



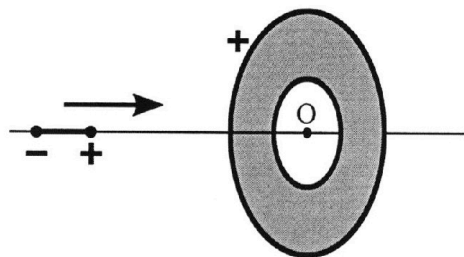
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2025

Вариант 11-03

В ответах всех задач допустимы обыкновенные дроби
и радикалы.

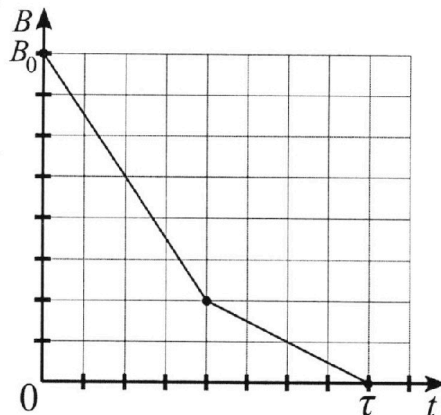
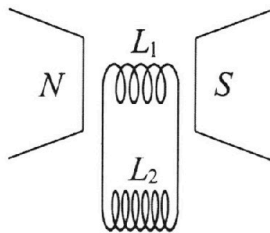


3. В плоском тонком диске в форме круга имеется круглое отверстие (см. рис.). Центры диска и отверстия совпадают в точке O . Диск имеет однородно распределенный по поверхности положительный заряд. Система из двух жестко связанных равных по модулю и противоположных по знаку точечных зарядов (диполь) движется 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 $\frac{3}{2}V_0$.



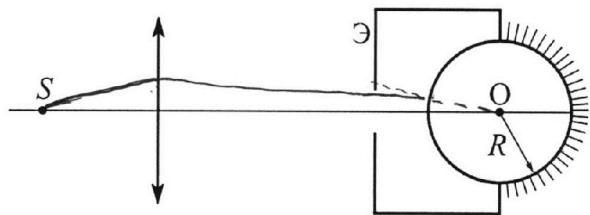
- 1) Найти скорость диполя при пролете центра диполя через центр отверстия.
- 2) Найти отношение максимальной и минимальной скоростей диполя при пролете.

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 $L_2 = 3L$ 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 $a = 1,1F$ (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 $b = 10,5F$, то изображение источника в системе «линза-шар» совпадает с самим источником при любом показателе преломления вещества шара.



- 1) Найти радиус R шара.

После того, как центр шара переместили вдоль оптической оси так, что расстояние от него до центра линзы увеличилось на $\Delta = 5,5F$, 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 $\sin \alpha \approx \alpha$.



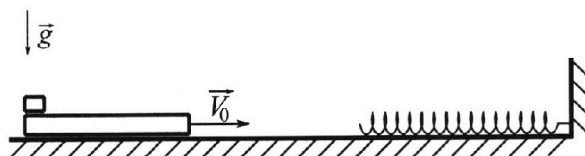
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2025

Вариант 11-03

В ответах всех задач допустимы обыкновенные дроби
и радикалы.



1. Длинная доска массой $M = 2$ кг, на одном конце которой лежит небольшой брусок массой $m = 1$ кг, движется по горизонтальной гладкой поверхности со скоростью $V_0 = 1$ м/с. В некоторый момент доска начинает сжимать лежащую на поверхности легкую достаточно длинную пружину с коэффициентом жёсткости $k = 36$ Н/м, которая одним концом упирается в стенку (см. рис.). Коэффициент трения скольжения бруска по доске $\mu = 0,3$. Ускорение свободного падения $g = 10$ м/с². Число «пи» в расчётах можете считать равным $\pi \approx 3$. Груз и доска всё время движутся в одной вертикальной плоскости.

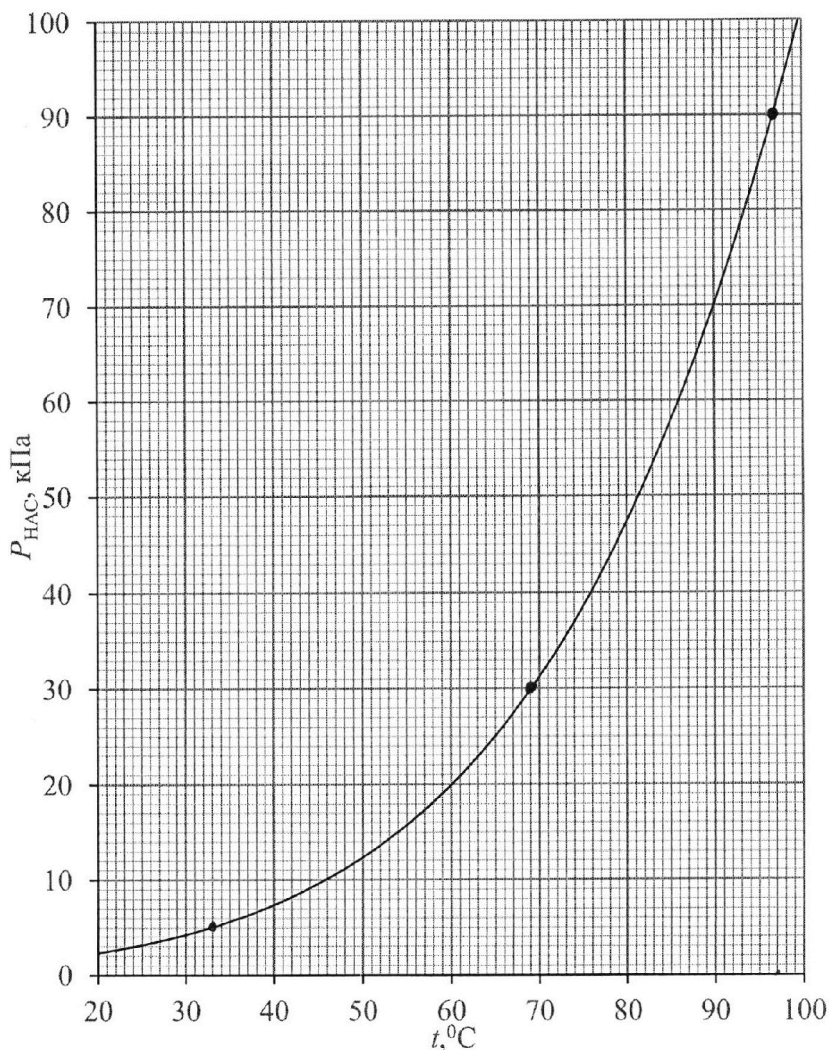


- 1) Найдите сжатие пружины в тот момент, когда начнётся относительное движение бруска и доски.
- 2) Найдите промежуток времени с момента начала сжатия пружины до момента начала относительного движения бруска и доски.
- 3) Найдите ускорение доски в момент максимального сжатия пружины.

2. В вертикальном цилиндре с гладкими стенками под массивным поршнем находится влажный воздух при давлении $p_0 = 105$ кПа, температуре $t_0 = 97$ °С и относительной влажности $\varphi_0 = 1/3$ (33,3%). Содержимое цилиндра постепенно остывает до температуры $t = 33$ °С. Известен график зависимости давления насыщенного пара воды от температуры.

- 1) Найти парциальное давление пара P_1 при 97 °С.
- 2) Найти температуру t^* , при которой начнётся конденсация пара.
- 3) Найти отношение объёмов содержимого цилиндра V/V_0 в конце и в начале остывания.

Объёмом жидкosti по сравнению с объёмом газа можно пренебречь. Пар считать идеальным газом.



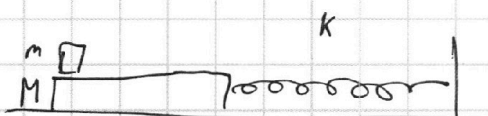


На одной странице можно оформлять **только одну** задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

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) В момент начала скольжения в системе отсчета доски II закон Ньютона для бруска:
 $-F_{тр} + ma = 0$ (a - ускорение доски) ($F_{тр}$ - сила трения скольжения)

$$\mu mg = ma$$

$a = \mu g$ В системе отсчета Земли I закон Ньютона для доски:
 $Ma = kx - \mu mg$ (μmg - статическая пружина)

$$\mu mg = kx - \mu mg$$

$$4x = \frac{\mu g (M+m)}{k} = \frac{0,3 \cdot 10 (2+1)}{36} = \frac{9}{36} = 0,25 \text{ м.}$$

- 2) До момента относительного движения бруска и доски их можно считать одним единым телом. Тогда система представляет собой пружинный маятник.

$$\frac{(m+M)v^2}{2} + \frac{kx^2}{2} = \text{const}$$

$$(m+M)v a + kx v = 0$$

$$\frac{k}{m+M} x = -\ddot{x}$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m+M}{k}}$$

Найдем амплитуду колебания такой системы:

$$\frac{(m+M)v_0^2}{2} = \frac{kA^2}{2}$$

$$A = v_0 \sqrt{\frac{m+M}{k}}$$

$$x = A \cdot \sin \omega t = v_0 \sqrt{\frac{m+M}{k}} \cdot \sin \left(\sqrt{\frac{k}{m+M}} \cdot t \right)$$

В начальный момент $x = 0$

$$\Delta x = v_0 \sqrt{\frac{m+M}{k}} \cdot \sin \left(\sqrt{\frac{k}{m+M}} \cdot t \right)$$



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
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!

$$\frac{v_0}{\sqrt{k}} \sin \sqrt{\frac{k}{m+M}} t$$

$$t = \frac{\arcsin\left(\frac{v_0}{\sqrt{k}} \sqrt{\frac{k}{m+M}}\right)}{\sqrt{\frac{k}{m+M}}} = \frac{\arcsin\left(\frac{1}{4} \sqrt{\frac{36}{3}}\right)}{\sqrt{\frac{36}{3}}} =$$

$$= \frac{\arcsin\left(\frac{1}{4} \sqrt{\frac{36}{3}}\right)}{2\sqrt{3}} = \frac{\arcsin\sqrt{\frac{3}{4}}}{2\sqrt{3}} =$$

$$= \frac{\pi}{3 \cdot 2\sqrt{3}} = \frac{\sqrt{3}}{6} \text{ с.}$$

- 3) От момента начала скольжения до максимального статического скольжения трение не прекратится

$$kx - \mu mg = -M \frac{dv}{dt}$$

$$\mu mg = m \frac{du}{dt}$$

$$kx - m \frac{du}{dt} = M \frac{dv}{dt}$$

$$kx dt = m du + M dv$$

$$\int kx dt = m \int du + M \int dv$$

$$\frac{(m+M)v_0^2}{2} = kx^2$$

$$u = v_0 \sqrt{\frac{m+M}{k}} \cdot \sqrt{\frac{k}{m+M}} \cdot \cos \alpha$$

$$\frac{(m+M)v_0^2}{2} = A_{тр} + \frac{kx^2}{2} + \frac{m u^2}{2}$$



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
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!

$$kx - \mu mg = -M\ddot{x}$$

$$\mu mg = m \frac{dx}{dt}$$

$$\mu g = \frac{dx}{dt}$$

$$kx = \frac{m dx}{dt} - \frac{M dx}{dt}$$

$$\int kx dt = m \Delta x - M \Delta x$$

$$\text{Ответ: } 1) \Delta x = 0,25 \text{ м.}$$

$$2) t = \frac{\sqrt{3}}{6} \text{ с.}$$



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) $P_1 = P_{\text{нас}}(37^\circ\text{C}) \cdot \zeta_0 = \frac{90}{3} = 30 \text{ кПа}$
- 2) Процесс представляет изобарическое сжатие. Тогда пар начнет конденсироваться при достижении давления насыщения при давлении P_1 .
Из графика видно, что это произойдет при $t^* = 69^\circ\text{C}$

- 3) После достижения насыщения газа излишки воды будут конденсироваться $\Rightarrow$ парциальное давление газа всегда равно $P_{\text{нас}}$ при данной температуре.

Пусть ν_0 и ν_k - кол-во вод пара в начале и конце процесса соответственно, ν - кол-во воздуха

$$P_0 \nu_0 = (\nu + \nu_0) R T_0$$

$$P_1 \nu_k = \nu R T_0$$

$$P_0 \nu_0 = \nu R T_0 + \nu_0 R T_0 = \nu R T_0 + P_1 \nu_k$$

$$\nu_0 (P_0 - P_1) = \nu R T_0$$

$$\nu_0 = \frac{\nu R T_0}{P_0 - P_1}$$

$$P_0 V = (\nu + \nu_k) R T$$

$$P_{\text{нас}}(33^\circ\text{C}) \cdot V = \nu_k R T$$

$$P_0 V = \nu R T + P_{\text{нас}}(33^\circ\text{C}) V$$

$$V = \frac{\nu R T}{P_0 - P_{\text{нас}}(33^\circ\text{C})}$$

$$\frac{V}{\nu_0} = \frac{P_0 - P_1}{P_0 - P_{\text{нас}}(33^\circ\text{C})} = \frac{105 - 30}{105 - 5} = \frac{75}{100} = 0,75$$

- Ответ:
- 1) $P_1 = 30 \text{ кПа}$
 - 2) $t^* = 69^\circ\text{C}$
 - 3) $\frac{V}{\nu_0} = 0,75$

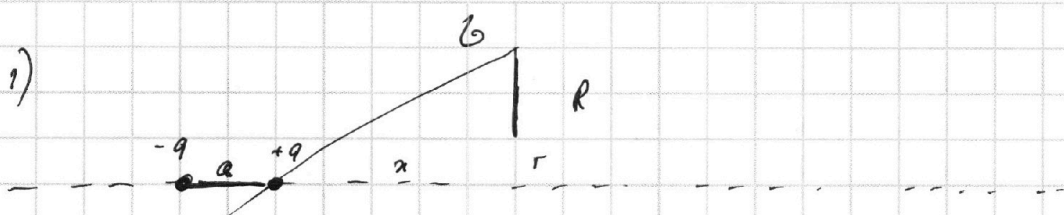


На одной странице можно оформлять **только одну** задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

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!



F_1 и F_2 - силы, действующие на положительный и отрицательный заряд соответственно.

~~$$dF = \frac{kq \cdot 2\pi R dR}{R^2 + x^2} \cdot \frac{x}{\sqrt{R^2 + x^2}}$$

$$F_1(x) = \int_r^R \frac{kq \cdot 2\pi x R dR}{(R^2 + x^2)^{\frac{3}{2}}} = \int_r^R \frac{kq \cdot 2\pi x dR^2}{(R^2 + x^2)^{\frac{3}{2}}} = \pi kq \cdot 2\pi x \left(\frac{dR^2}{(R^2 + x^2)^{\frac{3}{2}}} \right) =$$

$$= -\pi kq \cdot 2\pi x \left(\frac{2}{\sqrt{R^2 + x^2}} \right) \Big|_r^R = \frac{-2\pi kq \cdot 2\pi x}{\sqrt{R^2 + x^2}} + \frac{2\pi kq \cdot 2\pi x}{\sqrt{r^2 + x^2}} =$$

$$= \pi kq \cdot 2\pi x \left(\frac{2x}{\sqrt{r^2 + x^2}} - \frac{2x}{\sqrt{R^2 + x^2}} \right)$$

$$F_2(x) = -\pi kq \cdot 2\pi x \left(\frac{2(x+a)}{\sqrt{r^2 + (x+a)^2}} - \frac{2(x+a)}{\sqrt{R^2 + (x+a)^2}} \right)$$~~

В определенный момент пролета ^{центра} диполя через центр обвертки отсутствует потенциальная энергия взаимодействия диполя и диска (у каждого из зарядов потенциальные энергии равны по модулю, но противоположны по знаку).

↓
В этот момент из закона сохранения энергии следует, что в этот момент скорость пролета равна скорости в началь-
ный момент на бесконечном удалении

↓
 $v = \frac{3}{2} v_0$, где v - скорости в момент пролета

2) Максимальная и минимальная скорости полета будут при таком x , что $F_1 + F_2 = 0$; в этот момент достигается максимум и минимум потенциальной энергии соответственно.



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!

Если запустить диполь из бесконечности со скоростью v_0 и $\frac{3v_0}{2}$, то в ~~этих~~ этих точках (в моменту ил достижения) диполи к этому моменту потеряют ~~эту~~ эту кинетическую энергию (эта энергия перейдет в потенциальную). При этом при запуске с v_0 диполь в этот момент ~~уже~~ практически остановится, поэтому пренебрежем его кин. энергией в этот момент.

$$\Delta E = \frac{mv_0^2}{2} - 0$$

$$\Delta E = \frac{9mv_0^2}{8} - \frac{mv_{\min}^2}{2}$$

$$\frac{mv_0^2}{2} = \frac{9mv_0^2}{8} - \frac{mv_{\min}^2}{2}$$

$$v_{\min}^2 = \frac{9v_0^2}{4} - v_0^2 = \frac{5v_0^2}{4}$$

$$v_{\min} = \frac{v_0 \sqrt{5}}{2}$$

В точке с максимальной скоростью потенциальная энергия взаимодействия минимальна и равна ΔE

$$\Delta E = \frac{9mv_0^2}{8} - \frac{mv_{\max}^2}{2}$$

$$-\frac{mv_0^2}{2} = \frac{9mv_0^2}{8} - \frac{mv_{\max}^2}{2}$$

$$v_{\max}^2 = v_0^2 + \frac{9v_0^2}{4} = \frac{13v_0^2}{4}$$

$$v_{\max} = \frac{v_0 \sqrt{13}}{2}$$

$$\frac{v_{\max}}{v_{\min}} = \frac{v_0 \sqrt{13} \cdot 2}{2 \cdot v_0 \sqrt{5}} = \sqrt{\frac{13}{5}}$$

Ответ: 1) $v = \frac{3v_0}{2}$

2) $\frac{v_{\max}}{v_{\min}} = \sqrt{\frac{13}{5}}$



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) $\mathcal{E} = \frac{d\Phi}{dt} = \frac{n \zeta_1 \cdot dB}{dt}$ ($\mathcal{E}$ - ЭДС индуциции магнитного поля)

$\mathcal{E} = \frac{(L_1 + L_2) dI}{dt}$ ($\mathcal{E} = \frac{1}{L_{\text{соед}}} \frac{d\Phi}{dt}$)

$$\frac{n \zeta_1 dB}{dt} = \frac{(L_1 + L_2) dI}{dt}$$

$$n \zeta_1 dB = (L_1 + L_2) dI$$

$$\frac{n \zeta_1}{L_1 + L_2} \cdot B_0 = I_0$$

$$I_0 = \frac{n \zeta_1}{L_1 + L_2} B_0 = \frac{n \zeta_1}{4L} B_0$$

2) $I = \frac{n \zeta_1}{L_1 + L_2} (B_0 - B)$ (I и B - ток и индукция магнитного поля в произвольный момент)

$$Q = \int_0^{\tau} I dt = \frac{n \zeta_1}{L_1 + L_2} \int_0^{\tau} (B_0 - B) dt = \frac{n \zeta_1}{4L} (B_0 \tau - \int_0^{\tau} B dt)$$

Примем $\int_0^{\tau} B dt$ - площадь под графиком на протяжении времени τ .
 Q - заряд, протекающий по катушке

$$\int_0^{\tau} B dt = \frac{B_0 + \frac{B_0}{4}}{2} \cdot \frac{\tau}{2} + \frac{B_0}{4} \cdot \frac{\tau}{2} \cdot \frac{1}{2} =$$

$$= \frac{5 B_0 \tau}{16} + \frac{B_0 \tau}{16} = \frac{6 B_0 \tau}{16} = \frac{3 B_0 \tau}{8}$$

$$Q = \frac{n \zeta_1}{4L} \left(\frac{8 B_0 \tau}{8} - \frac{3 B_0 \tau}{8} \right) = \frac{5 n \zeta_1 B_0 \tau}{32 L}$$

Ответ: 1) $I_0 = \frac{n \zeta_1 B_0}{4L}$

2) $Q = \frac{5 n \zeta_1 B_0 \tau}{32 L}$



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
☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐

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!

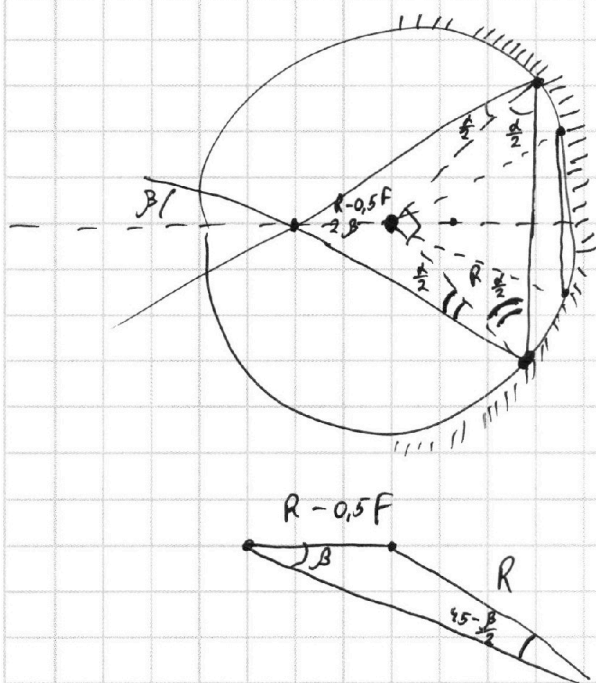
Если положение изображения не зависит от n , то можем представить, что $n=1 \Rightarrow$ ~~двух~~ шара нет, а есть только сферическое зеркало.

Луч пересечет оптическую ось на расстоянии c

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{1,1F} + \frac{1}{c} \Rightarrow c = 1,1F$$

Радиус шара должен быть таким, что луч, идущий обратно прошел оптическую ось в той же точке, в которой он прошел через нее впервые, причем под тем же углом к горизонту

$\beta = \frac{a}{c}$, где a - высота, на которой вошел луч в линзу



$$2\beta + 2\alpha = 180$$

$$\alpha = 90 - \beta$$

$$\frac{R}{\beta} = \frac{R - 0,5F}{\sin(45 - \frac{\beta}{2})}$$

$$\beta R - 0,5\beta F = R \sin(45 - \frac{\beta}{2})$$

$$\beta R - 0,5\beta F = \frac{\sqrt{2}}{2} R - \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot \frac{\beta}{2} R$$

$$R = 0,5F + \frac{\sqrt{2}}{2\beta} R - \frac{\sqrt{2}}{4}$$

$$R \left(\beta - \frac{\sqrt{2}}{2} + \frac{\sqrt{2}}{4} \right) = 0,5\beta F$$

$$R = \frac{0,5\beta F}{\beta - \frac{\sqrt{2}}{2}}$$



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
__ 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!

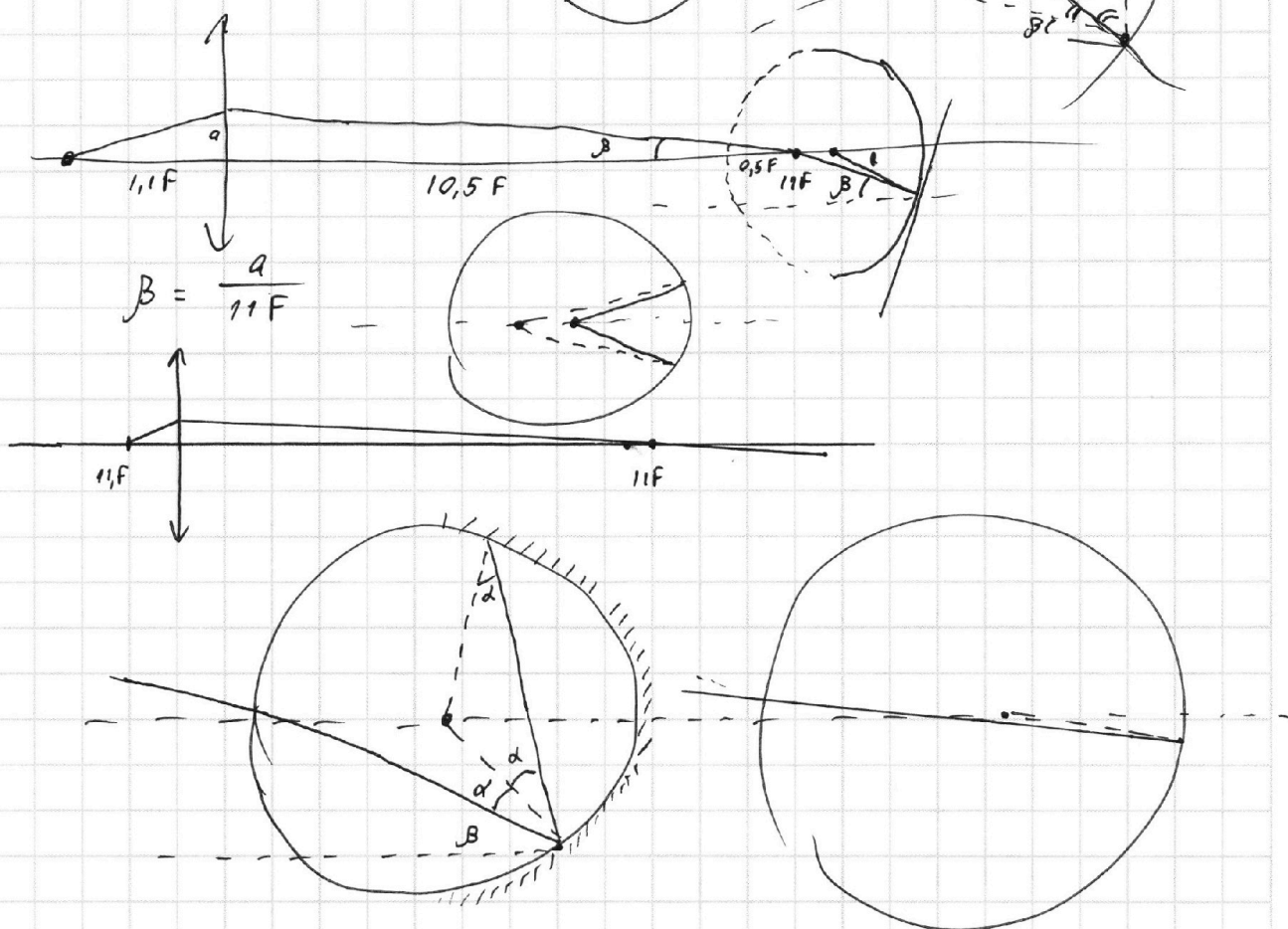
$$\frac{1}{F} = \frac{1}{1,1F} + \frac{1}{C}$$
$$\frac{1,1 - 1}{1,1F} = \frac{1}{C} \Rightarrow C = 11F$$

$$\sin(\alpha + \gamma) = \sin\alpha \cos\gamma + \sin\gamma \cos\alpha$$

Если положение изображения не зависит от коэффициента преломления шара, то можно представить, что самого шара нет, а есть только сферическое зеркало. ($n=1$)

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{1,1F} + \frac{1}{C}$$

$$C = 11F$$





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!

