



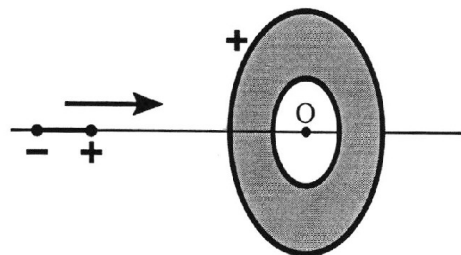
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2025

Вариант 11-02

В ответах всех задач допустимы обыкновенные дроби
и радикалы.

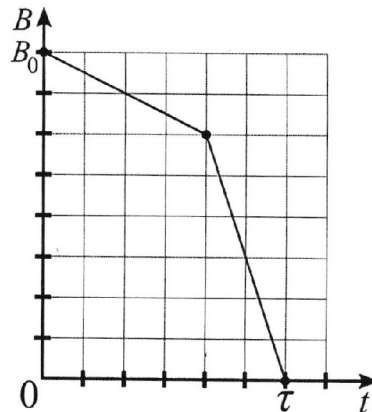
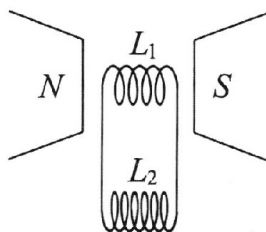


3. В плоском тонком диске в форме круга имеется круглое отверстие (см. рис.). Центры диска и отверстия совпадают в точке O . Диск имеет однородно распределенный по поверхности положительный заряд. Система из двух жестко связанных равных по модулю и противоположных по знаку точечных зарядов (диполь) движется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



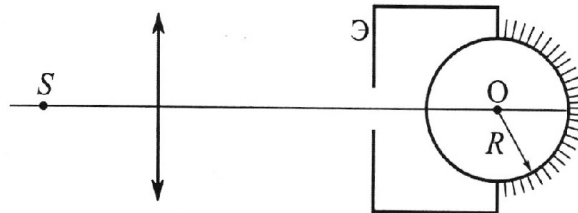
- 1) Найти скорость диполя при пролете центра диполя через центр отверстия.
- 2) Найти разность максимальной и минимальной скоростей диполя при пролете.

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 $L_2 = 6L$ 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, протекавший 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 (см. рис.). Расстояние между источником S и центром линзы $a = 2R$. 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 $b = 7R$, 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 $\Delta = 4R$, 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 $\sin \alpha \approx \alpha$.



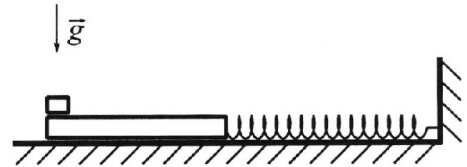
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2025

Вариант 11-02

В ответах всех задач допустимы обыкновенные дроби
и радикалы.



1. Длинную доску массой $M = 2$ 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 $k = 50$ Н/м, прикрепленная к стенке. Коэффициент трения скольжения бруска по доске $\mu = 0,3$. 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.

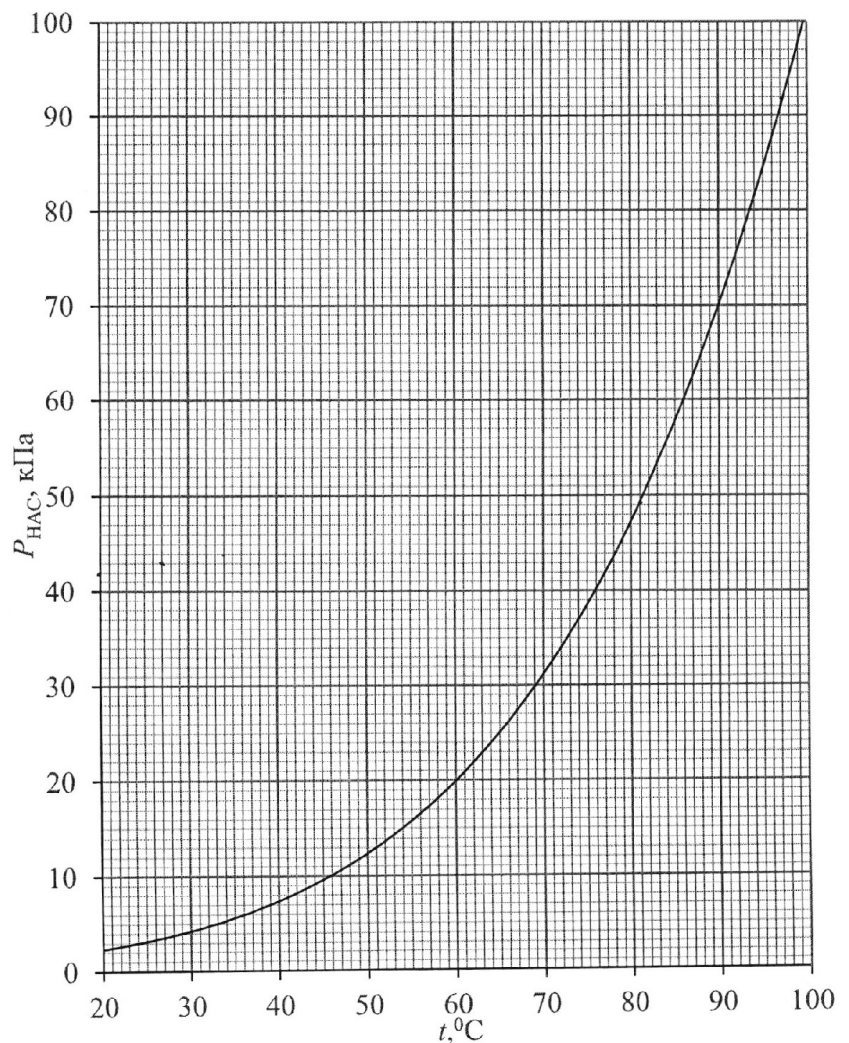


- 1) Найдите сжатие пружины в момент времени, когда относительное ускорение бруска и доски станет равным нулю, впервые после начала движения.
- 2) Найдите ускорение доски сразу после начала движения.
- 3) Найдите скорость доски в момент времени, когда относительное ускорение бруска и доски станет равным 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 11 раз больше массы пара. Содержимое сосуда постепенно нагревают до температуры $t = 97$ °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.





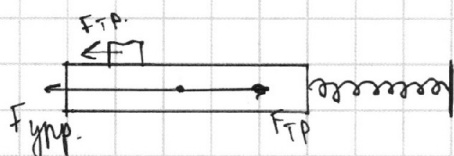
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

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!



Силы на брусок: $m a_B = F_{тр}$.

Силы на доску: $M a_D = F_{упр} - F_{тр}$.

Т.к. ~~в~~ все время брусок движ. относительно доски, то

$$F_{тр} = \mu m g.$$

в моменты времени, когда взаим. ускорение равно 0 $a_B = a_D$.

$$\frac{F_{тр}}{m} = \frac{F_{упр} - F_{тр}}{M}$$

$$\frac{M+m}{Mm} F_{тр} = \frac{F_{упр}}{m}$$

$$F_{упр} = \frac{M+m}{m} F_{тр}$$

$$F_{упр} = \mu g (M+m)$$

$$F_{упр} = k \Delta x$$

$$\Delta x = \frac{\mu g (M+m)}{k}$$

$$\Delta x = \frac{0,3 \cdot 10 \cdot 3}{59} = 0,15 \text{ м.}$$

Заменим, что a_B при условии, что брусок движ. неизменно и равно μg .

Заменим, что при движ. бруска счит. для доски эквивал. массу, будто она также сов. колебания на пружине, но соот. равновесия сдвинулось на $x_0 = \frac{\mu m g}{k} = 0,06 \text{ м.}$

Тогда $F_{упр} = k (\Delta x - x_0).$



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 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!

$m_b = 12 m_{\text{п}}$, т.к. вся вода превращ. в пар, то
в конце $m'_{\text{п}} = m_b + m_{\text{п}} = 12 m_{\text{п}}$
 $\frac{m'_{\text{п}}}{m_{\text{п}}} = 12$ $\frac{v'}{v} = 12$

По 3-му Менделеева Клопейрова в нач.
момент: ~~Рок~~ $V = v R T_0$ [1], где $p_0 = p_{\text{нас}}(27)$
и в момент испарения всей воды: $p_1 = p_{\text{нас}}(T_1)$
 $p_1 V = v' R T_1$ [2]

делим урав. 2 на урав. 1:
 $\frac{p_1}{p_0} = 12 \frac{T_1}{T_0}$

$p_1 = 12 \frac{p_0}{T_0} \cdot T_1$ $p_0 \approx 3,6 \text{ кПа}$ $T_0 \approx 300 \text{ К}$

$p_1 \approx 12 \cdot 12 \cdot T_1$

$p_1 = 144 T_1$ $T_1 = (273 + t)$

$p_1 = 144 \cdot 300 + 144(t - 27)$ $p_1 = 43200 + 144(t - 27)$

Проведем ~~эту~~ эту прямую на графике и найдем точку пересечения с начальным графиком.

$p \approx 50000 \text{ Па}$ $t^* \approx 82,5^\circ \text{C}$

По формуле при $p \approx 50.000$ $t^* \approx 84^\circ \text{C}$ - погодим

Итого $t^* \approx 83^\circ \text{C}$



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

1
☐

2
☒

3
☐

4
☐

5
☐

6
☐

7
☐

СТРАНИЦА
2 из 2

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

При $t = 97^\circ\text{C}$.

~~$p = p$~~

По формуле $p = 43200 + 44(97 - 27) =$
 $= 43200 + 44 \cdot 70 = 53280 \text{ Па}$

По формуле $p_{\text{max}} = 91000 \text{ Па}$

$$\varphi = \frac{p}{p_{\text{max}}}$$

$$\varphi = \frac{53280}{91000} \approx 0,58$$

$$\varphi \approx 58\%$$

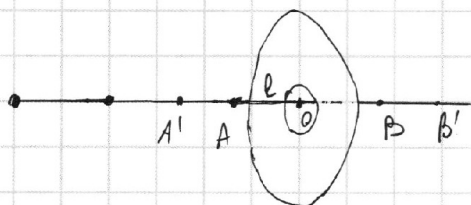
Ответ 1) 12 2) 84°C 3) 58%

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!



~~Пусть длина диполя равна l .~~

~~Тогда на расстоянии r от центра диполя O расположились A и B , при этом $\varphi_A = \varphi_B$.~~

Пусть, когда полож. заряд диполя

в $T. A$ - $v_d \rightarrow$ максимальная. разделим силы.
когда $T. B$. Заметим, что скорость диполя
максимальна при попадании отриц. заряда диполя
в $T. B$.

Объясняем это тем, что в $T. A$ $F_{прямая}$
впервые стала больше силы отталкивания, т.к. $v \rightarrow \min$,
то $a = 0 \Rightarrow \Sigma F = 0$, ~~и т.д.~~ и т.к. ^{модуль} силы не завис. от
заряда, то и при развороте диполя силы становятся
равны, т.е. в $T. B$ $F_{прямая} = F_{отталкив}$ тогда $a = 0$

При этом до $T. B$ $F_{прямая} < F_{отталкив}$ (в силу инерт.
с $T. A$) а после $T. B$ $F_{прямая} > F_{отталкив}$ (в силу инерт.
с $T. A$). значит $v \Rightarrow \max$.

По условию $q|\varphi_A - \varphi_{A'}| = \frac{mv_0^2}{2}$, где A' -
положение отриц. заряда $\varphi_A - \varphi_{A'} = \frac{mq_0^2}{2q}$, где q_0 - модуль
заряда диполя



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!

Тогда мин. скорость при проходе диэлектрика с диэлектрич. зарядом:

$$\frac{q}{2} |\varphi_A - \varphi_{A'}| + \frac{mv_{\min}^2}{2} = \frac{mv_0^2}{2}$$

$$\frac{mv_0^2}{4} + \frac{mv_{\min}^2}{2} = \frac{mv_0^2}{2}$$

$$v_{\min}^2 = \frac{v_0^2}{2}$$

$$v_{\min} = v_0 \sqrt{\frac{1}{2}}$$

Макс. скорость равно:

$$-\frac{q}{2} (\varphi_B - \varphi_{B'}) + \frac{mv_{\max}^2}{2} = \frac{mv_0^2}{2}$$

$$\frac{mv_{\max}^2}{2} = \frac{3}{4} mv_0^2$$

$$\varphi_B - \varphi_{B'} = \varphi_A - \varphi_{A'} \text{ в } \text{линейном виде}$$

$$v_{\max}^2 = \frac{3}{2} v_0^2$$

$$v_{\max} = \frac{\sqrt{6}}{2} v_0$$

$$v_{\max} - v_{\min} = \frac{\sqrt{6}}{2} v_0 - \frac{\sqrt{2}}{2} v_0 = \frac{\sqrt{2}(\sqrt{3}-1)}{2} v_0$$

Заметим, что при проходе центра диэлектрика через центр отверстия потенциал обоих зарядов одинаков. друг друга, значит $\varphi_+ = \varphi_- = \varphi$

По 3-му закону сохранения энергии:

$$\frac{mv_1^2}{2} + \frac{q\varphi}{2} + \frac{q\varphi}{2} = \frac{mv_0^2}{2}$$

$$\frac{mv_1^2}{2} = \frac{mv_0^2}{2}$$

$$\Rightarrow v_1 = v_0$$

Ответ: 1) v_0 2) $\frac{\sqrt{2}(\sqrt{3}-1)}{2} v_0$



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!

Так как максимальная индукция проходит только через 1 катушку, то по 3-ю ЭМЧ:

$$\mathcal{E}_i = \frac{dB}{dt} n S_1. \quad (1)$$

Но так как т.к. в обеих катушках ток одинаков,

т.к. они соед. послед., то:

$$\mathcal{E} = L \frac{dI}{dt} + 6L \frac{dI}{dt} = 7L \frac{dI}{dt}. \quad (2)$$

Приведя урав. (1) и (2) получим:

$$\frac{dB}{dt} n S_1 = 7L \frac{dI}{dt} \quad (3)$$

Принимая ^{урав. (3)} для всех значений B:

$$B_0 n S_1 = 7L I_0 \quad I_0 = \frac{B_0 n S_1}{7L}$$

Принимая урав. (3) для знан. от B_0 до B_1 .

$$\frac{(B_0 - B_1) n S_1}{7L} = I_1.$$

Заметим, что $dq = I dt$

$$\text{Тогда } dq = \frac{(B_0 - B) n S_1}{7L} dt = \frac{B_0 n S_1}{7L} dt - \frac{B n S_1}{7L} dt.$$

Заметим, что при интегрировании $\int dt$ от 0 до τ

$\int_0^\tau B dt$ имеет смысл площади под графиком,

$$\text{которая равна } S_B = \int_0^\tau B dt = \frac{34}{48} B_0 \tau.$$

$$\text{Отсюда } q = \int_0^\tau \frac{B_0 n S_1}{7L} dt - \int_0^\tau \frac{B n S_1}{7L} dt = \frac{B_0 n S_1 \tau}{7L} - \frac{34}{48} \frac{B_0 n S_1 \tau}{7L}.$$



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!

$$q = \frac{B_0 n S_1 \tau}{7L} - \frac{94}{48} \frac{B_0 n S_1 \tau}{7L} = \frac{14}{48} \frac{B_0 n S_1 \tau}{7L} = \frac{B_0 n S_1 \tau}{24L}$$

Ответ: 1) $\frac{B_0 n S_1 \tau}{7L}$ 2) $\frac{B_0 n S_1 \tau}{24L}$



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
☐

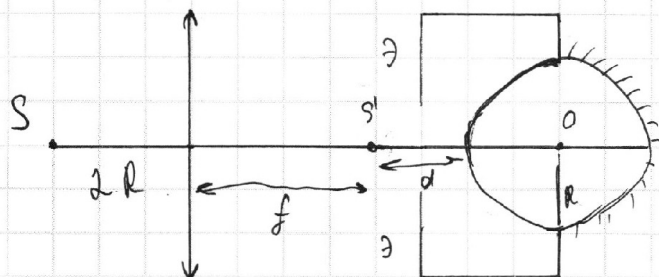
5
☒

6
☐

7
☐

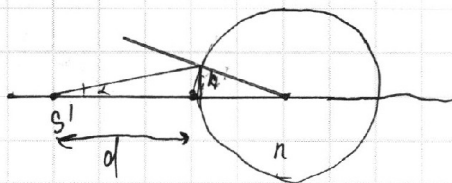
СТРАНИЦА
1 из 1

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!



Для линзы: $\frac{1}{a} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F}$

Для попадания луча в шор:



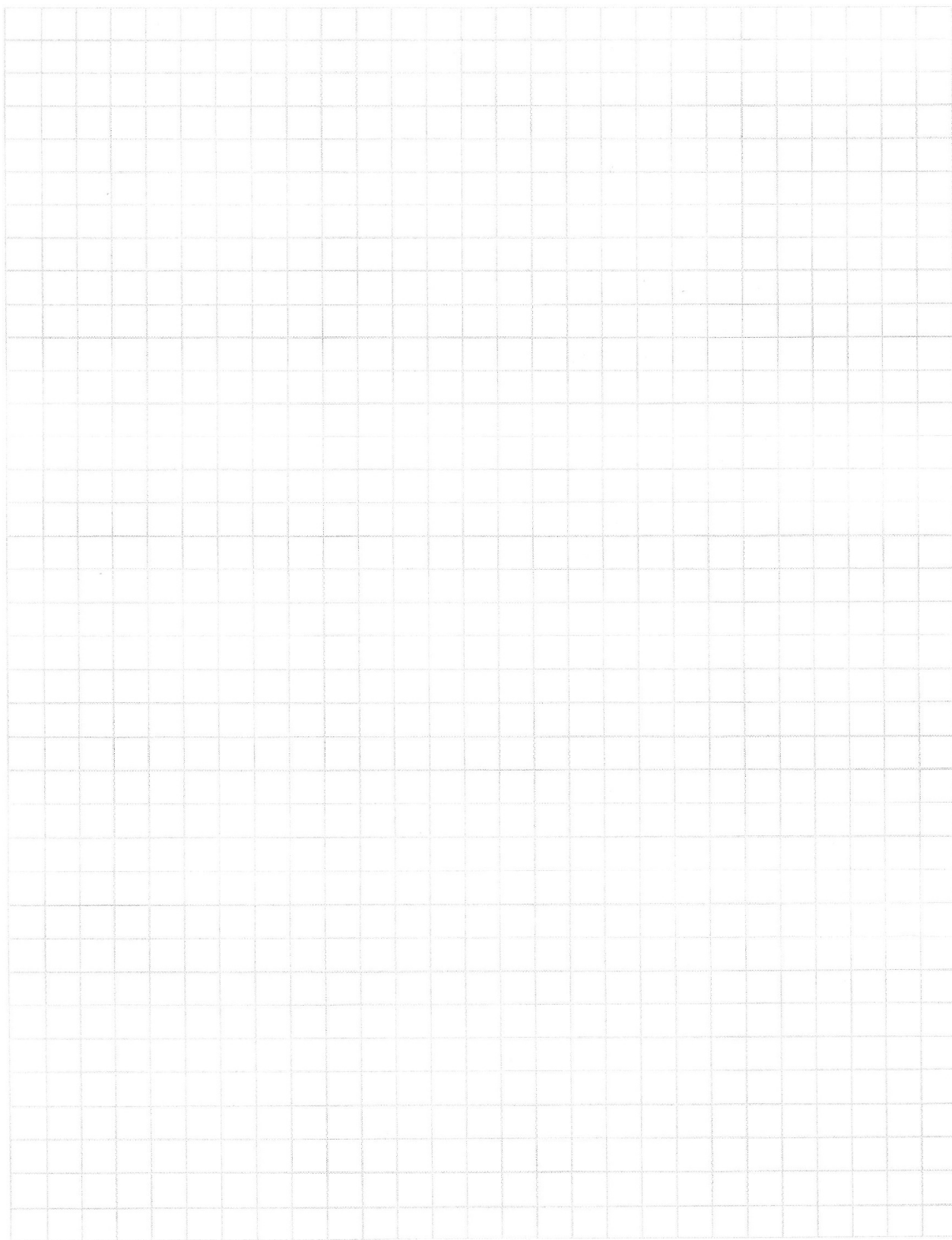


На одной странице можно оформлять **только одну** задачу. Отметьте **крестиком** номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в **решении каждой задачи отдельно**.

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!



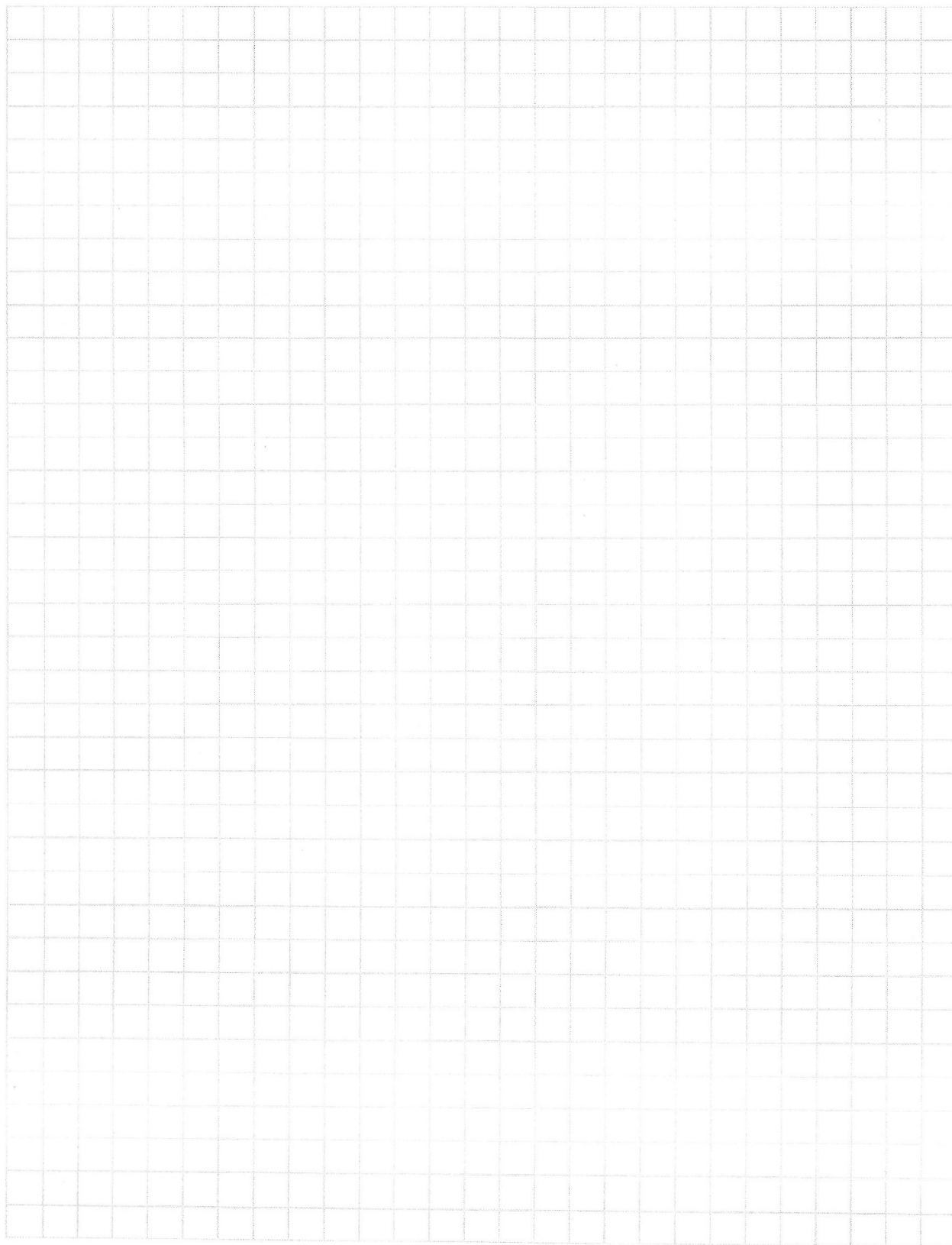


На одной странице можно оформлять **только одну** задачу. Отметьте **крестиком** номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в **решении каждой задачи отдельно**.

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
☐

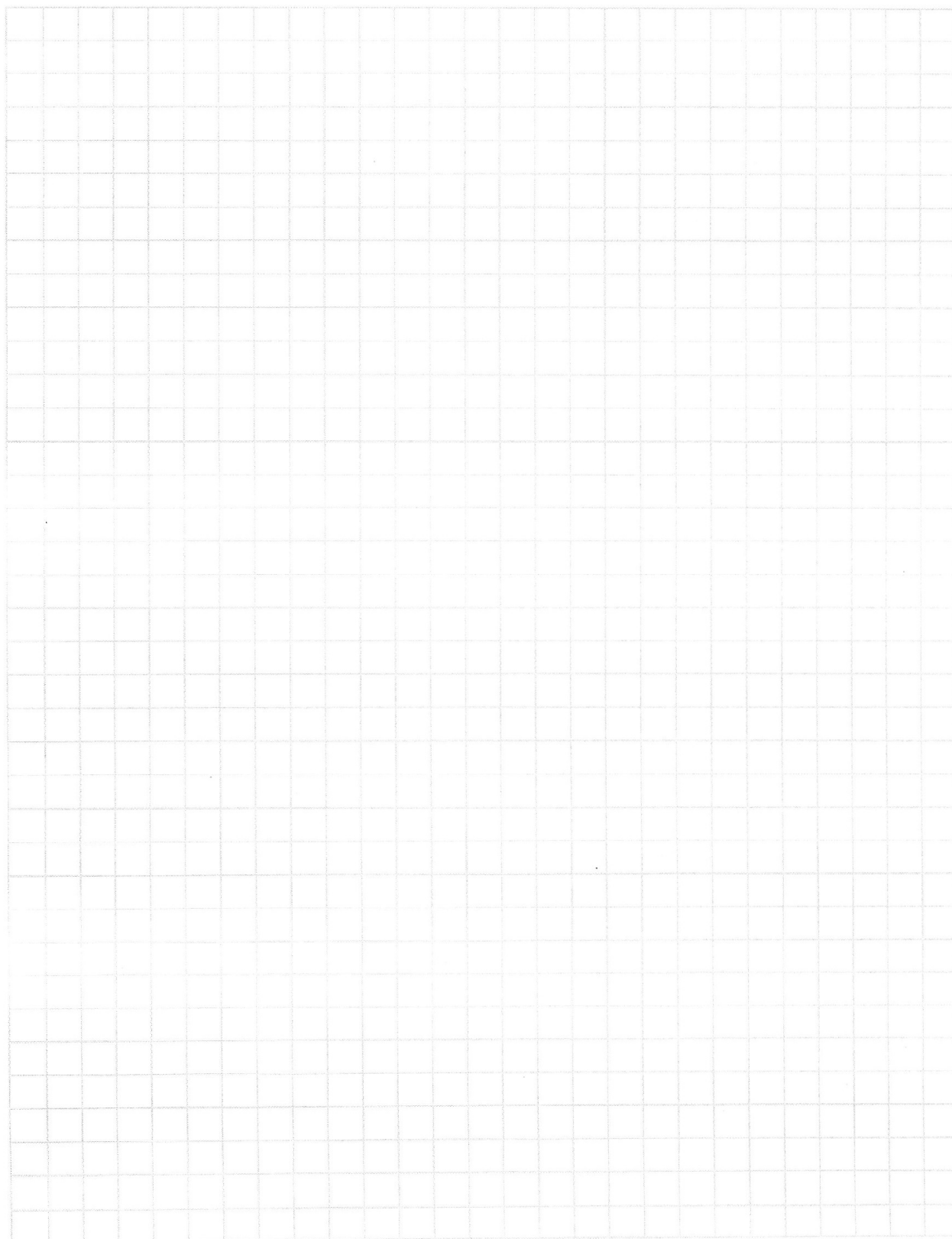
5
☐

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!



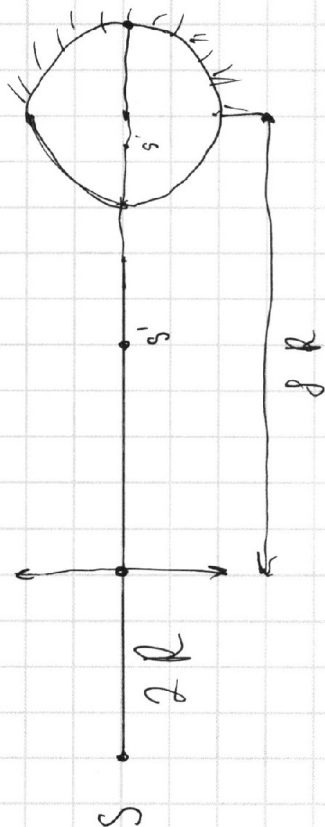
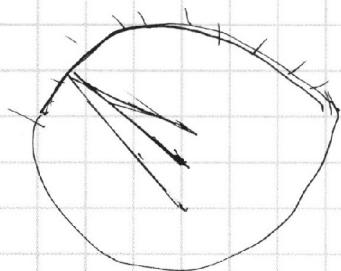


На одной странице можно оформлять **только одну** задачу. Отметьте **крестиком** номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении **каждой задачи отдельно**.

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

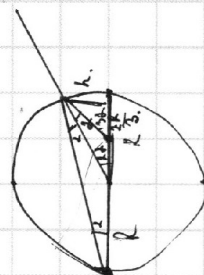
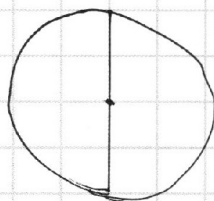
СТРАНИЦА
__ ИЗ __

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!



$$\frac{R}{2R-1}$$

$$\frac{1}{x} = \frac{2}{R}$$
$$x = \frac{2R}{2}$$





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

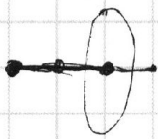
СТРАНИЦА
__ ИЗ __

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!

$$F_{TP} = mg$$

$$q\varphi_0 - q\varphi_A = \frac{mv_0^2}{2}$$

$$\frac{q\varphi_0}{2} - \frac{q\varphi_A}{2} + \frac{mv_0^2}{2} = F_{TP}$$



$$F = F_{yup.0} - F_{TP}$$

$$p_0 V = \nu R T_0$$

$$\epsilon = \frac{d\Phi}{dt} = \frac{dB}{dt} n S$$

$$\epsilon = L \frac{dI}{dt} + 6L \frac{dI}{dt}$$

$$7L \frac{dI}{dt} = \frac{dB}{dt} n S$$

$$7LI_0 = B_0 n S$$

$$I_0 = \frac{B_0 n S}{7L}$$

$$\frac{144}{1000} = 0.144$$

$$d_g = 0$$

$$v_B = 0$$

$$F_{yup.0} = 2F_{TP}$$

$$a = 4 \frac{F_{TP}}{m}$$

$$ma = F_{TP}$$

$$F_{yup.0} \approx F_{TP}$$

$$ma = F_{yup.0} - F_{TP}$$

$$\varphi_0 - \varphi_A = 2q$$

$$\varphi_A - \varphi_0 = -\frac{mv_0^2}{2q}$$

$$V \approx \frac{p_0 V}{RT_0}$$

$$\frac{3.5 \text{ kPa}}{300 \text{ K}} = 124$$

$$144 + 144 = 288$$

$$p_{max} = 144 \cdot 300 + (T - 300)$$

$$42192 + 144(T - 20)$$

$$77$$

$$I = \frac{B_0 - B(T)}{7L}$$

$$q = \frac{B_0 n S}{7L}$$

$$170 \cdot 144$$

$$\times 293$$

$$1772$$

$$1172$$

$$293$$

$$42192$$

$$49000$$

$$78$$

$$56$$

$$1912$$

$$78$$

$$78$$