



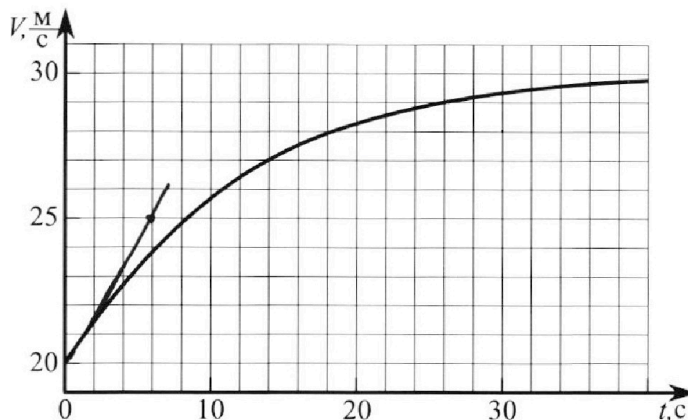
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

Вариант 11-04



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

1. Мотоциклист массой (вместе с мотоциклом) $m = 240$ кг движется с постоянной скоростью и затем разгоняется на прямолинейном горизонтальном участке дороги так, что мощность, передаваемая от двигателя на ведущее колесо, остается постоянной. График зависимости скорости от времени при разгоне показан на рисунке. В конце разгона сила сопротивления движению равна $F_k = 200$ Н.



- 1) Используя график, найти ускорение мотоцикла в начале разгона.
- 2) Найти силу сопротивления движению F_0 в начале разгона.
- 3) Какая часть мощности, передаваемой на ведущее колесо, идет на преодоление силы сопротивления движению в начале разгона?

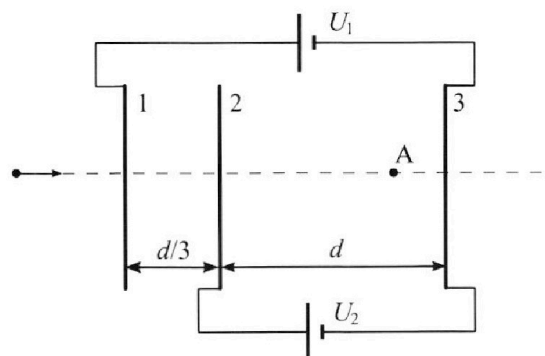
Требуемая точность численного ответа на первый вопрос ориентировочно 10%.

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 углекислый газ, а в нижней - вода и углекислый газ. В начальный момент система находилась в равновесии при комнатной температуре T_0 . При этом жидкость занимала объём $3V/8$. Затем цилиндр медленно нагрели до $T = 4T_0/3 = 373$ К. Установившийся объём его верхней части стал равен $V/8$.

По закону Генри, при заданной температуре количество Δv 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 $k \approx 0,6 \cdot 10^{-3}$ 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 объёма жидкости в процессе нагревания пренебречь. Все газы считать идеальными.

- 1) Найти отношение количеств вещества в газообразном состоянии в верхней и нижней частях до нагревания.
- 2) Определите начальное давление в сосуде P_0 . Ответ выразить через $P_{\text{атм}}$ (нормальное атмосферное давление) с числовым коэффициентом в виде обыкновенной дроби.

3. Три проводящие плоские мелкие сетки находятся друг напротив друга на расстояниях d и $d/3$ (см. рис.). Размеры сеток значительно больше d . Изначально сетки не заряжены. К сеткам подсоединили источники с напряжением $U_1 = 5U$ и $U_2 = U$. 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 2 и 3.
- 2) Найти разность $K_3 - K_2$, где K_2 и K_3 — кинетические энергии частицы при пролете сеток 2 и 3.
- 3) Найти скорость частицы в точке A на расстоянии $3d/4$ от сетки 2.

Олимпиада «Физтех» по физике,
февраль 2023

Вариант 11-04

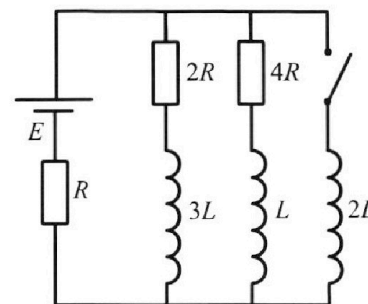
Во всех задачах, в ответах допустимы обыкновенные дроби
и радикалы.



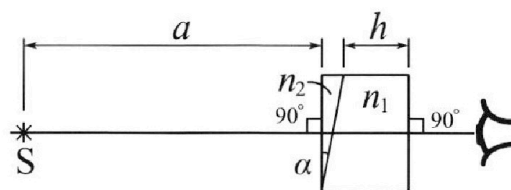
4. Параметры цепи указаны на схеме, все элементы идеальные. Ключ разомкнут, режим в цепи установился. Затем ключ замыкают.

- 1) Найти ток I_{20} через резистор с сопротивлением $4R$ при разомкнутом ключе.
- 2) Найти скорость возрастания тока в катушке индуктивностью $2L$ сразу после замыкания ключа.
- 3) Какой заряд протечет через резистор с сопротивлением $4R$ 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 $n_{\text{в}} = 1,0$. Точечный источник света S расположен на расстоянии $a = 100$ 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.



(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 $n_1 = n_{\text{в}} = 1,0$, $n_2 = 1,7$, найдите на какой угол отклонится системой луч, идущий от источника перпендикулярно левой грани системы.
- 2) Считая $n_1 = n_{\text{в}} = 1,0$, $n_2 = 1,7$, 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.

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 checked="" type="checkbox"/>	<input 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!

Задача 1

$$P = \text{const} = F \cdot v$$

F - сила, крутящая колесо,

$$m a = F - F_c$$

F_c - сила сопротивления

Начальное ускорения a_0 найдём, проведя касательную к графику в ~~начале~~ $t=0$.

$$a_0 \approx \frac{5}{6} \text{ м/с}^2 \quad \text{Ответ: } \frac{5}{6} \text{ м/с}^2.$$

$$m a_0 = \frac{P}{v_0} - F_0 \quad - \text{ в начале}$$

$$0 = \frac{P}{v_k} - F_k \quad - \text{ в конце}$$

$$\text{По графику } v_k \approx 30 \text{ м/с}$$

$$\Rightarrow P = F_k v_k \approx 6000 \text{ Вт}$$

$$\Rightarrow F_0 = \frac{P}{v_0} - m a_0 = (300 - 20) \text{ Н} = 100 \text{ Н} \quad \text{Ответ: } 100 \text{ Н}$$

$$\frac{P_a}{P} = \frac{F_c}{F_0}$$

$$\text{В начале: } \frac{P_c}{P} = \frac{F_0}{F} = \frac{F_0}{\frac{P}{v_0}} = \frac{2}{3}$$

Мощность идущая на ~~работу~~
сопротивление

$$\text{Ответ: } \frac{1}{3}.$$

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

Отметьте крестиком номер задачи,

решение которой представлено на странице:

1 2 3 4 5 6 7



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



Задача 2

$$\begin{cases} P_0 \frac{V}{2} = \nu_1 R T_0 \\ P_0 \frac{V}{8} = \nu_2 R T_0 \end{cases} \Rightarrow \frac{\nu_1}{\nu_2} = 4. \quad \text{Ответ: 4}$$

ν_2 - количество CO_2 в начальном состоянии в нижней части.
 ν_1 - количество CO_2 в верхней части.

$$\textcircled{3} P_k \frac{V}{8} = \nu_1 R \cdot \frac{4}{3} T_0$$

P_k - конечное давление

$$\textcircled{4} P_k \cdot \frac{V}{2} = (\nu_2 + \Delta \nu + \nu_3) R \frac{4}{3} T_0$$

$\Delta \nu = k \frac{P_0^3 V}{8}$ - количество CO_2 , растворённого в капле.

$$\textcircled{5} P_A \cdot \frac{V}{2} = \nu_3 R \frac{4}{3} T_0$$

ν_3 - количество ~~воздуха~~ водяного пара в капле.

$$\Rightarrow P_k \frac{V}{2} = P_0 \frac{V}{8} + P_A \cdot \frac{V}{2} + k R T_0 \frac{P_0 V}{8}$$

$$\text{из } \textcircled{2} \text{ и } \textcircled{3} \Rightarrow \frac{P_0}{P_k} \cdot 4 = \frac{3}{4} \Rightarrow P_k = \frac{16}{3} P_0$$

$$\Rightarrow P_0 V \left(\frac{8}{3} - \frac{1}{6} - \frac{1}{2} k R T_0 \right) = P_A \frac{V}{2}$$

~~$$P_0 \left(\frac{80}{3} - \frac{1}{8} - \frac{1}{2} \cdot 0,6 \cdot 10^3 \cdot 3 \cdot 10^{-3} \cdot 373 \right) = \frac{16}{3} P_A$$~~
~~$$P_0 \left(\frac{80}{3} - \frac{1}{8} - \frac{81}{160} \cdot 373 \right) = \frac{16}{3} P_A$$~~

$$P_0 V \left(\frac{8}{3} - \frac{1}{6} - \frac{3}{8} \cdot 0,6 \cdot 10^3 \cdot 3 \cdot 10^{-3} \right) = P_A \frac{V}{2}$$

$$P_0 \left(\frac{15}{6} - \frac{27}{40} \right) = P_A \cdot \frac{1}{2}$$

$$P_0 \left(5 - \frac{27}{20} \right) = P_A$$

$$P_0 \frac{100 - 27}{20} = P_A$$

$$P_0 = P_A \cdot \frac{20}{73}$$

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

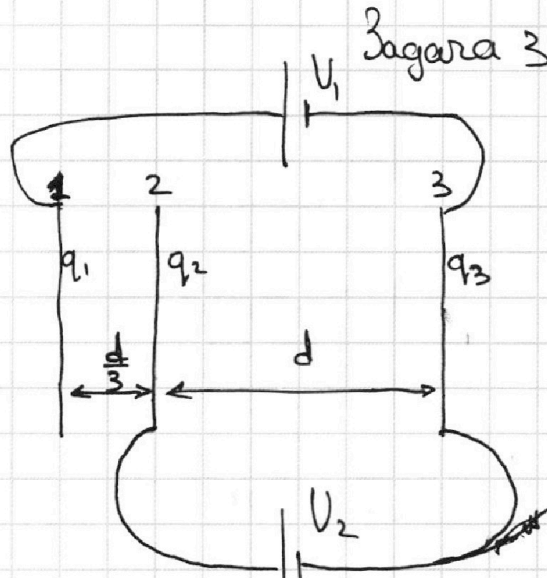
Отметьте крестиком номер задачи,

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!



$$q_1 + q_2 + q_3 = 0$$

$$E_{12} = \frac{q_1 - q_2 - q_3}{2\epsilon_0 S}$$

$$E_{23} = \frac{q_1 + q_2 - q_3}{2\epsilon_0 S}$$

$$q_{23} = \frac{q E_{23}}{m} = \frac{q}{m} \cdot \frac{U_2}{d} = \frac{q U_2}{m d}$$

$$K_3 = K_2 = q U_2 = q U$$

$$a_{12} = \frac{q}{m} E_{12} = \frac{3(U_1 - U_2)}{d} \cdot \frac{q}{m}$$

v

$$U_1 = E_{12} \cdot \frac{d}{3} + E_{23} \cdot d = \left(\frac{q_1 - q_2 - q_3}{2\epsilon_0 S} + \frac{q_1 + q_2 - q_3}{2\epsilon_0 S} \right) \cdot \frac{d}{3} + \frac{q_1 + q_2 - q_3}{2\epsilon_0 S} \cdot d$$

$$U_2 = E_{23} \cdot d = \frac{q_1 + q_2 - q_3}{2\epsilon_0 S} \cdot d$$

$$\Rightarrow q_1 + q_2 - q_3 = \frac{2\epsilon_0 S U_2}{d}$$

$$q_1 - q_2 - q_3 = \frac{(U_1 - U_2) \cdot 6\epsilon_0 S}{d}$$

~~$$2q_1 + 2q_2 = \frac{2\epsilon_0 S}{d} (2U_2 + (U_1 - U_2))$$~~

$$2q_1 + 2q_2 = \frac{2\epsilon_0 S U_2}{d}$$

$$2q_1 = \frac{(U_1 - U_2) 6\epsilon_0 S}{d}$$

$$\Rightarrow q_1 = \frac{3\epsilon_0 S}{d} (U_1 - U_2)$$

$$q_2 = \frac{\epsilon_0 S}{d} (U_2 - 3(U_1 - U_2)) =$$

$$= \frac{\epsilon_0 S}{d} (4U_2 - 3U_1)$$

$$q_3 = -\frac{\epsilon_0 S}{d} (3(U_1 - U_2) + 4U_2 - 3U_1) =$$

$$= -\frac{\epsilon_0 S}{d} (-3U_2 + 4U_2) = -\frac{\epsilon_0 S U_2}{d}$$

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

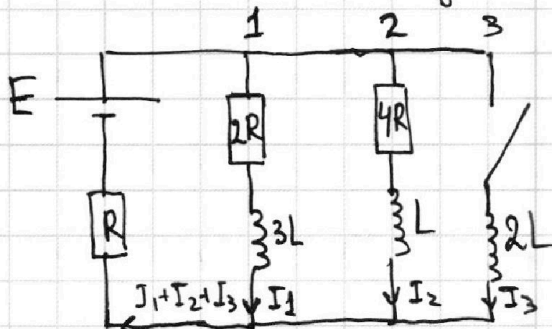
1 2 3 4 5 6 7

МФТИ

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



Задача 4



Вторая цифра в индексе * обозначает момент времени.

0 - до замыкания ключа.

1 - сразу после замыкания

2 - в новом установившемся режиме.

Например. I_{21} - ток * через резистор $4R$ сразу после замыкания ключа.

Без второй цифры - в любой момент времени.

До замыкания ключа:

$$\begin{cases} I_{10} \cdot 2R = I_{20} \cdot 4R, \\ E = (I_{10} + I_{20})R + I_{20} \cdot 4R, \end{cases} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \begin{cases} I_{10} = 2I_{20}, \\ E = 3I_{20}R + 4I_{20}R, \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} I_{10} = \frac{2E}{7R}, \\ I_{20} = \frac{E}{7R}. \end{cases} \text{ Ответ: } I_{20} = \frac{E}{7R}$$

Сразу после замыкания:

(токи не менялись)

$$\Rightarrow E - (I_{10} + I_{20})R = \dot{I}_{31} \cdot 2L,$$

$$\dot{I}_{31} \cdot 2L = \frac{4}{7}E,$$

$$\dot{I}_{31} = \frac{2E}{7L}.$$

$$\text{Ответ: } \dot{I}_{31} = \frac{2E}{7L}.$$

В любой момент времени после замыкания ключа:

$$E - (I_1 + I_2 + I_3)R = 2I_1R + 3I_1L = 4I_2R + I_2L = 2I_3L$$

Интегрируя, получаем: (в конце токов I_1 и I_2 нет)

$$Et - (q_1 + q_2 + q_3)R = 2q_1R - 3I_{10}L = 4q_2R = I_{21}L = 2I_{32}L$$

Найдём I_{32} :

$$I_{32} \cdot R = E \Rightarrow I_{32} = \frac{E}{R}$$

$$2q_1R = \frac{6EL}{7R} = 4q_2R - \frac{EL}{7R} = \frac{2EL}{R}$$

$$= 4Rq_2 = \frac{2EL}{R} + \frac{EL}{7R} = \frac{15}{7} \frac{EL}{R} \Rightarrow q_2 = \frac{15}{28} \frac{EL}{R^2} \text{ Ответ: } q_2 = \frac{15}{28} \frac{EL}{R^2}$$

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

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

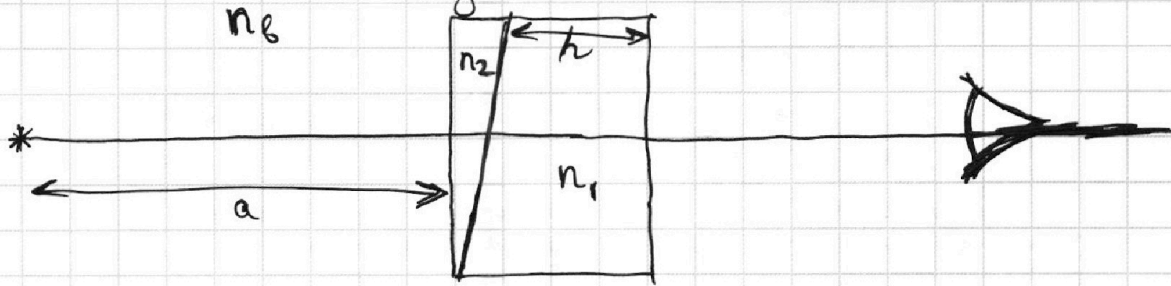
1 2 3 4 5 6 7

МФТИ

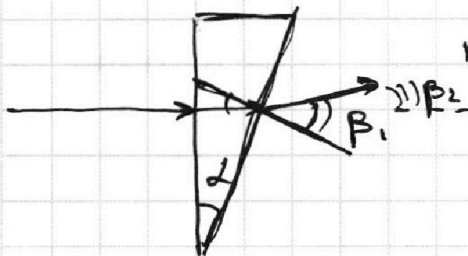
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



Задача 5



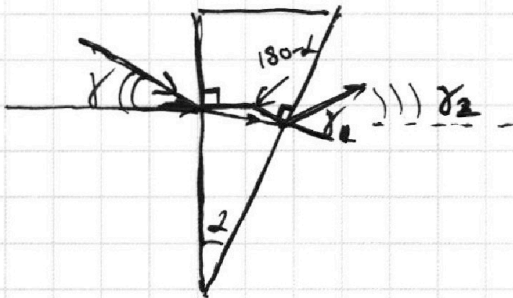
Когда $n_1 = n_2$:



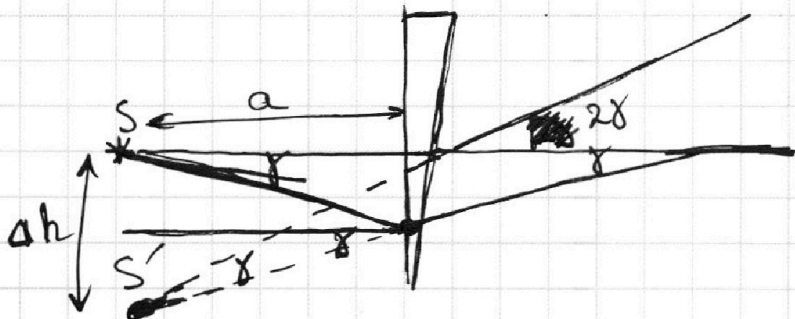
Рассмотрим луч перпендикулярный
левой грани светелого.
 $n_2 \sin \alpha = n_1 \sin \beta_1$ при малых α углах
 $\alpha \approx \sin \alpha$
 $\beta_1 \approx \sin \beta_1$
 $\Rightarrow \beta_1 = \frac{n_2}{n_1} \alpha$
 $\beta_2 = \beta_1 - \alpha = \alpha \left(\frac{n_2}{n_1} - 1 \right)$

Ответ: $\beta_2 = \alpha \left(\frac{n_2}{n_1} - 1 \right) = 0,7 \alpha = 0,7 \text{ рад}$.

Рассмотрим луч, входящий под углом γ .



$\gamma \cdot \frac{n_1}{n_2} + \gamma_1 \cdot \frac{n_1}{n_2} = \alpha$ $\gamma + \gamma_1 = \frac{n_2}{n_1} \alpha$
 $\gamma_2 = \gamma_1 - \alpha = \alpha \left(\frac{n_2}{n_1} - 1 \right) - \gamma$
Если $\gamma = \gamma_2$, то $\gamma = \frac{\alpha}{2} \left(\frac{n_2}{n_1} - 1 \right) = \frac{\beta_2}{2}$



Заметим, что $\beta_2 > \gamma \Rightarrow$
изображение мнимое
и формируется продол-
жением лучей в
противоположную сто-
рону.

$$\Delta h = 2 \cdot \gamma \cdot a = \beta_2 a = \alpha \left(\frac{n_2}{n_1} - 1 \right) a = 7 \text{ см}$$

Ответ: $\Delta h = \alpha \left(\frac{n_2}{n_1} - 1 \right) a = 7 \text{ см}$

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!



Когда $n_1 = 1,4$

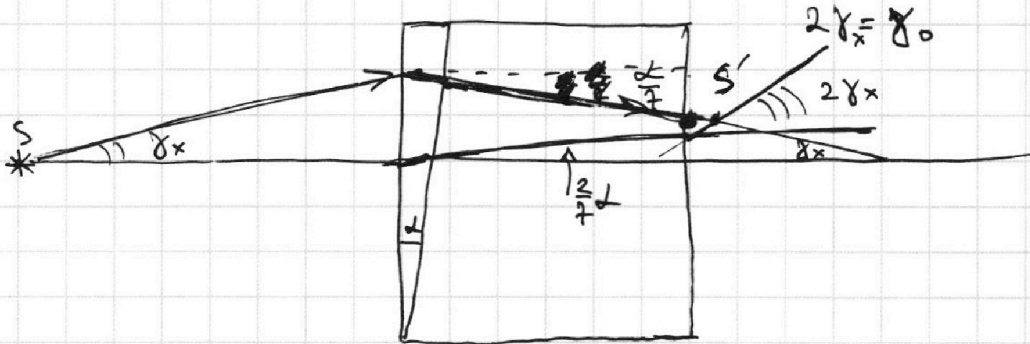
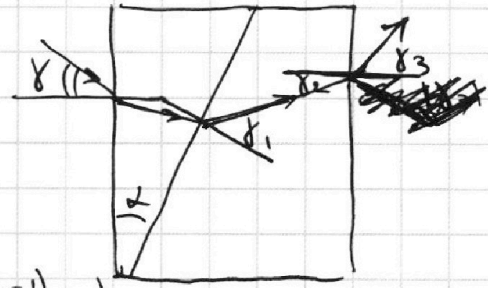
Аналогично:

$$\gamma_1 = \alpha - \gamma n_6$$

$$\gamma_2 = \frac{\alpha(1-n_1) - \gamma n_6}{n_1}$$

$$\gamma_3 = \frac{n_2}{n_6} \gamma_2 = \frac{\alpha(1-n_1) - \gamma n_6}{n_6} = -\left(\frac{\alpha(n_1-1)}{n_6} + \gamma\right) < 0$$

При $\gamma_3 = 0 \Rightarrow \gamma = -\frac{\alpha(n_1-1)}{n_6} \delta x$ При $\gamma = 0 \quad \gamma_3 = -\frac{\alpha(n_1-1)}{n_6} = \gamma_0$



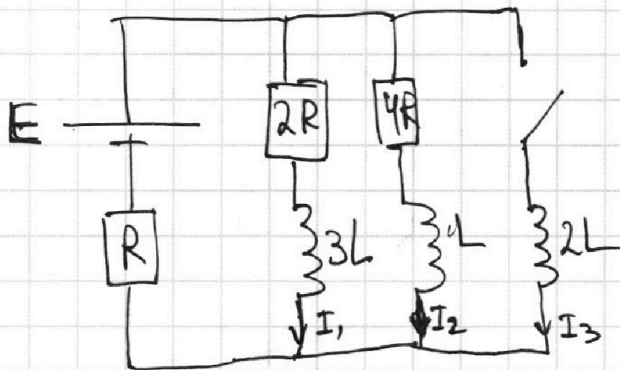
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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!



$$\left(\frac{1}{2R} + \frac{1}{4R}\right)^{-1} = 2R \cdot \frac{2}{3} = \frac{4}{3}R$$

$$I_{20} \cdot 4R = I_{10} \cdot 2R \quad 2I_{20} = I_{10}$$

$$3I_{20} \cdot R + I_{20} \cdot 4R = E$$

$$I_{20} = \frac{E}{7R}, \quad I_{10} = \frac{2E}{7R}$$

$$I_{31} \cdot 2L = I_{20} \cdot 4R$$

$$I_{31} = \frac{2I_{20}R}{L} = \frac{2E}{7L}$$

$$2q_1 R + 3I_1 L = 4q_2 R + I_2 L = 2I_3 L$$

$$2I_1 R + 3I_1 L = 4I_2 R + I_2 L = 2I_3 L$$

$$\left\{ \begin{array}{l} 2I_1 R + 3I_1 L = 4I_2 R + I_2 L \\ 2I_1 R + 3I_1 L = 2I_3 L \\ 2I_1 R + 3I_1 L = E - (I_1 + I_2 + I_3)R \end{array} \right.$$

$$2I_1 R + 3I_1 L = 2I_3 L$$

$$2I_1 R + 3I_1 L = E - (I_1 + I_2 + I_3)R$$

$$2q_1 R = 3I_{10} L = 4q_2 R - I_{20} L$$

$$2q_1 R = 3I_{10} L = E - (q_1 + q_2 + q_3)R$$

$$2q_1 R - 4q_2 R = \frac{6EL}{7R} - \frac{EL}{7R} = \frac{5EL}{7R}$$

$$E - (I_1 + I_2 + I_3)R = I_3 \cdot 2L$$

$$Eq = Q + \frac{3LI_{10}^2}{2} + \frac{LI_{20}^2}{2} + \frac{2LI_{31}^2}{2}$$

$$A \Gamma_H = B$$

$$\frac{B \cdot \Gamma_H}{O_m^2} = \frac{A \cdot \Gamma_H}{O_m} = \frac{A \cdot B}{O_m \cdot A} = C \cdot A = K_1$$

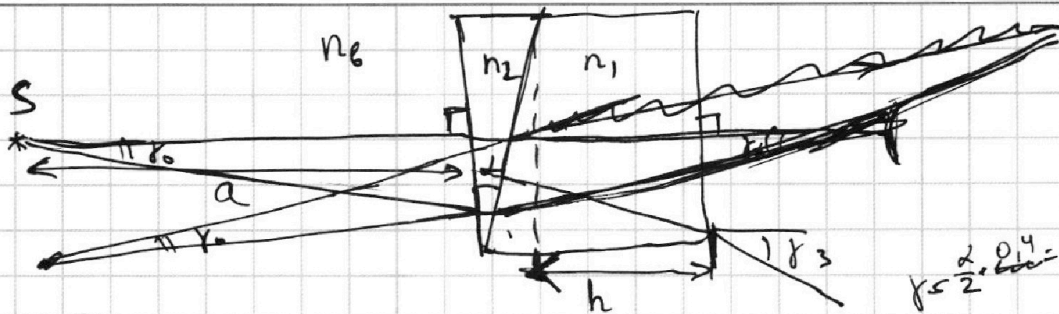
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

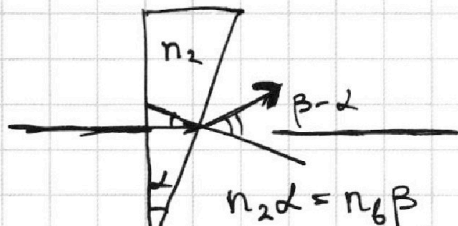
- 1 2 3 4 5 6 7



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



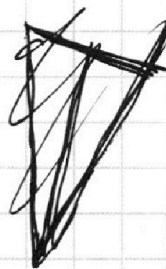
$$\gamma = \frac{\alpha \cdot 0,4}{2} = 2 \cdot 0,2$$



$$n_2 \alpha = n_6 \beta$$

$$\beta = \alpha \cdot \frac{n_2}{n_6}$$

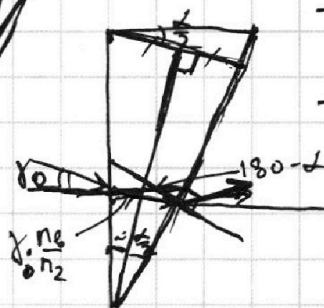
$$\beta_2 = \beta - \alpha = \alpha \left(\frac{n_2}{n_6} - 1 \right)$$



$$\frac{-\alpha \cdot 0,4 + \gamma_2}{0,4} = \dots$$

$$\frac{-\alpha \cdot 0,2 - \alpha}{1,4} = \dots$$

$$\frac{-\alpha \cdot 0,4 + 2 \cdot \alpha}{1,4} = \dots$$



$$\gamma_2 = 180 - (180 - \alpha) - \gamma \cdot \frac{n_6}{n_2}$$

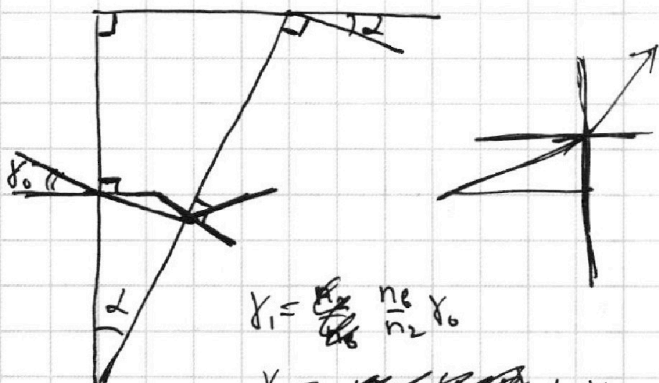
$$= \alpha - \gamma \cdot \frac{n_6}{n_2}$$

$$\gamma_3 = \frac{n_2}{n_6} \gamma_2 = \frac{n_2}{n_6} \left(\alpha - \gamma_0 \cdot \frac{n_6}{n_2} \right)$$

$$\gamma_4 = \frac{n_2}{n_6} \left(\alpha - \gamma_0 \cdot \frac{n_6}{n_2} \right) - \alpha$$

$$\alpha - \frac{n_2}{n_6} \left(\alpha - \gamma_0 \cdot \frac{n_6}{n_2} \right) = \gamma_0$$

$$\alpha \left(1 - \frac{n_2}{n_6} \right) + \gamma_0 = \gamma_0$$



$$\gamma_1 = \frac{n_6}{n_2} \gamma_0$$

$$\gamma_2 = \alpha - \gamma_1$$

$$\gamma_3 = \frac{n_2}{n_6} \gamma_2 = \frac{n_2}{n_6} (\alpha - \gamma_1) = \frac{n_2}{n_6} \left(\alpha - \frac{n_6}{n_2} \gamma_0 \right) = \alpha - \gamma_0$$

$$\gamma_4 = \gamma_3 - \alpha = \alpha \left(\frac{n_2}{n_6} - 1 \right) - \gamma_0$$

$$\gamma_0 = \alpha \left(\frac{n_2}{n_6} - 1 \right) - \gamma_0$$

$$\gamma_0 = \frac{\alpha}{2} \left(\frac{n_2}{n_6} - 1 \right)$$

$$\frac{\alpha}{2} \left(\frac{n_2}{n_6} - 1 \right) - \alpha \left(\frac{n_2}{n_6} - 1 \right) = -\frac{\alpha}{2} \left(\frac{n_2}{n_6} - 1 \right)$$

$$\gamma \cdot \frac{n_6}{n_2} + \gamma_1 \cdot \frac{n_1}{n_2} = \alpha$$

$$\gamma n_6 + \gamma_1 n_1 = \alpha$$

$$\gamma_1 = \frac{\alpha - \gamma n_6}{n_1}$$

$$\gamma_2 = \gamma_1 - \alpha = \frac{\alpha(1 - n_1) - \gamma n_6}{n_1}$$

$$\gamma_3 = \frac{n_2}{n_6} \gamma_2 = \frac{\alpha(1 - n_1) - \gamma n_6}{n_6} = \alpha \frac{(1 - n_1)}{n_6} - \gamma$$

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!



$$P = \text{const} = F \cdot \sigma$$

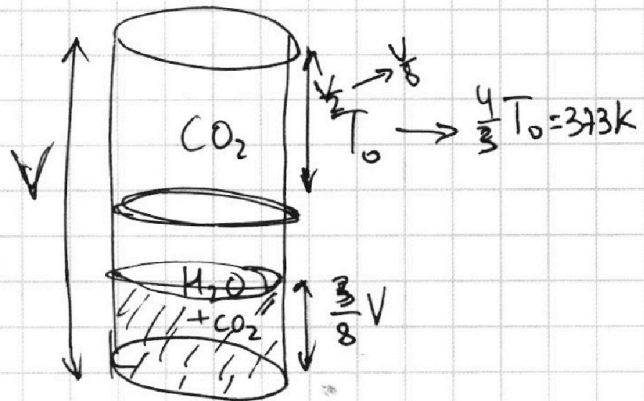
$$m a = F - F_{\text{comp.}}$$

$$m a \leq \frac{P}{v} - F_{\text{comp.}}$$

$$m a_0 = \frac{P}{v_0} - F_{c0}$$

$$0 = \frac{P}{v_k} - F_{ck}$$

$$\frac{F_{\text{comp.}0}}{F_0}$$



$$\Delta V = k p_0$$

$$P_0 \frac{V}{2} = \nu_1 R T_0 \quad P_k \frac{V}{8} = \nu_1 R \cdot \frac{4}{3} T_0$$

$$P_0 \frac{V}{8} = (\nu_2) R T_0 \quad P_k = P_A + P_{CO_2}$$

$$1 \Delta V = k P_0 \frac{V}{8}$$

$$P_{CO_2} = (\nu_2 + \Delta \nu) R \frac{4}{3} T_0$$

$$P_0 \frac{V}{2} = \nu_1 R T_0$$

$$P_k \frac{V}{8} = \nu_1 R \frac{4}{3} T_0$$

$$P_0 \frac{V}{8} = \nu_2 R T_0$$

$$P_k \frac{V}{2} = (\nu_2 + \nu_3) R T_0$$

$$P_A \frac{V}{2} = \nu_3 R T_0$$

$$P_k \frac{V}{2} = P_0 \frac{V}{8} + P_A \frac{V}{2} + \Delta \nu R T_0$$

