



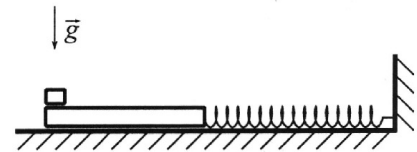
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2025

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.

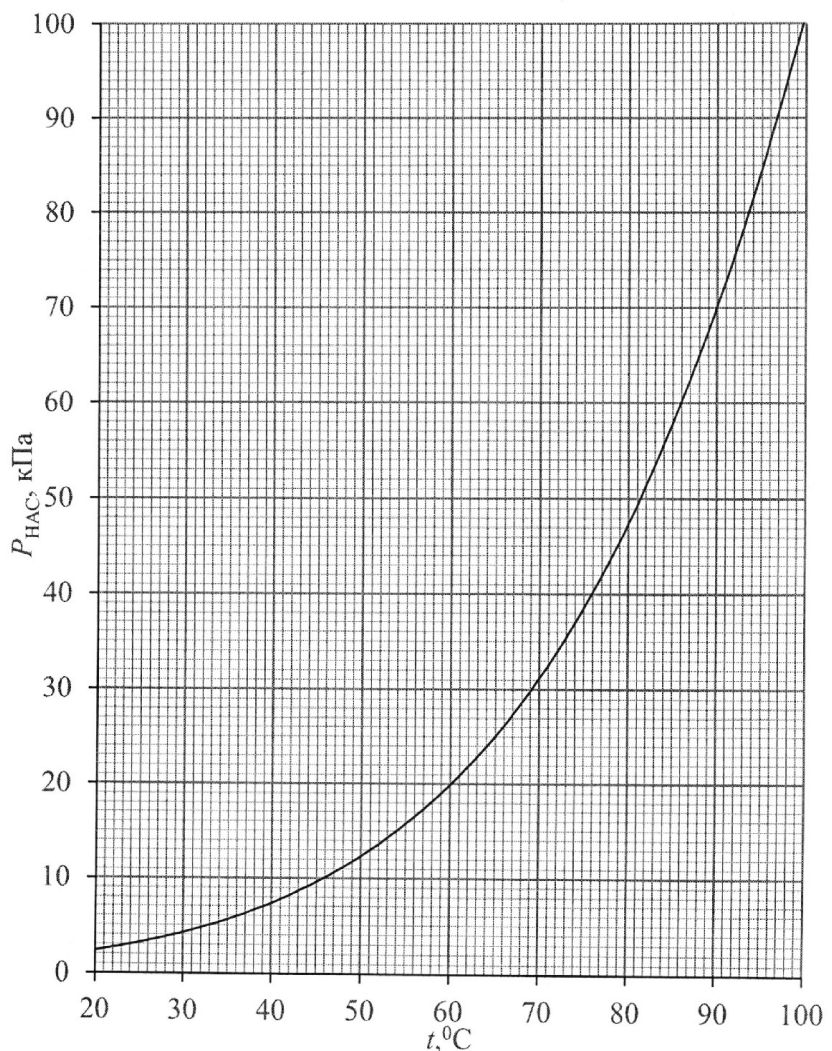


- 1) Найдите сжатие пружины в момент времени, когда относительное ускорение бруска и доски станет равным нулю, впервые после начала движения.
- 2) Найдите ускорение доски сразу после начала движения.
- 3) Найдите скорость доски в момент времени, когда относительное ускорение бруска и доски станет равным 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 жидкости по сравнению с объёмом газа можно пренебречь. Пар считать идеальным газом.





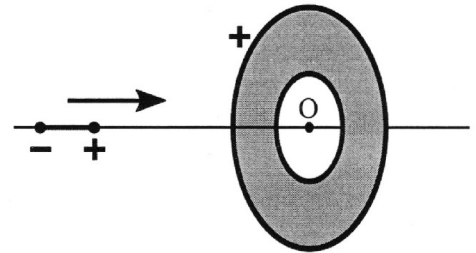
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2025

Вариант 11-04

В ответах всех задач допустимы обыкновенные дроби
и радикалы.

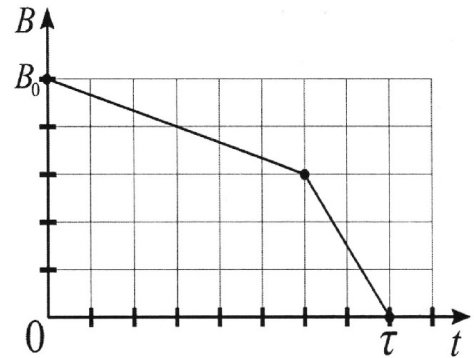
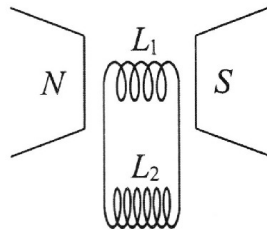


3. В плоском тонком диске в форме круга имеется круглое отверстие (см. рис.). Центры диска и отверстия совпадают в точке O . Диск имеет однородно распределенный по поверхности положительный заряд. Система из двух жестко связанных равных по модулю и противоположных по знаку точечных зарядов (диполь) движется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



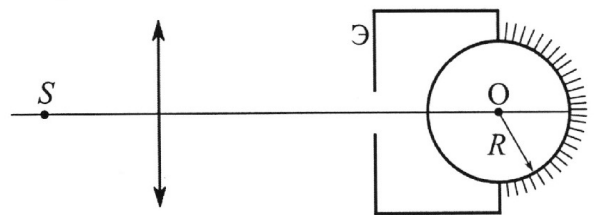
- 1) Найти скорость диполя при пролете центра диполя через центр отверстия.
- 2) Найти отношение максимальной и минимальной скоростей диполя при пролете.

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 $\sin \alpha \approx \alpha$.

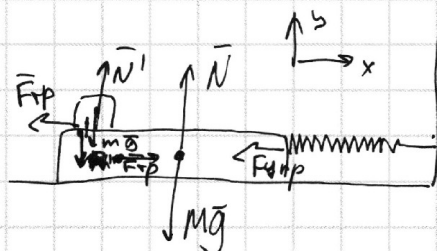
1 ☒ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐

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!

Задача 1

Дано
 $M = 4 \text{ кг}$
 $m = 1 \text{ кг}$
 $k = 100 \text{ Н/м}$
 $\mu = 0,4$
 $g = 10 \text{ м/с}^2$
 $\pi \approx 3$



На брусок II закон Ньютона
 по оси Oy:
 $N' + mg = 0$
 $N' = -mg$

Пока брусок движется отн. доски, $F_{тр} = F_{тр \max}$
 $F_{тр \max} = \mu N' = mg\mu$
 $\Rightarrow$ когда движение бруска относительно доски прекращается $F_{тр} \neq F_{тр \max}$

В этот момент $a_{доски} \approx 0 \Rightarrow$

Найти
 $\Delta X - ?$
 $a_0 - ?$
 $v - ?$

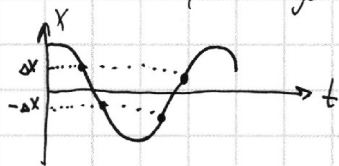
$\Rightarrow$ На доску по оси X II закон Ньютона

$$F_{упр} + F_{тр} = Ma_{доски} = 0$$

$$F_{упр} = F_{тр} \Rightarrow k\Delta X = mg\mu$$

$$\Delta X = \frac{mg\mu}{k} = \frac{4}{100} = 0,04 \text{ м} = 4 \text{ см}$$

После того, как доску отпустили, она начнет колебаться



от ΔX до $-\Delta X$ по прямой, т.к. нет ускорения ($F_{упр} = F_{тр} < F_{тр \max}$)

Для остальных частей вернем:

$$kx - mg\mu = Ma \quad \text{и} \quad mg\mu = k\Delta X$$

$$k(x - \Delta X) = Ma \Rightarrow (x - \Delta X) - \frac{m}{M} \ddot{x} = 0$$

$$\text{тогда } k(x - \Delta X) = Ma \Rightarrow (x - \Delta X) - \frac{m}{M} \ddot{x} = 0$$

Если бы $F_{тр}$ не было, то амплитуда бы не изменилась

$$kx = Ma = 0 \Rightarrow x = \frac{M}{k} \ddot{x} = 0 \quad \omega = \sqrt{\frac{k}{M}}$$

$$x = A \cos(\omega t) \quad \ddot{x} = -A\omega^2 \cos(\omega t)$$

$$x = \Delta X \quad \ddot{x} = -\frac{mg\mu}{M} \Rightarrow A \cos(\omega t) = \Delta X \quad \omega^2 = \frac{mg\mu}{M \cdot A \cos(\omega t)} = \frac{k}{M}$$

Период колебаний $T = 2\pi \frac{1}{\omega} = 2\pi \sqrt{\frac{M}{k}} = 2\pi \sqrt{\frac{4}{100}} = 2\pi \cdot \frac{2}{10} = 1,2 \text{ с}$

$$\cos(\omega t) = \frac{\Delta X}{A}$$

$$\cos(\omega t) = \frac{\Delta X}{A} \quad \ddot{x} = -A\omega^2 \cos(\omega t)$$

$$t=0 \Rightarrow \cos(0) = 1$$

$$\ddot{x} = A\omega^2 \cdot 1 = A\omega^2 \cdot \frac{\cos \omega t}{\cos \omega t} = \frac{A\omega^2 \cos \omega t}{\frac{\Delta X}{A}} = \frac{mg\mu}{M \cdot \Delta X}$$

Ответ: $\Delta X = 4 \text{ см}$



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!

Задача 2

Дано

$$t_0 = 27^\circ\text{C} = 300^\circ\text{K}$$

$$t = 90^\circ\text{C} = 363^\circ\text{K}$$

$$m_{\text{во}} = 7m_{\text{но}}$$

$$M_{\text{в}} = 18 \frac{\text{г}}{\text{моль}}$$

Найти

$$\frac{m_{\text{нк}}}{m_{\text{но}}} - ?$$

$$t^* - ?$$

$$\varphi - ?$$

Решение

(1) Так как вся вода превратилась в пар, то масса пара в конце это масса пара в начале и масса воды

$$m_{\text{нк}} = m_{\text{но}} + m_{\text{во}} = m_{\text{но}} + 7m_{\text{но}} = 8m_{\text{но}}$$

тогда $\frac{m_{\text{нк}}}{m_{\text{но}}} = \frac{8}{1} = 8$

(2) v_0 - кол-во пара в начале

v_k - кол-во пара в конце

$$v = \frac{m}{M} \Rightarrow v_k = 8v_0 \quad (\text{тк } m_{\text{нк}} = 8m_{\text{но}})$$

В начале: $p_0 V = v_0 R t_0$

При температуре t^* : $p_{\text{нас}^*} V = 8v_0 R t^*$

$p_{\text{нас}^*}$ - давление насыщенного пара при температуре t^* , тк в момент температуры t^* вся вода испарилась.

p_0 - давление насыщенного пара при температуре t_0 , тк в сосуде была тугая вода, которая не испарялась

Из графика $p_0 = 3,5 \text{ кПа}$

$$\frac{8t^*}{t_0} = \frac{p_{\text{нас}^*}}{p_0} \Rightarrow t^* = \frac{p_{\text{нас}^*}}{8p_0} \cdot t_0 \quad \text{и } p_{\text{нас}^*} \text{ зависит от } t^*$$

$$t^* = 300 \cdot \frac{p_{\text{нас}^*}}{8 \cdot 3,5 \cdot 10^3} = \frac{300 \cdot p_{\text{нас}^*}}{28 \cdot 10^3} \quad (\text{температура в } ^\circ\text{K})$$

Из графика подходит $t^* = 343^\circ\text{K} = (70 + 273)$ при $p_{\text{нас}^*} = 32 \text{ кПа}$
 $t^* = 70^\circ\text{C}$

(3) $p V = 8v_0 R t$ - в конце $\quad p = \frac{8t}{t_0} p_0 = \frac{8 \cdot 363}{300} \cdot 3,5 \cdot 10^3 = 33,88 \text{ кПа}$
 $p_0 V = v_0 R t_0$ - в начале

$p_{\text{нас}} = 70 \text{ кПа}$ давление насыщенного пара в конце

$$\varphi = \frac{p}{p_{\text{нас}}} \cdot 100\% = \frac{33,88}{70} \cdot 100\% = 48,4\%$$

Ответ: 1 $\frac{m_{\text{нк}}}{m_{\text{но}}} = 8$ 2 $t^* = 70^\circ\text{C}$ 3 $\varphi = 48,4\%$

1
☐

2
☐

3
☒

4
☐

5
☐

6
☐

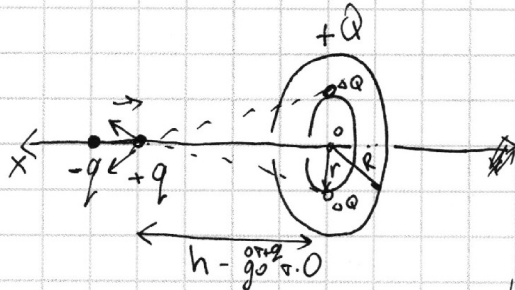
7
☐

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!



Задача 3



На заряд $+q$ действует ^{электр. поле} сила F_1

$$\Delta F_2 = \frac{k q \Delta Q}{h^2 + (r + \Delta r)^2}$$

$$r \leq (r + \Delta r) \leq R$$

$$F_1 = \frac{k q Q}{h^2 + \frac{R^2 + r^2}{2}}$$

вдоль оси OX

На заряд $-q$ действует ^{электр. поле} сила F_2

$$F_2 = \frac{-k q Q}{(h+d)^2 + \frac{R^2 + r^2}{2}}$$

вдоль оси OX

d - расстояние между $+q$ и $-q$

$$\Delta F_2 = -\frac{k q \Delta Q}{(h+d)^2 + (r+\Delta r)^2}$$

На все кольцо $F = F_1 + F_2 = k q Q \left(\frac{1}{h^2 + \frac{R^2 + r^2}{2}} - \frac{1}{(h+d)^2 + \frac{R^2 + r^2}{2}} \right)$

m - масса гонимы

a - ускорение гонимы

$$= k q Q \left(\frac{d^2 + 2dh}{(h^2 + \frac{R^2 + r^2}{2})((h+d)^2 + \frac{R^2 + r^2}{2})} \right) = m a$$

В данной точке

$$\frac{\Delta v}{\Delta t} = a \Rightarrow \Delta v = a \Delta t$$

$$\sum a \Delta t \approx v_0$$

В Контакте

$$v_0 - \sum \Delta v \approx 0 \Rightarrow v_0 - \sum a \Delta t \approx 0$$

v_0 минимальная для пролета

Если уменьшить q в 3 раза, то a во всех точках

уменьшится в 3 раза $\Rightarrow$

$$\Rightarrow v_0 - \sum \frac{a}{3} \Delta t = v_0 - \frac{v_0}{3} = \frac{2}{3} v_0$$

Ответ: $\frac{2}{3} v_0$



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 ☐

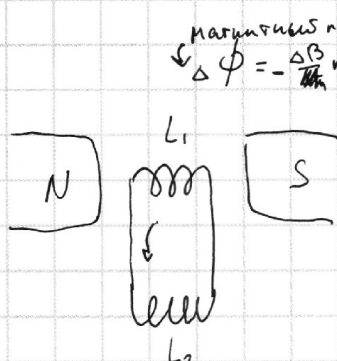
СТРАНИЦА
1 из 1

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!

Задача 4

Дано
 $L_1 = 5L$
 $n, S,$
 B_0
 $L_2 = 8L$

Найти
 $I_0 - ?$
 $q - ?$



магнитный поток
 $\Delta \Phi = - \frac{\Delta B}{B} n S \Rightarrow \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = - \frac{\Delta B}{\Delta t} n S$, тогда запишем 2 уравнения Кирхгофа.

$$-n \frac{\Delta B}{\Delta t} S - L_1 \frac{\Delta I}{\Delta t} - L_2 \frac{\Delta I}{\Delta t} = 0$$

$$-n S \frac{\Delta B}{\Delta t} = (L_1 + L_2) \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

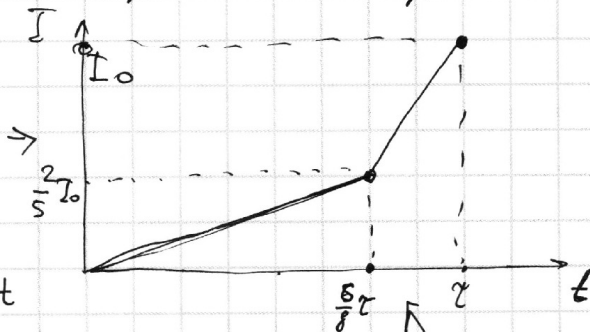
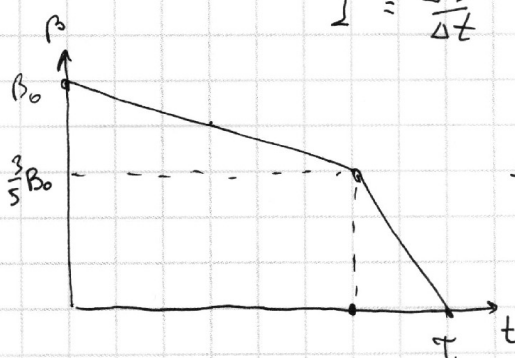
$$\Delta I = \frac{n - n S \Delta B}{L_1 + L_2}$$

так изначально тока в катушках нет, ΔB & концы катушек соединены

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

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t}$$

$$\Delta q = I \Delta t \Rightarrow q =$$



$\Delta q = I \Delta t$ q - площадь под графиком

$$q = \frac{2}{5} I_0 \cdot \frac{5}{8} \tau + \frac{2}{5} I_0 \cdot \frac{2}{8} \tau + \frac{3}{5} I_0 \cdot \frac{2}{8} \tau = I_0 \tau \frac{13}{40}$$

$$q = \frac{13}{40} \frac{n S B_0}{L_1 + L_2} \tau = \frac{n S B_0}{40L} \tau$$

Ответ: $I_0 = \frac{n S B_0}{13L}$, $q = \frac{n S B_0}{40L} \tau$



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**.

1
☐

2
☐

3
☐

4
☐

5
☒

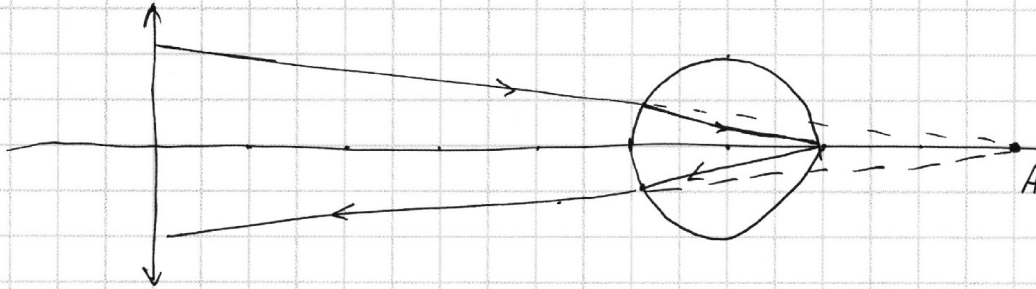
6
☐

7
☐

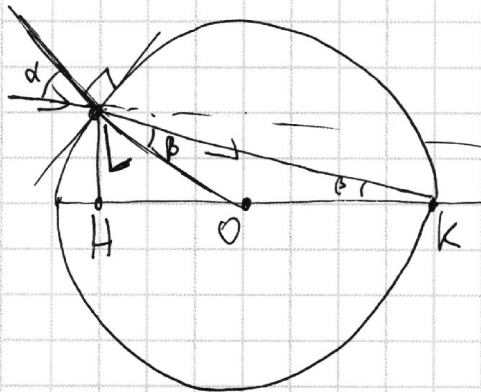
СТРАНИЦА
2 ИЗ 2

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!

Задача 5 продолжение



$$AK = 9R - 2R - (8R - 3R) = 2R$$



покажем преломление

$$\frac{\alpha}{\beta} = \frac{n_1}{n_2} = N$$

показатель преломления
стекла n_1
воздуха n_2

$$\sin \alpha = \alpha \Rightarrow \cos \alpha = \sqrt{1 - \alpha^2} \Rightarrow \tan \alpha = \frac{\alpha}{\sqrt{1 - \alpha^2}} \approx \alpha$$

$$\tan \beta \approx \beta$$

$$\tan \alpha = \frac{LH}{AH} \approx \frac{LH}{4R}$$

$$\tan \beta = \frac{LH}{HK} = \frac{LH}{2R}$$

$$\frac{\alpha}{\beta} = \frac{\tan \alpha}{\tan \beta} = \frac{1}{2} = N$$

$$\text{Ответ: } \frac{1}{2}$$



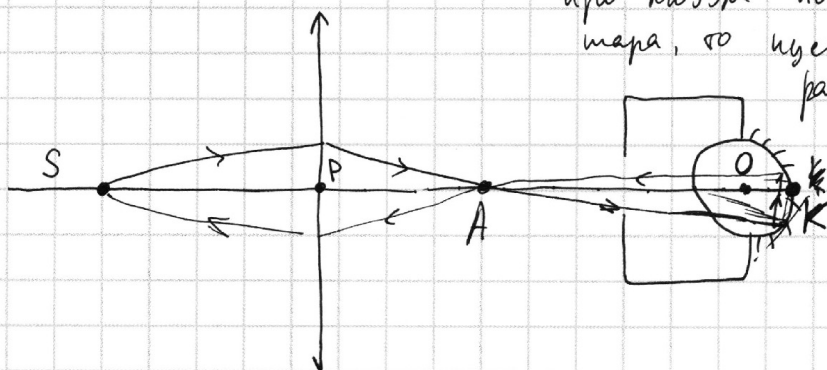
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в **решении каждой задачи** отдельно.

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!

Задача 5



1 Тк изображение совпадает с источником, при любом показателе преломления шара, то пусть этот показатель будет равен показателю прелом. воздуха $\Rightarrow$ лучи не будут преломляться при переходе из воздуха в шар.

Изображение источника в линзе в точке A $\Rightarrow$
 $\Rightarrow$ изображение точки A в линзе — точка S (источник)

$\Rightarrow$ т. А является изображением зеркала

$$SP = 4,5R$$

$$PA = x$$

$$AK = 8R + 2R - x$$

Формула линзы $\frac{1}{F} = \frac{1}{4,5R} + \frac{1}{x}$

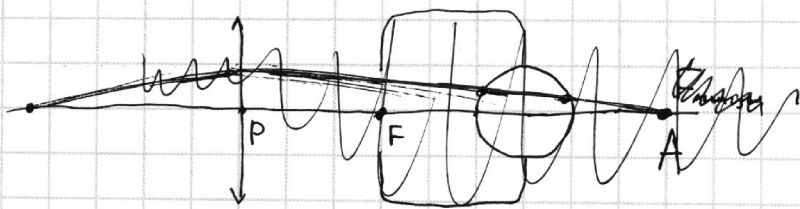
Формула сфер. зеркала $\frac{2}{R} = \frac{1}{10R - x} + \frac{1}{10R - x} \Rightarrow$

$$\Rightarrow x = 9R \Rightarrow \frac{1}{F} = \frac{1}{4,5R} + \frac{0,5}{4,5R} = \frac{1,5}{4,5R} = \frac{1}{3R}$$

$$F = 3R$$

Ответ: $F = 3R$

2



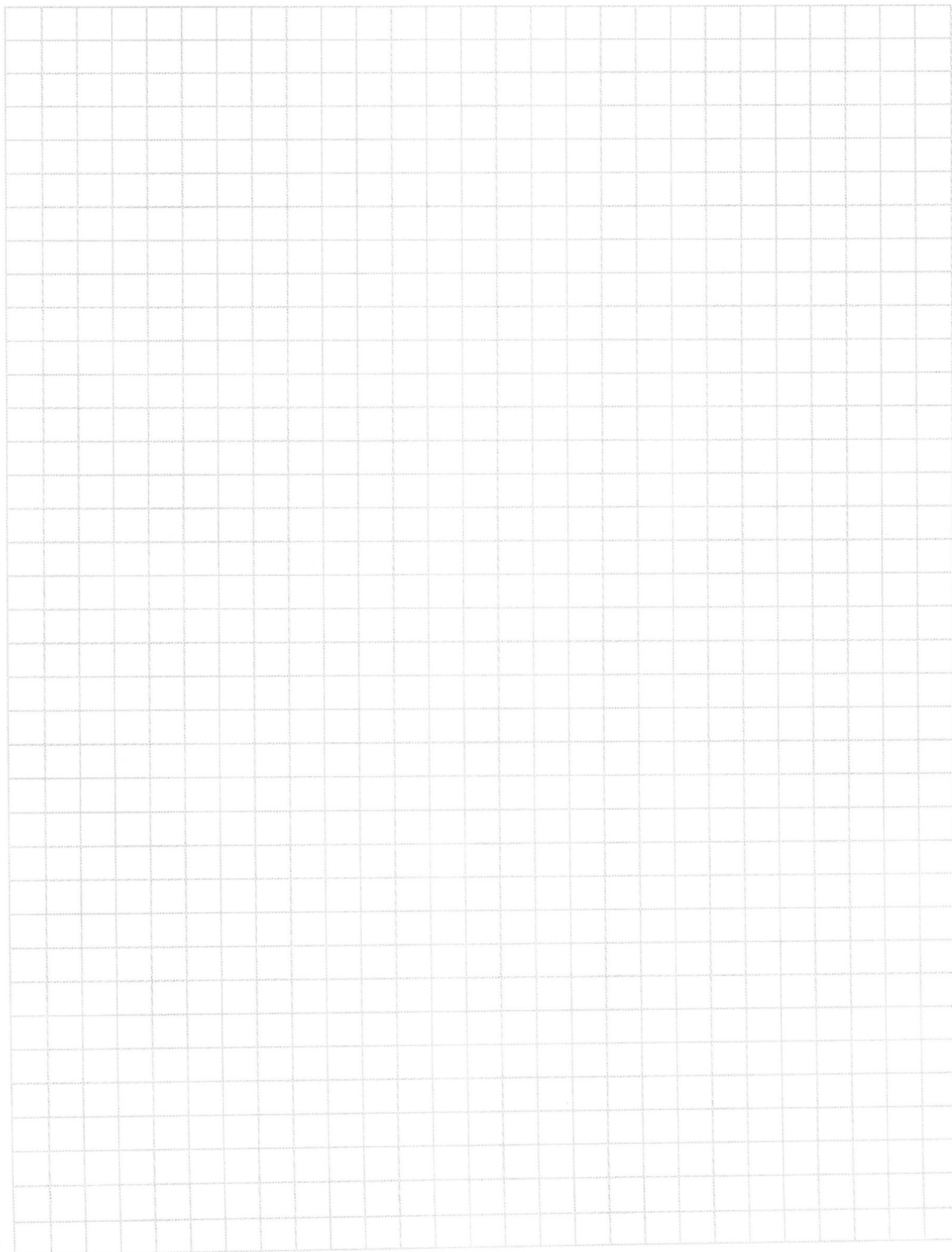


На одной странице можно оформлять **только одну** задачу. Отметьте **крестиком** номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в **решении каждой задачи отдельно**.

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!



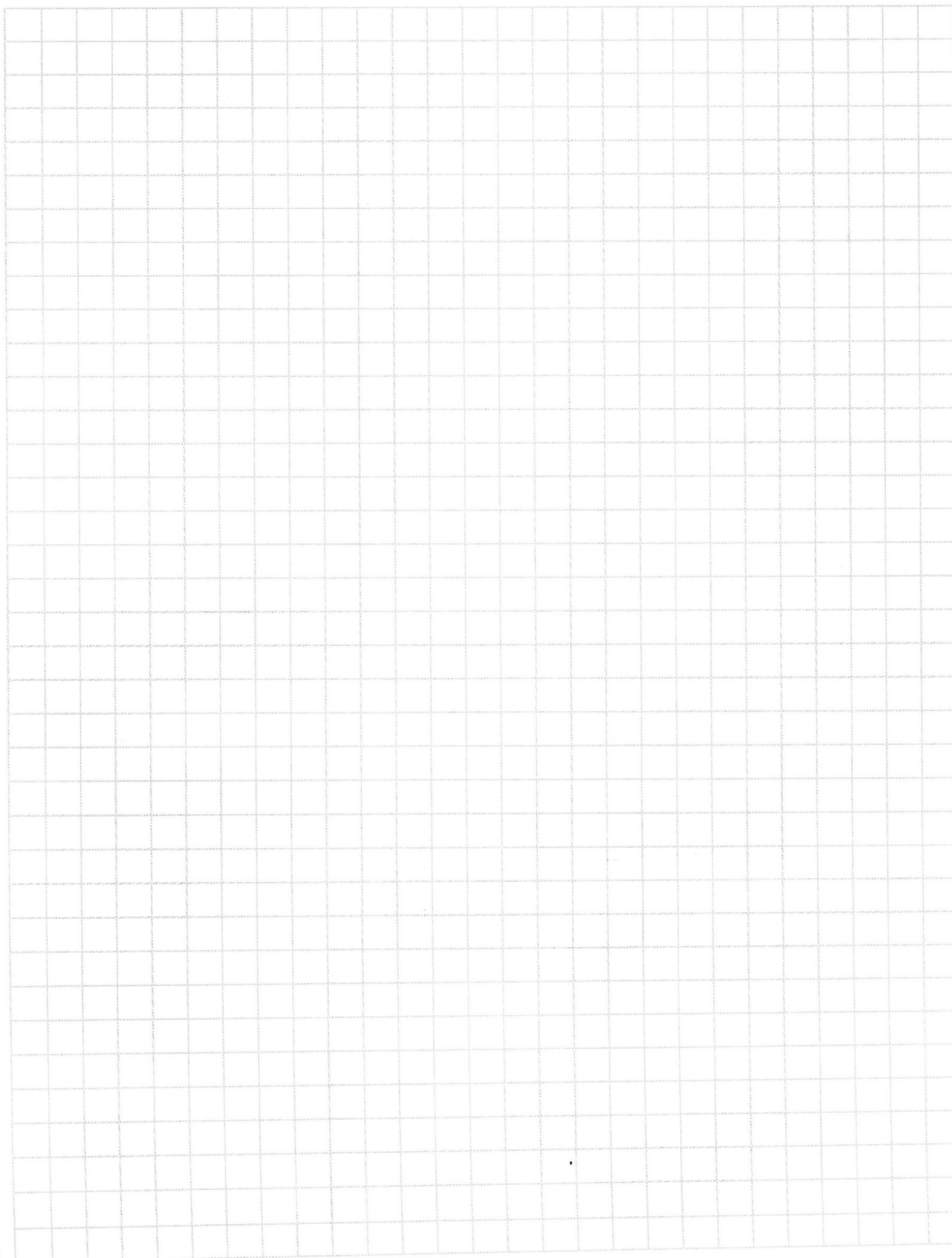


На одной странице можно оформлять **только одну** задачу. Отметьте **крестиком** номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в **решении каждой задачи отдельно**.

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

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!

! черновик!

$$P_0 V = \nu_0 R T_0 \quad P_0 \approx 3,5 \text{ кПа}$$

$$P_{\text{нас}} V = \delta \nu_0 R T^*$$

$$\delta \frac{T^*}{T_0} = \frac{P_{\text{нас}}}{P_0} \quad T^* = T_0 \cdot \frac{P_{\text{нас}}}{P_0 \delta}$$
$$T^* = \frac{300 \cdot 8}{3,5 \cdot 8} = 300 \cdot \frac{8}{28}$$

$$270 + 73 = 343$$

$$273 + 71 = 344$$

$$\begin{array}{r} 300 \cdot 32,5 = \\ 9600 \\ - 840 \\ \hline 8760 \end{array}$$

$$300 \cdot 32,5 =$$

$$\begin{array}{r} 9750 \\ - 44 \\ \hline 9706 \\ - 135 \\ \hline 9571 \\ - 112 \\ \hline 9459 \end{array}$$

$$\frac{363}{300} = \frac{121}{100} = 1,21$$
$$3,5 \cdot 8 = 28$$

$$\begin{array}{r} 1,21 \\ \times 28 \\ \hline 968 \\ + 242 \\ \hline 3388 \end{array}$$

$$7 \cdot f = 56$$

$$\begin{array}{r} 3388 \\ - 280 \\ \hline 3108 \\ - 560 \\ \hline 2548 \end{array}$$

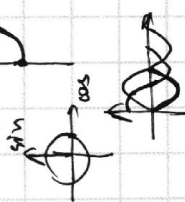
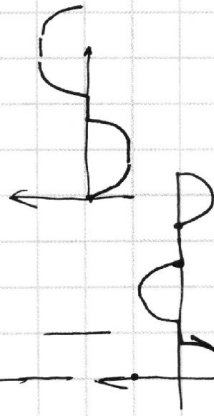
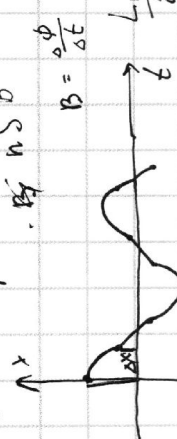
$$\begin{array}{r} 3388 \\ - 280 \\ \hline 3108 \\ - 560 \\ \hline 2548 \end{array}$$

$$A \cos \omega t + A \omega \sin \omega t = 0$$
$$X = \frac{40}{28} \approx 1,5 \Rightarrow 450 - \text{много}$$
$$\frac{35}{28} = 1,25 \Rightarrow 375$$
$$30 \cdot 300 = 9000$$
$$\begin{array}{r} 9000 \\ - 840 \\ \hline 8160 \end{array}$$

$$X = A \cos(\omega t)$$
$$v = (A \cos(\omega t))' = -A \omega \sin(\omega t)$$
$$a = -A \omega^2 \cos(\omega t)$$

$$B = \frac{\phi}{\Delta t}$$

$$L_1 I_1^2 + L_2 I_2^2 = \frac{L_1 I_1^2}{2} + \frac{L_2 I_2^2}{2}$$



$$3CF: \frac{k \Delta x^2}{2} = \frac{M v^2}{2}$$

$$w = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

$$F_{\text{сп}} = mg \mu = 44$$

гнущение пружины от н. покоя $\Rightarrow F_{\text{сп}} = 44$

$$kx = ma$$

$$x - \frac{m}{k} \ddot{x} = 0$$

$$kx - mg \mu = ma$$

$$x - \frac{m}{k} a = \frac{mg \mu}{k}$$

$$x = A \cos\left(\frac{k}{m} t\right) + \frac{mg \mu}{k}$$

$$v = A \frac{k}{m} \sin\left(\frac{k}{m} t\right)$$

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

$$a = -A \omega^2 \cos(\omega t)$$

$$A \cos(\omega t) + A \omega^2 \cos(\omega t) = 0$$

$$(A \cos(\omega t) - A \omega^2 \cos(\omega t)) = 0$$