



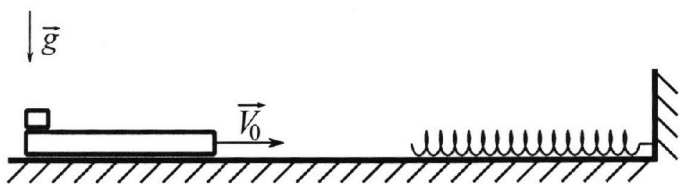
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2025

Вариант 11-01

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 $V_0 = 2$ м/с. В некоторый момент доска начинает сжимать лежащую на поверхности легкую достаточно длинную пружину с коэффициентом жёсткости $k = 27$ 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.

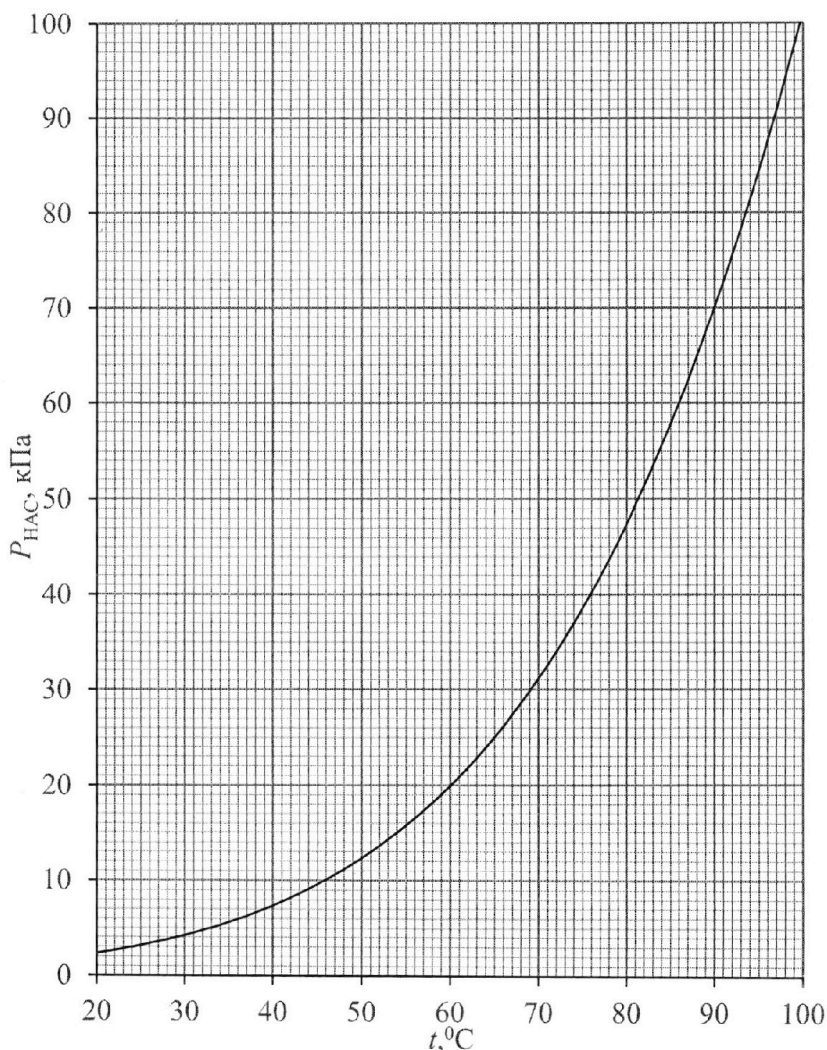


- 1) Найдите сжатие пружины в тот момент, когда начнётся относительное движение бруска и доски.
- 2) Найдите промежуток времени с момента начала сжатия пружины до момента начала относительного движения бруска и доски.
- 3) Найдите ускорение доски в момент максимального сжатия пружины.

2. В вертикальном цилиндре с гладкими стенками под массивным поршнем находится влажный воздух при давлении $p_0 = 150$ кПа, температуре $t_0 = 86$ °С и относительной влажности $\varphi_0 = 2/3$ (66,7%). Содержимое цилиндра постепенно остывает до температуры $t = 46$ °С. Известен график зависимости давления насыщенного пара воды от температуры.

- 1) Найти парциальное давление пара P_1 при 86 °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 жидкости по сравнению с объёмом га за можно пренебречь. Пар считать идеальным газом.





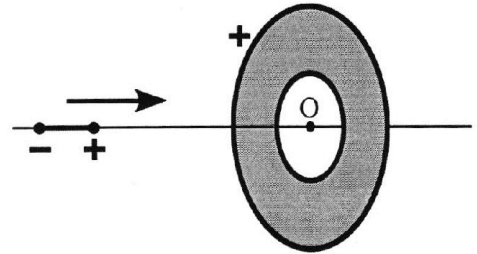
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2025

Вариант 11-01

В ответах всех задач допустимы обыкновенные дроби
и радикалы.

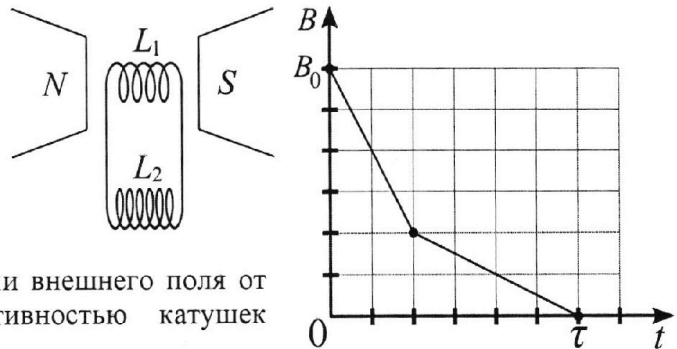


3. В плоском тонком диске в форме круга имеется круглое отверстие (см. рис.). Центры диска и отверстия совпадают в точке O . Диск имеет однородно распределенный по поверхности положительный заряд. Система из двух жестко связанных равных по модулю и противоположных по знаку точечных зарядов (диполь) движется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



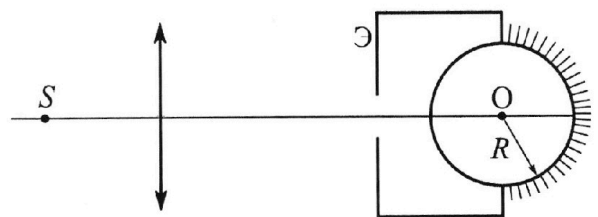
- 1) Найти скорость диполя при пролете центра диполя через центр отверстия.
- 2) Найти разность максимальной и минимальной скоростей диполя при пролете.

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.

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 $\sin \alpha \approx \alpha$.



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

1) Относ. движение начнётся тогда, когда $F_{\text{тр. покоя}}$, действующая со стороны бруса на доску, не станет равна $F_{\text{упр. пружины}}$.

$$\max(F_{\text{тр. покоя}}) = \mu mg \quad ; \quad F_{\text{упр.}} = k \Delta x$$

$$k \Delta x = \mu mg$$

$$\Delta x = \frac{\mu mg}{k} = \frac{0,3 \cdot 1 \cdot 10}{27} = \frac{1}{9} \text{ м}$$

2) Пока не началось относ. движение бруса и доски и пружинка представляет из себя пружинный маятник.

II Закон Ньютона:

$$(M+m)\ddot{x} = -kx$$

$$x = A_0 \sin(\omega_0 t + \varphi_0) \quad \omega_0 = \sqrt{\frac{k}{M+m}} = \sqrt{\frac{27}{2+1}} = 3 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

$$x(0) = 0 = A_0 \sin \varphi_0 \Rightarrow \varphi_0 = 0$$

$$\dot{x}(0) = v_0 = A_0 \omega_0 \cos(\omega_0 t) \Rightarrow A_0 = \frac{v_0}{\omega_0}$$

$$x = \frac{v_0}{\omega_0} \sin \omega_0 t \quad ; \quad \tau - \text{время движения до относ. движен.}$$

$$x(\tau) = \Delta x = \frac{v_0}{\omega_0} \sin \omega_0 \tau$$

$$\sin \omega_0 \tau = \frac{\Delta x \omega_0}{v_0}$$

$$\tau = \frac{\arcsin\left(\frac{\Delta x \omega_0}{v_0}\right)}{\omega_0} = \frac{\arcsin\left(\frac{\frac{1}{9} \cdot 3}{2}\right)}{3} = \frac{\arcsin\left(\frac{1}{6}\right)}{3} \text{ с}$$



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

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) Закон сохранения энергии ^{начало} для $t=0$ и $t=\tau$;

$$\frac{(m+M)v_0^2}{2} = \frac{k\Delta x^2}{2} + \frac{(M+m)v^2}{2}$$

$$v^2 = \sqrt{v_0^2 - \frac{k\Delta x^2}{M+m}} = \sqrt{4 - \frac{27 \cdot 81}{3}}$$

$$v = \sqrt{4 - \frac{1}{9}} = \frac{\sqrt{35}}{3} \text{ м/с}$$

После ^{начала} отскока ^{начало} гравитация F_{TP} действует ^{против} $F_{упр}$ всё время.

II Закон Ньютона для доски:

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

$$\ddot{x} + \frac{k}{M} \left(x - \frac{\mu mg}{k} \right) = 0 \quad x_1 = x - \frac{\mu mg}{k}$$

$$x_1 = A \cos(\omega t + \varphi) \quad \omega = \sqrt{\frac{k}{M}} = \sqrt{\frac{27}{2}} \text{ рад/с}$$

$$x = \frac{\mu mg}{k} + A \cos(\omega t + \varphi)$$

$$x(\tau) = \frac{\mu mg}{k} + A \cos(\omega \tau + \varphi)$$

$$\frac{1}{9} = \frac{1}{9} + A \cos(\omega \tau + \varphi)$$

$$\cos(\omega \tau + \varphi) = 0$$

$$\varphi = \frac{\pi}{2} - \omega \tau = \frac{\pi}{2} - \sqrt{\frac{27}{2}} \cdot \frac{\arcsin \frac{1}{6}}{3} = \frac{\pi}{2} - \sqrt{\frac{3}{2}} \arcsin \frac{1}{6}$$

$$\cancel{x_1} \quad x = \frac{\mu mg}{k} + A \sin(\omega t - \sqrt{\frac{3}{2}} \arcsin \frac{1}{6})$$

$$\dot{x}(\tau) = v = A \omega \cos(\omega \tau - \sqrt{\frac{3}{2}} \arcsin \frac{1}{6}) = A \omega$$

$$A = \frac{v}{\omega} = \frac{\sqrt{35}}{9\sqrt{2}} \text{ м}$$



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.



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!

~1

$$3) \quad \ddot{x} = -A \omega^2 \sin\left(\omega t - \sqrt{\frac{3}{2}} \arcsin \frac{1}{6}\right) \quad T = \frac{2\pi}{\omega}$$

max смещение через $t_1 = \frac{1}{4}T - \tau$

$$\ddot{x}(t_1) = -A \omega^2 \sin\left(\omega \frac{1}{4}T - 2\sqrt{\frac{3}{2}} \arcsin \frac{1}{6}\right)$$

$$\ddot{x}(t_1) = -\frac{\sqrt{120}}{0\sqrt{2}} \cdot \frac{2\pi}{2} \sin\left(\frac{\pi}{2} - \sqrt{6} \arcsin \frac{1}{6}\right)$$

$$\ddot{x} = -\frac{\sqrt{35}}{\sqrt{2}} \sqrt{3} \cos\left(\arcsin \frac{1}{6}\right)$$

$$\ddot{x} = -\frac{\sqrt{35} \cdot \sqrt{3}}{\sqrt{2}} \sqrt{1 - \left(\frac{1}{6}\right)^2} = \frac{-35\sqrt{3}}{\sqrt{2} \cdot 6} = \frac{-35\sqrt{6}}{12} \text{ м/с}^2$$

берём по модулю, тогда $a = \frac{35\sqrt{6}}{12} \text{ м/с}^2$

Ответ: 1) $\frac{1}{9} \text{ м}$ 2) $\frac{\arcsin(\frac{1}{6})}{3} \text{ с}$ 3) $\frac{35\sqrt{6}}{12} \text{ м/с}^2$



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!

$$p_0 = 150 \text{ кПа} \quad t_0 = 86^\circ \text{C}; T_0 = 359 \text{ К} \quad \varphi_0 = \frac{2}{3} \quad \left. \begin{array}{l} n - \text{пар} \\ n - \text{кальций пар} \\ b - \text{воздух} \end{array} \right\}$$

$$t = 46^\circ \text{C} \quad T = 319 \text{ К}$$

1) из графика $p_{n_1}(t_0) = 60 \text{ кПа}$

$$\varphi_0 = \frac{p_n(t_0)}{p_{n_1}(t_0)} = \frac{2}{3} \Rightarrow p_n(t_0) = \frac{2}{3} \cdot 60 = 40 \text{ кПа}$$

$$\Rightarrow p_1 = 40 \text{ кПа}$$

2) конденсация при $p_n(t_0) = p_{n_1}(t^*)$

из графика при $p_{n_1} = 40 \text{ кПа}$

$$t^* = 76^\circ \text{C}$$

(условие равновесия)

3) сверху известно $\Rightarrow p_b + p_n = \text{const} = p_0$

упр-ие Менделеева - Клапейрона
для воздуха

$$p_b V_b = \nu_b R T_0$$

$$p_b V_b = \nu_b R T$$

для пара

$$p_{n_0} V_{n_0} = \nu_{n_0} R T_0$$

$$p_{n_1} V_{n_1} = \nu_{n_1} R T$$

$$V_{n_0} = V_{b_0} = V_0; V_b = V_n = V$$

при $t \quad p_{n_1} = 10 \text{ кПа}$

$$\frac{V}{V_0} = \frac{\frac{\nu_b R T}{p_b}}{\frac{\nu_b R T_0}{p_{b_0}}} = \frac{p_{b_0} T}{p_b T_0}$$

$$p_{b_0} = p_0 - p_n(t_0) = 110 \text{ кПа}$$

$$p_b = p_0 - p_{n_1} = 140 \text{ кПа}$$

$$\frac{V}{V_0} = \frac{110 \cdot 319}{140 \cdot 359} = \frac{11}{14} \cdot \frac{319}{359} \approx \frac{88}{126} = \frac{44}{63}$$

Ответ: 1) $p_1 = 40 \text{ кПа}$; 2) $t^* = 76^\circ \text{C}$

3) $\frac{V}{V_0} \approx \frac{44}{63}$



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) При V_0 он ^{из} ~~предел~~ $\Rightarrow$ скорость в
диске ноль. $\varphi_0 = 0$
ЗСЗ; m - масса шарика

$$\frac{2mV_0^2}{2} = E_p \quad E_p - \text{энергия взаимодействия шарика внутри диска.}$$

$$\frac{2m(V_0)^2}{2} = E_p + \frac{2mV^2}{2}$$

$$V^2 = 3V_0^2$$

$$V = V_0\sqrt{3}$$

- 2) шарик теряет энергию E_p
из E_k

$$\frac{2mV^2}{2} - E_p = \frac{2mV^2}{2}$$

$$2mV_0^2 - E_p = mV^2$$

$$3mV_0^2 = mV_0^2 = mV^2$$

$$V = V_0\sqrt{2} \quad V = V_{\min}$$

скорость всегда уменьшается $\Rightarrow V_{\max} = 2V_0$

$$V_{\max} - V_{\min} = 2V_0 - V_0\sqrt{2} = V_0(2 - \sqrt{2})$$

Ответ: 1) $V_0\sqrt{3}$

$$2) V_0(2 - \sqrt{2})$$



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!

нч

$$\Phi_0 = n B_0 S_1 \quad \text{и} \quad \Phi_0 = I_0 (L_1 + L_2)$$

$L_1 + L_2$ - общая индукт. катушек при разомк. цепи

контуры идеальные $\Rightarrow \Phi = \text{const}$

$$I_0 = \frac{n B_0 S_1}{L_1 + L_2} = \frac{n B_0 S_1}{5L}$$

ЗЦЭ:

$$A_{\text{век}} + W_0 = 0$$

$$\mathcal{E}_{i1} \Delta q_1 + \frac{I_1^2 (L_1 + L_2)}{2} = 0$$

$\mathcal{E}_{i1}$ - на участке от 0 до $\frac{\tau}{2}$ через L_1

$\mathcal{E}_{i2}$ - на участке от $\frac{\tau}{2}$ до τ через L_1

$$\Phi_0 = n B_0 S_1 = I_1 (L_1 + L_2) + \frac{1}{3} B_0 S_1 n$$

$$I_1 = \frac{2}{3} \frac{n B_0 S_1}{5L} \quad (\text{в момент } \frac{\tau}{2})$$

$$\mathcal{E}_{i1} = n S_1 \frac{\frac{1}{3} B_0 - B_0}{\frac{1}{3} \tau} \quad \left\{ \begin{array}{l} = -n 2 B_0 S_1 \quad (\mathcal{E}_i = \frac{d\Phi}{dt}, S = \text{const}) \end{array} \right.$$

$$+ \frac{2n B_0 S_1 \Delta q_1}{\tau} = \frac{4}{9} \frac{n^2 B_0^2 S_1^2}{25L} \cdot \frac{5L}{2} *$$

$$\Delta q_1 = \frac{n B_0 S_1 \tau}{45L}$$

ЗЦЭ:

$$\mathcal{E}_{i1} \Delta q_1 + \mathcal{E}_{i2} \Delta q_2 + \frac{I_0^2 (L_1 + L_2)}{2} = 0$$

$$\mathcal{E}_{i2} = n S_1 \frac{0 - \frac{1}{3} B_0}{\frac{2}{3} \tau} = -\frac{1}{2} \frac{n B_0 S_1}{\tau}$$



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!

нч

$$\frac{1}{2} + 2 \cdot \frac{n B_0 S_1 \cdot \Delta q_1}{\tau} + \frac{1}{2} \frac{n B_0 S_1}{\tau} \cdot \Delta q_2 = \frac{n^2 B_0^2 S_1^2}{25 L^2} \cdot \frac{5 L}{2}$$

$$4 n B_0 S_1 \Delta q_1 + \Delta q_2 = \frac{n B_0 S_1 \tau}{5 L}$$

$$\Delta q_2 = \frac{n B_0 S_1 \tau}{5 L} - \frac{4 n B_0 S_1 \tau}{45 L}$$

$$\Delta q_2 = \frac{n B_0 S_1 \tau}{9 L}$$

$$\Delta q = \Delta q_1 + \Delta q_2 = \frac{2}{15} \frac{n B_0 S_1 \tau}{L}$$

Ответ: 1) $I_0 = \frac{n B_0 S_1}{5 L}$

2) $\frac{2}{15} \frac{n B_0 S_1 \tau}{L}$



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.

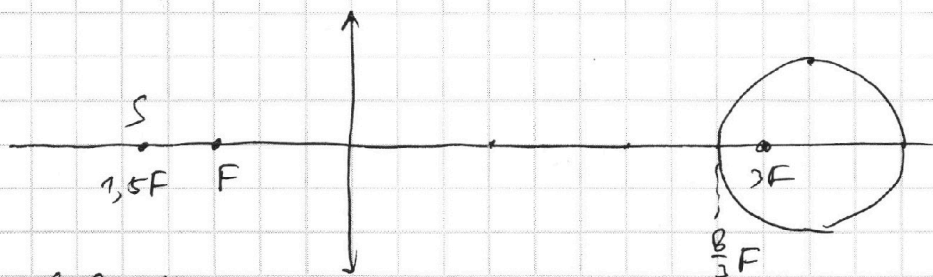


СТРАНИЦА

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!

~ 5



1) для линзы:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{s} + \frac{1}{d}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{F} + \frac{1}{1,5F} = \frac{0,5}{1,5F} \Rightarrow f = 3F$$

$\Rightarrow$ выбрать минимальное, т.к. $f > \frac{R}{3}$

для второго изображения ($|F_1| = +\frac{R}{2}$):

$$\frac{1}{f_1} = \frac{1}{3F - \frac{R}{3}} = -\frac{2}{R}$$

$$\frac{1}{f_1} = \frac{3R - 2F}{RF} \Rightarrow f = \frac{RF}{3R - 2F}$$

после отражения от правого полушария лучи должны пойти так же, как и

пришли $\Rightarrow$ после отражения ~~луч~~ и до

пересечения через фокус $\Rightarrow f_1 + |F_1| = 2R$
(луч пойдет в фокус):

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

$$\frac{F}{3R - 2F} - \frac{3}{2} = 0$$



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 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!

~5

$$2F = 3(3R - 2F) = 0$$

$$2F - 9R + 6F = 0$$

$$8F = 9R$$

$$R = \frac{8}{9}F$$

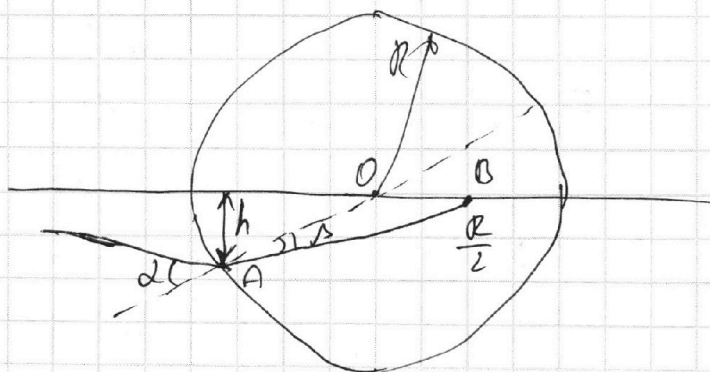
2) теперь угол α тоже можно считать реальное $\Rightarrow$

$$\Rightarrow \frac{1}{f} + \frac{1}{|b+d-3F|} = -\frac{2}{R}$$

$$\frac{1}{f} = -\frac{9}{4F} - \frac{3}{5F} = -\frac{45+12}{20F} = -\frac{57}{20F}$$

$$f = -\frac{20}{57}F \text{ угол мнимое.}$$

~~он~~ α ~~уменьшается~~ и попадает в фокус



$$\sin \alpha = \alpha = \frac{h}{R}$$

$$h \ll R$$



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
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!

Th cos qua $\triangle AOB$: ~ 5

$$\left(\frac{R}{2}\right)^2 = \cancel{R^2} + R^2 + \cancel{h^2} + \left(\frac{3}{2}R\right)^2 - 2\sqrt{h^2 + R^2}\sqrt{h^2 + \left(\frac{3}{2}R\right)^2}\cos\beta$$

$$\frac{R^2}{4} - R^2 - \frac{9}{4}R^2 = -2\sqrt{h^2 + R^2}\sqrt{h^2 + \frac{9}{4}R^2}\cos\beta$$

$$3R^2 = 2\sqrt{\frac{13}{4}R^2h^2 + \frac{9}{4}R^4}\cos\beta$$

$$9R^4 = 4\left(\frac{13}{4}R^2h^2 + \frac{9}{4}R^4\right)(1 - \sin^2\beta)$$

$$9R^4 = 13h^2 + 9R^2 - 13h^2\sin^2\beta - 9R^2\sin^2\beta$$

$$13h^2 = 9R^2\beta^2 \Rightarrow \beta = \frac{\sqrt{13}}{3} \frac{h}{R}$$

Закон Снеллиуса:

$$\sin\alpha = n \sin\beta \Rightarrow \alpha = n\beta$$

$$n = \frac{\frac{h}{R}}{\frac{\sqrt{13}}{3} \frac{h}{R}} = \frac{3}{\sqrt{13}}$$

Ответ: 1) $R = \frac{8}{9} F$

2) $n = \frac{3}{\sqrt{13}}$



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!

7) при v_0 требуется равно поделить
энергии чтобы дойти до дна,
и поделить чтобы улететь в бесконечность.
 $v \rightarrow v=0$ и масса шарика
393.
или v_0'
 $\frac{v_0'}{2}$



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.

☐☐☒☐☐☐☐

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) при v_0 скорости v_0 в центре инверсии v_0

Закон сохранения энергии: на ∞ $\varphi = 0 \Rightarrow E_{p\infty} = 0$

$\frac{2m v_0^2}{4} = E_p$ — энергия взаимов. зарядов и диска

$\frac{2m (2v_0)^2}{2} = E_p + \frac{2m v^2}{2}$ ($v_0/2$, т.к. требуется

$4v_0^2 - \frac{1}{4}v_0^2 = v^2$

$v = \frac{\sqrt{15}}{4} v_0$

2) $v_{\max} = 2v_0$, т.к. скорость убывает



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!

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

$$\frac{F}{3 R - 2 F} + \frac{-\frac{3}{2}}{2 R} = 0$$

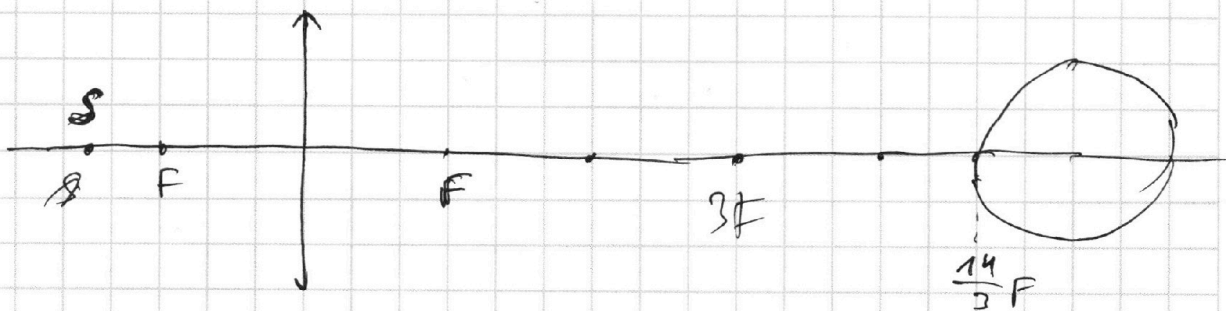
$$2 F - 3(3 R + 2 F) = 0$$

$$2 F - 9 R + 6 F = 0$$

$$8 F - 9 R = 0$$

$$8 F = 9 R$$

$$R = \frac{8}{9} F$$



$$\frac{1}{S} + \frac{1}{(\frac{14}{3} - 3)F} = -\frac{2}{R}$$

$$\frac{14 \div 9}{3} = \frac{5}{3}$$

$$\frac{1}{S} = -\frac{2}{4F} - \frac{3}{5F} = -\frac{45 + 12}{20F} = -\frac{57}{20F}$$

$$S = -\frac{20}{57} F$$

приводим к общему знаменателю и получаем в формулу

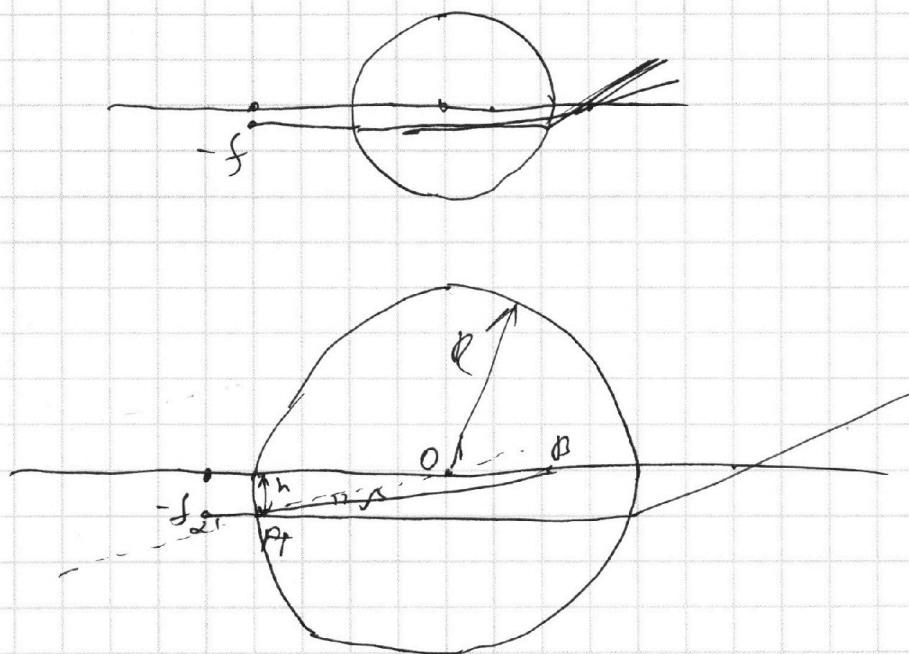


На одной странице можно оформлять **только одну** задачу. Отметьте **крестиком** номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в **решении каждой задачи отдельно**.

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!



$$\sin 2 = \frac{h}{R}$$

$$h < R$$

Т.к. cos в $\triangle AOB$:

$$\left(\frac{R}{2}\right)^2 = h^2 + R^2 + h^2 + \left(\frac{3}{2}R\right)^2 - 2\sqrt{h^2 + R^2}\sqrt{h^2 + \left(\frac{3}{2}R\right)^2} \cdot \cos \beta$$

$$\frac{R^2}{4} - R^2 - \frac{9}{4}R^2 = -2\sqrt{h^4 + R^2h^2 + \frac{9}{4}R^2h^2 + \frac{9}{4}R^4} \cos \beta$$

$$-3R^2 = 2\sqrt{h^4 + \frac{13}{4}R^2h^2 + \frac{9}{4}R^4} \cos \beta$$

$$9R^2 = 4\left(\frac{13}{4}R^2h^2 + \frac{9}{4}R^4\right)(1 - \sin^2 \beta)$$

$$9R^2 = (13h^2 + 9R^2)(1 - \sin^2 \beta)$$

$$9R^2 = 13h^2 + 9R^2 - 13h^2 \sin^2 \beta - 9R^2 \sin^2 \beta$$

$$13h^2 = 9R^2 \sin^2 \beta \Rightarrow \beta = \frac{\sqrt{13}}{3} \frac{h}{R}$$

$$\text{Закон Снеллиуса: } \sin 2 = n \sin \beta \Rightarrow 2 = n \beta \Rightarrow n = \frac{\frac{h}{R}}{\frac{\sqrt{13}}{3} \frac{h}{R}} = \frac{3}{\sqrt{13}}$$



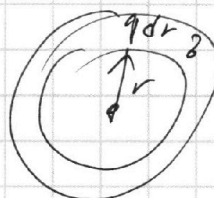
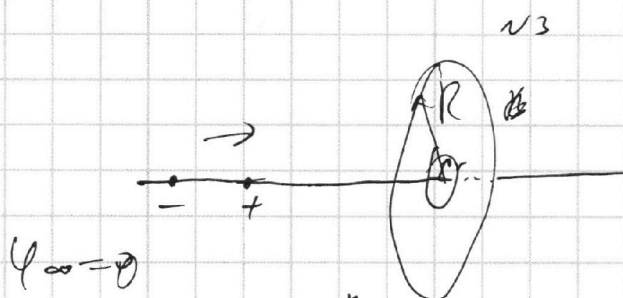
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

1 2 3 4 5 6 7

☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐

СТРАНИЦА
__ ИЗ __

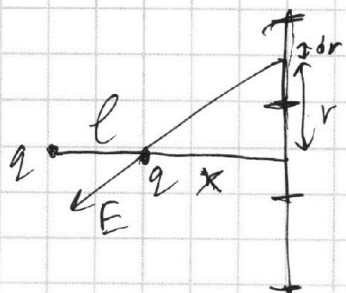
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!



$$\frac{2m v_0^2}{2} = 2q \int \frac{k}{r} dr = k q^2 (\ln R - \ln r) = k q^2 \ln \frac{R}{r}$$

$$\int_0^R d\psi_0 = \int_0^R \frac{k}{r} \cdot 2\pi r dr \cdot 2\pi$$

$$\psi_0 = 2\pi k q^2 (R - r)$$



$$2m \ddot{x} = - \frac{k q^2 r dr}{x^2} + \frac{k q^2 r dr}{(x+l)^2}$$

$$2) v_{max} = 2v_0$$

$$v_{min} = v_0 \sqrt{3}$$

$$\frac{2m v_0^2}{2} = E_p$$

$$1) \frac{2m (2v_0)^2}{2} = E_p + \frac{2m v^2}{2}$$

$$4m v_0^2 - m v_0^2 = m v^2$$

$$v^2 = 3v_0^2$$

$$v = v_0 \sqrt{3}$$



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
__ 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!

$$\Phi = S_1 \Delta B_1 = I_0 (L_1 + L_2)$$

$$\Phi_0 = B_0 \cdot S_1$$

$$\Phi_0 = I_0 (L_1 + L_2)$$

$$B_0 S_1 = I_0 \cdot 5L$$

$$I_0 = \frac{B_0 S_1}{5L}$$

ЗСЭ:

$$\mathcal{E}_{i1} \cdot \Delta q_1 \neq \mathcal{E}_{i2} \cdot \Delta q_2 \neq \frac{I_0^2 (L_1 + L_2)}{2} \Rightarrow$$

$$\frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = \mathcal{E}_i = S_1 \frac{\Delta B}{\Delta t}, \quad S_1 = \text{const}$$

$$\mathcal{E}_{i1} = S_1 \frac{\frac{1}{2} B_0 - B_0}{\frac{1}{3} \tau}$$

$$\mathcal{E}_{i2} = S_1 \frac{0 - \frac{1}{2} B_0}{\frac{2}{3} \tau}$$

$$\mathcal{E}_{i1} = -2 B_0 S_1$$

$$\mathcal{E}_{i2} = -\frac{1}{2} B_0 S_1$$

$$\Phi_1 = B_0 S_1 = I_1 (L_1 + L_2) + \frac{1}{2} B_0 S_1$$

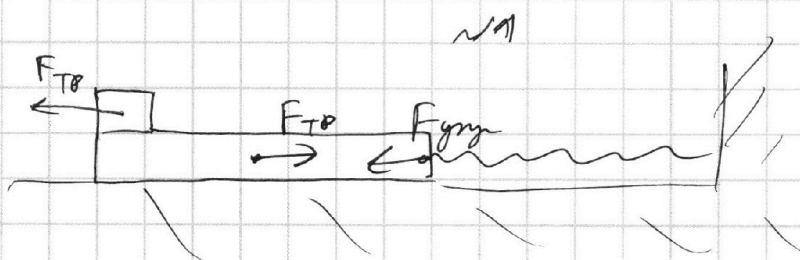
$$I_1 = \frac{2}{3} \frac{B_0 S_1}{5L}$$



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!



$$F_{Tp} = \mu mg$$

$$F_{yupr} = k \Delta x$$

$$1) F_{Tp} = F_{yupr}$$

$$\mu mg = k \Delta x$$

$$\Delta x = \frac{\mu mg}{k} = \frac{0,3 \cdot 1 \cdot 10}{27} = \frac{1}{9} \text{ м}$$

$$2) \text{ закон сохранения энергии: } \frac{(M+m)v_0^2}{2} = \frac{k \Delta x^2}{2} + \frac{(M+m)v^2}{2}$$

$$v^2 (M+m) = -k \frac{\mu^2 m^2 g^2}{k^2} + (M+m) v_0^2$$

$$v = \sqrt{\frac{(M+m)v_0^2 - \frac{\mu^2 m^2 g^2}{k}}{M+m}} = \sqrt{\frac{3 \cdot 4 - \frac{0,3^2 \cdot 1^2 \cdot 10^2}{27}}{3}}$$

$$v = \sqrt{\frac{3 \cdot 4 - \frac{1}{3}}{3}} = \sqrt{4 - \frac{1}{9}} = \frac{\sqrt{35}}{3} \text{ м/с}$$

$$(M+m) \ddot{x} = -Kx \quad \ddot{x} + \frac{K}{M+m} x = 0 \quad \omega_0 = \sqrt{\frac{K}{M+m}} = \sqrt{\frac{27}{3}} = 3$$

$$x_0 = A_0 \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$$

$$x_0(0) = 0 \Rightarrow \varphi_0 = \frac{\pi}{2}$$

$$x_0 = -A_0 \sin \omega_0 t$$

$$\dot{x} = -A_0 \cos \omega_0 t$$

$$x = \frac{v_0}{\omega_0} \sin \omega_0 t$$

$$\dot{x}(0) = v_0 = -A_0 \omega_0 \cos \omega_0 t \Rightarrow A_0 = -v_0 / \omega_0$$



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
__ 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!

$$X(\tau) = \Delta x = \frac{v_0}{\omega_0} \sin \omega_0 \tau$$

$$\frac{\Delta x \omega_0}{v_0} = \sin \omega_0 \tau$$

$$\tau = \frac{\arcsin\left(\frac{\Delta x \omega_0}{v_0}\right)}{\omega_0} = \frac{\arcsin\left(\frac{\frac{1}{9} \cdot 3}{2}\right)}{3}$$

$$\tau = \frac{\arcsin\left(\frac{1}{6}\right)}{3}$$

3) макс статие, когда все F_n направлены в E_p горизонталь. Верхний брусок передаст ~~на нижний~~ E_k долю силы трения

ИЗН!

$F_{тр.мнм} \rightarrow F_{тр}$

$$M \ddot{x} = -Kx + \mu mg$$

$$M \ddot{x} + Kx - \mu mg = 0$$

$$\ddot{x} + \frac{K}{M} \left(x - \frac{\mu mg}{K} \right) = 0$$

$$x_1 = x - \frac{\mu mg}{K}$$

$$\ddot{x}_1 + \frac{K}{M} x_1 = 0 \quad \omega = \sqrt{\frac{K}{M}} = \frac{3\sqrt{3}}{\sqrt{2}} - \sqrt{35} = \tan(\arcsin \frac{1}{6} + \varphi)$$

$$x = A \cos(\omega t + \varphi)$$

$$X(\tau) = A \cos(\omega \tau + \varphi) = \Delta x$$

$$\dot{x} = -A \sin \omega \tau (\omega t + \varphi)$$

$$\dot{x}(\tau) = v = -A \omega \sin(\omega \tau + \varphi)$$

$$\frac{1}{9} = A \cos(\arcsin \frac{1}{6} + \varphi)$$

$$\frac{\sqrt{35}}{3} = -3A \sin(\arcsin \frac{1}{6} + \varphi)$$

$$\varphi = -\arctan \sqrt{35} - \arcsin \frac{1}{6}$$



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!

$\sqrt{3}$ ~ 1

$$3) x_1 = A \cos(\omega t + \varphi)$$

$$x = \frac{m g}{k} + A \cos(\omega t + \varphi)$$

$$x(\tau) = \Delta x = \frac{m g}{k} + A \cos(\omega \tau + \varphi)$$

$$\frac{1}{9} = \frac{1}{9} + A \cos(\omega \tau + \varphi)$$

$$\cos(\omega \tau + \varphi) = 0$$

$$\omega \tau + \varphi = \frac{\pi}{2} \quad \omega = 3\sqrt{\frac{3}{2}}$$

$$\varphi = \frac{\pi}{2} - \arcsin \frac{1}{6}$$

$$\varphi = \frac{\pi}{2} - \sqrt{\frac{3}{2}} \arcsin \frac{1}{6}$$

$$x = \frac{m g}{k} + A \cos(\omega t - \sqrt{\frac{3}{2}} \arcsin \frac{1}{6})$$

$$\dot{x} = v = A \omega \cos(\omega t - \sqrt{\frac{3}{2}} \arcsin \frac{1}{6}) = A \omega$$

$$A = \frac{v}{\omega} = \frac{\frac{\sqrt{35}}{2}}{3\sqrt{\frac{3}{2}}} = \frac{\sqrt{35}}{9\sqrt{3}}$$

max a
 $t = \frac{1}{4} T$

$$\ddot{x} = -A \omega^2 \sin(\omega t - \sqrt{\frac{3}{2}} \arcsin \frac{1}{6})$$

$$\ddot{x} = -A \omega^2 \sin(\frac{1}{4} \omega T - \sqrt{\frac{3}{2}} \arcsin \frac{1}{6})$$

$$T = \frac{2\pi}{\omega}$$

$$\ddot{x} = -\frac{\sqrt{35}}{9\sqrt{3}} \cdot \frac{2\pi}{2} \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2} - \sqrt{\frac{3}{2}} \arcsin \frac{1}{6}\right)$$

$$\ddot{x} = -\frac{\sqrt{35}}{\sqrt{2}} \cdot \cos\left(\arcsin \frac{1}{6}\right)$$

$$\ddot{x} = -\frac{\sqrt{35} \cdot \sqrt{3}}{\sqrt{2}} \cdot \frac{\sqrt{35}}{6} = -\frac{35}{2\sqrt{6}}$$

$$\cos \alpha =$$

$$= \sqrt{1 - \sin^2 \alpha} =$$

$$= \sqrt{1 - \frac{1}{36}} = \frac{\sqrt{35}}{6}$$



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!

~ 2

$$p_0 = 150 \text{ кПа}$$

$$t_0 = 86^\circ\text{C} \quad T_0 = (86 + 273) \text{ К} = 359 \text{ К} \quad p_{\text{кп}}(t_0) = 60 \text{ кПа (из ур.)}$$

$$\varphi_0 = \frac{2}{3}$$

$$\varphi_0 = \frac{p_{\text{в}}(t_0)}{p_{\text{кп}}(t_0)} = \frac{2}{3}$$

$$t = 46^\circ\text{C} \quad T = (46 + 273) \text{ К} =$$

$$= 319 \text{ К}$$

$$p_{\text{в}}(t) = \frac{2}{3} p_{\text{кп}}(t) = \frac{2}{3} \cdot 60 = 40 \text{ кПа}$$

2) Конденсация при $p_{\text{кп}}(t^*) = p_{\text{кп}}(t^*)$

из уаурина при $p_{\text{кп}}(t^*) = 40 \text{ кПа}$

$$t^* = 46^\circ\text{C}$$

3) $p_{\text{в}0} = p_0 - p_{\text{кп}}(t_0) = 150 - 60 = 90 \text{ кПа}$

гип-ие и-ж:
для воздуха

$$p_{\text{в}0} V_{\text{в}0} = \nu R T_0$$

$$p_{\text{в}} V_{\text{в}} = \nu R T$$

$$\text{Уч. равенств } p_0 = p_{\text{в}0} + p_{\text{кп}0} = p_{\text{в}} + p_{\text{кп}}$$

для пара

$$p_{\text{кп}0} V_{\text{кп}0} = \nu R T_0$$

$$p_{\text{в}} = 150 - 60 = 90 \text{ кПа}$$

$$p_{\text{кп}} V_{\text{кп}} = \nu R T \quad \text{из ур.}$$

$$p_{\text{кп}}(T) = 10 \text{ кПа}$$

$$\frac{V}{V_0} = \frac{V_{\text{в}} + V_{\text{кп}}}{V_{\text{в}0} + V_{\text{кп}0}} = \frac{\frac{\nu R T}{p_{\text{в}}} + \frac{\nu R T}{p_{\text{кп}}}}{\frac{\nu R T_0}{p_{\text{в}0}} + \frac{\nu R T_0}{p_{\text{кп}0}}}$$

$$\frac{V}{V_0} = \frac{T}{T_0} \cdot \frac{\frac{p_{\text{кп}} + p_{\text{в}}}{p_{\text{в}} p_{\text{кп}}}}{\frac{p_{\text{кп}0} + p_{\text{в}0}}{p_{\text{в}0} p_{\text{кп}0}}} = \frac{T}{T_0} \cdot \frac{p_{\text{в}0} \cdot p_{\text{кп}0} (p_{\text{кп}} + p_{\text{в}})}{p_{\text{в}} \cdot p_{\text{кп}} (p_{\text{кп}0} + p_{\text{в}0})}$$

$$\frac{V}{V_0} = \frac{319}{359} \cdot \frac{110 \cdot 40 \cdot (10 + 90)}{90 \cdot 10 \cdot (60 + 90)} = \frac{319 \cdot 44}{359 \cdot 99} \approx \frac{8}{9} \cdot \frac{3}{1} = \frac{8}{3}$$



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**.

☐☐☐☐☐☐☐

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!

ЗСЭ:

$$\mathcal{E}_{C1} \Delta q_1 + \frac{I_1^2 (L_1 + L_2)}{2} = 0$$

$$-2 B_0 S_1 \Delta q_1 = \frac{\frac{4}{9} B_0^2 S_1^2}{25 L^2} \cdot \frac{5 L}{2} = 0$$

$$2 B_0 S_1 \Delta q_1 = \frac{4 B_0^2 S_1^2}{10 L \cdot 9}$$

$$2 \Delta q_1 = \frac{4 B_0 S_1}{90 L}$$

$$\Delta q_1 = \frac{B_0 S_1}{45 L}$$

$$\mathcal{E}_{C1} \Delta q_1 + \mathcal{E}_{C2} \Delta q_2 + \frac{I_0^2 (L_1 + L_2)}{2} = 0$$

$$-2 B_0 S_1 \Delta q_1 - \frac{1}{2} B_0 S_1 \cdot \Delta q_2 = - \frac{B_0^2 S_1^2}{25 L^2} \cdot \frac{5 L}{2}$$

$$2 \Delta q_1 + \frac{1}{2} \Delta q_2 = \frac{B_0 S_1}{90 L}$$

$$4 \cdot \frac{B_0 S_1}{45 L} + \Delta q_2 = \frac{B_0 S_1}{5 L}$$

$$\Delta q_2 = \frac{B_0 S_1}{5 L} - \frac{4 B_0 S_1}{45 L} = \frac{(9-4) B_0 S_1}{45 L} = \frac{B_0 S_1}{9 L}$$

$$\Delta q = \Delta q_1 + \Delta q_2 = \frac{B_0 S_1}{45 L} + \frac{B_0 S_1}{9 L} = \frac{6}{45} \frac{B_0 S_1}{L} = \frac{2 B_0 S_1}{15 L}$$



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.

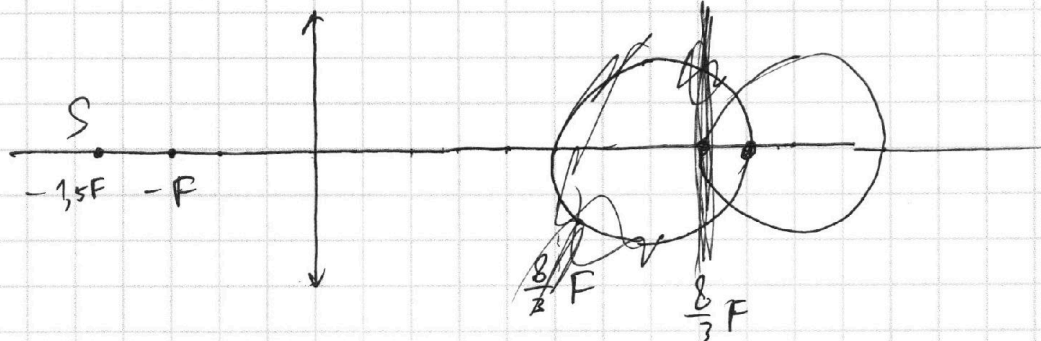
1 2 3 4 5 6 7
☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐

СТРАНИЦА
 __ 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!

$$a = 1,5F \quad b = \frac{8}{3}F$$

~5



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

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{F} - \frac{1}{1,5F} = \frac{0,5}{1,5F}$$

$$f = 3F$$

$$\cancel{D_S = 0} \quad \cancel{D_S = 2\phi (+\phi)}$$

$$\cancel{D_S = 2(n-1) \left(\cancel{1} - \frac{2}{R} + \frac{1}{\infty} \right) + (n-1) \left(\frac{2}{R} + \frac{1}{\infty} \right)}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{3F - \frac{8}{3}F} = \frac{2}{R}$$

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

наше выражение от) не равен в

ну же почку, т.е. в формуле) f равно =>

$$\Rightarrow f + \frac{R}{2} = 2R$$