

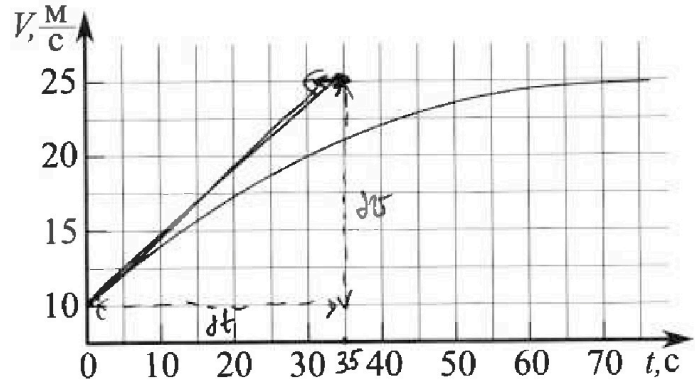
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

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?

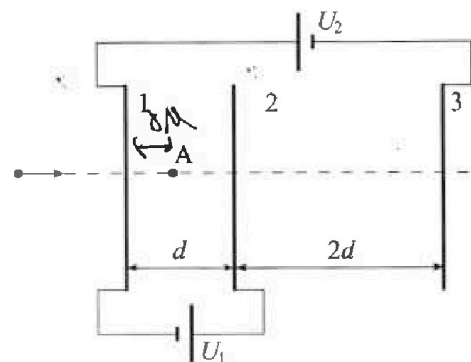
Требуемая точность численного ответа на первый вопрос ориентировочно 10%.

2. Герметичный вертикальный цилиндрический сосуд объёмом 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 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 $k \approx 0,5 \cdot 10^{-3}$ 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 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 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.

Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

Вариант 11-03

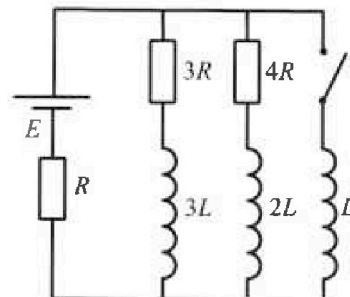
Во всех задачах, в ответах допустимы обыкновенные дроби
и радикалы.



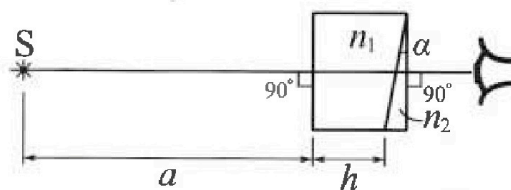
4. Параметры цепи указаны на схеме, все элементы идеальные. Ключ разомкнут, режим в цепи установился. Затем ключ замыкают.

- 1) Найти ток I_{10} 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.

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) $F_{\text{comp}} \sim v_0$

1 задача имеет 1 из 1

(1/11)

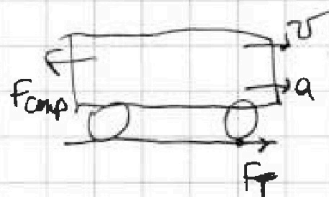
1) $a = \frac{dv}{dt}$. Проверить касательную к графику в начале разгона. $dv = 15 \frac{m}{c}$; $dt = (32.5 \pm 2.5)c$

$$a_0 = \frac{15 \frac{m}{c}}{32.5 \cdot c} = \frac{2.5 \cdot 6}{25 \cdot 13} \frac{m}{c^2} = \frac{6}{13} \frac{m}{c^2}; \quad a_1 = \frac{15 \frac{m}{c}}{30c} = \frac{1}{2} \frac{m}{c^2}; \quad a_2 = \frac{15}{35} = \frac{3}{7} \frac{m}{c^2}$$

$$\Delta a_1 = \left| \frac{6}{13} - \frac{1}{2} \right| = \left| \frac{12-13}{26} \right| = \frac{1}{26}; \quad \frac{\Delta a_1}{a} = \frac{1}{26 \cdot \frac{6}{13}} = \frac{1}{12} < 0.1$$

$$\Delta a_2 = \left| \frac{6}{13} - \frac{3}{7} \right| = \left| \frac{42-39}{91} \right| = \frac{3}{91}; \quad \frac{\Delta a_2}{a} = \frac{3}{91 \cdot \frac{6}{13}} = \frac{13}{182} = \frac{1}{14} < 0.1$$

\Rightarrow Ответ упр. точности: $a_0 = \frac{6}{13} \frac{m}{c^2}$



Неважно, какие колеса ведущие.

2 3к: $F_{TЯГН} - F_{\text{comp}} = ma$; $F_{\text{comp}} = kv$

В конце разгона $a_k = 0$: $F_k = F_{\text{comp}k} = kv_k$; $k = \frac{F_k}{v_k}$

$$k = \frac{F_k}{v_k} = \frac{600H}{25 \frac{m}{c}} = 24 \frac{H \cdot c}{m}. \quad \text{В начале разгона: } F_0 - kv_0 = ma_0$$

$$F_0 = kv_0 + ma_0 = \left(24 \cdot 10 + 1500 \cdot \frac{6}{13} \right) H; \quad \frac{1500}{13} = \frac{1300+200}{13} = 100 + \frac{200}{13}$$

$$\ominus 100 + \frac{130+70}{13} = 110 + \frac{70}{13} = 110 + 5 + \frac{5}{13} = 115 + \frac{5}{13}; \quad \frac{115}{6} = 19.166; \quad \frac{692}{932}$$

$$\left(115 + \frac{5}{13} \right) \cdot 6 = 690 + \frac{30}{13} = 692 + \frac{4}{13}; \quad F_0 \approx 932.3H; \quad \text{строго } F_0 = \left(932 + \frac{4}{13} \right) H$$

$$P_0 = \frac{F_0 dx}{dt} = F_0 v_0 = \left(932 + \frac{4}{13} \right) \cdot 10 BT = \left(9320 + \frac{40}{13} \right) BT = \left(9323 + \frac{1}{13} \right) BT$$

$$P_0 \approx 9323 BT; \quad \text{Ответ: } a_0 = \frac{6}{13} \frac{m}{c^2}; \quad F_0 = 932.3H; \quad P_0 \approx 9323 BT$$

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи.

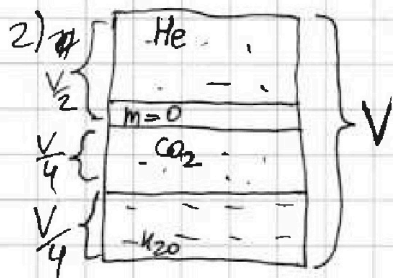
решение которой представлено на странице:



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!



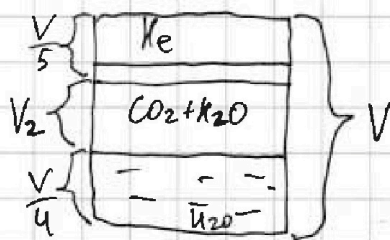
2 задача лист 1 из 2
По условию изначально две равные части. (2111)

Изначально: $p_0 = \frac{p_{atm}}{2}$; $T_0 = T_{ком}$.

После нагрев: $V_{xk} = V_{x0} = \frac{V}{4}$; $V_{kx} = \frac{V}{5}$; $T = 373K = 100^\circ C$

$\Delta V_{раств} = K p_{газ} W$; W - объем воды

$K = 0,5 \cdot 10^{-3} \frac{\text{лалб}}{\text{м}^3 \text{Па}}$ (при T_0), при T ; $\Delta V_K = 0$



$RT \approx 3 \cdot 10^3 \frac{\text{лалб}}{\text{м}^3}$; $p_{п0} = 0$ (пары воды при T_0)

1) Крестобрегаем кол-во паров воды в газ. сост. до

нагрева. З-н. М-к. для He и CO2: равн. парци $p_{He} = p_{CO2} = p_0$

$$p_0 \cdot \frac{V}{2} = \nu_{He} RT_0; \quad \frac{\nu_{H}}{\nu_{H}} = \frac{\nu_{He}}{\nu_{CO2}} = \frac{p_0 V \cdot 4}{2 p_0 V} = 2.$$

$$p_0 \cdot \frac{V}{4} = \nu_{CO2} RT_0;$$

2) Найдем кол-во растворенн. CO2: $\Delta V = K p_0 W = K p_0 \cdot \frac{V}{4} = \frac{K p_0 V}{4}$

Равн. парци: $p_{kx} = p_{CO2k} + p_{пk}$; $p_{пk} = p_{atm}$, м.к. пар насыщен и темп. температура $T = 100^\circ C$.

З-н. М-к: $p_{kx} \cdot \frac{V}{5} = \nu_{kx} \cdot RT$; $\nu_{kx} = \nu_{He}$.

$$p_{CO2k} \cdot V_2 = \nu_{CO2k} \cdot RT; \quad V_2 = V - \left(\frac{V}{4} + \frac{V}{5} \right) = V - \frac{9}{20} V = \frac{11}{20} V$$

$$\nu_{CO2k} = \nu_{CO2} + \Delta \nu; \quad p_{CO2k} \cdot \frac{11}{20} V = (\nu_{CO2} + \Delta \nu) RT$$

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!

2 задача лист 2 из 2 (3/11)

$$P_{\text{век}} \cdot \frac{V}{5} = \sqrt{k_e} RT; P_{\text{CO}_2} \cdot \frac{11}{20} V = (\sqrt{c_{\text{O}_2} + \Delta v}) RT; P_{\text{ПК}} = P_{\text{атм}} = 2P_0$$
$$P_{\text{век}} = P_{\text{CO}_2} + P_{\text{ПК}}; \frac{5\sqrt{k_e} RT}{V} = \frac{20(\sqrt{c_{\text{O}_2} + \Delta v}) RT}{11V} + 2P_0;$$
$$P_0 = \frac{2\sqrt{k_e} RT_0}{V}; \frac{5\sqrt{k_e} RT}{V} = \frac{20(\sqrt{c_{\text{O}_2} + \Delta v}) RT}{11V} + \frac{4\sqrt{k_e} RT_0}{V}$$
$$5\sqrt{k_e} T = \frac{20}{11}(\sqrt{c_{\text{O}_2} + \Delta v}) T + 4\sqrt{k_e} T_0; \text{пусть } \frac{T}{T_0} = X$$
$$5\sqrt{k_e} X = \frac{20}{11}(\sqrt{c_{\text{O}_2} + \Delta v}) X + 4\sqrt{k_e}; \frac{P_0 V}{4} = \sqrt{c_{\text{O}_2}} RT_0;$$
$$\Delta v = k \cdot \frac{P_0 V}{4} = k \cdot \sqrt{c_{\text{O}_2}} RT_0 = \sqrt{c_{\text{O}_2}} \cdot k RT_0; \sqrt{c_{\text{O}_2} + \Delta v} = \sqrt{c_{\text{O}_2} + \sqrt{c_{\text{O}_2}} \cdot k RT_0} \ominus$$
$$\ominus \sqrt{c_{\text{O}_2}}(1 + k RT_0); 5\sqrt{k_e} X = \frac{20}{11} \cdot \sqrt{c_{\text{O}_2}}(1 + k RT_0) X + 4\sqrt{k_e}; | : \sqrt{c_{\text{O}_2}}$$

Знаем, что $\frac{\sqrt{k_e}}{\sqrt{c_{\text{O}_2}}} = 2$; $5 \cdot 2 X = \frac{20}{11} \cdot 1(1 + k RT_0) X + 4 \cdot 2$

$$10X = \frac{20}{11}(1 + k RT_0) X + 8; T_0 = \frac{T}{X}; 10X = \frac{20}{11}(1 + k R \frac{T}{X}) X + 8$$
$$10X = \frac{20}{11}(X + k RT) + 8; 10X = \frac{20}{11}X + \frac{20}{11}k RT + 8;$$
$$\frac{20}{11}k RT + 8 = X(10 - \frac{20}{11}) = X(\frac{110 - 20}{11}) = X \cdot \frac{90}{11}; \frac{90}{11}X = \frac{20}{11}k RT + 8$$
$$90X = 20k RT + 88; X = \frac{20k RT + 88}{90} = \frac{20 \cdot 0.5 \cdot 10^2 \cdot 3 \cdot 10^2 + 88}{90}$$
$$= \frac{20 \cdot 0.5 \cdot 3 + 88}{90} = \frac{30 + 88}{90} = \frac{118}{90} = \frac{59}{45}; T_0 = \frac{45}{59} \cdot 373 \text{ K} \approx 279 \text{ K} = 6^\circ \text{C}$$

ответ:
 $X = \frac{T}{T_0} = \frac{59}{45}$
нмнелмнр,

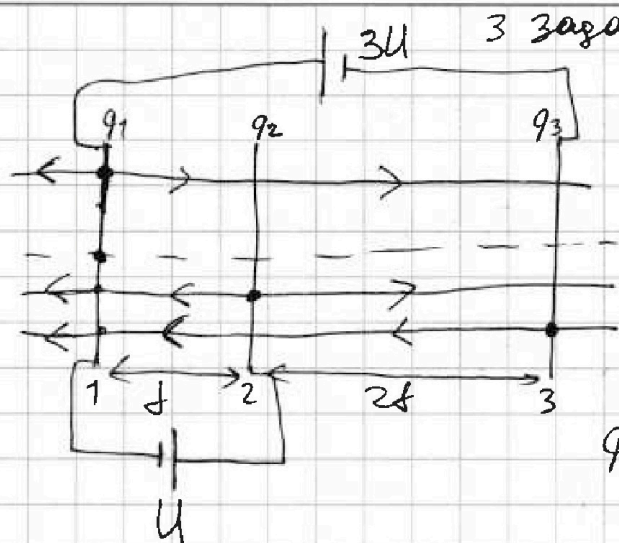
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

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!

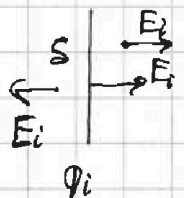


3 задачи шот 1 из 2
m, q, U

6/11

q много меньше зарядов
сеток \Rightarrow не влияет на
их распределение при
прямом.

q_1, q_2, q_3 - суммар. заряды сеток.



U_3 , теор. Гаусса: $E_i = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} = \frac{q_i}{2S\epsilon_0}$, считая для каждой
пластинки по отдельности. Записываем раз-ть
потенциалов:

$$U = d(E_2 + E_3 - E_1); 3U = 3dE_1 - 3dE_3 + 2dE_2 - dE_2$$

$$3U = d(3E_1 - 3E_3 + E_2); U = \frac{d}{2S\epsilon_0}(q_2 + q_3 - q_1) \quad (1)$$

$$3U = \frac{d}{2S\epsilon_0}(3q_1 - 3q_3 + q_2); 3C3: q_1 + q_2 + q_3 = 0; q_2 + q_3 = -q_1$$

$$b(1): U = \frac{2US\epsilon_0}{d} = -2q_1; q_1 = -\frac{US\epsilon_0}{d}; q_3 = -q_2 - q_1$$

$$(2): \frac{6US\epsilon_0}{d} = 3q_1 - 3q_3 + q_2 = 3q_1 + q_2 - 3(-q_2 - q_1)$$

$$\frac{6US\epsilon_0}{d} = 3q_1 + q_2 + 3q_2 + 3q_1 = 6q_1 + 4q_2$$

$$4q_2 = \frac{6US\epsilon_0}{d} - 6q_1 = \frac{6US\epsilon_0}{d} - 6\left(-\frac{US\epsilon_0}{d}\right) = \frac{12US\epsilon_0}{d}$$

$$q_2 = \frac{3US\epsilon_0}{d}$$

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

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

3 задача лист 2 из 2 (7/11)

$$q_2 = \frac{3qSE_0}{d}; q_1 = -\frac{qSE_0}{d}; q_3 = -q_2 - q_1 = -\frac{3qSE_0}{d} + \frac{qSE_0}{d} = -\frac{2qSE_0}{d}$$

$$q_3 = -\frac{2qSE_0}{d}; \Rightarrow \text{знаем все поле. } E_1 = \frac{q_1}{2SE_0} = \frac{-qSE_0}{d \cdot 2SE_0} \ominus$$

$$\ominus -\frac{U}{2d}; E_2 = \frac{q_2}{2SE_0} = \frac{3qSE_0}{d \cdot 2SE_0} = \frac{3U}{2d}; E_3 = \frac{q_3}{2SE_0} = -\frac{2qSE_0}{d \cdot 2SE_0} \ominus$$

$$\ominus -\frac{U}{d}. \text{ Знак "}" знаменит, что поле в пр. сторону.}$$

Поле слева 1-й пластины. $E_1 + E_2 + E_3 = -\frac{U}{2d} + \frac{3U}{2d} - \frac{U}{d} = 0 \Rightarrow$ там
она не измен. скорость $\Rightarrow K_1 = \frac{m v_0^2}{2}$.

Поле между 1 и 2: $E_1 - E_2 - E_3 = -\frac{U}{2d} - \frac{3U}{2d} + \frac{U}{d} = -\frac{U}{d} \Rightarrow E = \frac{U}{d}$ влево.

$$F = qE = ma; ma = q \cdot \frac{U}{d}; a = \frac{qU}{md}$$

2) ЗСЗ: ~~ка~~ $K_2 - K_1 = -Edq; K_1 - K_2 = Edq = qU$

3) ЗСЗ: $K_A - K_1 = -E \cdot \frac{d}{4} \cdot q = -\frac{U}{d} \cdot \frac{d}{4} q = -\frac{qU}{4}; K_A = K_1 - \frac{qU}{4}$

$$\frac{m v_A^2}{2} = \frac{m v_0^2}{2} - \frac{qU}{4}; v_A^2 = v_0^2 - \frac{qU}{2m}; v_A = \sqrt{v_0^2 - \frac{qU}{2m}}$$

Ответ: $|a| = \frac{qU}{md}$ ~~(знак вправо)~~; $K_1 - K_2 = qU$; $v_A = \sqrt{v_0^2 - \frac{qU}{2m}}$

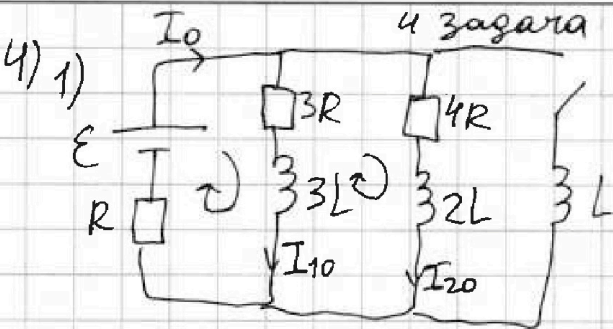
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

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. Поиск QR-кода недопустим!



4 задача лист 1 из 2
Резистор установлен =>

=> катушки = проводя.

Кирхгоф:

$$E = I_{10} \cdot 3R + I_0 R$$

$$4I_{20} = 3I_{10}$$



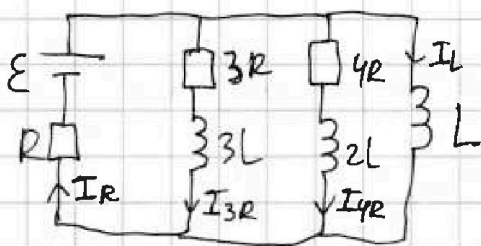
$$0 = I_{20} \cdot 4R - I_{10} \cdot 3R$$

$$I_0 = I_{10} + I_{20} = I_{10} + \frac{3}{4} I_{10} = I_{10} \left(\frac{4}{4} + \frac{3}{4} \right) = \frac{7}{4} I_{10}$$

$$E = I_{10} \cdot 3R + \frac{7}{4} I_{10} \cdot R = I_{10} R \left(3 + \frac{7}{4} \right) = I_{10} R \left(\frac{12+7}{4} \right) = I_{10} R \cdot \frac{19}{4}$$

$$I_{10} = \frac{4E}{19R}$$

2) Так через катушки скачка не изменяется. => Из суммы токов через ЭДС ток тоже в начале не может измениться.



Изначально для контура E-R-L:

$$E + E_s = I_0 R; I_0 R = \frac{7}{4} I_{10} R = \frac{7}{4} \cdot \frac{4E}{19}$$

$$I_0 R = \frac{7}{19} E; E + E_s = \frac{7}{19} E$$

$$E_{sL} = -\frac{12}{19} E; E_{sL} = -L \cdot \frac{dI_L}{dt}; \frac{12}{19} E = L \frac{dI_L}{dt}; \frac{dI_L}{dt} (t=0) = \frac{12E}{19L}$$

продолж. на след. стр.

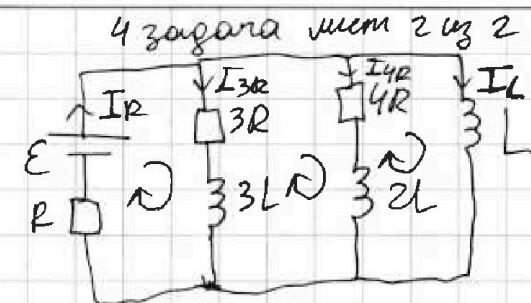
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

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!



Кирхгоф:

5/11

~~$$I_R = I_{3R} + I_{4R} + I_L$$~~

~~$$E - 3L \frac{dI_{3R}}{dt} - I_R R - I_{3R} \cdot 3R \quad (1)$$~~

~~$$- 2L \frac{dI_{4R}}{dt} + 3L \frac{dI_{3R}}{dt} = I_{4R} \cdot 4R - I_{3R} \cdot 3R \quad (2)$$~~

~~$$- L \frac{dI_L}{dt} + 2L \frac{dI_{4R}}{dt} = - I_{4R} \cdot 4R \quad (3)$$~~

Кирхгоф для контура 3R-3L-L:

$$- L \frac{dI_L}{dt} + 3L \frac{dI_{3R}}{dt} = - I_{3R} \cdot 3R; \quad - L \frac{dI_L}{dt} + 3L \frac{dI_{3R}}{dt} = - 3R q_{3R}$$

В конце: L - нулевое, через 3R и 4R ток не течет.

$$E = I_k \cdot R; \quad I_k = I_{Lk} = \frac{E}{R}; \quad \text{Умножим на } L:$$

$$- L \left(\frac{E}{R} - 0 \right) + 3L (0 - I_{10}) = - 3R (q_{3R} - 0); \quad - \frac{LE}{R} - 3LI_{10} = - 3R q_{3R}$$

$$\frac{LE}{R} + 3LI_{10} = 3R q_{3R}; \quad \frac{LE}{R} + 3L \cdot \frac{4E}{19R} = 3R \cdot q_{3R}$$

$$\frac{19}{31}, \frac{19}{57}$$

$$\frac{LE}{R} \left(1 + \frac{12}{19} \right) = 3R q_{3R}; \quad \frac{LE}{R} \cdot \frac{31}{19} = 3R q_{3R}; \quad q_{3R} = \frac{LE \cdot 31}{19R \cdot 3R} = \frac{31LE}{57R^2}$$

$$q_{3R} = \frac{31LE}{57R^2}$$

Ответ: $I_{10} = \frac{4E}{19R}; \quad \frac{dI_L}{dt}(t=0) = \frac{12E}{19L}; \quad q_{3R} = \frac{31LE}{57R^2}$

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

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

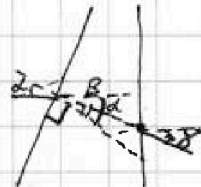
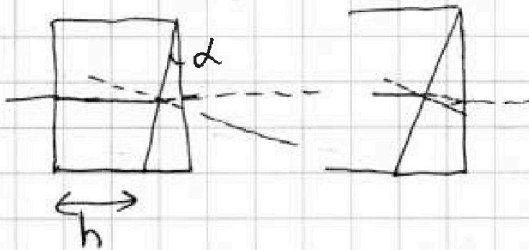
- 1 2 3 4 5 6 7

МФТИ

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

5) 1) из n_B в n_1 пройдет без преломления, т.к. угол 90°

и $n_1 = n_B = 1.0 \Rightarrow$ по 3-й Снелла $n_1 \cdot 0 = n_B \cdot \alpha \Rightarrow \alpha = 0^\circ$



лучи параллельно: $\sin \alpha \approx d$

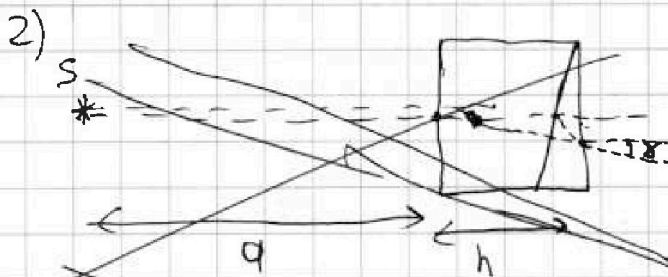
$$n_1 d = n_2 \beta$$

$$d = n_2 \beta; \beta = \frac{d}{n_2}$$

1-й отклонение: $d - \beta = d - \frac{d}{n_2} = d \left(1 - \frac{1}{n_2}\right) = d \cdot \frac{n_2 - 1}{n_2}$

$n_2(d - \beta) = n_B \cdot \gamma = \gamma$; 2-е: $\gamma = n_2(d - \beta) = d(n_2 - 1)$

$\Rightarrow \gamma = d(n_2 - 1) = 0.1(1.7 - 1) = 0.1 \cdot 0.7 = 0.07 \text{ рад.}$



~~лучи параллельно. лучи почти параллельно, что изобр. будет на ГОО. Но отклонение во время а) при угле преломления мало.~~

~~ведь $ah = (d - \beta) \cdot d$, d малая призма 2. \Rightarrow лучи пересекутся на расстоянии $a + h$ от источника. $x_1 = a + h = 104 \text{ см.}$~~

3) $n_1 = 1.4; n_2 = 1.7$



преломления на границе $n_B - n_1$ опять-

-таки нет, ведь угол 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

МОТИ

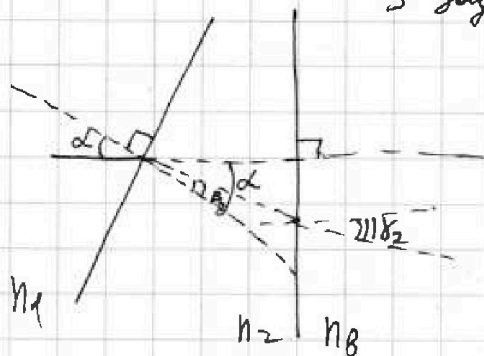
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



5 задача имеет 2 и 3 ч

$$n_1 \alpha = n_2 \beta_2; \beta_2 = \alpha \cdot \frac{n_1}{n_2}$$

9/11



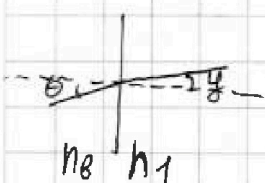
$$d - \beta_2 = d - \alpha \frac{n_1}{n_2} = d \left(1 - \frac{n_1}{n_2}\right)$$

$$n_2 (d - \beta_2) = n_2 \delta_2 = \delta_2$$

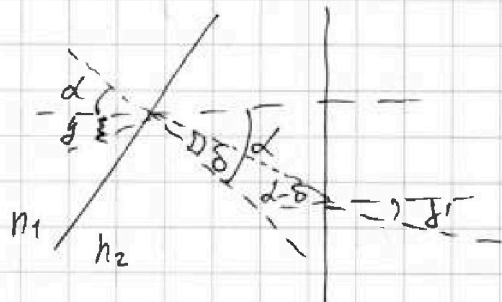
$$\delta_2 = n_2 (d - \beta_2) = n_2 \cdot d \left(1 - \frac{n_1}{n_2}\right)$$

$$\delta_2 = d (n_2 - n_1) = 0.1 (1.7 - 1.4) = 0.1 \cdot 0.3 = 0.03 \text{ м}$$

нужен угол поворота θ .



$$\theta = n_1 y; y = \frac{\theta}{n_1} \Rightarrow$$



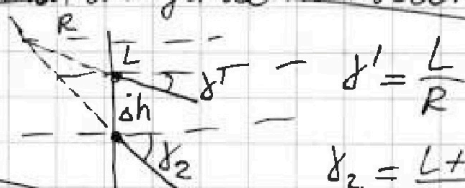
$$n_1 (d + y) = n_2 \delta$$

$$\delta = \frac{n_1}{n_2} (d + y); d - \delta = d - \frac{n_1}{n_2} (d + y); n_2 (d - \delta) = \delta'$$

$$\delta' = n_2 \cdot \left(d - \frac{n_1}{n_2} (d + y)\right) = d n_2 - n_1 (d + y) = d n_2 - d n_1 - y n_1$$

$$\delta' = d (n_2 - n_1) - \theta. \text{ При этом расстояние по высоте:}$$

$$\delta h = y h = \frac{\theta}{n_1} h. \text{ и рисунок:}$$



$$\delta' = \frac{L}{R}$$

$$\delta_2 = \frac{L + \delta h}{R} = \frac{L}{R} + \frac{\delta h}{R}$$

$$\delta_2 = \delta' + \frac{\delta h}{R}; d (n_2 - n_1) = d (n_2 - n_1) - \theta + \frac{\theta h}{n_1 R}$$

$$\theta = \frac{\theta h}{n_1 R}; \frac{h}{n_1 R} = \frac{h}{n_1 R}; n_1 R = h; R = \frac{h}{n_1}!$$

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

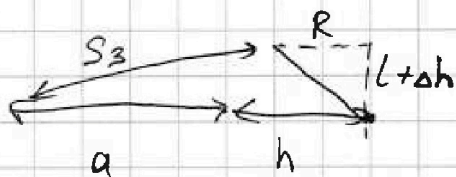
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



5 задача имеет 3 из 4
При малом смещении по высоте $\Delta h = \theta a + h\gamma = \theta a + \frac{\theta h}{n_1}$ (10/11)

$$\Delta h = \theta \left(a + \frac{h}{n_1} \right); \quad \gamma_2 = \gamma' + \frac{\Delta h}{R}; \quad d(n_2 - n_1) = d(n_2 - n_1) - \theta + \frac{\Delta h}{R}$$

$$\theta = \frac{\Delta h}{R}; \quad R\theta = \theta \left(a + \frac{h}{n_1} \right); \quad R = a + \frac{h}{n_1}; \quad L = R\gamma'$$



$$L + \Delta h = R \left(d(n_2 - n_1) - \theta \right) + \theta \left(a + \frac{h}{n_1} \right)$$

$$L + \Delta h = dR(n_2 - n_1) - \theta R + \theta \left(a + \frac{h}{n_1} \right)$$

$$L + \Delta h = dR(n_2 - n_1); \quad a + h - R = a + h - a - \frac{h}{n_1} = h \left(1 - \frac{1}{n_1} \right)$$

$$S_3 = \sqrt{(L + \Delta h)^2 + (a + h - R)^2} = \sqrt{d^2(n_2 - n_1)^2 \left(a + \frac{h}{n_1} \right)^2 + h^2 \left(1 - \frac{1}{n_1} \right)^2}$$

$$L + \Delta h = d(n_2 - n_1) \cdot \left(a + \frac{h}{n_1} \right); \quad R = a + \frac{h}{n_1} = 90 + \frac{14}{1.4} = 100 \text{ см} = 1 \text{ м}$$

$$L + \Delta h = 0,1 \cdot 100 \cdot (1,7 - 1,4) = 10 \cdot 0,3 = 3 \text{ см};$$

$$(a + h - R) = h \left(1 - \frac{1}{n_1} \right) = h \frac{(n_1 - 1)}{n_1} = 14 \text{ см} \cdot \frac{0,4}{1,4} = 4 \text{ см}$$

$$S_3 = \sqrt{3^2 + 4^2} = 5 \text{ см} = 0,05 \text{ м}$$

Для второго случая: (пог. угол γ_2 , а преломил, где $n_1 = n_2 = 1,0$)

$$\Delta h_2 = \theta(a + h)$$



перейду на след. лист,

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1 2 3 4 5 6 7

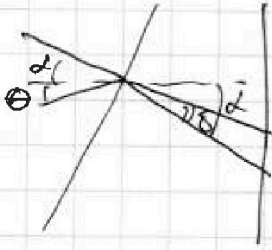
МФТИ

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



5 задача имеет 4 из 4.
 $(d+\theta) = n_2 \delta$; $\delta = \frac{d+\theta}{n_2}$;

11/11

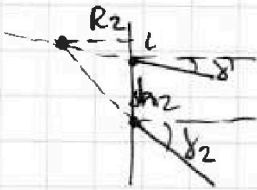


$$d - \delta = d - \frac{d+\theta}{n_2}$$

$$n_2(d - \delta) = \gamma' = n_2\left(d - \frac{d+\theta}{n_2}\right) = n_2d - (d+\theta)$$

$$\gamma' = d(n_2 - 1) - \theta;$$

γ_2 из выпукл. линз: $\gamma_2 = \gamma_1 = d(n_2 - 1)$



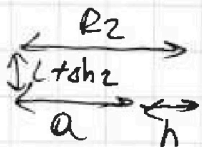
$$\gamma' = \frac{L}{R_2}; \gamma_2 = \frac{L + \delta h_2}{R_2} = \frac{L}{R_2} + \frac{\delta h_2}{R_2} = \gamma' + \frac{\delta h_2}{R_2}$$

$$\gamma_2 = \gamma' + \frac{\delta h_2}{R_2}; d(n_2 - 1) = d(n_2 - 1) - \theta + \frac{\delta h_2}{R_2}$$

$$\theta = \frac{\delta h_2}{R_2}; R_2 \theta = \delta h_2 = \theta(a+h); R_2 = a+h$$

$$L = \gamma' R_2 = (d(n_2 - 1) - \theta)(a+h);$$

$$L + \delta h_2 = d(n_2 - 1)(a+h) - \theta(a+h) + \theta(a+h) = d(n_2 - 1)(a+h)$$



Выводим, что $S_2 = L + \delta h_2 = d(n_2 - 1)(a+h)$

$$S_2 = 0,1 \cdot (1,7 - 1)(900 + 1400) = 0,1 \cdot 0,7 \cdot 10400 \text{ см} \ominus$$

$$\ominus \frac{7}{100} \cdot 10400 \text{ см} = \frac{728}{100} \text{ см} = 7,28 \text{ см}; S_2 = 7,28 \text{ см},$$

Ответ: $\gamma_1 = 0,07 \text{ рад}$; $S_2 = 7,28 \text{ см}$; $S_3 = 5 \text{ см}$.



На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
<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!

