

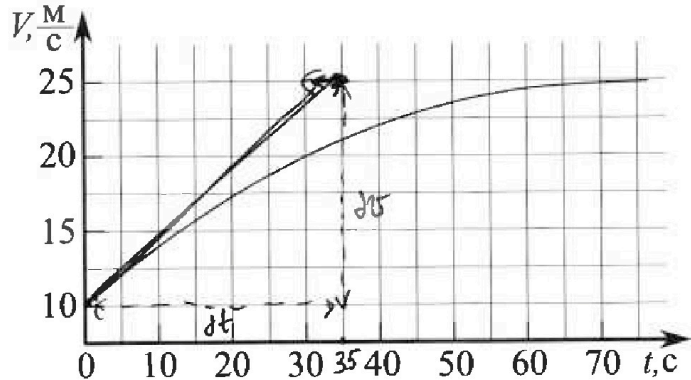
# Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

## 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?

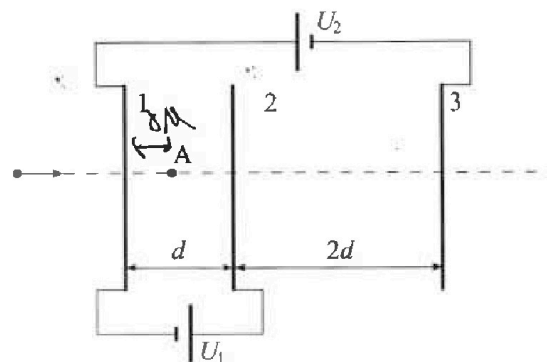
Требуемая точность численного ответа на первый вопрос ориентировочно 10%.

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  $\Delta v$  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 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

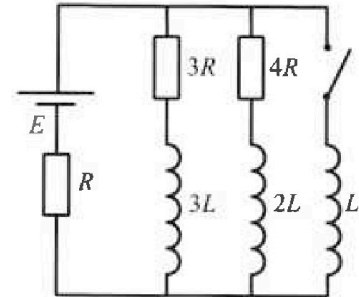


Во всех задачах, в ответах допустимы обыкновенные дроби и радикалы.

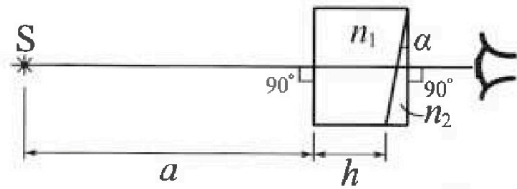
4. Параметры цепи указаны на схеме, все элементы идеальные. Ключ разомкнут, режим в цепи установился. Затем ключ замыкают.

- 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.



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

1 задача мет 7 из 1

(1/11)

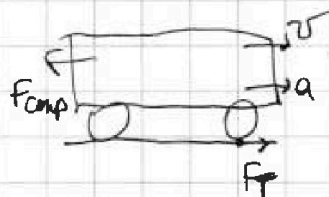
1)  $a = \frac{dv}{dt}$ . Проверить касательную к графику в начале разгона.  $dv = 15 \frac{m}{c}$ ;  $dt = (32.5 \pm 2.5)c$

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

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

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

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



Неважно, какие колеса ведущие.

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

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

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

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

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

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

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

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

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи.

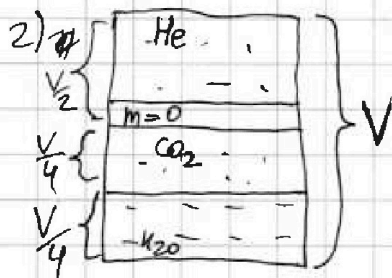
решение которой представлено на странице:



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!



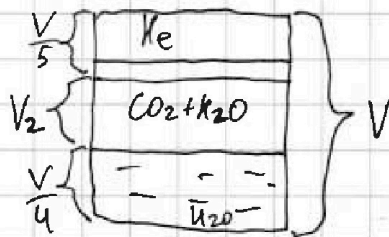
2 задача лист 1 из 2  
По условию изначально две равные части. (2111)

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

После нагрев:  $V_{He} = V_{H_2O} = \frac{V}{4}$ ;  $V_{HeK} = \frac{V}{5}$ ;  $T = 373K = 100^\circ C$

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

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



$RT \approx 3 \cdot 10^3 \frac{г \cdot атм}{моль}$ ;  $p_{H_2O} = 0$  (пары воды при  $T_0$ )

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

нагрева. З-н. М-к. для He и CO<sub>2</sub>: равн. парци  $p_{He} = p_{CO_2} = p_0$

$$p_0 \cdot \frac{V}{2} = \nu_{He} RT_0; \quad \frac{\nu_{H_2O}}{\nu_{H_2}} = \frac{\nu_{He}}{\nu_{CO_2}} = \frac{p_0 V \cdot 4}{p_0 V} = 2.$$

$$p_0 \cdot \frac{V}{4} = \nu_{CO_2} RT_0;$$

2) Найдем кол-во растворенн. CO<sub>2</sub>:  $\Delta V = K p_0 W = K p_0 \cdot \frac{V}{4} = \frac{K p_0 V}{4}$

Равн. парци:  $p_{HeK} = p_{CO_2K} + p_{ПК}$ ;  $p_{ПК} = p_{atm}$ , м.к. пар насыщен и темп. температура  $T = 100^\circ C$ .

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

$$p_{CO_2K} \cdot V_2 = \nu_{CO_2K} \cdot RT; \quad V_2 = V - \left( \frac{V}{4} + \frac{V}{5} \right) = V - \frac{9}{20} V = \frac{11}{20} V$$

$$\nu_{CO_2K} = \nu_{CO_2} + \Delta \nu; \quad p_{CO_2K} \cdot \frac{11}{20} V = (\nu_{CO_2} + \Delta \nu) RT$$

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи.

решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
<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,

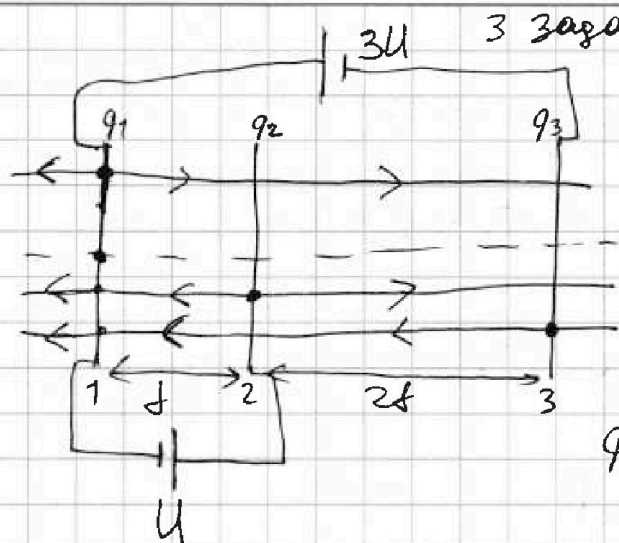
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

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. Порча QR-кода недопустима!

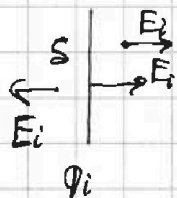


3 задачи шот 1 из 2  
m, q, U

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:

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

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

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

$$6(1): U = \frac{2US\epsilon_0}{d} = -2q_1; q_1 = -\frac{US\epsilon_0}{d}; q_3 = -q_2 - q_1$$

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

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

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

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

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)

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

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

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

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

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 не важен)~~;  $K_1 - K_2 = qU$ ;  $v_A = \sqrt{v_0^2 - \frac{qU}{2m}}$

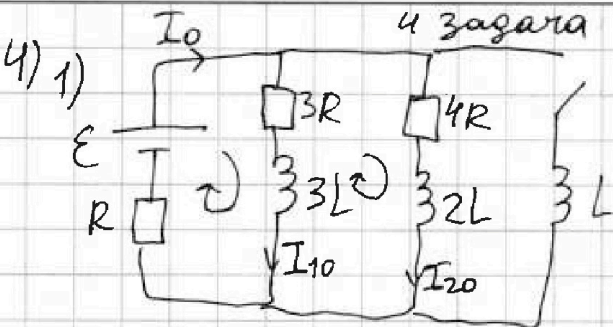
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

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  
Ветви установились  $\Rightarrow$  (4/11)

$\Rightarrow$  катушки = проводя.

Кирхгоф:

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

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



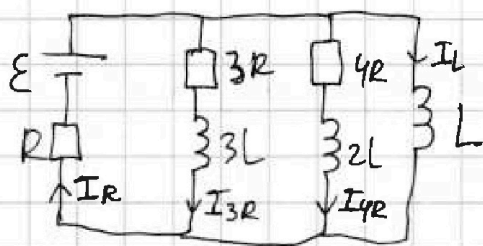
$$0 = I_{20} \cdot 4R - I_{10} \cdot 3R$$

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

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

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

2) Так через катушки скачка не изменяется.  $\Rightarrow$  Из суммы токов через ЭДС ток тоже в начале не успевает 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.



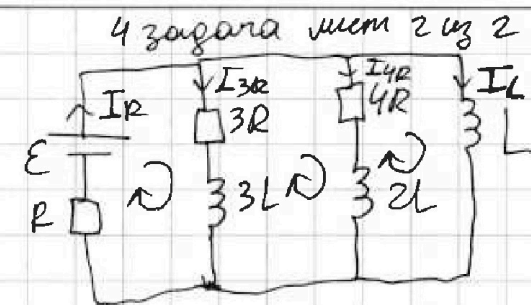
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

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:

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

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

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

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

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

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

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

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

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.

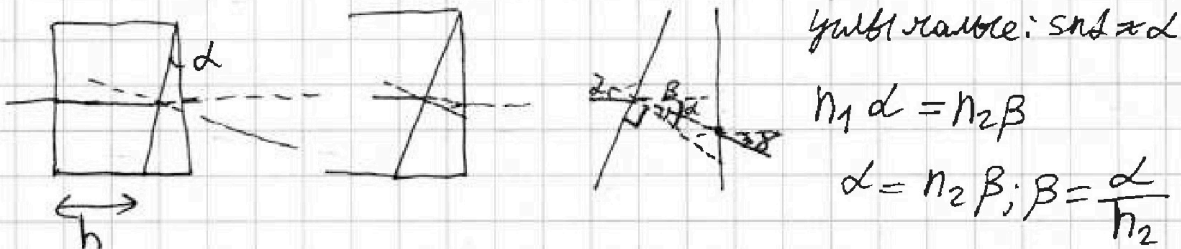
Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

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!

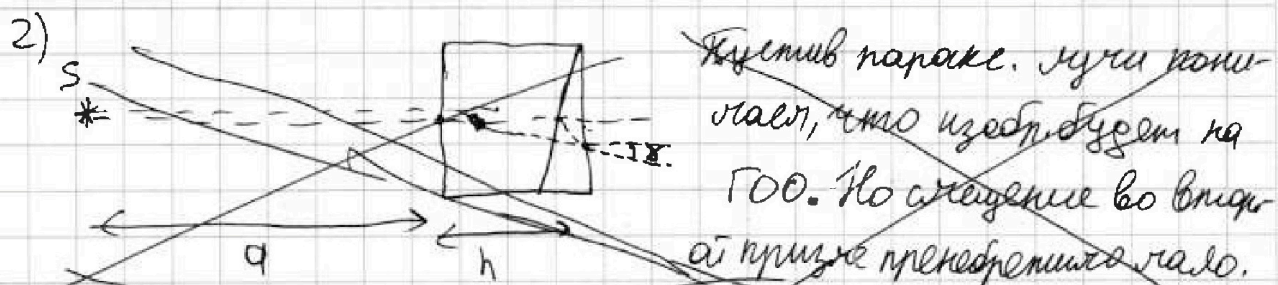
5) 1) из  $n_B$  в  $n_1$  пройдет без преломления, т.к. угол  $90^\circ$   
 и  $n_1 = n_B = 1.0 \Rightarrow$  по 3-й Снелла  $n_1 \cdot 0 = n_B \cdot \alpha \Rightarrow \alpha = 0^\circ$



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

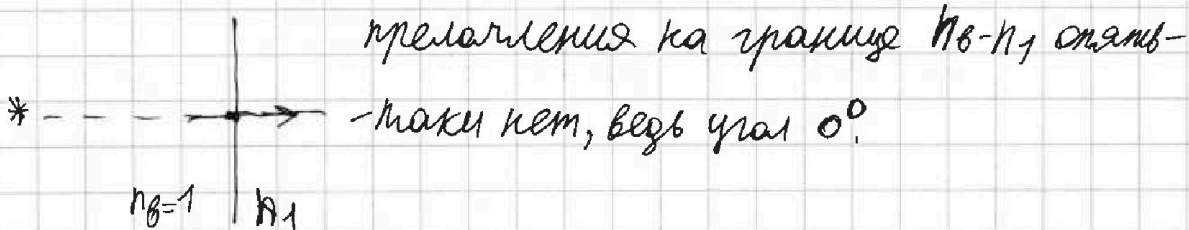
$n_2(d - \beta) = n_B \cdot \gamma = \gamma$ ; 2-е:  $\gamma = n_2(d - \beta) = d(n_2 - 1)$

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



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

3)  $n_1 = 1.4; n_2 = 1.7$



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

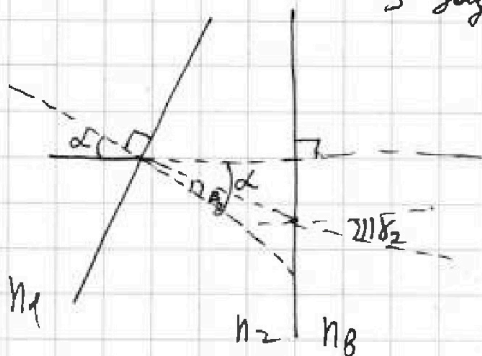
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



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



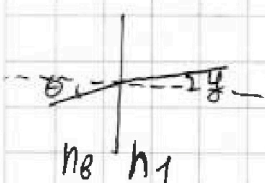
$$d - \beta_2 = d - \alpha \frac{n_1}{n_2} = d \left(1 - \frac{n_1}{n_2}\right)$$

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

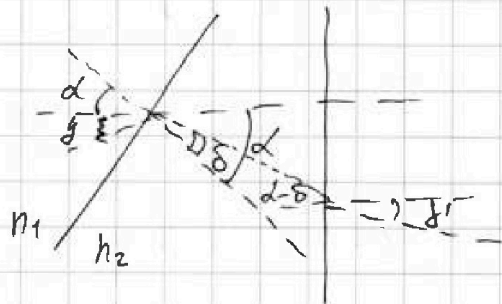
$$\delta_2 = n_2 (d - \beta_2) = n_2 \cdot d \left(1 - \frac{n_1}{n_2}\right)$$

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

Ищем угол поворота  $\theta$ .



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



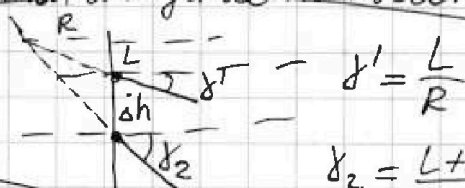
$$n_1 (d + y) = n_2 \delta$$

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

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

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

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



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

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

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

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

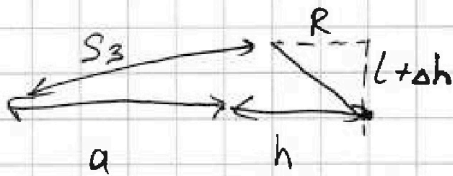
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,  
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



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  $\gamma_2$ , 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

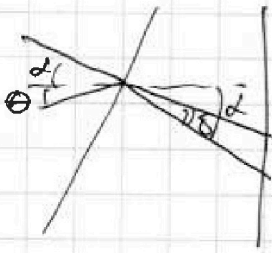
МФТИ

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

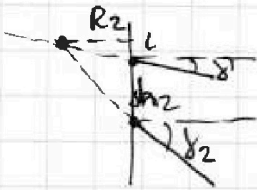


$$d - \delta = d - \frac{d+\theta}{n_2}$$

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

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

$\delta_2$  из выпукл. линз:  $\delta_2 = \delta_1 = d(n_2 - 1)$



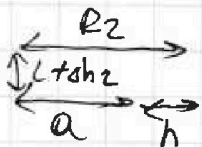
$$\delta' = \frac{L}{R_2}; \delta_2 = \frac{L + \delta h_2}{R_2} = \frac{L}{R_2} + \frac{\delta h_2}{R_2} = \delta' + \frac{\delta h_2}{R_2}$$

$$\delta_2 = \delta' + \frac{\delta h_2}{R_2}; d(n_2 - 1) = d(n_2 - 1) - \theta + \frac{\delta h_2}{R_2}$$

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

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

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



Вывод, 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:  $\delta_1 = 0,07 \text{ рад}$ ;  $S_2 = 7,28 \text{ см}$ ;  $S_3 = 5 \text{ см}$ .



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!

