



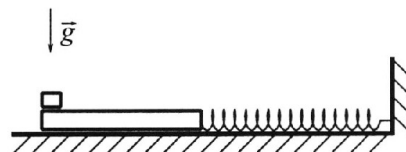
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2025

Вариант 11-04

В ответах всех задач допустимы обыкновенные дроби
и радикалы.



1. Длинную доску массой $M = 4$ кг удерживают на горизонтальной гладкой поверхности. На одном конце доски лежит небольшой брусок массой $m = 1$ кг, а в другой конец упирается легкая сжатая пружина жёсткостью $k = 100$ Н/м, прикрепленная к стенке. Коэффициент трения скольжения бруска по доске $\mu = 0,4$. Доску отпускают, она начинает движение, а брусок начинает двигаться относительно доски. Начальное сжатие пружины подобрано так, что в момент, когда ускорение доски почти достигает нуля первый раз, относительное движение бруска по доске прекращается. 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.

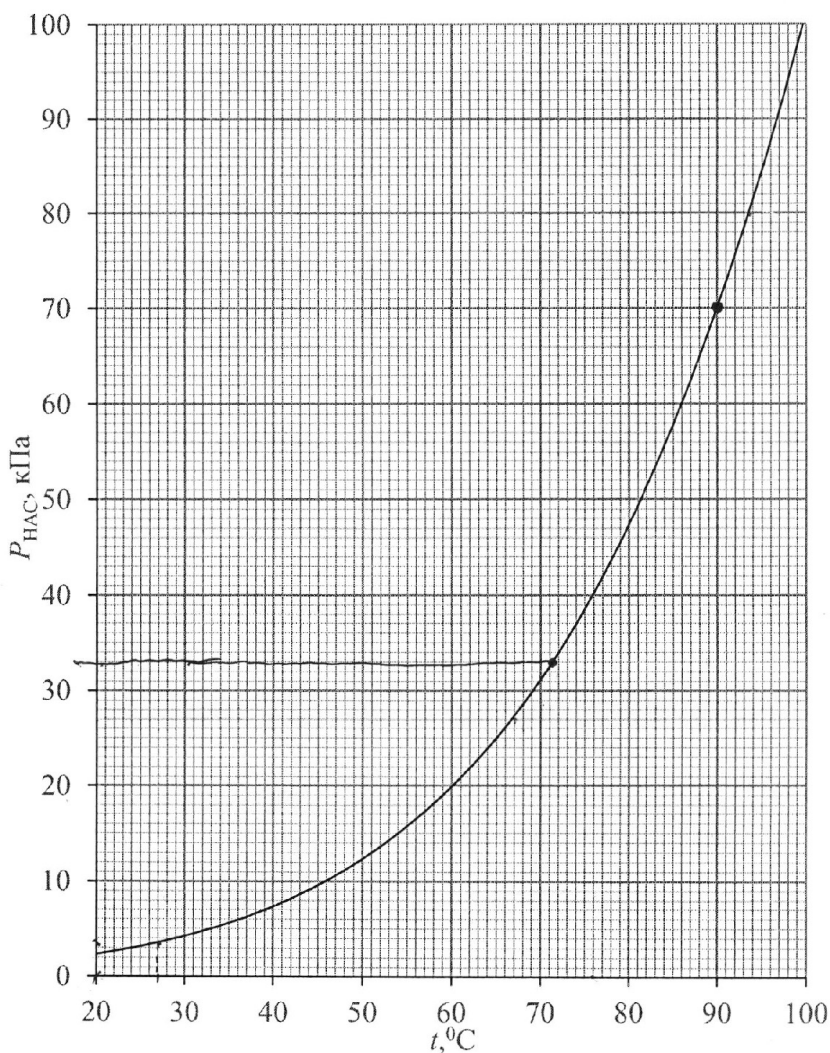


- 1) Найдите сжатие пружины в момент времени, когда относительное ускорение бруска и доски станет равным нулю, впервые после начала движения.
- 2) Найдите ускорение доски сразу после начала движения.
- 3) Найдите скорость доски в момент времени, когда относительное ускорение бруска и доски станет равным нулю, впервые после начала движения.

2. В сосуде постоянного объема находятся в равновесии влажный воздух при температуре $t_0 = 27$ °С и жидкая вода. Масса жидкой воды в 7 раз больше массы пара. Содержимое сосуда постепенно нагревают до температуры $t = 90$ °С. В результате вся вода превращается в пар. Известен график зависимости давления насыщенного пара воды от температуры.

- 1) Найти отношение масс пара в конце и в начале нагревания.
- 2) Найти температуру t^* , при которой прекратится испарение воды.
- 3) Найти относительную влажность φ в конце нагревания.

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





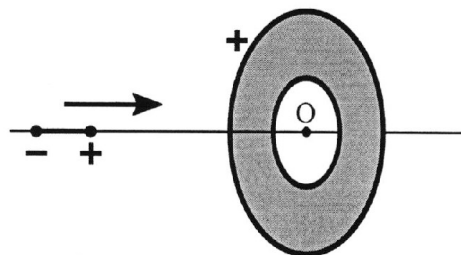
Олимпиада «Физтех» по физике,
февраль 2025

Вариант 11-04

В ответах всех задач допустимы обыкновенные дроби
и радикалы.

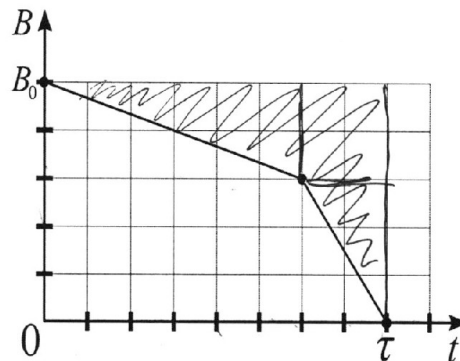
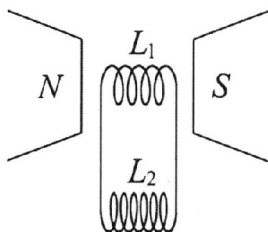


3. В плоском тонком диске в форме круга имеется круглое отверстие (см. рис.). Центры диска и отверстия совпадают в точке O . Диск имеет однородно распределенный по поверхности положительный заряд. Система из двух жестко связанных равных по модулю и противоположных по знаку точечных зарядов (диполь) движется 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 . Заряды диполя уменьшают по модулю в 3 раза и сообщают диполью начальную скорость V_0 .



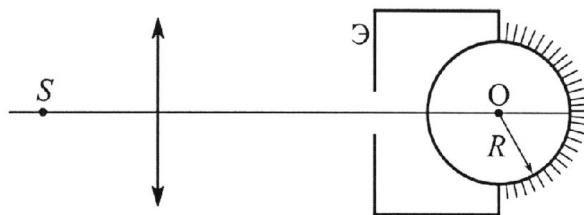
- 1) Найти скорость диполя при пролете центра диполя через центр отверстия.
- 2) Найти отношение максимальной и минимальной скоростей диполя при пролете.

4. Катушка индуктивностью $L_1 = 5L$ 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 $L_2 = 8L$ 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_2 в конце выключения внешнего поля.
- 2) Найти заряд, протекший через катушку L_2 за время выключения внешнего поля.

5. На главной оптической оси тонкой собирающей линзы расположены центр O прозрачного шара радиуса R и точечный источник S , удаленный от линзы на расстояние $a = 4,5R$ (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 $b = 8R$, то изображение источника в системе «линза-шар» совпадает с самим источником при любом показателе преломления вещества шара.



- 1) Найти фокусное расстояние линзы F .

После того, как центр шара переместили вдоль оптической оси так, что расстояние от него до центра линзы уменьшилось на $\Delta = 3R$, 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 $\sin \alpha \approx \alpha$.



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!



Т.е. если начать двигаться влево, то брусок относительно оси будет двигаться вправо. А значит сила трения на брусок направлена влево (она против относ. скорости). Ну и на ось сила трения со стороны бруска вправо.

Движение только вдоль оси x . Трещи $F_{тр} = \mu N = \mu mg$, т.е. у условия (брусок сразу начинает двигаться, т.е. скользит по относ. оси)

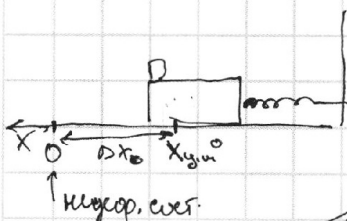
1) Вверх $a_y = 0 \Rightarrow F_y = F_{тр}$

А т.е. по условию, если a_y будет равно 0, то брусок перестает двигаться относ. оси, т.е. $F_{тр} = 0$, т.е. $a_y = 0$

А значит $kx = \mu mg \Rightarrow \Delta x = \frac{\mu mg}{k} = \frac{0.4 \cdot 1 \cdot 10}{100} = 0.04 \text{ м} = 4 \text{ см}$

2) $M a_y^0 = kx_0 - \mu mg$ $a_y^0 = ?$

Запишем. Т.о. у нас у-м: $(M+m) \cdot a_{y,m} = -kx$



Т.е. в м. момент времени, у нас нет скорости, то их можно рассматривать, как нулевые и тогда

$a_y^0 = a_{y,m} = \frac{kx_0}{M+m}$

$\Delta x_0 = \mu mg \cdot \frac{M+m}{k} = 0.4 \cdot 1 \cdot 10 \cdot \frac{5}{100} = 0.2 \text{ м}$

$(M+m) \cdot \ddot{x} + kx = 0 \Rightarrow \ddot{x} + \frac{k}{M+m} x = 0$ - ур-е гармонического колебания

$\omega = \sqrt{\frac{k}{M+m}}$. Т.е. система "брусок + ось" совершает гармонические колебания с $A = \Delta x_0$ и $T = 2\pi \sqrt{\frac{M+m}{k}}$

А при $t = 0$ момент, когда их относ. скорость равна 0, они движутся как единое целое и $a_y = a_x = a_{y,m}$



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!

В кал. момент $\vec{a}_y = \vec{a}_{цм} + \vec{a}_{ох} y-w$

$A_p^y = F_{гр} \cdot \Delta x_y$ $A_p^x = -F_{гр} \Delta x_x$ ← отнес. до сил

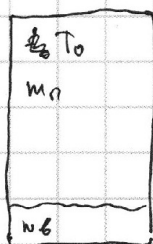
$A_{проу} = F_{гр} (\Delta x_y + \Delta x_x)$

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!



$$T_0 = 27 + 273 = 300 \text{ K}$$

$$m_6 = 7 \cdot m_n$$

1) Т.н. вначале система в равновесии $p_0 = p_{н.н}$ при $t = 27^\circ\text{C}$

$$\text{т.е. } p_0 \approx 3,5 \text{ кПа}$$

В конце у нас только пар $\Rightarrow m_n' = 8 \cdot m_n$ (во второй части m_n в паре)

$$p_0 V = \frac{m_n}{\mu} R T_0 \quad \frac{m_n'}{m_n} = 8$$

2) от T_0 до $T^* = t^* + 273$ у нас будет еще некоторое количество пар, т.е. $p_0 \cdot V = \frac{m_n}{\mu} R T_0$ и $p^* V = \frac{8 \cdot m_n}{\mu} R T^*$, где $p^* = p_{н.н}(t^*)$

$$p_0 \cdot V = \frac{m_n}{\mu} R T_0$$

$$p^* V = \frac{8 \cdot m_n}{\mu} R T^*$$

$$\frac{p^*}{p_0} = \frac{8 T^*}{T_0} \Rightarrow \frac{p^*}{T^*} = 8 \frac{p_0}{T_0}$$

Теперь обратимся к графику. „Приведем“ начало ось из $^\circ\text{C} \rightarrow \text{K}$, добавив к началу значения 273

$$\text{То есть } \frac{p_0}{T_0} = \frac{3500}{300} \Rightarrow \frac{p^*}{T^*} = 8 \cdot \frac{3500}{300} = 96$$

т.е. мы ищем на графике такую точку, в которой $\frac{p(T)}{T} = 96$

Нам $\frac{p(T)}{T}$ - это по сути условие, которое нужно, приведенное к (0;0) в

данном случае на графике. Примем, можно заметить, что кривая T к сильно выпуклой, т.е. наша точка будет чуть выше 345 K

$$\begin{array}{r} \times 345 \\ 96 \\ \hline 2070 \\ 3105 \\ \hline 33120 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} \times 344 \\ 96 \\ \hline 2064 \\ 3096 \\ \hline 33024 \end{array}$$

$$\text{т.е. } T \approx 344 \text{ K, а } t^* \approx 71^\circ\text{C}$$



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!

3) φ_k - ? $\varphi_k = \frac{P_k}{P_{н.н}(t=30^\circ\text{C})}$

Найти P_k

$$P_k \cdot V = \frac{8 \cdot \mu_n}{\mu} R T_k \quad / \%$$

$$P_0 \cdot V = \frac{\mu_n}{\mu} R T_0$$

$$\frac{P_k}{P_0} = \frac{8 T_k}{T_0} \Rightarrow P_k = \frac{8 \cdot 363}{300} \cdot \frac{12}{3600} \text{ Па}$$

$$\varphi_k = \frac{P_0 \cdot \frac{8 T_k}{T_0}}{P_{н.н}(t=30^\circ\text{C})} = \frac{\frac{12}{3600} \cdot \frac{8 \cdot 363}{300}}{70000} = \frac{34748}{70000} \approx 0,5$$

$$\begin{array}{r} 363 \\ \times 96 \\ \hline 2178 \\ 3267 \\ \hline 34748 \end{array}$$

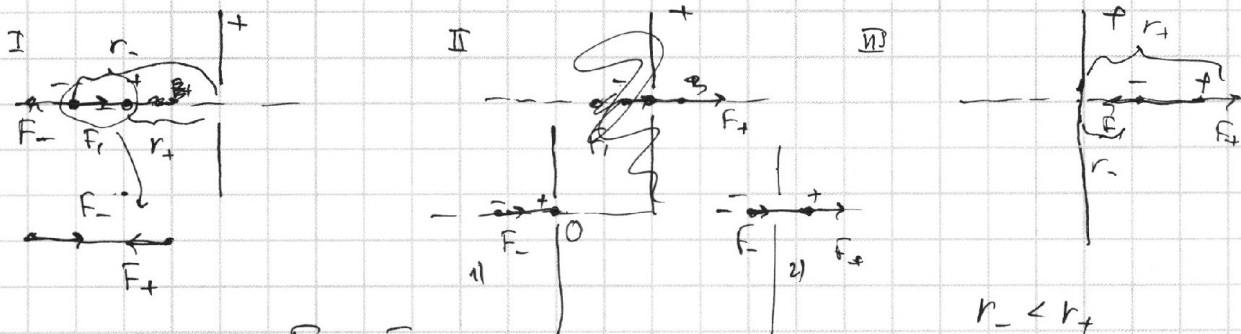
$$\underline{\underline{\varphi_k \approx 50\%}}$$

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!

Т.к. мы получили $W_0 = 0$ (нач. энергии эл. взаимодействия)
Разберем условия пролета димона.



$$r_- > r_+ \Rightarrow F_+ > F_- \quad F_+ = 0 \quad F_- > F_+$$

(если от димона)

$$r_- < r_+ \Rightarrow F_- > F_+$$

Т.е. на расстоянии k диску димон начнет тормозить, так как сила притяжения к диску будет больше силы отталкивания.

Т.е. сила со стороны диска на димон всё время направлена на него, чтобы димон пролетел через диск, нужно уменьшить скорость димона!
Необходимо, чтобы положительная зарядка прошла до точки O . (рис II 1))

Пусть L - расстояние между зарядами, то тогда, когда "+" в O

$$\text{то } W = -k \frac{qQ}{d}, \text{ где } Q - \text{заряд диска, } q - \text{заряд димона}$$

$$\text{И тогда } \frac{mv_0^2}{2} = 0 = 0 - (-k \frac{qQ}{L}) \quad \leftarrow \text{потенциальная энергия}$$

$$1) \quad q' = q/3 \quad \frac{mv_0^2}{2} - \frac{mv^2}{2} = -k \frac{qQ}{3L} + k \frac{qQ}{3L}$$

$$\text{т.е. } \underline{V = V_0}$$



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
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!

2) 1.6. На протяжении всего пролета $F \rightarrow$, то очевидно, что минимальная скорость будет, когда "+" в т.О., и максимальная, когда "-" в т.О.

$$\frac{m v_0^2}{2} - \frac{m v_{\min}^2}{2} = 0 - \left(- \frac{k q Q}{3d} \right)$$

$$\frac{m v_0^2}{2} - \frac{m v_{\max}^2}{2} = 0 - \frac{k q Q}{3d}$$

А также мы знаем, из (4) $\Rightarrow \frac{m v_0^2}{2} = k \frac{q Q}{d}$

Тогда $\frac{m v_{\min}^2}{2} = \frac{k q Q}{d} - \frac{k q Q}{3d} = \frac{2}{3} \frac{k q Q}{d}$

$$\frac{m v_{\max}^2}{2} = \frac{k q Q}{d} + \frac{k q Q}{3d} = \frac{4}{3} \frac{k q Q}{d}$$

$$\frac{v_{\max}^2}{v_{\min}^2} = \frac{\frac{4}{3}}{\frac{2}{3}} = 2 \Rightarrow \frac{v_{\max}}{v_{\min}} = \sqrt{2}$$

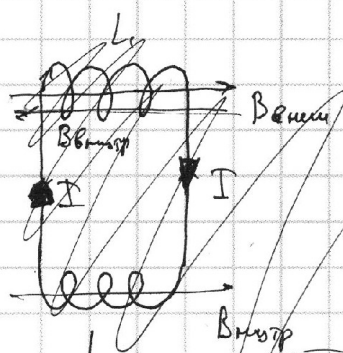


На одной странице можно оформлять **только одну** задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

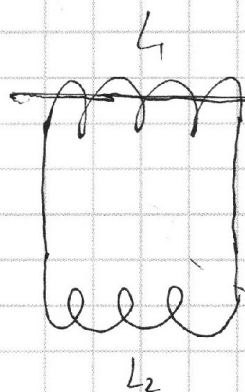
1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐

СТРАНИЦА
1 из 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!



Т.е. $B_{внеш} \downarrow \Rightarrow$ в катушке L будет возникать ЭДС индукции $\mathcal{E}_{инд}$ $B_{внеш} \downarrow \Rightarrow B_1$ будет быть $\leftarrow$ по правилу Ленца $\Rightarrow$ ток пойдет против часовой, или по часу слева вверху проводу катушки

$$\mathcal{E}_{инд} = - \frac{d\Phi}{dt} = - S_1 \cdot n_1 \cdot \frac{dB}{dt}$$


$B_{внеш}$ т.е. $B_{внеш} \downarrow$, то появится некоторая ток, который будет сохранять $\Phi = const = B_0 S n_1$

$$T.е. \frac{d\Phi_{внеш}}{dt} = \frac{d\Phi_{внут}}{dt}$$

$$S_1 \cdot n_1 \cdot \frac{dB}{dt} = (L_1 + L_2) \frac{dI}{dt}$$

1) В конце, когда ток не будет течь т.е. равно ток, тогда Φ_{00} будет

$$\Phi = B_0 S n_1 = (L_1 + L_2) I_0 \Rightarrow I_0 = \frac{B_0 S n_1}{13L}$$

2) В t момент $\Phi = B_0 S n_1 = B \cdot S n_1 + (L_1 + L_2) \cdot I \quad | \cdot dt$

$$\int_0^T S n_1 \cdot B_0 dt = S n_1 \cdot \int_0^T B dt + (L_1 + L_2) \cdot \int_0^T I dt$$

$S n_1 \cdot B_0 \cdot T = S n_1 \cdot \int_0^T B dt + (L_1 + L_2) \cdot \int_0^T I dt$

Φ_2 - который мы ищем

Т.е. если интегрируем $\Phi_2 = \frac{S n_1 \cdot \int_0^T B dt}{L_1 + L_2}$ (из условия)

$$\Phi_2 = \frac{S \cdot n_1}{L_1 + L_2} \left(\frac{1}{2} \cdot \frac{2}{5} B_0 \cdot \frac{2}{8} T + \frac{2}{5} B_0 \cdot \frac{2}{8} T + \frac{1}{2} \cdot \frac{3}{5} B_0 \cdot \frac{2}{8} T \right) =$$



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 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!

$$\varphi_2 = \frac{S_{n1}}{L_1 + L_2} \left(\frac{3^{12}}{20} + \frac{1^{14}}{10} + \frac{3}{40} \right) \cdot B_0 \tau = \frac{S_{n1}}{13L} \cdot \frac{13}{40} B_0 \tau$$

$$\varphi_2 = \frac{S_{n1} \cdot B_0 \tau}{40L}$$



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**.

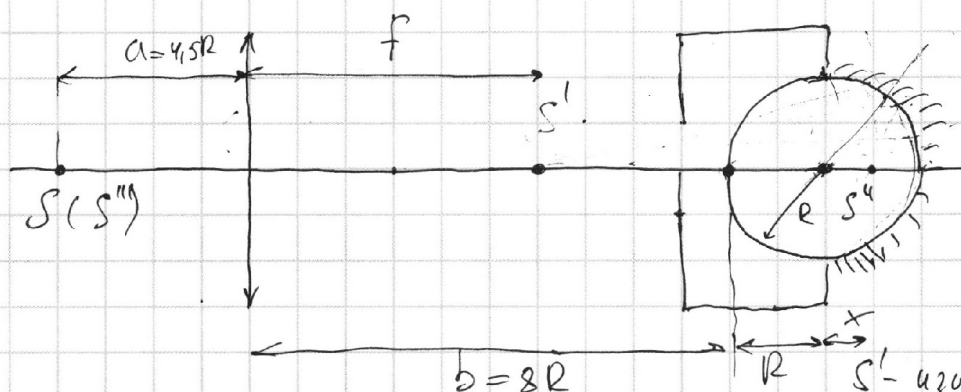
1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐

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!

1) Т.к. изображение в системе «линза-шар» совпадает с источником при любой комбинации. Возьмем наиболее простой случай, если $n_{ш} = 1$.

Из и ранее очевидно, что изображение - действительное, световые лучи в шар не попадают. Из по условию мы работаем в параксиальном приближении.



S' - изображение источника в линзе

S'' - изображение в системе

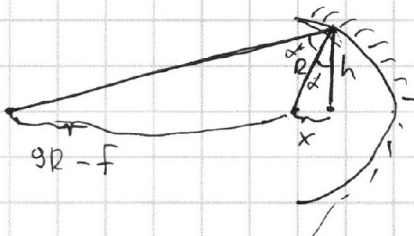
«линза + шар»

S' - изображение S' в шаре

Решение по формуле (1) и (2)

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

Изобразим как формируем S''



$$\sin \alpha = \frac{x}{R} \quad \sin 2\alpha = \frac{8R - f + x}{R}$$

$$\sin \alpha \approx \tan \alpha \approx \alpha = \frac{x}{R}$$

$$\sin 2\alpha \approx \tan 2\alpha \approx 2\alpha = \frac{8R - f + x}{R}$$

$$\frac{x}{R} = \frac{8R - f + x}{2R}$$

$$x = 8R - f$$



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
2 ИЗ 2

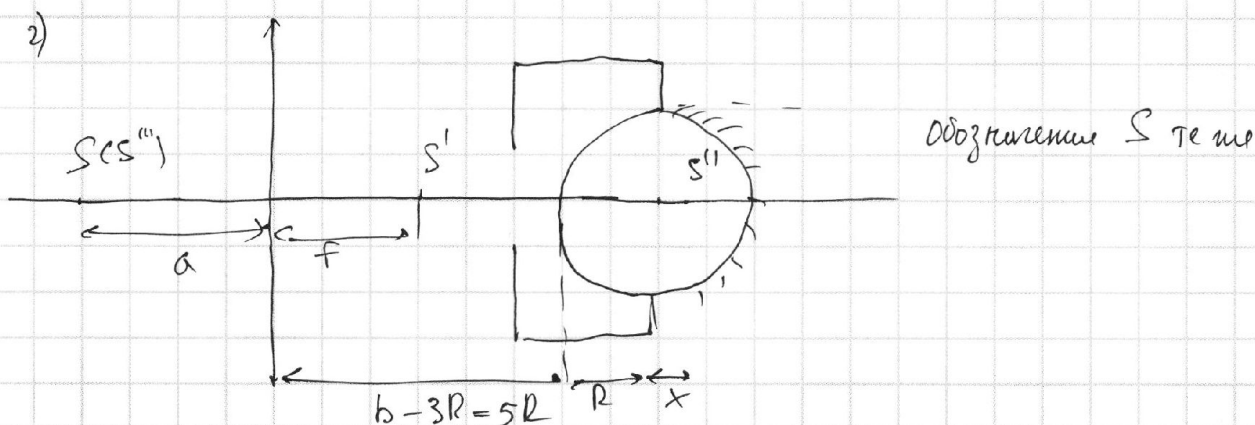
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!

$$\frac{1}{f + 3R - f + x} + \frac{1}{a} = \frac{1}{F}$$

$$\frac{1}{3R - f} + \frac{1}{a} = \frac{1}{F} \quad \Rightarrow \quad \frac{1}{3R - f} = \frac{1}{F}$$

$$\frac{1}{f} + \frac{1}{a} = \frac{1}{F} \quad \Rightarrow \quad \underline{f = 3R}$$

$$\frac{1}{3R} + \frac{2}{3R} = \frac{1}{F} \Rightarrow \underline{\underline{F = 3R}}$$



По ф-л Шмидта $\frac{1}{F_{\text{ш}}} = (n-1) \left(-\frac{1}{R} + \frac{1}{a} \right) = -\frac{n-1}{R}$

т.к. a, F остались те же $\Rightarrow f = 3R \Rightarrow$ изобразит отмычку

формируем за шором. Т.е.



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!

