + 3\alpha\cos\varphi)} = \frac{3F}{\sin\varphi + 3\alpha} = \frac{3F}{\varphi + 3\alpha} =$$

$$= \frac{3F}{\varphi + 3\alpha} = \frac{3F \cdot \frac{3F-2R}{R}}{\frac{3F-2R}{R}} = \frac{3FR}{3F-2R}$$