



# Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

## Вариант 11-03

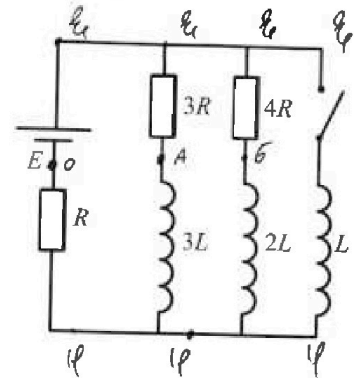


Во всех задачах, в ответах допустимы обыкновенные дроби и радикалы.

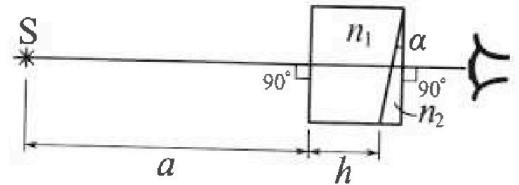
4. Параметры цепи указаны на схеме, все элементы идеальные. Ключ разомкнут, режим в цепи установился. Затем ключ замыкают.

- 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  $n_в = 1,0$ . 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  $n_1 = n_в = 1,0$ ,  $n_2 = 1,7$ , найдите на какой угол отклонится системой луч, идущий от источника перпендикулярно левой грани системы.

2) Считая  $n_1 = n_в = 1,0$ ,  $n_2 = 1,7$ , 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.



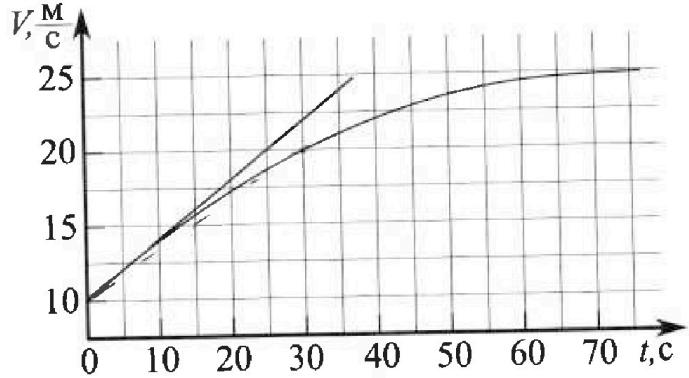
# Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

## 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?

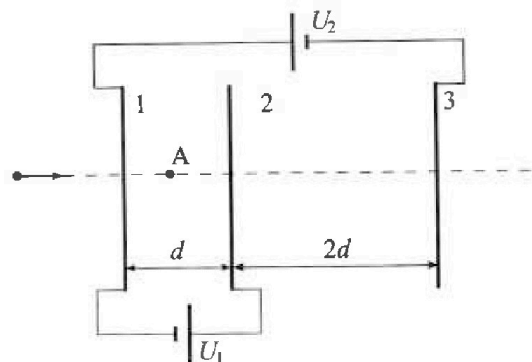
Требуемая точность численного ответа на первый вопрос ориентировочно 10%.

2. Герметичный вертикальный цилиндрический сосуд объемом  $V$  разделён 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 объём  $V/4$ . Затем цилиндр медленно нагрели до  $T = 373$  К. Установившийся объём его верхней части стал равен  $V/5$ .

По закону Генри, при заданной температуре количество  $\Delta v$  растворённого газа в объёме жидкости  $w$  пропорционально парциальному давлению  $p$  газа:  $\Delta v = kpw$ . Объём жидкости при этом практически неизменен. Для углекислого газа константа Генри для данной комнатной температуры  $k \approx 0,5 \cdot 10^{-3}$  моль/(м<sup>3</sup>·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 объёма 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 А на расстоянии  $d/4$  от сетки 1.



На одной странице можно оформлять только одну задачу.

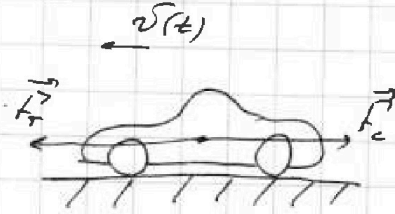
Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

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)



Пусть  $F_T$  - сила тяги,  
а  $F_c$  - сила сопротивления

$$\text{то уч.: } F_c = k \cdot v$$

$$2 \text{ ЗН. к. } F_T - F_c = ma$$

$$F_T - kv = ma$$

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

3) Найду  $a_0$  из графика, где  $a_0$  - макс. ускорение:  
Прямую касательную к части графика, начинающуюся  
в диапазоне 0-5с, тогда:  
По определению  $\dot{v} = a$

$$\text{Тогда } a_0 = \frac{(20-10) \frac{\text{м}}{\text{с}}}{25 \text{с}} = \frac{10 \frac{\text{м}}{\text{с}}}{25 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}} = \frac{2}{5} \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

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)  $P_0 = 8400 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{с}}$

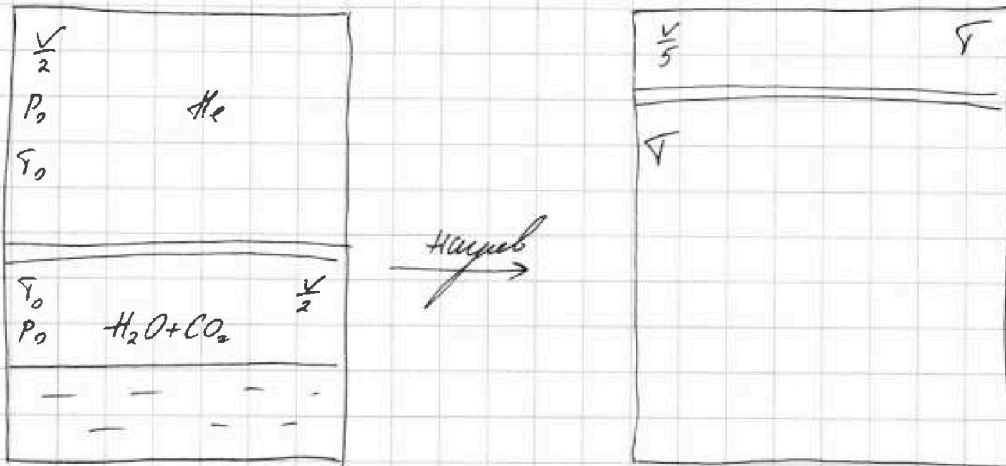
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

1  2  3  4  5  6  7

**МОТИ**

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



1)  $\Delta$ .к. по условию при максимальной температуре будет достигнуто равновесие паров между собой, то есть на границе будет только  $\text{CO}_2$ , тогда

$$\begin{cases} P_0 \cdot \frac{V}{4} = \nu_{\text{CO}_2} \cdot R T_0 \\ P_0 \cdot \frac{V}{2} = \nu_{\text{He}} R T_0 \end{cases} \iff \frac{\nu_{\text{He}}}{\nu_{\text{CO}_2}} = 2$$

2)  $\Delta$ .к. цилиндр теплопроводящий, то над поршнем и над собой будет ~~такая~~ одинаковая температура  $T$ . По второму закону Ньютона давление в обеих частях поршня равно в ус. решение.

3) Работ. объем  $\text{CO}_2$ ;  $\nu_{\text{CO}_2} = 5$ ,  $\Delta$ .к. масса

линейная. :  $P_0 \frac{V}{2} = \nu_{\text{CO}_2} R T_0$   
 $P' V' = \nu' R T$

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:



1	2	3	4	5	6	7
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

МФТИ

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

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

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

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 CO<sub>2</sub>      ↑ давление паров*

5) Рассм. ~~воз.~~ *воздушной пар:*

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

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

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

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

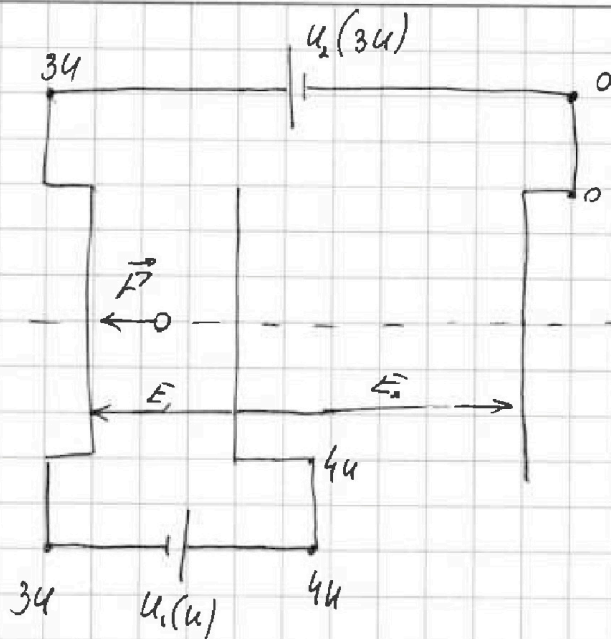
Отметьте крестиком номер задачи,

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 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 часть на

2. Тогда получится система из двух конденсаторов.

Как известно поле из конденсатора не выкажут

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

друга

используя 1-ый и 2-ой методы

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

Сверь: 1)  $a_1 = \frac{uq}{dm}$

2)  $K_1 - K_2 = uq$

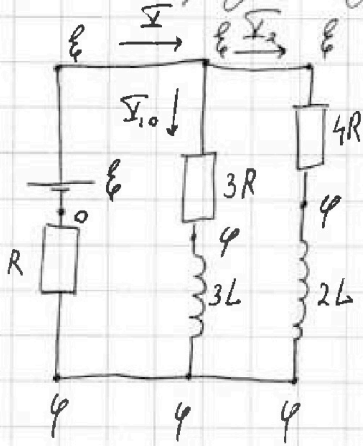
3)  $v_A = \sqrt{v_0^2 - \frac{uq}{2m}}$

1   
  2   
  3   
  4   
  5   
  6   
  7

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



клинк размыкнут:



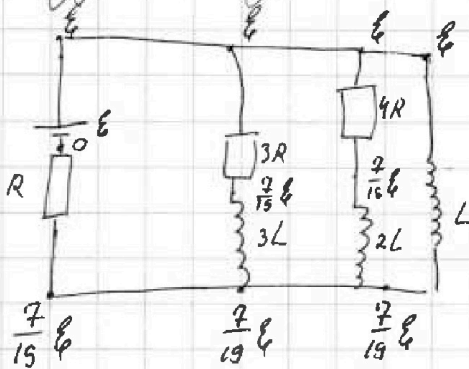
- 1) Используем метод узловых потенциалов.
- 2) Т.к. решим в цепи усложнившись, то ток через обе катушки постоянный и их напряжение равно 0.
- 3) ЗСЗ:  $I = I_2 + I_{10}$

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

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

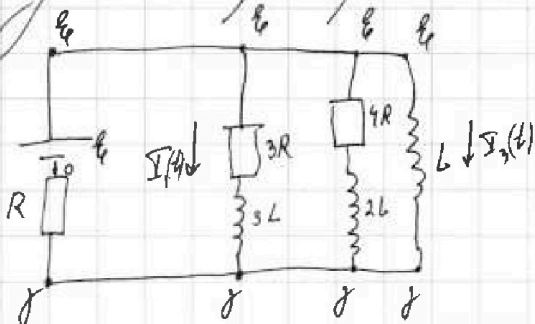
Тогда  $I_{10} = \frac{\varepsilon - \varphi}{3R} = \frac{\varepsilon - \frac{7}{19}\varepsilon}{3R} = \frac{12\varepsilon}{57R}$

спрау после замыкания:



- 4) Спрау после замыкания ток через катушки скачком не изменяется, тогда в данной цепи ток катушки L тока нет
- $$\varepsilon - \frac{7}{19}\varepsilon = L \dot{I}_L \Leftrightarrow \dot{I}_L = \frac{12\varepsilon}{19L}$$

используем закон Вина:



- 5) Т.к. соединены параллельно:

$$3I_1 R + 3L \dot{I}_1 = L \dot{I}_2$$

$$3 \cdot dq_1 R + 3L dI_1 = L \cdot dI_2$$

$$3R \int_0^q dq_1 + 3L \int_{I_{10}}^0 dI_1 = L \int_0^{I_{2\text{уст}}} dI_2$$

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:



1	2	3	4	5	6	7
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

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  $I_{\text{зс}} = \frac{\mathcal{E}}{R}$ , будет идти через катушку  $L$ , в.к. напряжение на ее концах будет равно 0.

$$\text{Тогда } 3Rq_1 = 3L I_{10} = L \cdot I_{\text{зс}}$$
$$q_1 = \frac{L \left( \frac{\mathcal{E}}{R} + 3 \cdot \frac{12}{59} \cdot \frac{\mathcal{E}}{R} \right)}{3R}$$

$$q_1 = \frac{L\mathcal{E}}{3R^2} \left( 1 + \frac{36}{59} \right)$$

$$q_1 = \frac{93L\mathcal{E}}{3 \cdot 59R^2}$$

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

Ответ: 1)  $I_{10} = \frac{12\mathcal{E}}{59R}$

2)  $\dot{V}_L = \frac{12\mathcal{E}}{19L}$

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:

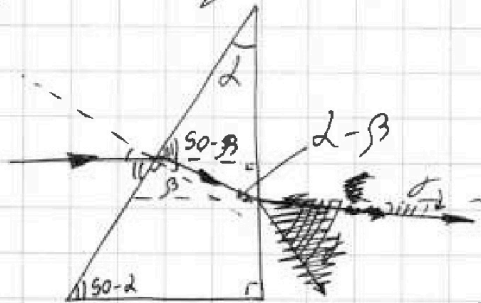
1  2  3  4  5  6  7

МФТИ

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

1) Рассм. модель, когда  $n_1 = n_2 = 1$

Свет, проходя через щель шириной  $n_1$ , не преломляется,  
т.к. перепады между средами с равными  
показателями преломления, точки:



По з. Снеллиуса:

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

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

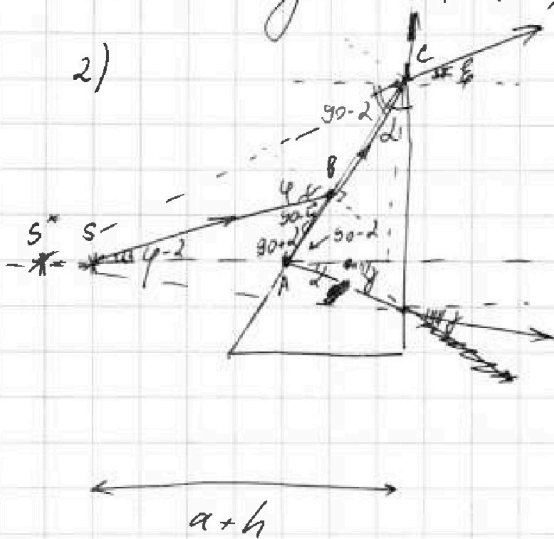
т.к. углы малы, то:

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

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

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

2)



Рассм. предельной  
луч, который целиком  
идет в среде  
 $n_2$  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
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

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, то  $\sin A < 1$ , следовательно, уравнение  $\sin A = 1$  не имеет решений. Поэтому  $\angle A$  не может быть тупым.~~

3)  $AC = AB + BC$

$$AB = \operatorname{tg}(\varphi - \alpha) \cdot (a + h)$$

$$AC = \operatorname{tg}(\varphi) \cdot x$$

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

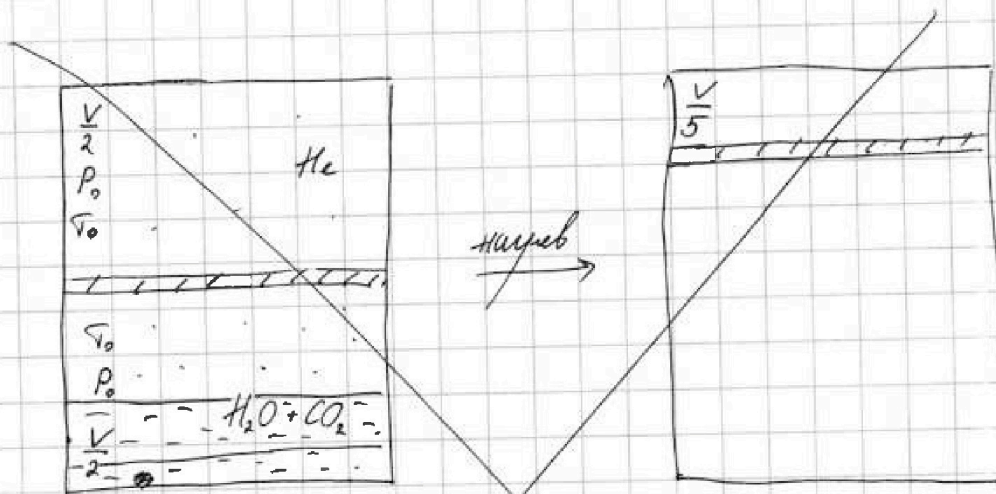
Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:



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) Так как условия при максимальной температуре  
давления (взаимодействуют паров кремнедioxide,  $T_0$ ,  
сразу на поверхности газовой фазы  $CO_2$ , ~~и~~

$$p_0 \cdot \frac{V}{4} = \frac{2}{3} \cdot R T_0$$

$$p_0 \cdot \frac{V}{2} = 2 \cdot R T_0$$

$$\Leftrightarrow \frac{1}{2} = \frac{2 \cdot R T_0}{2 \cdot R T_0}$$

Однако часть  $CO_2$  растворяется в воде. Найдите

$$\Delta n_{CO_2} : \Delta n_{CO_2} = k \cdot \frac{V}{2} \cdot p_0$$

До растворения  $n_{CO_2} =$



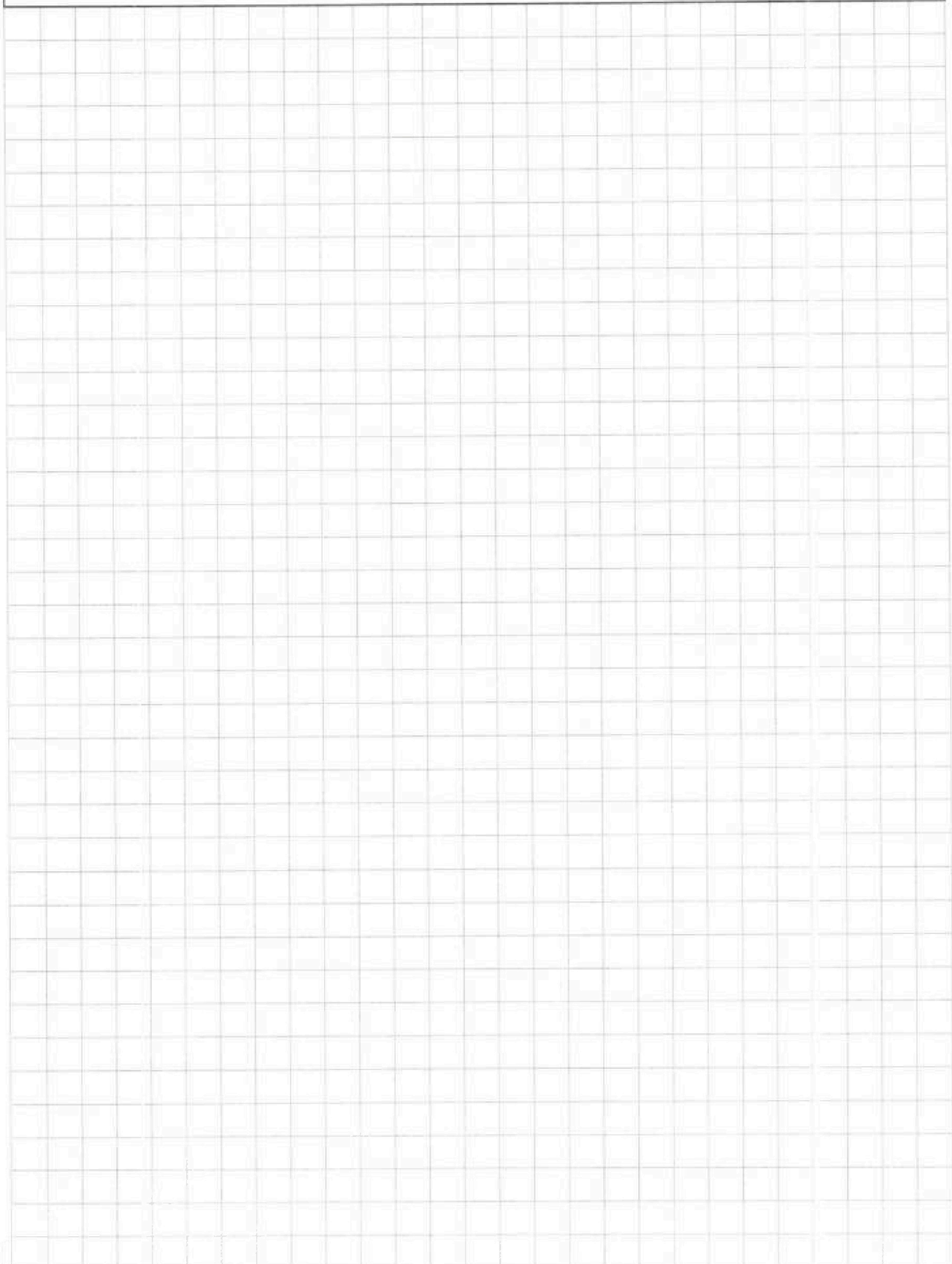
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>



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



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



$$3\sqrt{1}R + 3\angle \dot{V}_1 = 4\sqrt{2}R + 2\angle \dot{V}_2 = \angle \dot{V}_3$$

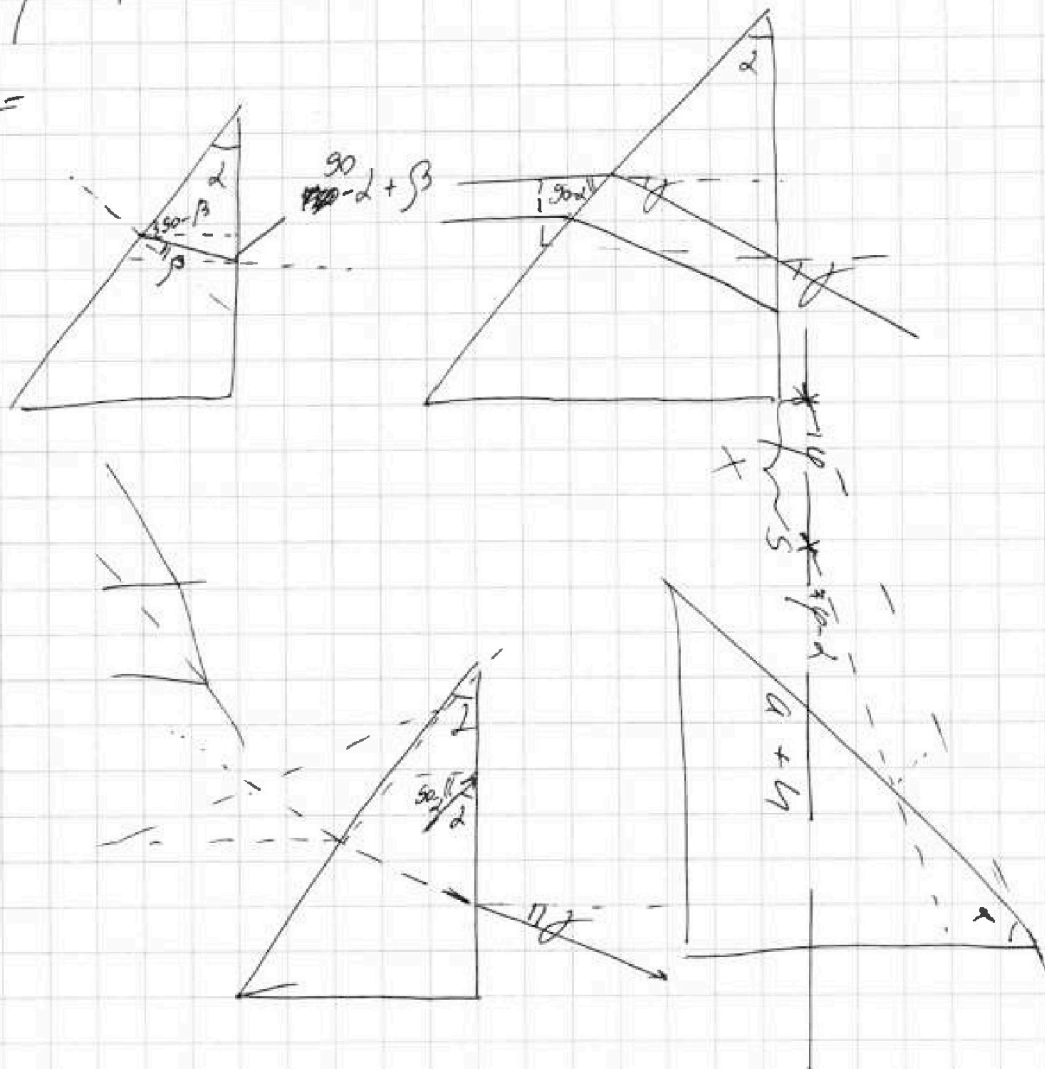
$$A = P_5 \quad P = P \cdot v$$

25

$$P = P_0 t \Rightarrow \dot{P} = P$$

$$q = cu, \quad u = Ed$$

$$\frac{q}{R} =$$



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!

$$3\dot{Y}_1 R + 3L\dot{Y}_1 = 4\dot{Y}_2 R + 2L\dot{Y}_2$$
$$4\dot{Y}_2 R + 2L\dot{Y}_2 = L\dot{Y}_3$$

$$3q_1 R + 3Ld\dot{Y}_1 = 4d\dot{Y}_2 R + 2Ld\dot{Y}_2$$
$$4q_2 R + 2Ld\dot{Y}_2 = Ld\dot{Y}_3$$

$$3\Delta q_1 R + 3L\Delta\dot{Y}_1 = 4\Delta q_2 R + 2L\Delta\dot{Y}_2$$
$$4\Delta q_2 R + 2L\Delta\dot{Y}_2 = L\Delta\dot{Y}_3$$

$$3\Delta q_1 R + 3L\Delta\dot{Y}_1 =$$

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

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

$$L = n_i \sin \beta$$

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

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

