



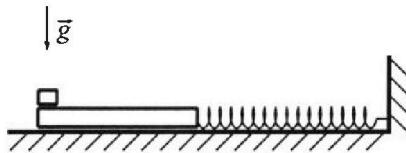
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2025

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 брускок массой $m = 1$ кг, а в другой конец упирается легкая сжатая пружина жёсткостью $k = 100$ Н/м, прикреплённая к стенке. Коэффициент трения скольжения бруска по доске $\mu = 0,4$. Доску отпускают, она начинает движение, а брускок 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.

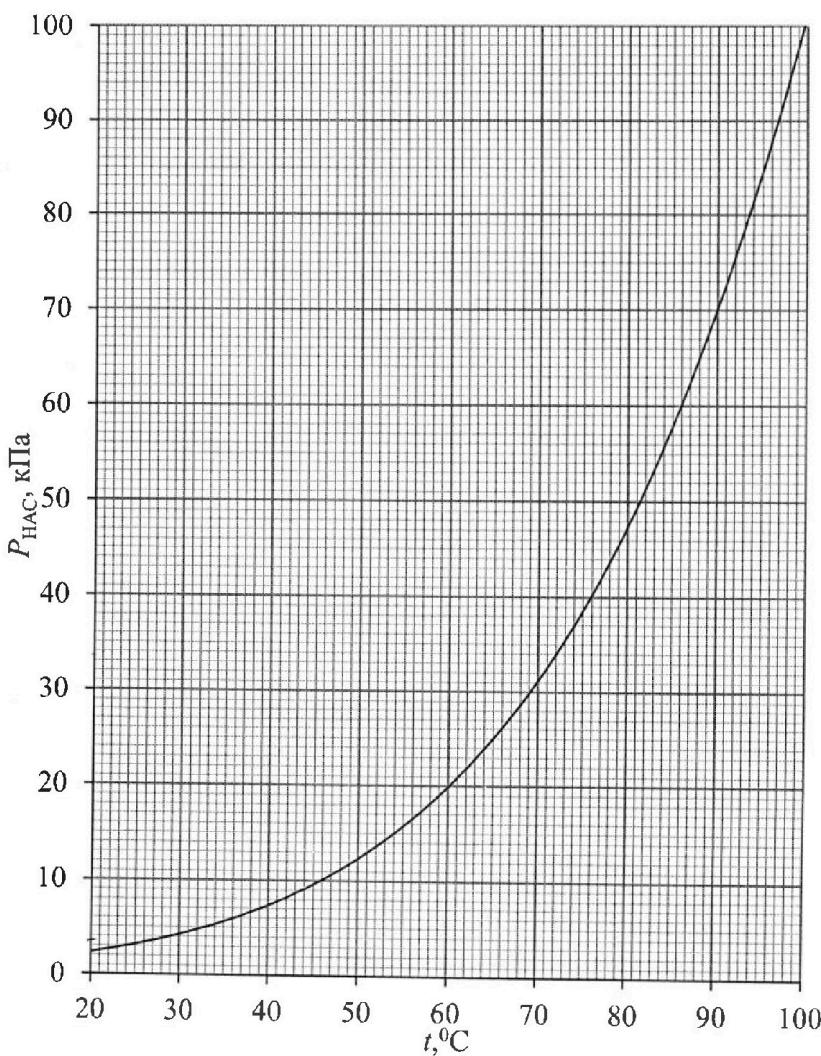


- 1) Найдите сжатие пружины в момент времени, когда относительное ускорение бруска и доски станет равным нулю, впервые после начала движения.
- 2) Найдите ускорение доски сразу после начала движения.
- 3) Найдите скорость доски в момент времени, когда относительное ускорение бруска и доски станет равным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

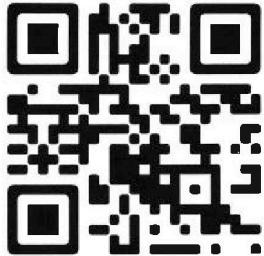
2. В сосуде постоянного объема находятся в равновесии влажный воздух при температуре $t_0 = 27$ °С и жидкая вода. Масса жидкой воды в 7 раз больше массы пара. Содержимое сосуда постепенно нагревают до температуры $t = 90$ °С. В результате вся вода превращается в пар. Известен график зависимости давления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

Объём м жидкости по сравнению с объёмом газа можно пренебречь. Пар считать идеальным газом.



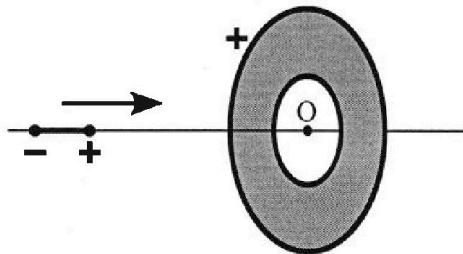
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2025



Вариант 11-04

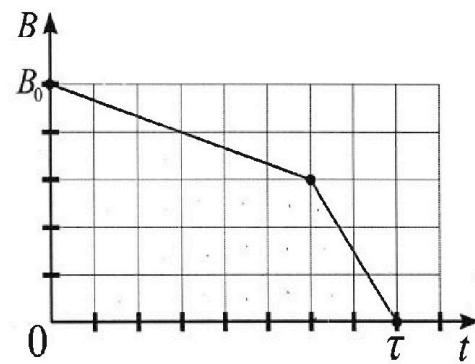
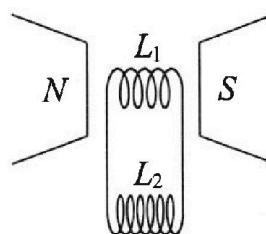
В ответах всех задач допустимы обыкновенные дроби и радикалы.

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 диполю начальную скорость V_0 .



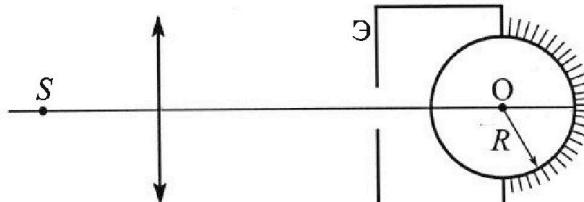
- 1) Найти скорость диполя при пролете центра диполя через центр отверстия.
- 2) Найти отношение максимальной и минимальной скоростей диполя при пролете.

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

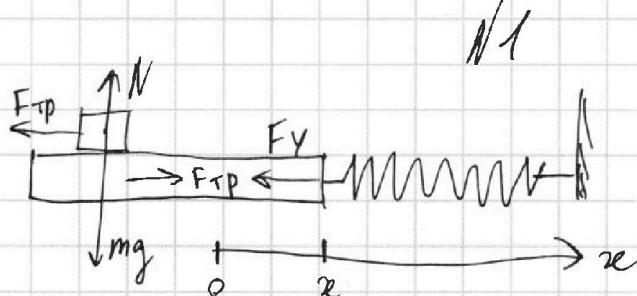
5

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!



$$1) F_{trp} = Ma, \text{ 2-й зак. Ньютона.}$$

$$F_y - F_{trp} = Ma, \text{ 2 з.Н.}$$

$$N = mg, \quad F_{trp} = \mu N = \mu mg$$

$$F_y = kx,$$

$$\mu mg = ma, \quad a = \mu g$$

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

$$x_0 = \frac{\mu g (M+m)}{k} = \frac{0,2 \cdot 10 \cdot 5}{100} M = 0,2 M$$

$$2) F_{sys} \leq kx - \mu mg = \dots - Max \quad *2 з.Н. для
затухания на оси x$$

$$\ddot{x} + \frac{k}{M} x = \cancel{\mu mg} / M$$

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{M}}$$

$$x = A \cdot \cos(\omega t + \varphi) \quad \checkmark \text{ синусоидально}$$

$$\dot{x} = -A\omega \sin(\omega t + \varphi) = -\mu g t - \text{коэф. ускор.} = 0$$

$$\ddot{x} = -A\omega^2 \cos(\omega t + \varphi) = 0 \quad \checkmark \text{ синусоидально}$$

$$-A\omega \sin \varphi = 0 \quad \checkmark \text{ ненулевой начальный момент}$$

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**.



- | | | | | | | |
|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|

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!

$$\begin{aligned}
 A^2 &= \left(\frac{\mu g t}{w}\right)^2 + \left(\frac{\mu g}{w^2}\right)^2 = \left(\frac{\mu g}{w}\right)^2 \left(t^2 + \frac{1}{w^2}\right) \\
 a_0 &= -\ddot{x}(0) = w^2 A \cos 0 = w^2 A \\
 &\Rightarrow \mu g \sqrt{w^2 t^2 + 1} = \mu g \sqrt{\frac{k t^2}{M} + 1} \\
 &\Rightarrow \tan(wt) = \frac{wt}{\sqrt{\frac{k t^2}{M} + 1}} = \frac{wt}{\sqrt{\frac{M}{k} + \frac{t^2}{M}}} \\
 &\Rightarrow \cos wt = 0 \Rightarrow wt = \frac{\pi}{2} \\
 &\text{в первом раз} \quad t = \frac{\pi}{2w} \quad \sin wt = 1 \\
 wA &= \mu g + \frac{\mu g \pi}{2w}
 \end{aligned}$$

$$A = \frac{\pi \mu g}{2w^2} = \frac{\pi \mu g}{2} \cdot \frac{M}{k}$$

$$a_0 = -\ddot{x}(0) = w^2 A = \frac{\pi \mu g}{2} = \frac{3 \cdot 0,4 \cdot 10}{2} \frac{M}{c^2} = 6 \frac{M}{c^2}$$

$$\ddot{x}_1 = -w^2 A \cos wt_1 = -a_1 = -\mu g \Rightarrow \cos wt_1 = \frac{\mu g}{w^2 A}$$

$$\dot{x}_1 = -wA \sin wt_1 = -wA \sqrt{1 - \left(\frac{\mu g}{w^2 A}\right)^2} = -A \sqrt{w^2 - \left(\frac{\mu g}{w A}\right)^2}$$

$$\begin{aligned}
 U_1 &= -\dot{x}_1 = A \sqrt{w^2 - \left(\frac{\mu g}{w A}\right)^2} = \sqrt{w^2 A^2 - \left(\frac{\mu g}{w}\right)^2} \\
 &= \frac{\pi \mu g M}{2k} \sqrt{\frac{k}{M} - \frac{4 \mu^2 g^2 M k^2}{k \cdot \pi^2 \mu^2 g^2 M^2}} = \sqrt{\frac{\pi^2 \mu^2 g^2 M}{4k} - \frac{\mu^2 g^2 M}{k}} =
 \end{aligned}$$

$$= \frac{\pi^2}{2} \mu g \sqrt{\frac{M}{k}} \sqrt{\frac{\pi^2}{4} - 1} = \frac{\pi^2}{2} \mu g \sqrt{\frac{M}{k}} \sqrt{\frac{5}{4}} = \frac{\pi^2}{2} \frac{\mu g \sqrt{5M}}{k} = \frac{\pi^2}{2} \frac{M}{c}$$

$$\text{Ответ: } x_1 = \frac{\mu g (M+m)}{k} = 0,2 \text{ м}, \quad a_0 = \frac{\pi \mu g}{2} = 6 \frac{M}{c^2}, \quad U_1 = \frac{\mu g \sqrt{5M}}{k} = \frac{2}{\sqrt{5}} \frac{M}{c}$$

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.



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!

1/2

$$m_n = m$$

$$m_k = 4m$$

$$m'_n = m_n + m_k = 8m$$

$$1) \frac{m'_n}{m_n} = 8$$

$$p_n V = \frac{m}{\mu} RT_0 \quad T_0 = t_0 + 273K = 300K$$

$$p'_n V = \frac{8m}{\mu} RT' \quad T' = t' + 273K$$

$$\frac{p'_n}{p_n} = \frac{8T'}{T_0} \Rightarrow \frac{p'_n}{T'} = \frac{8p_n}{T_0} = \frac{28kPa}{300K}$$

$$\frac{p'_n}{T'} = \frac{28kPa}{300K} \approx \frac{\cancel{300}kPa}{\cancel{300}K} \quad \cancel{300} \frac{32kPa}{344K}$$

$$p'_n = 32kPa \quad \text{из графика}$$

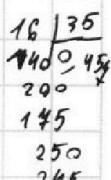
$$T' = 344K$$

$$t' = 41^\circ C$$

$$p_{n90} = 10kPa - p_n \text{ при } t = 90^\circ C$$

$$\varphi = \frac{p'_n}{p_{n90}} = \frac{32}{40} = \frac{16}{35} \approx 0,46$$

$$\varphi \approx 46\%$$



$$\frac{16}{35} \approx 0,46$$

Ответ: $\frac{m'_n}{m_n} = 8$, $t' \approx 41^\circ C$, $\varphi \approx 46\%$



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.

- | | | | | | | |
|----------------------------|----------------------------|---------------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| <input type="checkbox"/> 1 | <input type="checkbox"/> 2 | <input checked="" type="checkbox"/> 3 | <input type="checkbox"/> 4 | <input type="checkbox"/> 5 | <input type="checkbox"/> 6 | <input type="checkbox"/> 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!

N³

$$W_0 + \frac{m V_0^2}{2} = W + \frac{m V^2}{2}$$

1

$W_0 = 0$ максимальная начальная энергия взаимодействия диска с ~~зарядом~~ диском

(без учета взаимодействия зарядов внутренних дисков и без учета взаимодействия зарядов внутренних дисков между собой, т.к. их взаимодействия не принимаются)

$W = 0$ в силу симметрии ~~зарядов~~ энергии взаимодействия - \Rightarrow с заряженным диском будет равна по модулю и противоположна, но знаку ~~зарядов~~ \Rightarrow с зар. диском (...)

$$\Rightarrow \frac{m V_0^2}{2} = \frac{m V^2}{2} \Rightarrow V_0 = V$$

$\frac{m V_0^2}{2} = W_{\max}$ - ~~максимальная начальная~~ энергия при первом прохождении

$W_{\min} = -W_{\max}$ - в силу симметрии

$$\frac{m V_0^2}{2} = \frac{m V_{\min}^2}{2} + W_{\max} = \frac{m V_{\min}^2}{2} + \frac{m V_0^2}{2}$$

$$\frac{m V_0^2}{2} = \frac{m V_{\max}^2}{2} + \frac{W_{\min}}{3} = \frac{m V_{\max}^2}{2} - \frac{m V_0^2}{6}$$

$$\frac{V_{\max}}{V_{\min}} = \sqrt{2} \quad \text{Ответ: } V = V_0, \frac{V_{\max}}{V_{\min}} = \sqrt{2}, \frac{V_{\max}^2}{V_{\min}^2} = \frac{2 V_0^2}{3} \quad V_{\min} = \frac{2 V_0^2}{3} \quad V_{\max} = \frac{4 V_0^2}{3}$$

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 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!

$$\mathcal{E} = -\frac{d\Phi_1}{dt} = -\frac{N_1}{dt} \frac{d\Phi_2}{dt}$$

$$\Rightarrow \frac{d\Phi_1}{dt} = -\frac{dB}{dt} nS_1 - L_1 \frac{dI}{dt}$$

$$\frac{d\Phi_2}{dt} = L_2 \frac{dI}{dt}$$

$$-\frac{dB}{dt} nS_1 = (L_1 + L_2) \frac{dI}{dt}$$

$$-dB nS_1 = (L_1 + L_2) dI \quad (B_0 - B) nS_1 = (L_1 + L_2) I$$

$$-(0 - B_0) nS_1 = B_0 nS_1 = (L_1 + L_2) (I_0 - 0) = (L_1 + L_2) I_0$$

$$I_0 = \frac{B_0 nS_1}{L_1 + L_2} = \frac{B_0 nS_1}{13L}$$

$$q = \int_0^T I dt = \int_0^T \frac{B_0 - B}{L_1 + L_2} nS_1 dt =$$

$$= \frac{B_0 nS_1 T}{L_1 + L_2} - \frac{nS_1}{L_1 + L_2} \left(\int_0^T B dt \right) = \frac{B_0 nS_1 T}{L_1 + L_2} - \frac{24 B_0 T n}{10(L_1 + L_2)}$$

$$\int_0^T B dt = \left(B_0 \cdot \frac{6}{8} T \right) - \underbrace{\left(\frac{2}{5} B_0 \cdot \frac{6}{8} T \right)}_{\text{исчезают при } B(t)} + \frac{3 B_0}{5} \cdot \frac{2}{8} T =$$

$$= \frac{3}{4} B_0 T - \frac{3}{20} B_0 T + \frac{3 B_0 T}{40} = \frac{30 B_0 T - 3 B_0 T}{40} = \frac{24 B_0 T}{40}$$



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 |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

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!

$$q = \frac{B_{onS_1T}(40-24)}{40(L_1+L_2)} = \frac{13B_{onS_1T}}{40(L_1+L_2)} = \frac{B_{onS_1T}}{40L}$$

Ответ: $I_0 = \frac{B_{onS_1}}{L_1+L_2} = \frac{B_{onS_1}}{13L}$

$$q = \frac{13B_{onS_1T}}{40(L_1+L_2)} = \frac{B_{onS_1T}}{40L}$$



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 |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

СТРАНИЦА
1 из 2

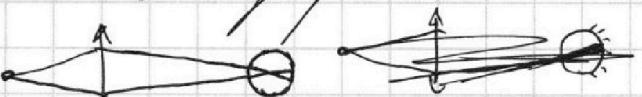
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!

15

изображение совпадает с истинным \Rightarrow
первое изб. (в линз) совпадает с последней
истинной (до второго преломления в л.)

\Rightarrow изображение ~~в системе~~ ^{после} изображение ~~на~~ зеркало ~~на~~
совпадает с ист. до зеркала 3. и.

\Rightarrow лучи падают на зеркало // радиусу
в таком случае после отражения они // радиусу
к точке падения \Rightarrow первое изображение ~~на~~ изображение
в центре зеркала

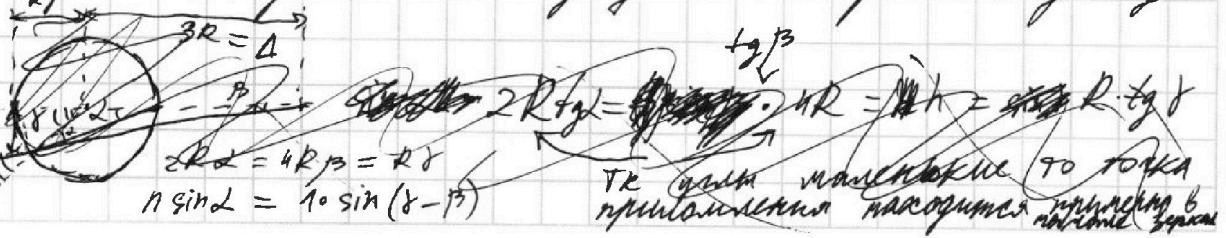


$$\frac{1}{a} + \frac{1}{d} = \frac{1}{F} \quad d = b + R = 9R$$

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{a} + \frac{1}{b+R} \Rightarrow F = \frac{a(b+R)}{b+a+R} = \frac{9R \cdot 9R}{(9+9)R} = 3R$$

изображение на зер. = ист. на зер.

\Rightarrow теперь лучи падают на линзу, что
после первого преломления линза все
они встремляются в ^{на зер.} зеркало
в таком случае после отражения
лучи пойдут по тому же направлению как



$$2R\alpha = 4R\beta = R\gamma$$

$$n \sin \alpha = 10 \sin (\gamma - \beta)$$

т.е. лучи падают на зеркало то линза
преломляет их обратно в ту же сторону



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.

- | | | | | | | |
|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| <input type="checkbox"/> 1 | <input type="checkbox"/> 2 | <input type="checkbox"/> 3 | <input type="checkbox"/> 4 | <input checked="" type="checkbox"/> 5 | <input type="checkbox"/> 6 | <input type="checkbox"/> 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!

$2\beta = 4\beta - \gamma$
 $n\alpha = \gamma - \beta = 4\beta - \gamma - 3\beta$
 $n = \frac{3}{2} = 1,5$
 Ответ: $F = 3R$
 $R \approx 1,5$

Δ

π $\beta\pi$
 $(\Delta + R)\tan\beta = 2R\tan\alpha = R\tan\gamma$

ТК ~~нужна~~ имеются
 то предполагаем
 происходящим примерно следующее
 схемой

$(\Delta + R)\beta = 2R\alpha = R\gamma \Rightarrow \alpha = \beta \frac{\Delta + R}{2R} \quad \gamma = \beta \frac{\Delta + R}{R}$
 $n \cdot \sin\alpha = \sin(\gamma - \beta) \Rightarrow n\alpha = \gamma - \beta$

$n = \frac{\gamma - \beta}{\alpha} = \frac{\beta \frac{\Delta + R}{R} - \beta \frac{R}{R}}{\beta \frac{\Delta + R}{2R}} = \frac{2\Delta}{\Delta + R} = \frac{6R}{4R} = 1,5$

Ответ: $F = 3R$, $n = \frac{2\Delta}{\Delta + R} = 1,5$
 $\frac{a(b+R)}{a+b+R}$



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
_ 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!



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 |
| <input type="checkbox"/> |

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!