



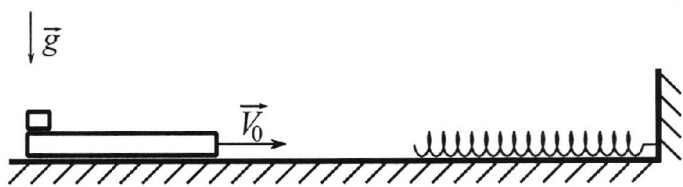
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2025

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.

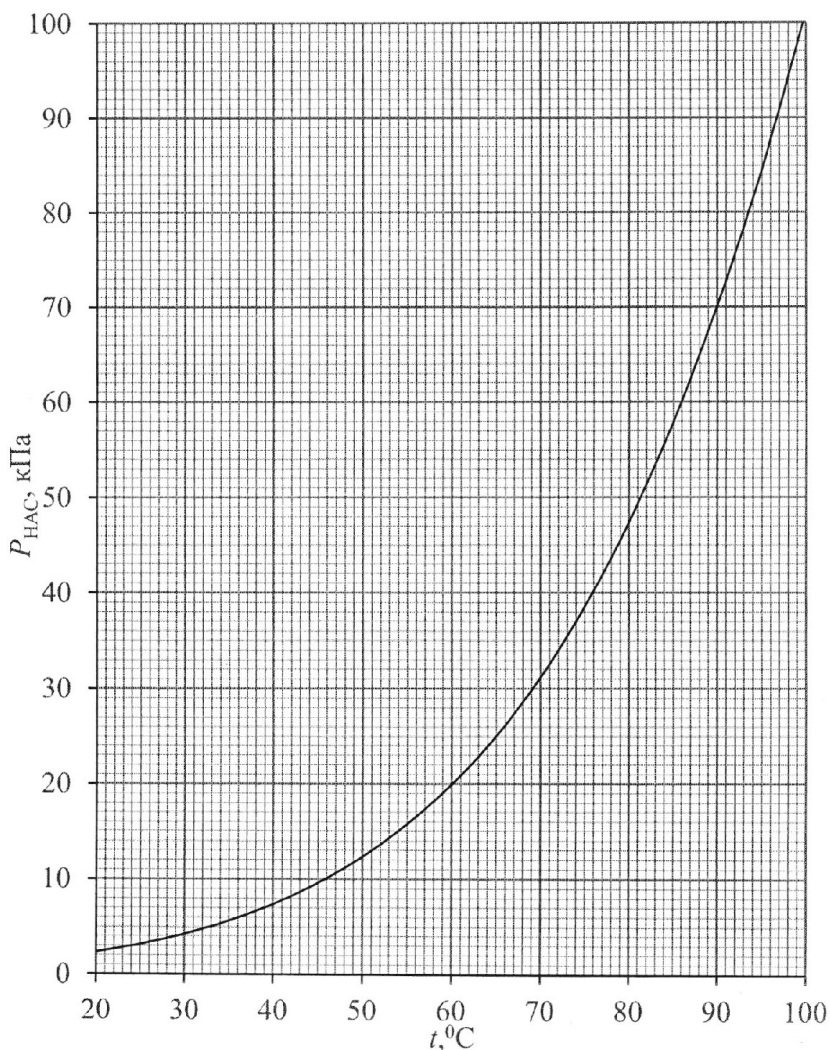


- 1) Найдите сжатие пружины в тот момент, когда начнётся относительное движение бруска и доски.
- 2) Найдите промежуток времени с момента начала сжатия пружины до момента начала относительного движения бруска и доски.
- 3) Найдите ускорение доски в момент максимального сжатия пружины.

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





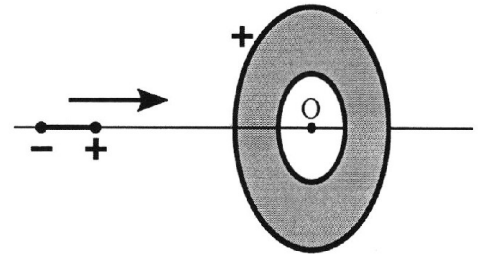
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2025

Вариант 11-01

В ответах всех задач допустимы обыкновенные дроби
и радикалы.

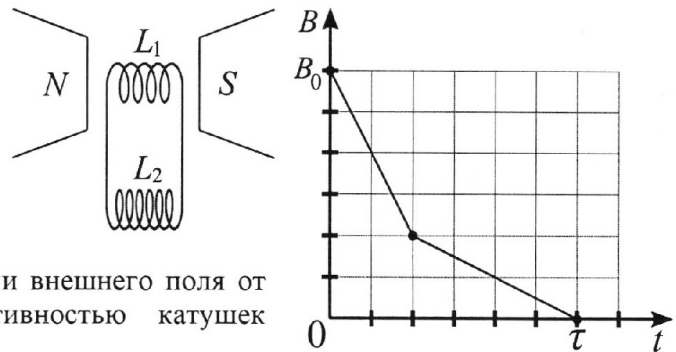


3. В плоском тонком диске в форме круга имеется круглое отверстие (см. рис.). Центры диска и отверстия совпадают в точке O . Диск имеет однородно распределенный по поверхности положительный заряд. Система из двух жестко связанных равных по модулю и противоположных по знаку точечных зарядов (диполь) движется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



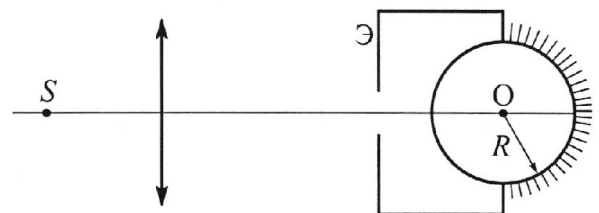
- 1) Найти скорость диполя при пролете центра диполя через центр отверстия.
- 2) Найти разность максимальной и минимальной скоростей диполя при пролете.

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 $\sin \alpha \approx \alpha$.

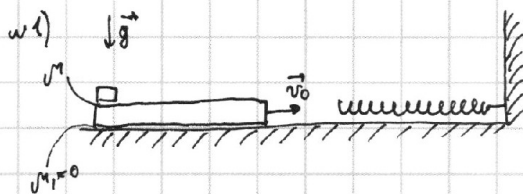


На одной странице можно оформлять **только одну** задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в **решении каждой задачи** отдельно.

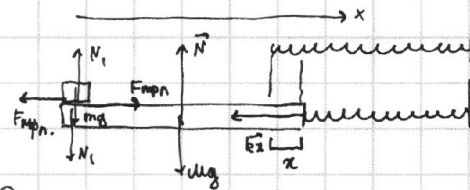
1 ☒ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐

СТРАНИЦА
1 ИЗ 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!



$$\begin{aligned} \mu &= 2 \text{ кг} \\ m &= 1 \text{ кг} \\ v_0 &= 2 \frac{\text{м}}{\text{с}} \\ k &= 27 \frac{\text{Н}}{\text{м}} \\ \mu &= 0,3 \end{aligned}$$



① Из И на Ох для доски:

$$\mu a = F_{тр} \cdot n - kx$$

$$\text{для доски: } ma_1 = -F_{тр} \cdot n$$

Поскольку относительное скольжения нет, $a_{отн} = 0$. Значит $a_1 = a$.

$$a_1 = a + a_{отн}$$

$$\text{Значит, } \mu a = F_{тр} \cdot n - kx$$

$$ma = -F_{тр} \cdot n$$

$$a = -\frac{F_{тр} \cdot n}{m}$$

$$-\frac{\mu}{m} F_{тр} \cdot n = F_{тр} \cdot n - kx$$

$$F_{тр} \cdot n \frac{(\mu + m)}{m} = kx$$

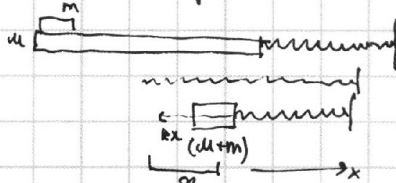
Из И на Оу для доски $N_1 = mg$

$$F_{тр} \cdot n = \mu mg$$

$$F_{тр} \cdot n \leq \mu mg$$

В момент, когда начинается движение доски $F_{тр} \cdot n = \mu mg$. Тогда $\mu mg \frac{(\mu + m)}{m} = kx$

② Р-и состояние пружины до момента начала отн. движения.



м. и сит отн. движение доску и пружину можно представить, как одно тело массой $(\mu + m)$

$$(\mu + m)a = -kx \quad (\text{по II з. И на Ох})$$

$$(\mu + m)a + kx = 0$$

$$a + \frac{k}{\mu + m} x = 0$$

$$\omega^2 = \frac{k}{\mu + m} \quad \omega = \sqrt{\frac{k}{\mu + m}}$$

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

$$x(0) = 0 \quad v(0) = v_0$$

$$v_0 = A \omega \cos \omega t$$

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

$$t = \frac{\arcsin \frac{3}{2} \sqrt{\frac{3}{27}}}{\sqrt{\frac{27}{3}}} = \frac{\pi}{6} = \frac{1}{6} \text{ с}$$

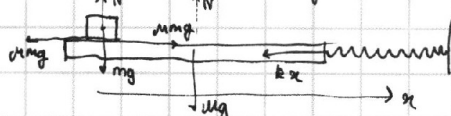
$$x(t) = \frac{\mu g (\mu + m)}{k} \cdot \sin \left(\sqrt{\frac{k}{\mu + m}} t \right)$$

$$\mu g \frac{(\mu + m)}{k} = v_0 \sqrt{\frac{\mu + m}{k}} \cdot \sin \left(\sqrt{\frac{k}{\mu + m}} t \right)$$

$$\frac{\mu g}{v_0} \sqrt{\frac{\mu + m}{k}} = \sin \left(\sqrt{\frac{k}{\mu + m}} t \right)$$

$$t = \frac{\arcsin \frac{\mu g}{v_0} \sqrt{\frac{\mu + m}{k}}}{\sqrt{\frac{k}{\mu + m}}}$$

③ Р-и состояние пружины после начала отн. движения



Можно записать ЗСЭ для системы пруж. + доска:

$$\frac{(\mu + m)v^2}{2} = \frac{mv^2}{2} + \frac{kx^2}{2} + Q$$

$$Q = \mu mg \Delta l \quad \text{путь, пройденный доской по доске.}$$

$$ma_1 = -\mu mg$$

$$\mu a_2 = \mu mg - kx$$

$$a_1 = a_2 + a_{отн}$$

$$m(a_2 + a_{отн}) = -\mu mg$$

$$\mu a_2 = \mu mg - kx$$

при максимальном сжатии пружины доска имеет скорость 0.

Ответ: 1) $\frac{1}{3} \text{ м}$
2) $\frac{1}{6} \text{ с}$



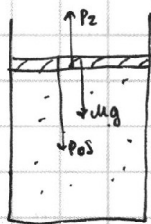
На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

1 ☐ 2 ☒ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐

СТРАНИЦА
1 ИЗ 1

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

u2)



$$p_0 = 100 \text{ кПа}$$

$$t_0 = 26^\circ \text{C}$$

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

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

$$1) p_1 = ?$$

$$2) t^* = ?$$

$$3) \frac{V}{V_0} = ?$$

$$\textcircled{1} \quad \frac{p_1}{p_{\text{ан}}} = \varphi_0$$

$$p_1 = \varphi_0 \cdot p_{\text{ан}} = \frac{2}{3} p_{\text{ан}}$$

$p_{\text{ан}}$ при $t_0 = 26^\circ \text{C}$ можно

найти из графика

$$p_{\text{ан}} = 60 \text{ кПа. } \Rightarrow$$

$$\Rightarrow p_1 = 60 \text{ кПа} \cdot \frac{2}{3} = 40 \text{ кПа}$$

$$p_{\text{св}} = p_0 - p_1 = 100 \text{ кПа} - 40 \text{ кПа} =$$

$$= 60 \text{ кПа.}$$

$\textcircled{2}$. Содержимое сосуда можно

$$\text{считать}$$

$$\text{состоянием идеального газа}$$

$$p_2 S = p_0 S + \mu g$$

$$p_2 = p_0 + \frac{\mu g}{S} = \text{const.}$$

$$V_n = \text{const.}$$

$$p_{\text{св}2} =$$

$$\frac{p_2}{p_{\text{св}2}} = \frac{4}{11} = \frac{p_0 - p_2}{p_0 - p_2}$$

$$p_2 = \frac{4}{11} (p_0 - p_2)$$

$$\frac{15}{11} p_2 = \frac{4}{11} p_0$$

$$p_2 = 40 \text{ кПа}$$

$$p_n = p_{\text{ан}2} = 40 \text{ кПа.}$$

$$t^* \text{ при этом равна } 76^\circ \text{C (из графика)}$$

В итоге давление паров остается неизменным и равным p_0

исп. Менг-Клан:

$$p_1 V_0 = \nu_n R t_0$$

$$p_2 V_2 = \nu_n R t_2^*$$

$$p_{\text{св}} V_0 = \nu_{\text{св}} R t_0$$

$$p_{\text{св}2} V_2 = \nu_{\text{св}2} R t_2^*$$

$$\frac{\nu_n}{\nu_{\text{св}}} = \frac{p_1}{p_{\text{св}}} = \frac{40 \text{ кПа}}{100 \text{ кПа}} = \frac{4}{11}$$

$$\frac{40 \text{ кПа}}{100 \text{ кПа}} = \frac{4}{11}$$

$$\nu_{\text{св}} = \frac{11}{4} \nu_n$$

Когда начнется

$$p_n = \text{const} = 40 \text{ кПа.}$$

$$p_n = p_{\text{ан}2} = 40 \text{ кПа.}$$

$\textcircled{3}$ В конце сосуда $t = 46^\circ \text{C}$

$$p_3 = 100 \text{ кПа.}$$

$$p_1 V_0 = \nu_n R t_0$$

$$p_3 V = \nu_{n2} R t_0$$

$$p_1 V_0 = \nu_n R t_0$$

$$p_3 V = \frac{11}{56} \nu_n R t$$

$$p_{\text{св}} = p_0 - p_n$$

$$(p_0 - p_3) V = \frac{11}{4} \nu_n R t$$

$$\frac{p_0 - p_3}{p_3} = \frac{\nu_{n2}}{\frac{11}{4} \nu_n}$$

$$\frac{p_3 V}{p_1 V_0} = \frac{11}{56} \frac{t}{t_0}$$

$$\frac{V}{V_0} = \frac{p_1}{p_3} \cdot \frac{11}{56} \frac{t}{t_0} = \frac{40 \text{ кПа}}{100 \text{ кПа}} \cdot \frac{11}{56} \cdot \frac{46^\circ \text{C}}{26^\circ \text{C}} =$$

$$= \frac{4 \cdot 11 \cdot 46}{1456 \cdot 26} =$$

$$= \frac{11}{14} \cdot \frac{23}{43} = \frac{253}{602} \approx$$

$$\approx 0,42$$

Ответ: 1) 40 кПа

2) 76°C

3) 0,42



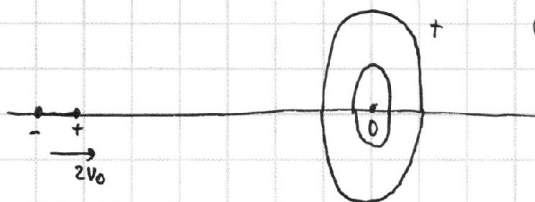
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу. Отметьте **крестиком** номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

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!

в3)



① Начальная скорость дупля будет минимальной, когда при падении через центр отверения он не будет иметь кинетическую энергию.

тогда из ЗСЭ: $E_{n1} + \frac{mv_0^2}{2} = E_{n2}$

$$\frac{mv_0^2}{2} = E_{n2} - E_{n1}$$

$$v_0 = \sqrt{\frac{2}{m} (E_{n2} - E_{n1})}$$

Дупля падает с начальной скоростью равной $2v_0$

из ЗСЭ:

$$E_{n1} + \frac{m \cdot 4v_0^2}{2} = E_{n2} + \frac{mv_1^2}{2}$$

$$\frac{m \cdot 4v_0^2}{2} = \frac{mv_0^2}{2} + \frac{mv_1^2}{2}$$

$$\frac{mv_1^2}{2} = \frac{3mv_0^2}{2} \Rightarrow \boxed{v_1 = v_0 \sqrt{3}}$$

② В начале потенциальная энергия дупля равна 0, т.е. он находится на ∞ расстоянии от кольца. Значит, из ЗСЭ: $\frac{4mv_0^2}{2} = E_n + \frac{mv^2}{2}$

$$\frac{mv^2}{2} = \frac{4mv_0^2}{2} - E_n$$

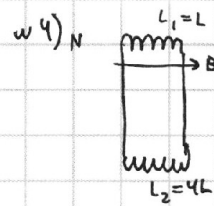
Ответ: 1) $v_0 \sqrt{3}$

1 2 3 4 5 6 7

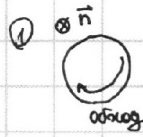
☐ ☐ ☐ ☒ ☐ ☐ ☐

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) $I_0 = ?$
2) $q_L = ?$



$\Phi = B \cdot S_1$ *через катушку*
 $\Phi = n \cdot B \cdot S_1$ *через виток*
 $\Phi_{\Sigma} = n \cdot B \cdot S_1 + L \cdot I$
 $\Phi_2 = 4L \cdot I$

$$\mathcal{E}_{i1} = - \frac{\Delta \Phi_{\Sigma}}{\Delta t} = - n \frac{\Delta B}{\Delta t} S_1 - L \frac{\Delta I_1}{\Delta t}$$

$$\mathcal{E}_{i2} = - \frac{\Delta \Phi_2}{\Delta t} = - 4L \frac{\Delta I_2}{\Delta t} \quad \Delta I_1 = \Delta I_2 = \Delta I \quad (\text{посл. соедин.})$$

по II пр. Кирхгофа: $\mathcal{E}_{i1} + \mathcal{E}_{i2} = 0$ $\mathcal{E}_{i1} = \mathcal{E}_{i2}$
 $- n \frac{\Delta B}{\Delta t} S_1 - L \frac{\Delta I}{\Delta t} = + 4L \frac{\Delta I}{\Delta t}$

$$- n \frac{\Delta B}{\Delta t} S_1 = 5L \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

проинтегрируем обе части уравнения

$$- n (0 - B_0) \cdot S_1 = 5L (I_0 - 0)$$

② $- n B' S_1 = 5L I'$ на промежутке $t \in [0; \frac{\tau}{3}]$

$$5L I_0 = n B_0 S_1$$

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

$$B' = - \tan \alpha = \frac{2B_0}{3} \cdot \frac{\tau}{\tau} = \frac{2B_0}{3}$$

α - угол наклона пр.

$$\frac{2B_0}{3} S_1 = 5L I' \Rightarrow I = \frac{2B_0 S_1}{5L} t$$

$$B' = \text{const} \Rightarrow I' = \text{const} \Rightarrow \text{ток меняется прямолинейно.}$$

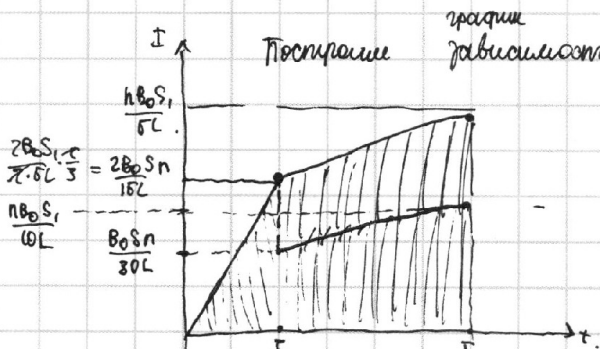
$\Rightarrow I' = \text{const} \Rightarrow \text{ток меняется прямолинейно.}$

ток меняется прямолинейно на отрезке $t \in [\frac{\tau}{3}; \tau]$.

$$B' = - \tan \beta = - \frac{B_0 \tau}{3 \cdot 2\tau} = - \frac{B_0}{2\tau}$$

β - угол наклона

$$\Delta t \frac{n B_0}{2\tau} S_1 = 5L \Delta I \Rightarrow I = I_1 + \frac{n B_0 S_1}{2\tau \cdot 5L} t \quad t \in [\frac{\tau}{3}; \tau]$$



q_{np} равен площади под графиком зависимости $I(t)$, т.к. $\Delta q_{np} = I \Delta t$

$$q_{np} = \frac{1}{2} \cdot \frac{2B_0 S_1 n}{5L} \cdot \frac{\tau}{3} + \frac{4^2 n B_0 S_1}{30 \cdot 5L} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{2\tau}{3} =$$

$$q_{np} = \frac{1}{2} \cdot \frac{2B_0 S_1 n}{5L} \cdot \frac{\tau}{3} + \frac{2B_0 S_1 n}{L} \left(\frac{2}{15} + \frac{1}{5} \right) \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{2\tau}{3} = \frac{B_0 S_1 n \tau}{45L} + \frac{2 n B_0 S_1 \tau}{45L} = \frac{3 n B_0 S_1 \tau}{45L} = \frac{n B_0 S_1 \tau}{15L}$$

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

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



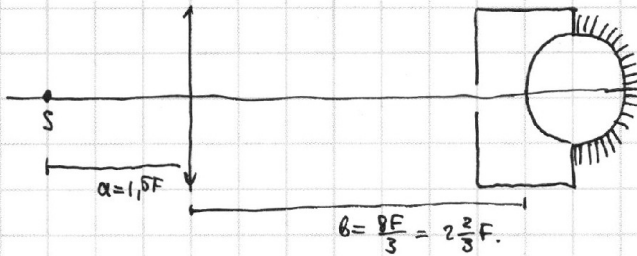
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу. Отметьте **крестиком** номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

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!

вб)



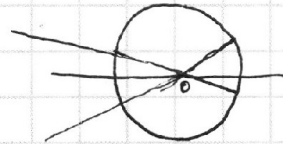
1) Из формулы тонкой линзы:

$$\frac{1}{1.5F} + \frac{1}{F} = \frac{1}{F}$$

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{3F} \quad F = 3F.$$

Известно, что изображение источника совпадает с источником, изобразившись от н.

Это значит, что S_1 - действ. изображение, совпадающее с S_2 - изображением, совпадающим с источником, когда положение S_1 совпадает с центром шара.



лучи пройдут через переднюю пол-шар без преломления, отражаясь от задней пол-шар и выйдут в том же направлении в котором падали на шар.

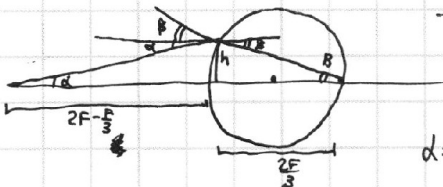
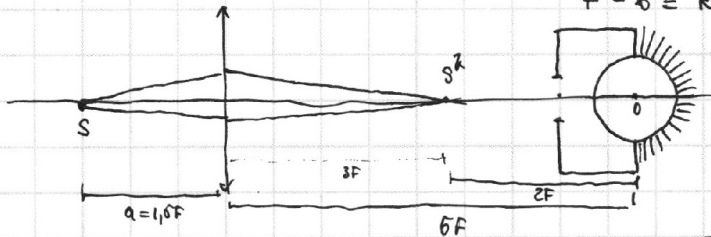
значит

$$F - b = R$$

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

Изображение источника совпадает с источником! $\Rightarrow$ лучи, выходящие из центра должны пересечься на расстоянии $2F$ от его центра.

2)



$$\alpha = \tan \alpha = \frac{h}{2F - \frac{F}{3}} = \frac{h}{\frac{5}{3}F} = \frac{3h}{5F}$$

$$\beta = \tan \beta = \frac{h}{2R} = \frac{h}{\frac{2F}{3}} = \frac{3h}{2F}$$

Все углы меньше $1^\circ \Rightarrow \sin \alpha \approx \alpha \approx \tan \alpha$

Чтобы такое было возможно лучи, входящие в шар должны попасть в точку A на его задней пол-шар.

(из закона синусов)

$$\alpha + \beta = \rho \cdot n$$

$$\frac{3h}{5F} + \frac{3h}{2F} = \frac{3h}{2F} \cdot n$$

$$\frac{3n}{2F} = \frac{6+5}{10} = \frac{11}{10}$$

$$\Rightarrow n = \frac{11}{8} = 1.4$$

Ответ: 1) $\frac{F}{3}$

2) 1.4.



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
☐

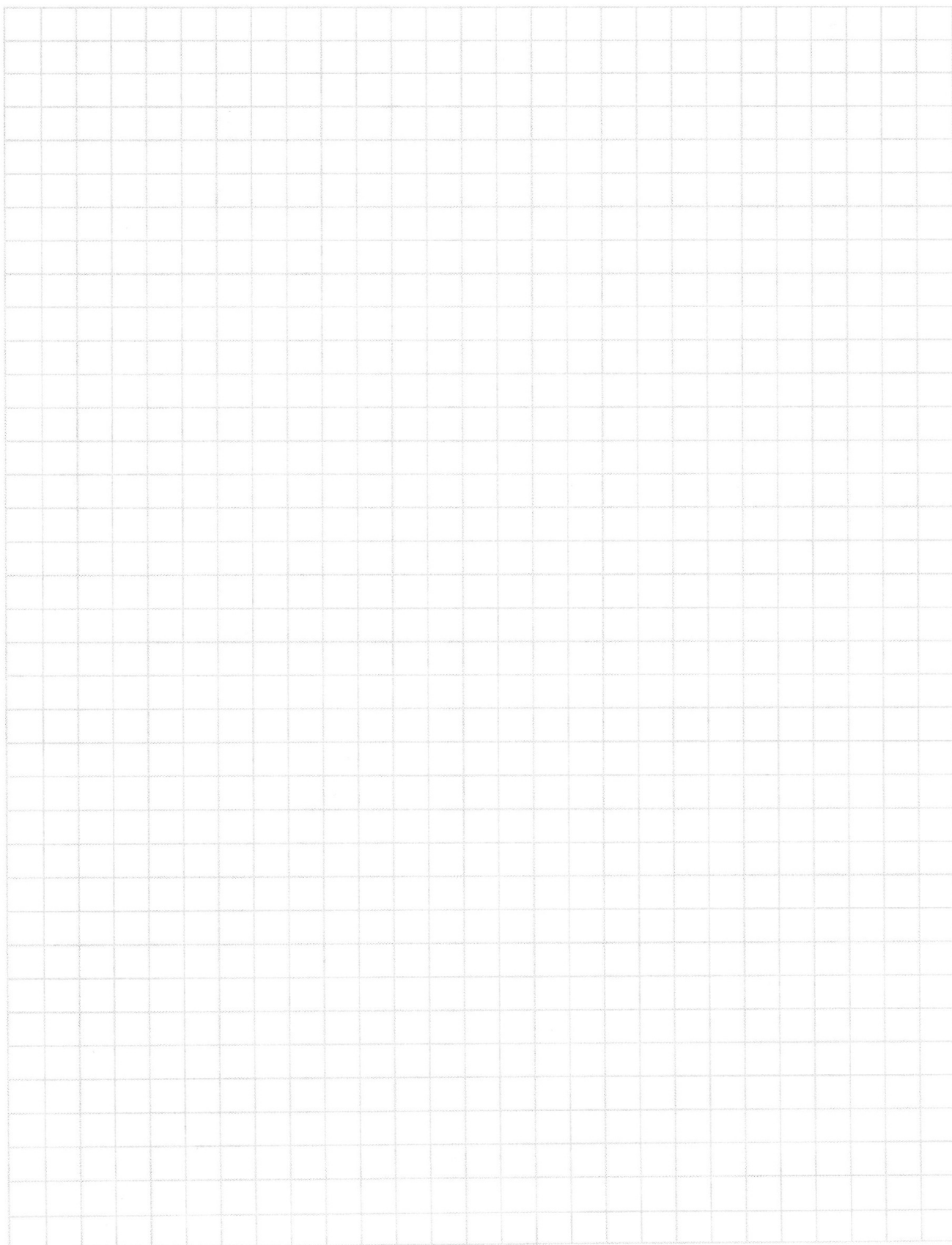
5
☐

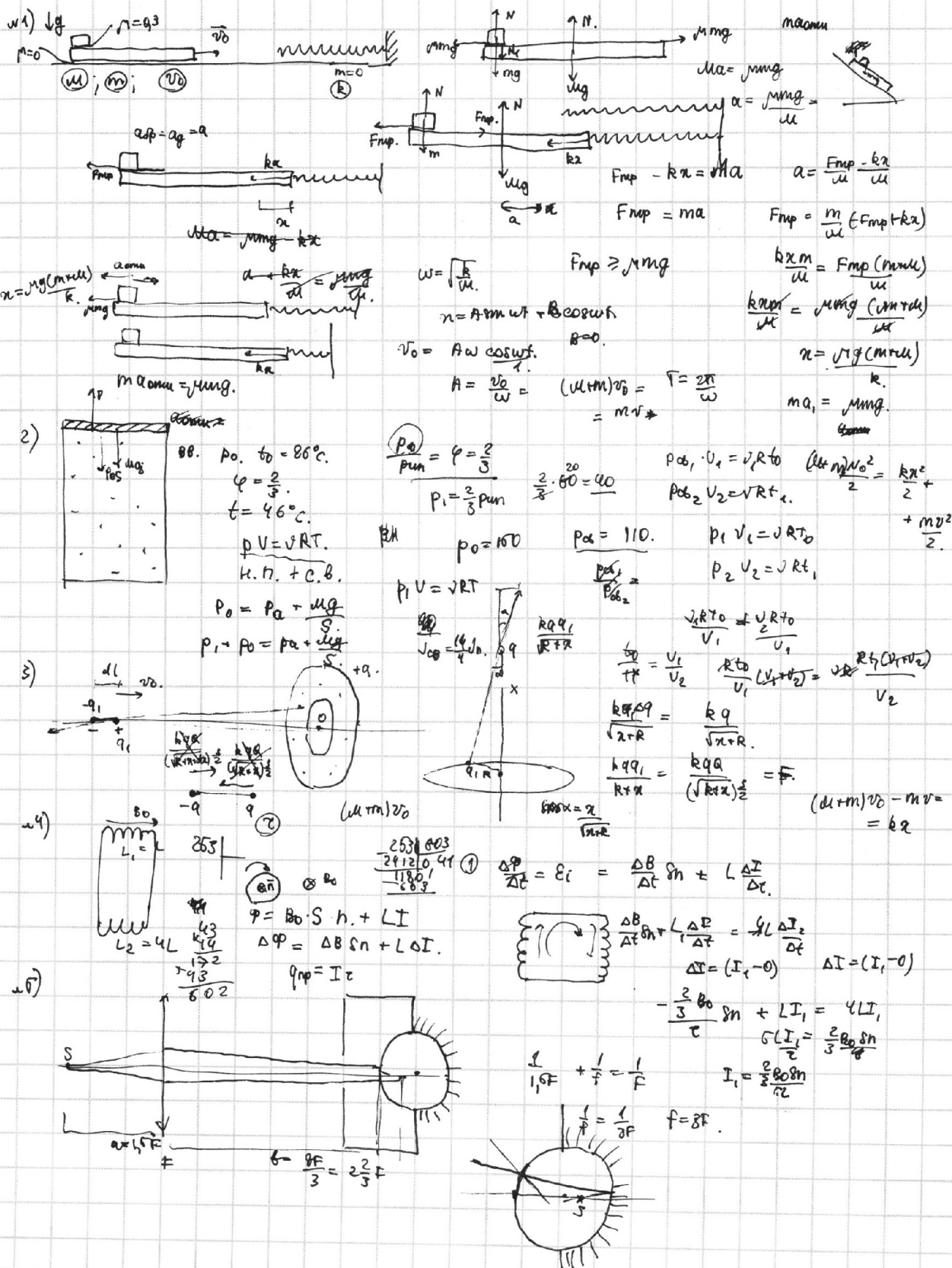
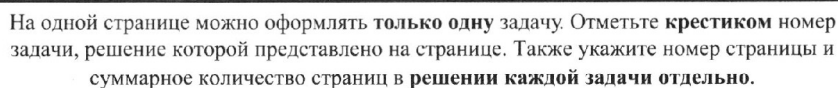
6
☐

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!





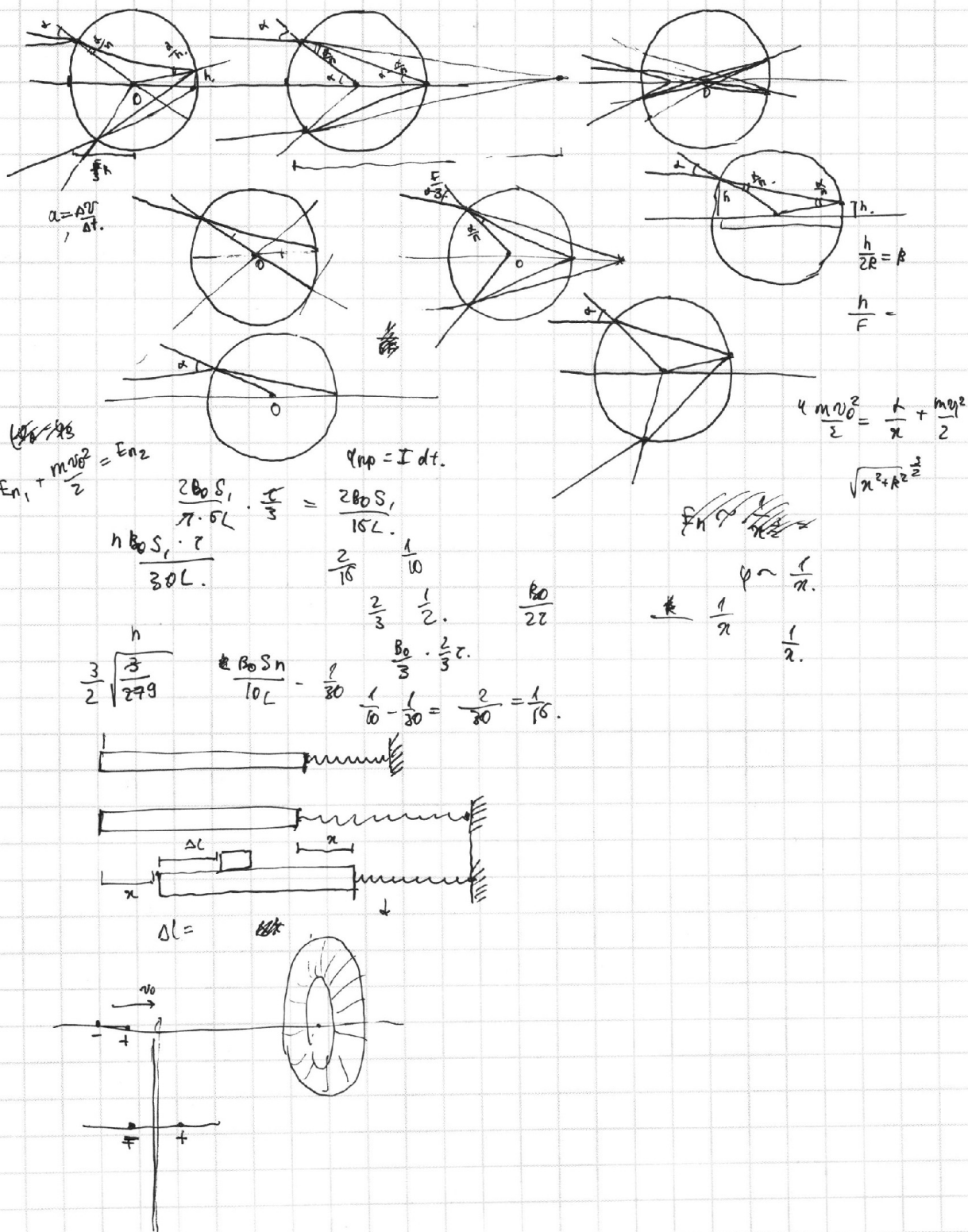


На одной странице можно оформлять **только одну** задачу. Отметьте **крестиком** номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в **решении каждой задачи отдельно**.

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!



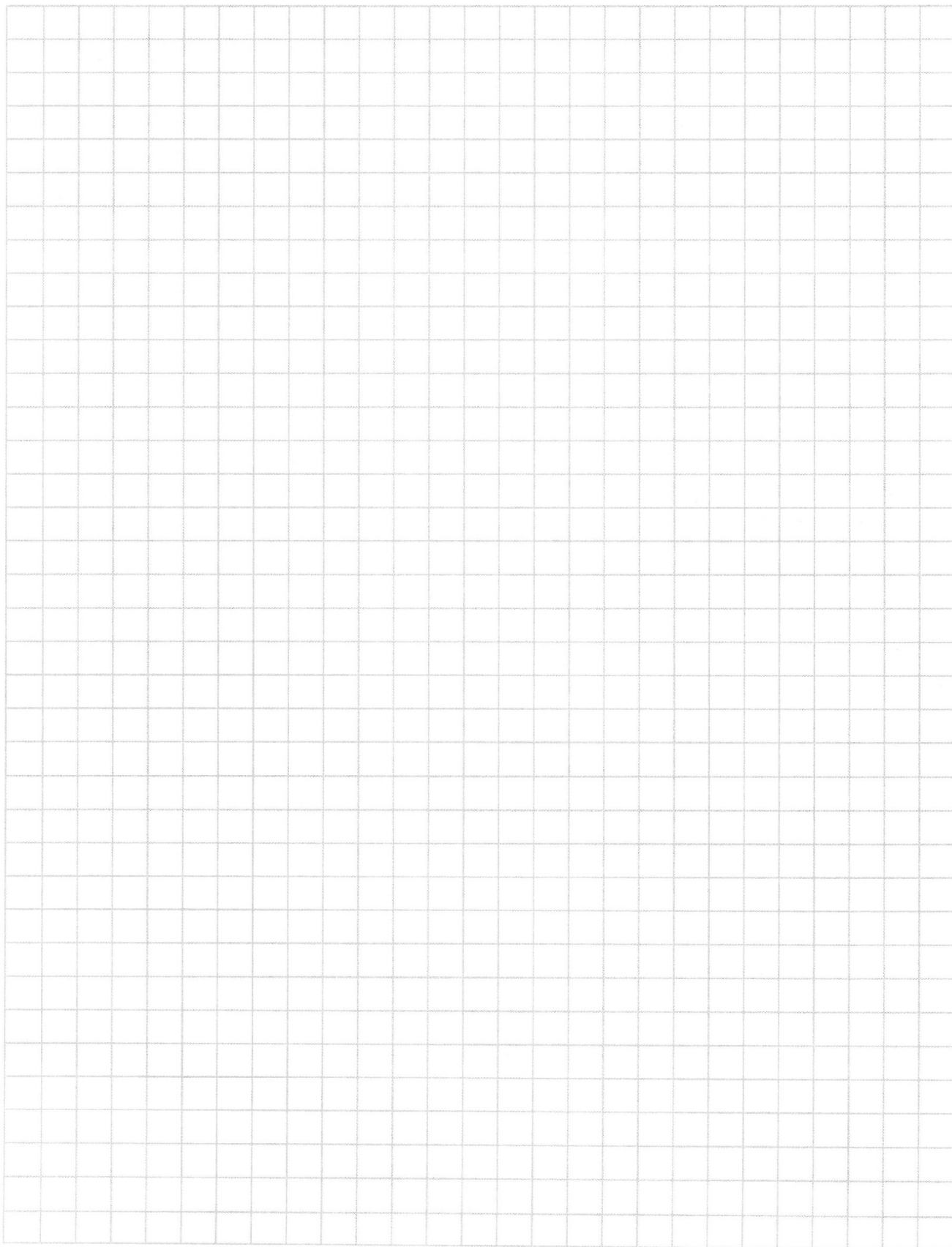


На одной странице можно оформлять **только одну** задачу. Отметьте **крестиком** номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в **решении каждой задачи отдельно**.

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!





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!

