



Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

Вариант 11-03

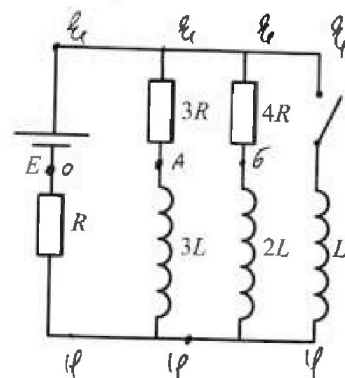
Во всех задачах, в ответах допустимы обыкновенные дроби и радикалы.



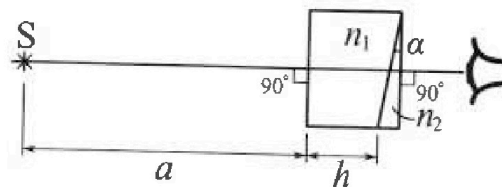
✓ 4. Параметры цепи указаны на схеме, все элементы идеальные. Ключ разомкнут, режим в цепи установился. Затем ключ замыкают.

- 1) Найти ток I_0 через резистор с сопротивлением $3R$ при разомкнутом ключе.
- 2) Найти скорость возрастания тока в катушке индуктивностью L сразу после замыкания ключа.
- 3) Какой заряд протечет через резистор с сопротивлением $3R$ при замкнутом ключе?

Ответы давать с числовыми коэффициентами в виде обыкновенных дробей.



5. Оптическая система состоит из двух призм с показателями преломления n_1 и n_2 и находится в воздухе с показателем преломления $n_v = 1,0$. Точечный источник света S расположен на расстоянии $a = 90$ см от системы и рассматривается наблюдателем так, что источник и глаз наблюдателя находятся на прямой, перпендикулярной наружным поверхностям призм (см. рис.). Угол $\alpha = 0,1$ рад можно считать малым, толщина $h = 14$ см. Толщина призмы с показателем



преломления n_2 на прямой «источник – глаз» намного меньше h . Отражения в системе не учитывать.

- 1) Считая $n_1 = n_v = 1,0$, $n_2 = 1,7$, найдите на какой угол отклонится системой луч, идущий от источника перпендикулярно левой грани системы.
- 2) Считая $n_1 = n_v = 1,0$, $n_2 = 1,7$, найдите расстояние между источником и его изображением, которое будет видеть наблюдатель.
- 3) Считая $n_1 = 1,4$, $n_2 = 1,7$, найдите на каком расстоянии от источника будет его изображение, которое увидит наблюдатель.



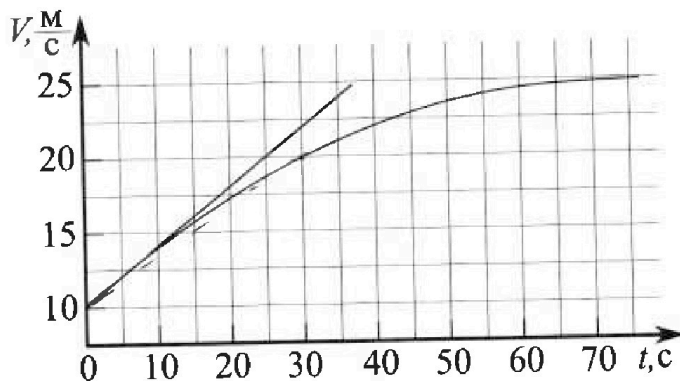
Олимпиада «Физтех» по физике,
февраль 2023

Вариант 11-03



Во всех задачах, в ответах допустимы обыкновенные дроби
и радикалы.

- ✓1. Автомобиль массой $m = 1500$ кг движется с постоянной скоростью и затем разгоняется на прямолинейном горизонтальном участке дороги. График зависимости скорости от времени при разгоне показан на рисунке. В конце разгона сила тяги двигателя равна $F_k = 600$ Н. Считать, что при разгоне сила сопротивления движению пропорциональна скорости.



- 1) Используя график, найти ускорение автомобиля в начале разгона.
- 2) Найти силу тяги F_0 в начале разгона.
- 3) Какая мощность P_0 передается от двигателя на ведущие колеса в начале разгона?

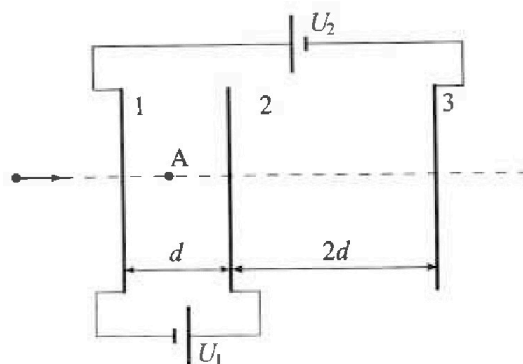
Требуемая точность численного ответа на первый вопрос ориентировочно 10%.

2. Герметичный вертикальный цилиндрический сосуд объемом V разделен тонким невесомым теплопроводящим герметичным поршнем (диск соосный с сосудом) на две равные части. Поршень может перемещаться без трения. В верхней части цилиндра находится гелий, а в нижней - вода и углекислый газ. В начальный момент система находилась в равновесии при давлении $P_0 = P_{\text{атм}}/2$ ($P_{\text{атм}}$ - нормальное атмосферное давление) и при комнатной температуре T_0 . При этом жидкость занимала объем $V/4$. Затем цилиндр медленно нагрели до $T = 373$ К. Установившийся объем его верхней части стал равен $V/5$.

По закону Генри, при заданной температуре количество Δv растворенного газа в объеме жидкости w пропорционально парциальному давлению p газа: $\Delta v = k p w$. Объем жидкости при этом практически неизменен. Для углекислого газа константа Генри для данной комнатной температуры $k \approx 0,5 \cdot 10^{-3}$ моль/(м³·Па). При конечной температуре T углекислый газ в воде практически не растворяется. Можно принять, что $RT \approx 3 \cdot 10^3$ Дж/моль, где R - универсальная газовая постоянная. Давлением водяных паров при комнатной температуре и изменением объема жидкости в процессе нагревания пренебречь. Все газы считать идеальными.

- 1) Найти отношение количеств вещества в газообразном состоянии в сосуде T/T_0 .
- 2) Определите отношение конечной и начальной температур в сосуде T/T_0 .

- ✓3. Три проводящие плоские мелкие сетки находятся друг напротив друга на расстояниях d и $2d$ (см. рис.). Размеры сеток значительно больше d . Изначально сетки не заряжены. К сеткам подсоединили источники с напряжением $U_1 = U$ и $U_2 = 3U$. Частица массой m и зарядом $q > 0$ движется по направлению к сеткам и перпендикулярно сеткам, имея скорость V_0 на расстоянии от сеток, намного большем их размеров. Частица пролетает через сетки, не отклоняясь от прямолинейной траектории. Заряд q намного меньше модуля зарядов сеток.



- 1) Найти модуль ускорения частицы в области между сетками 1 и 2.
- 2) Найти разность $K_1 - K_2$, где K_1 и K_2 — кинетические энергии частицы при пролете сеток 1 и 2.
- 3) Найти скорость частицы в точке A на расстоянии $d/4$ от сетки 1.

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

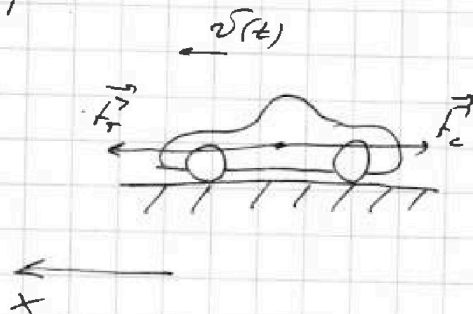
Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐

МФТИ

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

1)



Видно F_T - сила тяги,
а F_c - сила сопротивления

$$\text{по ум.: } F_c = k \cdot v$$

$$2 \text{ Н.к.: } F_T - F_c = ma$$

$$F_T - kv = ma$$

2) Замечу, что при скорости $v = 25 \frac{\text{м}}{\text{с}}$
автомобиль перестал разгоняться, т.е. $F_T = F_c = F_c \Rightarrow$
 $\Rightarrow F_c = k \cdot 25 \frac{\text{м}}{\text{с}} \Rightarrow k = \frac{600 \cdot \frac{\text{Н} \cdot \text{с}}{\text{м}}}{25 \frac{\text{м}}{\text{с}}} = 24 \frac{\text{Н} \cdot \text{с}}{\text{м}}$

3) Найду a_0 из графика, где a_0 - макс. ускорение:
Проведем касательную к началу пути, касающуюся
в диапазоне 0-5с, тогда:
По определению $\dot{v} = a$
Тогда $a_0 = \frac{(20-10) \frac{\text{м}}{\text{с}}}{25 \text{с}} = \frac{10}{25} \frac{\text{м}}{\text{с}^2} = \frac{2}{5} \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$

4) Найду F_0 : $F_0 - k \cdot 10 \frac{\text{м}}{\text{с}} = ma_0 \Leftrightarrow F_0 = 1500 \text{ кг} \cdot \frac{2}{5} \frac{\text{м}}{\text{с}^2} + 240 \text{ Н}$
 $F_0 = 840 \text{ Н}$

5) $P_0 = F_0 \cdot v_0$, где $v_0 = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}}$
 $P_0 = 8400 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{с}}$

Ответ: 1) $a_0 = 0,4 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$
2) $F_0 = 840 \text{ Н}$
3) $P_0 = 8400 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{с}}$



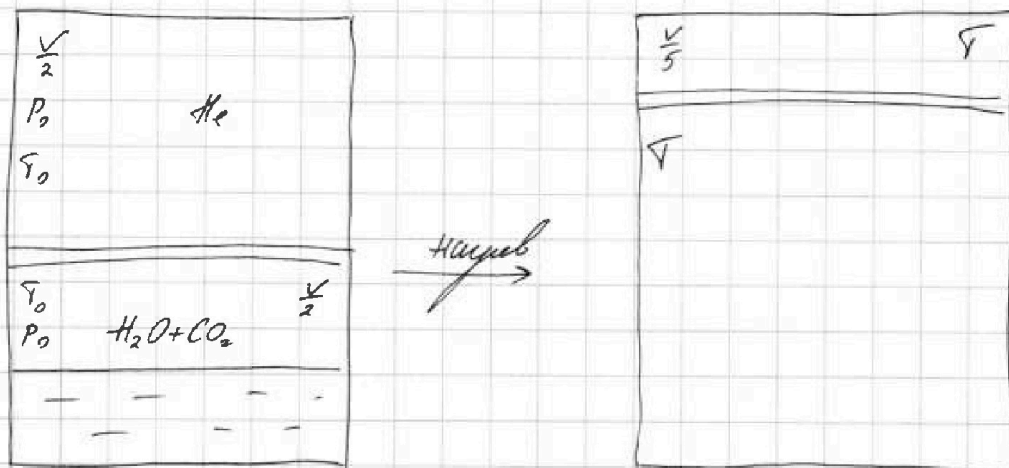
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐

МФТИ

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



1) Т.к. по условию при максимальной температуре газы находятся в равновесии, то на границе газовой смеси давит только CO_2 , тогда

$$\begin{cases} P_0 \cdot \frac{V}{4} = \nu_{CO_2} \cdot R T_0 \\ P_0 \cdot \frac{V}{2} = \nu_{He} \cdot R T_0 \end{cases} \Leftrightarrow \frac{\nu_{He}}{\nu_{CO_2}} = 2$$

2) Т.к. цилиндр теплопроводящий, то над поршнем и над дном будет одинаковая температура T . По второму закону Ньютона давление в обеих частях поршня равно в уст. режиме.

3) Рассм. отдельно CO_2 ; $\nu_{CO_2} = 5$, т.к. линейная:

$$P_0 \cdot \frac{V}{2} = \nu_{CO_2} R T_0$$

$$P' V' = \nu R T$$

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐

МФТИ

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

$$J' = J_{\text{CO}_2} - \Delta J, \text{ где } \Delta J = kp' \left(\frac{V}{2} - V' \right) \left(\frac{4}{5}V - V' \right)$$

$$\text{Тогда: } p'V' = \left(J_{\text{CO}_2} - kp' \left(\frac{V}{2} - V' \right) \right) \frac{4}{5}V - V'$$

4) Рассм. He:

$$\begin{cases} p_0 \cdot \frac{V}{2} = 2RT_0 \\ p \cdot \frac{V}{5} = 2RT \end{cases} \Rightarrow \frac{T}{T_0} = \frac{2p}{5p_0}, \text{ где } p = p' + p''$$

↑
давление
CO₂

↑
давление
паров

5) Рассм. ~~воздух~~ водяной пар:

$$p''V' = 2RT \Rightarrow p = \frac{2_0RT}{V'} + \frac{(J_{\text{CO}_2} - kp' \left(\frac{V}{2} - V' \right))}{V'}$$

$$\text{Тогда } V = \frac{V}{5} + V' + V'' \Rightarrow V'' = \frac{4}{5}V - V'$$

$$dJ_{\text{CO}_2} = kV_0 \cdot dp_{\text{CO}_2} \Rightarrow$$

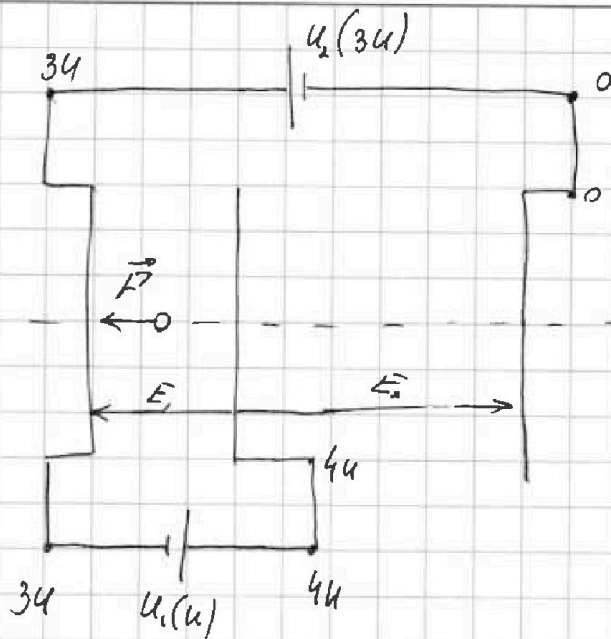
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐

МФТИ

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Печать QR-кода недопустима!



Используя
метод узловых
потенциалов

1) Найдем поле E_1 и E_2 :

$$4u - 3u = u = E_1 d \Rightarrow E_1 = \frac{u}{d}$$

$$4u = E_2 \cdot 2d \Rightarrow E_2 = \frac{2u}{d} = 2E_1$$

2) Мысленно разделим среднюю секцию на

2. Тогда получится система из двух конденсаторов.

Как известно поле из конденсатора не выходит

$\Rightarrow E_1$ и E_2 не будут намагничиваться друг на

друга

используя 1-ый и 2-ой законы

2) 2ЗН: $F_1 = ma, \Leftrightarrow E_1 \cdot q = ma, \Leftrightarrow a_1 = \frac{uq}{dm}$

3) 3СЭ: $3u \cdot q + K_1 = 4u \cdot q + K_2 \Leftrightarrow K_1 - K_2 = uq$

4) ~~2ЗН~~ $2a_1 \cdot \frac{d}{4} = v_0^2 - v_A^2 \Rightarrow v_A = \sqrt{v_0^2 - \frac{uq}{m \cdot 2}}$

Сбер: 1) $a_1 = \frac{uq}{dm}$

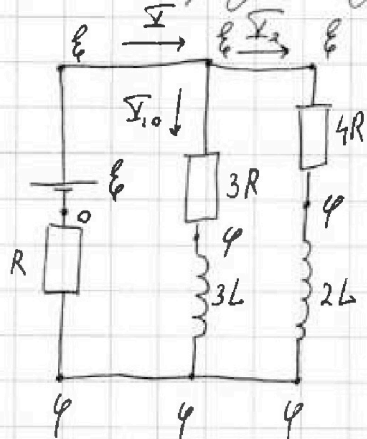
2) $K_1 - K_2 = uq$

3) $v_A = \sqrt{v_0^2 - \frac{uq}{2m}}$

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

к моменту размыкания:



1) Используем метод узловых потенциалов.

2) Т.к. цепи в цепи установившейся, то ток через обе катушки постоянный и их напряжение равно 0.

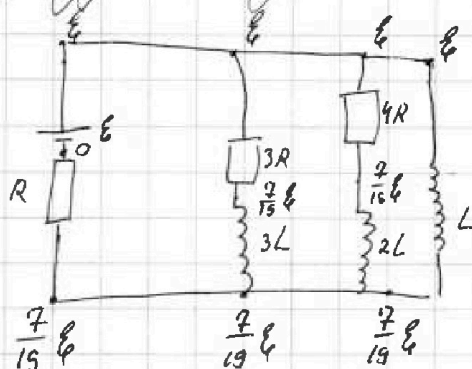
$$3) \text{ ЗСЗ: } I = I_2 + I_{10}$$

$$\frac{\varphi}{R} = \frac{E - \varphi}{3R} + \frac{E - \varphi}{4R} \quad | \cdot 12R$$

$$12\varphi = 4E - 4\varphi + 3E - 3\varphi \Leftrightarrow 19\varphi = 7E \Leftrightarrow \varphi = \frac{7}{19}E$$

$$\text{Тогда } I_{10} = \frac{E - \varphi}{3R} = \frac{E - \frac{7}{19}E}{3R} = \frac{12E}{57R}$$

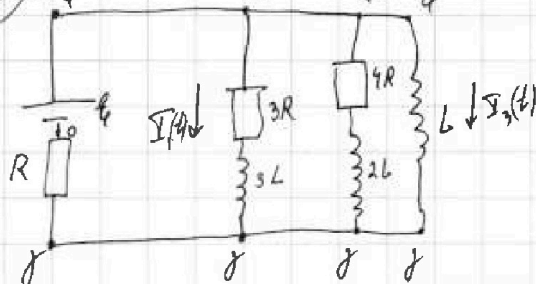
сразу после замыкания:



4) Сразу после замыкания ток через катушки скачком не изменяется, тогда в данный момент через катушку L тока нет

$$E - \frac{7}{19}E = L \dot{I}_L \Leftrightarrow \dot{I}_L = \frac{12E}{19L}$$

используем некоторую величину:



5) Т.к. соединения параллельное:

$$3I_1 R + 3L \dot{I}_1 = L \dot{I}_3$$

$$3 \cdot dq_1 R + 3L dI_1 = L \cdot dI_3$$

$$3R \cdot \int_0^q dq_1 + 3L \cdot \int_{I_{10}}^0 dI_1 = L \cdot \int_0^{I_{\text{уст}}} dI_3$$



На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐

МФТИ

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

6) Когда резистор станет установленным при замыкании ключа, то весь ток, равный $I_{\text{ср}} = \frac{\mathcal{E}}{R}$, будет идти через катушку L , т.к. напряжение на ее концах будет равно 0.

$$\text{Тогда } 3Rq_1 = 3L I_{\text{ср}} = L \cdot I_{\text{ср}}$$

$$q_1 = \frac{L \left(\frac{\mathcal{E}}{R} + 3 \cdot \frac{12}{54} \cdot \frac{\mathcal{E}}{R} \right)}{3R}$$

$$q_1 = \frac{L\mathcal{E}}{3R^2} \left(1 + \frac{36}{54} \right)$$

$$q_1 = \frac{93L\mathcal{E}}{3 \cdot 54R^2}$$

$$q_1 = \frac{93L\mathcal{E}}{171R^2}$$

$$\text{Ответ: } 1) I_{\text{ср}} = \frac{12\mathcal{E}}{54R}$$

$$2) I_L = \frac{12\mathcal{E}}{19L}$$

$$3) q_1 = \frac{93L\mathcal{E}}{171R^2}$$

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

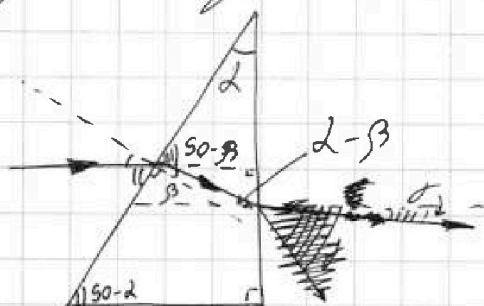
1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐

МФТИ

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

1) Расск. модель, когда $n_1 = n_0 = 1$

Свет, проходя через щель n_1 , не преломляется,
т.к. перпендикуляр между экраном с равными
напряженностями дифракции, точки:



По з. Снеллиуса:

$$n_1 \cdot \sin \alpha = n_2 \cdot \sin \beta$$

$$n_2 \cdot \sin(40 - \beta) = n_1 \cdot \sin \gamma$$

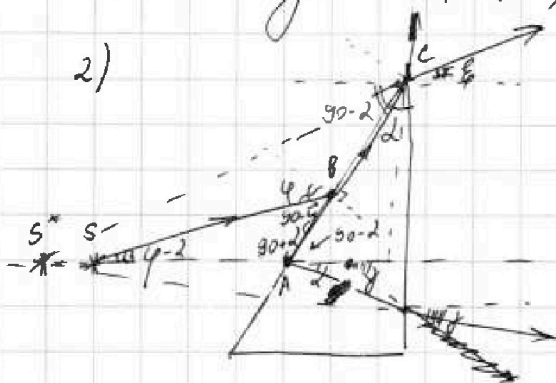
т.к. углы малые, то:

$$\sin \alpha \approx \alpha; \sin \beta \approx \beta; \sin(40 - \beta) \approx 40 - \beta; \sin \gamma \approx \gamma$$

$$\text{Тогда } \begin{cases} \alpha = n_2 \cdot \beta \\ n_2 \alpha - n_2 \beta = n_1 \gamma \end{cases} \Rightarrow n_2 \alpha - \alpha = n_1 \gamma$$

$$\text{т.е. } \gamma = \alpha(n_2 - 1) = 0,7 \alpha = 0,07 \text{ рад}$$

2)



Расск. предельной
луч, который прелом-
ляется в призме
 n_2 под углом
угла

$$\varphi = n_2 \Leftrightarrow \varphi = \frac{7}{10} \text{ рад}$$

По з. Снеллиуса: $n_2 \cdot \sin(90 - \alpha) = \varphi$

$$\sin(90 - \alpha) \approx 1, \text{ тогда } \varphi = n_2 = \varphi$$



На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐

МФТИ

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

3) Т.к. $\angle A$ острый, значит, $\sin A$ и $\cos A$ определены.
Положим $AB = x$, тогда $AC = x \cdot \sin A$, $BC = x \cdot \cos A$.
По теореме Пифагора: $AC^2 + BC^2 = AB^2$.
Подставим: $x^2 \sin^2 A + x^2 \cos^2 A = x^2$.
Сократим на x^2 : $\sin^2 A + \cos^2 A = 1$.
Это тождество, значит, решение верно.

$$3) AC = AB + BC$$

$$AB = \frac{AC}{\sin(\varphi - \alpha)} \cdot (\sin \alpha + \sin \varphi)$$

$$AC = \frac{AB \cdot \sin(\varphi - \alpha)}{\sin \alpha + \sin \varphi}$$

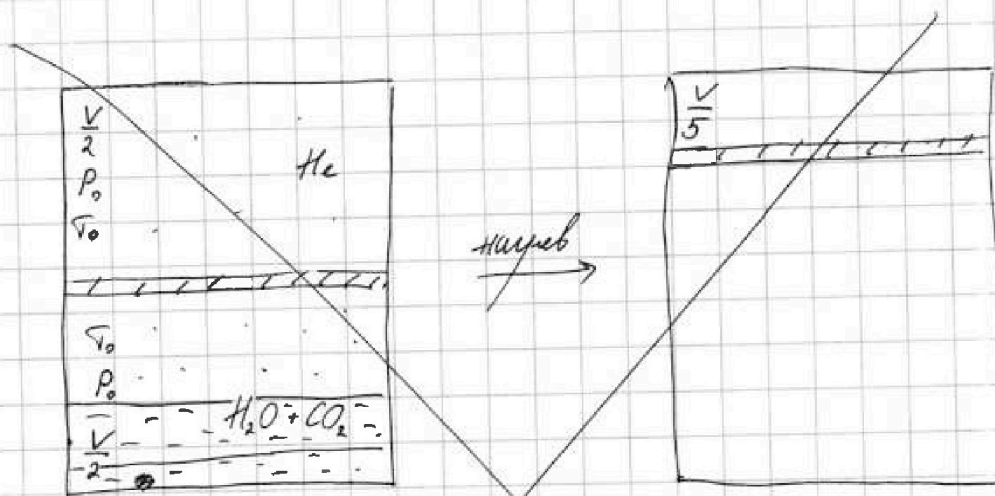
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

МФТИ

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



1) Т.к. по условию при постоянной температуре
давлением (всех паров кремнезема, T_0
стат. на поверхности давит только CO_2 , ~~и~~

$$P_0 \cdot \frac{V}{4} = P_{CO_2} \cdot R T_0 \quad \Leftrightarrow \quad \frac{P}{2} = \frac{P_{CO_2}}{2} \quad \Leftrightarrow \quad P_{He} = P_{CO_2}$$

$$P_0 \cdot \frac{V}{2} = 2 \cdot R T_0$$

Однако часть CO_2 растворяется в воде. Найду

$$\Delta P_{CO_2}: \quad \Delta P_{CO_2} = k \cdot \frac{V}{2} \cdot P_0$$

До растворения $P_{CO_2} =$
нат



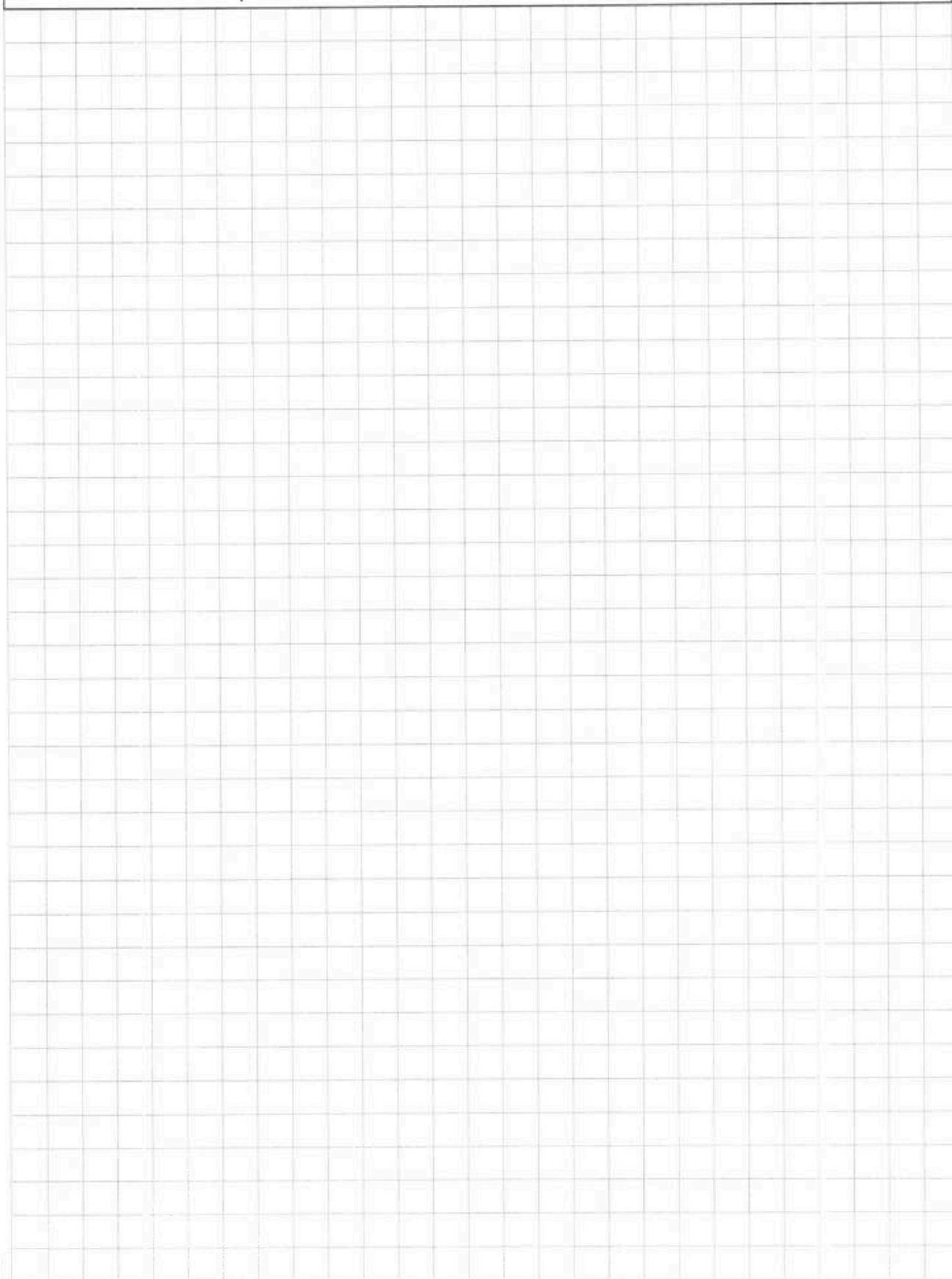
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐



Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

МФТИ

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



$$3\dot{Y}_1 R + 3L\dot{Y}_1 = 4\dot{Y}_2 R + 2L\dot{Y}_2$$

$$4\dot{Y}_2 R + 2L\dot{Y}_2 = L\dot{Y}_3$$

$$3q_1 R + 3L dY_1 = 4q_2 R + 2L dY_2$$

$$4q_2 R + 2L dY_2 = L dY_3$$

$$3\Delta q_1 R + 3L \Delta Y_1 = 4\Delta q_2 R + 2L \Delta Y_2$$

$$4\Delta q_2 R + 2L \Delta Y_2 = L \Delta Y_3$$

$$3\Delta q_1 R + 3L \Delta Y_1 =$$

$$\begin{array}{r} 1 \\ + 36 \\ + 57 \\ \hline 93 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} + 57 \\ 3 \\ \hline 171 \end{array}$$

$$L = n \sin \beta$$

$$L = \frac{7}{10} \beta$$

$$\cancel{L = \frac{7}{10} \beta} \quad \cancel{L = \frac{7}{10} \beta} \quad L = \frac{7}{10}$$

