



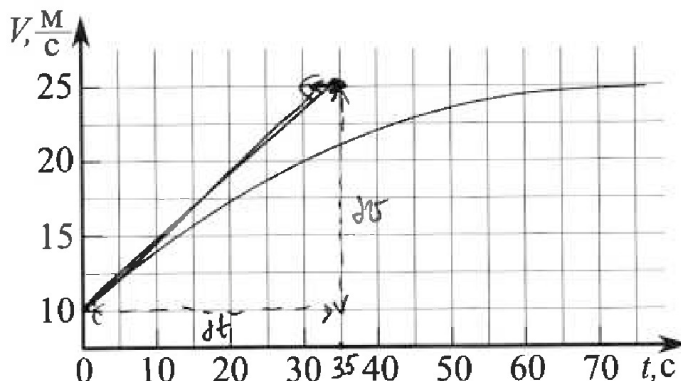
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

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?

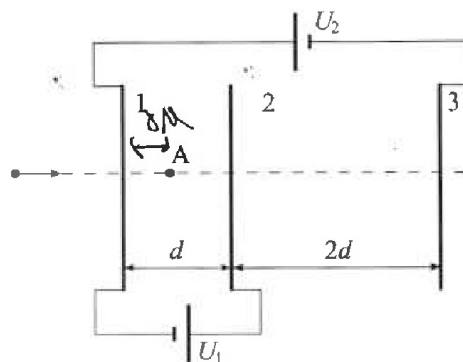
Требуемая точность численного ответа на первый вопрос ориентировочно 10%.

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 Δn растворённого газа в объёме жидкости w пропорционально парциальному давлению p газа: $\Delta n = kpw$. 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 A на расстоянии $d/4$ от сетки 1.



Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

Вариант 11-03

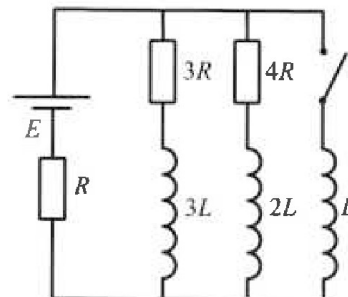
Во всех задачах, в ответах допустимы обыкновенные дроби
и радикалы.



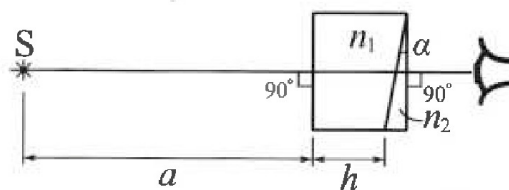
4. Параметры цепи указаны на схеме, все элементы идеальные. Ключ разомкнут, режим в цепи установился. Затем ключ замыкают.

- 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.

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!

1) $F_{\text{comp}} \sim v$

1 задача имеет 1 из 1

(1/11)

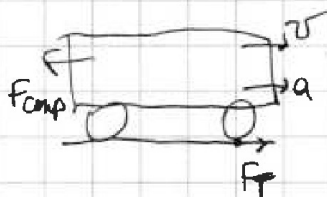
1) $a = \frac{dv}{dt}$. Проверим касательную к графику в начале разгона. $dv = 15 \frac{\text{м}}{\text{с}}$; $dt = (32.5 \pm 2.5) \text{с}$

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

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

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

$\Rightarrow$ Ответ упрощ. точности: $a_0 = \frac{6}{13} \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$



Неважно, какие колеса ведущие.

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

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

$k = \frac{F_k}{v_k} = \frac{600 \text{Н}}{25 \frac{\text{м}}{\text{с}}} = 24 \frac{\text{Н} \cdot \text{с}}{\text{м}}$. В начале разгона: $F_0 - kv_0 = ma_0$

$F_0 = kv_0 + ma_0 = (24 \cdot 10 + 1500 \cdot \frac{6}{13}) \text{Н}$; $\frac{1500}{13} = \frac{1300+200}{13} = 100 + \frac{200}{13}$

$\approx 100 + \frac{130+70}{13} = 110 + \frac{70}{13} \approx 110 + 5 + \frac{5}{13} = 115 + \frac{5}{13}$; $\frac{115}{6} \cdot 6 = 690$; $\frac{240}{932}$

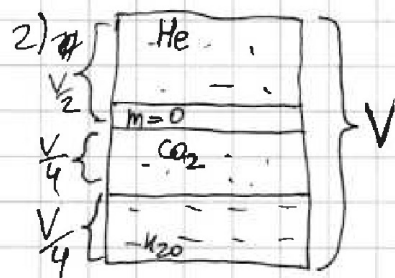
$(115 + \frac{5}{13}) \cdot 6 = 690 + \frac{30}{13} = 692 + \frac{4}{13}$; $F_0 \approx 932.3 \text{Н}$; строго $F_0 = (932 + \frac{4}{13}) \text{Н}$

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

$P_0 \approx 9323 \text{Вт}$; Ответ: $a_0 = \frac{6}{13} \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$; $F_0 \approx 932.3 \text{Н}$; $P_0 \approx 9323 \text{Вт}$

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!



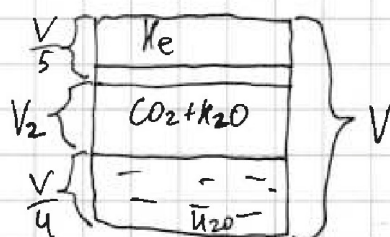
2 задача лист 1 из 2
По условию изначально две равные части. (2111)

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

После нагрев: $V_{\text{He}} = V_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{V}{4}$; $V_{\text{HeK}} = \frac{V}{5}$; $T = 373 \text{ K} = 100^\circ \text{C}$

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

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



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

1) Требуется кал-ва паров воды в газ. сост. до

нагревания. З-н. М-к. для He и CO_2 : равн. парци $p_{\text{He}} = p_{\text{CO}_2} = p_0$

$$p_0 \cdot \frac{V}{2} = \nu_{\text{He}} RT_0; \quad \frac{\nu_{\text{H}}}{\nu_{\text{H}}} = \frac{\nu_{\text{He}}}{\nu_{\text{CO}_2}} = \frac{p_0 V}{2} \cdot \frac{4}{p_0 V} = 2.$$

$$p_0 \cdot \frac{V}{4} = \nu_{\text{CO}_2} RT_0;$$

2) Найдем кал-во растворения CO_2 : $\Delta V = K p_0 W = K p_0 \cdot \frac{V}{4} = \frac{K p_0 V}{4}$

Равн. парци: $p_{\text{HeK}} = p_{\text{CO}_2\text{K}} + p_{\text{ПК}}$; $p_{\text{ПК}} = p_{\text{атм}}$, м.к. пар насыщен и температура $T = 100^\circ \text{C}$.

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

$$p_{\text{CO}_2\text{K}} \cdot V_2 = \nu_{\text{CO}_2\text{K}} \cdot RT; \quad V_2 = V - \left(\frac{V}{4} + \frac{V}{5} \right) = V - \frac{9}{20} V = \frac{11}{20} V$$

$$\nu_{\text{CO}_2\text{K}} = \nu_{\text{CO}_2} + \Delta \nu; \quad p_{\text{CO}_2\text{K}} \cdot \frac{11}{20} V = (\nu_{\text{CO}_2} + \Delta \nu) RT$$

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,

решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐

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)

$$P_{He} \cdot \frac{V}{5} = \nu_{He} RT; P_{CO_2} \cdot \frac{11}{20} V = (\nu_{CO_2} + \Delta \nu) RT; P_{TK} = P_{atm} = 2 P_0$$

$$P_{He} = P_{CO_2} + P_{TK}; \frac{5 \nu_{He} RT}{V} = \frac{20 (\nu_{CO_2} + \Delta \nu) RT}{11 V} + 2 P_0;$$

$$P_0 = \frac{2 \nu_{He} R T_0}{V}; \frac{5 \nu_{He} RT}{V} = \frac{20 (\nu_{CO_2} + \Delta \nu) RT}{11 V} + \frac{4 \nu_{He} R T_0}{V}$$

$$5 \nu_{He} T = \frac{20}{11} (\nu_{CO_2} + \Delta \nu) T + 4 \nu_{He} T_0; \text{ пусть } \frac{T}{T_0} = X$$

$$5 \nu_{He} X = \frac{20}{11} (\nu_{CO_2} + \Delta \nu) X + 4 \nu_{He}; \frac{P_0 V}{4} = \nu_{CO_2} R T_0;$$

$$\Delta \nu = K \cdot \frac{P_0 V}{4} = K \cdot \nu_{CO_2} R T_0 = \nu_{CO_2} \cdot K R T_0; \nu_{CO_2} + \Delta \nu = \nu_{CO_2} + \nu_{CO_2} \cdot K R T_0 \ominus$$

$$\ominus \nu_{CO_2} (1 + K R T_0); 5 \nu_{He} X = \frac{20}{11} \cdot \nu_{CO_2} (1 + K R T_0) X + 4 \nu_{He}; | : \nu_{CO_2}$$

Знаем, что $\frac{\nu_{He}}{\nu_{CO_2}} = 2$; $5 \cdot 2 X = \frac{20}{11} \cdot 1 (1 + K R T_0) X + 4 \cdot 2$

$$10 X = \frac{20}{11} (1 + K R T_0) X + 8; T_0 = \frac{T}{X}; 10 X = \frac{20}{11} (1 + K R \frac{T}{X}) X + 8$$

$$10 X = \frac{20}{11} (X + K R T) + 8; 10 X = \frac{20}{11} X + \frac{20}{11} K R T + 8;$$

$$\frac{20}{11} K R T + 8 = X (10 - \frac{20}{11}) = X (\frac{110 - 20}{11}) = X \cdot \frac{90}{11}; \frac{90}{11} X = \frac{20}{11} K R T + 8$$

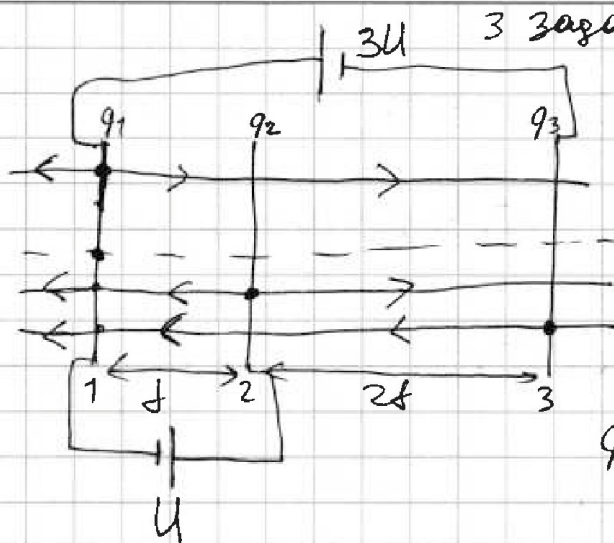
$$90 X = 20 K R T + 88; X = \frac{20 K R T + 88}{90} = \frac{20 \cdot 0.5 \cdot 10^{-2} \cdot 3 \cdot 10^{-2} + 88}{90}$$

$$= \frac{20 \cdot 0.5 \cdot 3 + 88}{90} = \frac{30 + 88}{90} = \frac{118}{90} = \frac{59}{45}; T_0 = \frac{45}{59} \cdot 373 K \approx 279 K = 6^\circ C$$

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

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 Задача имеет 1 из 2
т, q, U

6/11

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

q_1, q_2, q_3 — заряды сеток.

$U, \text{ теор. Гаусса: } E_i = \frac{\sigma_i}{2\epsilon_0} = \frac{q_i}{2S\epsilon_0}$, считаем для каждой
пластинки постоянными. Записываем раз-
ность потенциалов:

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

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

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

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

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

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

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

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

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐

3 задача лист 2 из 2 (7/11)

$$q_2 = \frac{3q_1 \epsilon_0}{d}; q_1 = -\frac{q_1 \epsilon_0}{d}; q_3 = -q_2 - q_1 = -\frac{3q_1 \epsilon_0}{d} + \frac{q_1 \epsilon_0}{d} = -\frac{2q_1 \epsilon_0}{d}$$

$$q_3 = -\frac{2q_1 \epsilon_0}{d}; \Rightarrow \text{знаем все поле. } E_1 = \frac{q_1}{2\epsilon_0 d} = \frac{-q_1 \epsilon_0}{d \cdot 2\epsilon_0 d} \ominus$$

$$\ominus -\frac{q_1}{2d}; E_2 = \frac{q_2}{2\epsilon_0 d} = \frac{3q_1 \epsilon_0}{d \cdot 2\epsilon_0 d} = \frac{3q_1}{2d}; E_3 = \frac{q_3}{2\epsilon_0 d} = -\frac{2q_1 \epsilon_0}{d \cdot 2\epsilon_0 d} \ominus$$

$$\ominus -\frac{q_1}{d}. \text{ Знак "}" знаменит, что поле в лев. сторону.}$$

Поле слева 1-й пластины: $E_1 + E_2 + E_3 = -\frac{q_1}{2d} + \frac{3q_1}{2d} - \frac{q_1}{d} = 0 \Rightarrow \text{матрица не изм. скорость} \Rightarrow K_1 = \frac{mv_0^2}{2}$

Поле между 1 и 2: $E_1 - E_2 - E_3 = -\frac{q_1}{2d} - \frac{3q_1}{2d} + \frac{q_1}{d} = -\frac{q_1}{d} \Rightarrow E = \frac{q_1}{d}$ влево.
 $F = qE = ma; ma = q \cdot \frac{q_1}{d}; a = \frac{qq_1}{md}$

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

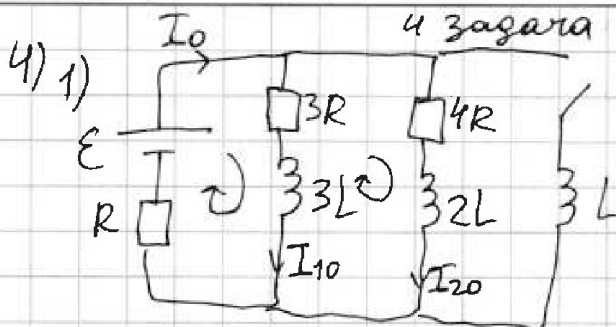
3) ЗСЗ: $K_A - K_1 = -E \cdot \frac{d}{4} \cdot q = -\frac{q_1}{d} \cdot \frac{d}{4} q = -\frac{q_1 q}{4}; K_A = K_1 - \frac{q_1 q}{4}$

$$\frac{mv_A^2}{2} = \frac{mv_0^2}{2} - \frac{q_1 q}{4}; v_A^2 = v_0^2 - \frac{q_1 q}{2m}; v_A = \sqrt{v_0^2 - \frac{q_1 q}{2m}}$$

Ответ: $|a| = \frac{qq_1}{md}$ ~~вправо~~; $K_1 - K_2 = qU; v_A = \sqrt{v_0^2 - \frac{q_1 q}{2m}}$

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐

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



4 задача лист 1 из 2
Решить установився ⇒

⇒ катушки = проводя.

Кирхгоф:

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

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

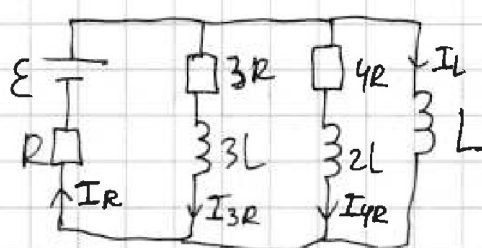
$$4I_{20} = 3I_{10}$$

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

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

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

2) Так через катушки скачка не возникает. ⇒ Из суммы токов через ЭДС ток тоже в начале не успеет измениться.



Изначально для контура ε-R-L:

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

$$I_0 R = \frac{7}{19}\varepsilon; \varepsilon + \varepsilon_s = \frac{7}{19}\varepsilon$$

$$\varepsilon_s = -\frac{12}{19}\varepsilon; \varepsilon_s = -L \cdot \frac{dI_L}{dt}; \frac{12}{19}\varepsilon = L \frac{dI_L}{dt}; \frac{dI_L}{dt}(t=0) = \frac{12\varepsilon}{19L}$$

продолж. на след. стр.

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

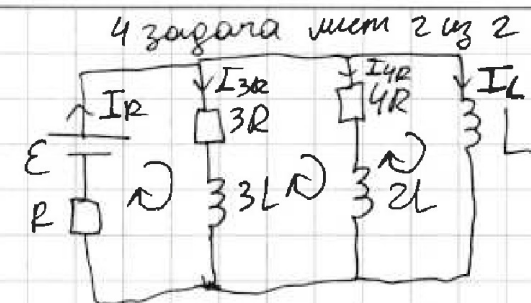
Отметьте крестиком номер задачи,

решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐

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

МФТИ



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:

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

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

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

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

$$\frac{LE}{R} + 3LI_{10} = 3Rq_{3R}; \frac{LE}{R} + 3L \cdot \frac{4E}{19R} = 3Rq_{3R} \quad \frac{19}{31}, \frac{19}{57}$$

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

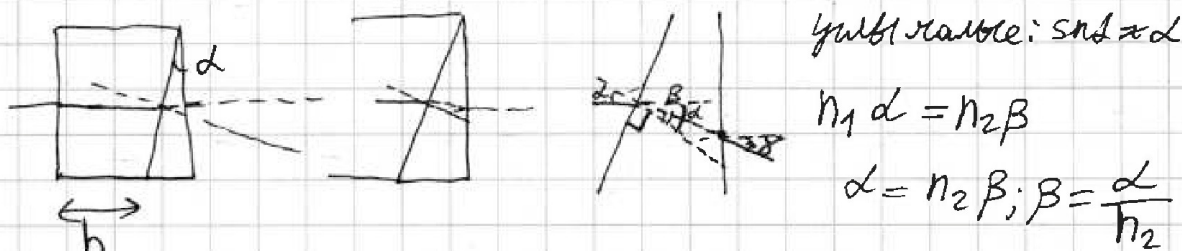
$$q_{3R} = \frac{31LE}{57R^2}$$

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

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!

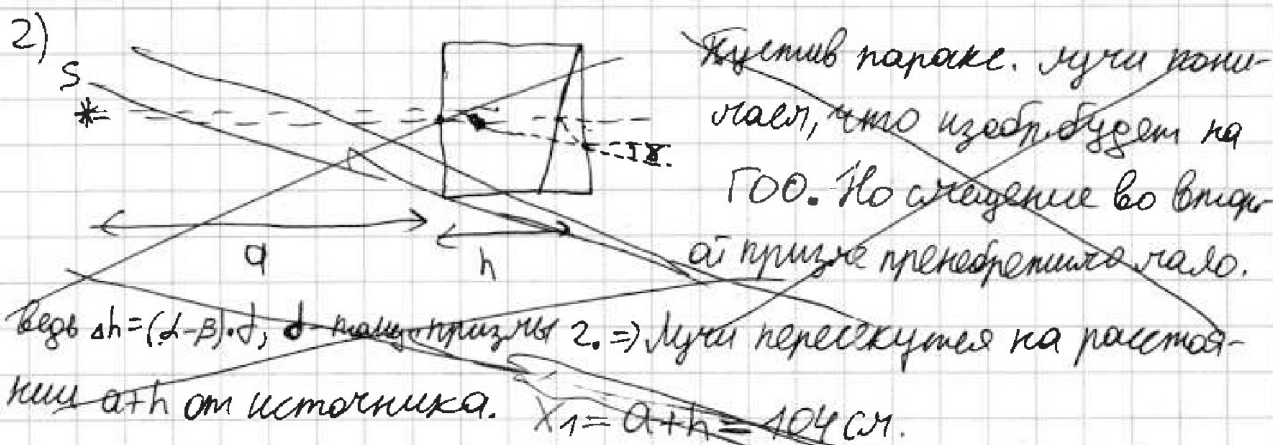
- 5) 1) из n_2 в n_1 пройдет без преломления, т.к. угол 90°
 2) $n_1 = n_2 = 1.0 \Rightarrow$ по 3-му Снелла. $n_1 \sin \alpha = n_2 \sin \beta \Rightarrow \sin \alpha = \sin \beta \Rightarrow \alpha = \beta$



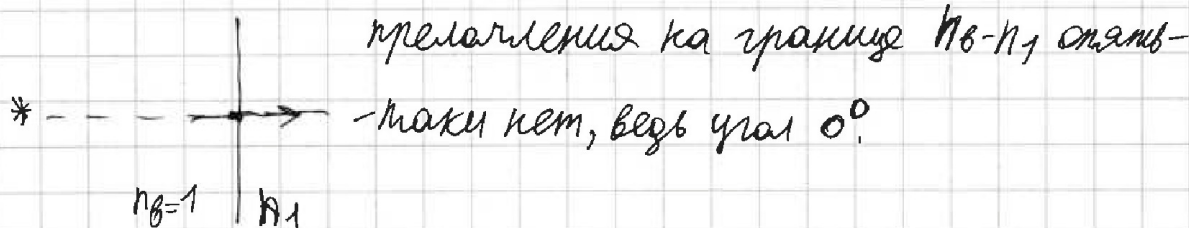
1-е отклонение: $\alpha - \beta = \alpha - \frac{\alpha}{n_2} = \alpha \left(1 - \frac{1}{n_2}\right) = \alpha \cdot \frac{n_2 - 1}{n_2}$

$n_2(\alpha - \beta) = n_2 \cdot \delta = \delta; 2-е: \delta = n_2(\alpha - \beta) = \alpha(n_2 - 1)$

$\Rightarrow \delta_1 = \alpha(n_2 - 1) = 0.1(1.7 - 1) = 0.1 \cdot 0.7 = 0.07 \text{ рад.}$



3) $n_1 = 1.4; n_2 = 1.7$



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

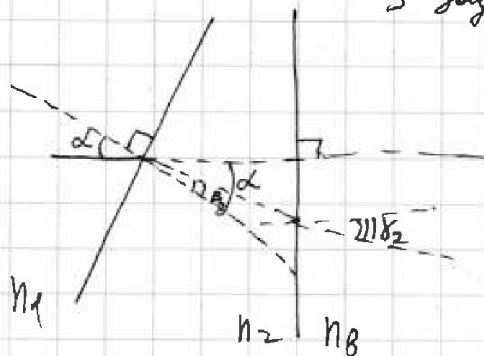
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



5 задача имеет 2 из 4

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

9/11



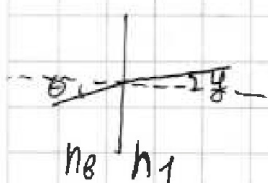
$$\alpha - \beta_2 = \alpha - \alpha \frac{n_1}{n_2} = \alpha \left(1 - \frac{n_1}{n_2}\right)$$

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

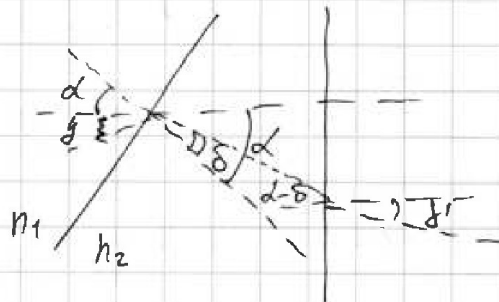
$$\delta_2 = n_2(\alpha - \beta_2) = n_2 \cdot \alpha \left(1 - \frac{n_1}{n_2}\right)$$

$$\delta_2 = \alpha(n_2 - n_1) = 0.1(1.7 - 1.4) = 0.1 \cdot 0.3 = 0.03 \text{ рад.}$$

нужно учить угол падения θ .



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



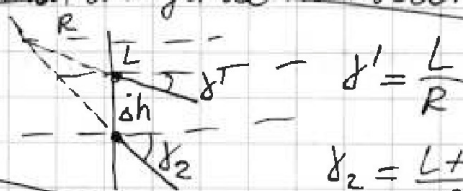
$$n_1(\alpha + \gamma) = n_2 \delta$$

$$\delta = \frac{n_1}{n_2}(\alpha + \gamma); \alpha - \delta = \alpha - \frac{n_1}{n_2}(\alpha + \gamma); n_2(\alpha - \delta) = \delta'$$

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

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

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



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

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

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

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 этом смещение 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 угловой 2, а преломил, где $n_1 = n_2 = 1.0$)

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



перейду на след. лист.

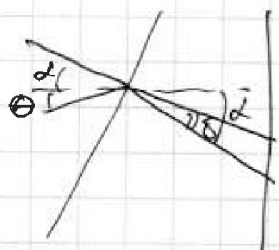
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

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.
 $(\alpha + \theta) = n_2 \delta$; $\delta = \frac{\alpha + \theta}{n_2}$;

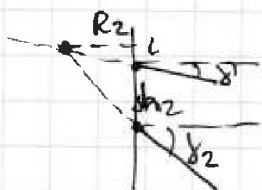
11/11

$$\alpha - \delta = \alpha - \frac{\alpha + \theta}{n_2};$$

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

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

γ_2 из выпр. паралл.: $\gamma_2 = \gamma_1 = \alpha(n_2 - 1)$



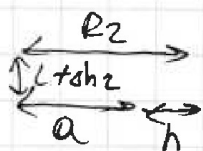
$$\gamma' = \frac{L}{R_2}; \gamma_2 = \frac{L + \Delta h_2}{R_2} = \frac{L}{R_2} + \frac{\Delta h_2}{R_2} = \gamma' + \frac{\Delta h_2}{R_2}$$

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

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

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

$$L + \Delta h_2 = \alpha(n_2 - 1)(a + h) - \theta(a + h) + \theta(a + h) = \alpha(n_2 - 1)(a + h)$$



Вывод, что $S_2 = L + \Delta h_2 = \alpha(n_2 - 1)(a + h)$

$$S_2 = 0.1 \cdot (1.7 - 1)(90 \text{ см} + 14 \text{ см}) = 0.1 \cdot 0.7 \cdot 104 \text{ см} =$$

$$\ominus \frac{7}{100} \cdot 104 \text{ см} = \frac{728}{100} \text{ см} = 7.28 \text{ см}; S_2 = 7.28 \text{ см},$$

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
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐



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

