

Олимпиада «Физтех» по физике,  
февраль 2023

Вариант 11-03

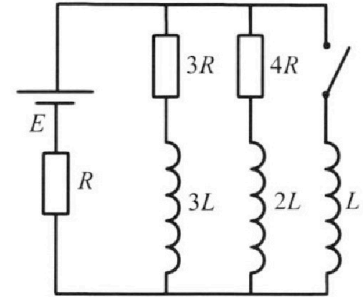
Во всех задачах, в ответах допустимы обыкновенные дроби  
и радикалы.



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 в 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.

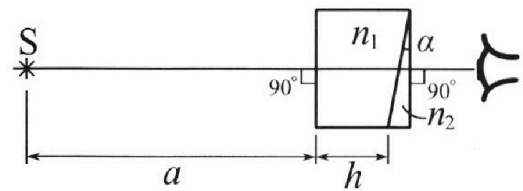


рис.). Угол  $\alpha = 0,1$  рад можно считать малым, толщина  $h = 14$  см. Толщина призмы с показателем преломления  $n_2$  на прямой «источник – глаз» намного меньше  $h$ . Отражения в системе не учитывать.

- 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.



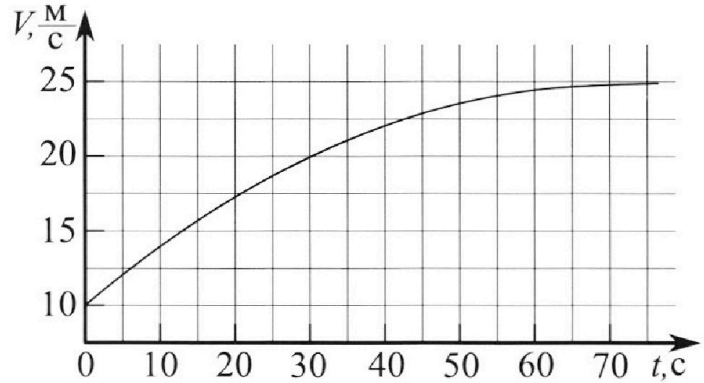
# Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

## 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.



- Используя график, найти ускорение автомобиля в начале разгона.
- Найти силу тяги  $F_0$  в начале разгона.
- Какая мощность  $P_0$  передается от двигателя на ведущие колеса в начале разгона?

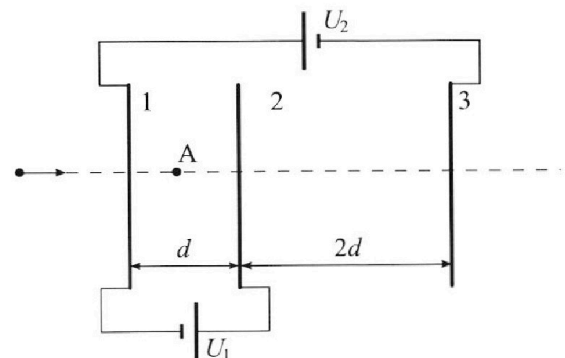
Требуемая точность численного ответа на первый вопрос ориентировочно 10%.

2. Герметичный вертикальный цилиндрический сосуд объемом  $V$  разделён тонким невесомым теплопроводящим герметичным поршнем (диск соосный с сосудом) на две равные части. Поршень может перемещаться без трения. В верхней части цилиндра находится гелий, а в нижней - вода и углекислый газ. В начальный момент система находилась в равновесии при давлении  $P_0 = P_{\text{ATM}}/2$  ( $P_{\text{ATM}}$  - 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/( $\text{м}^3 \cdot \text{Па}$ ). 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.

- Найти отношение количеств вещества в газообразном состоянии в верхней и нижней частях до нагревания.
- 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.



- Найти модуль ускорения частицы в области между сетками 1 и 2.
- Найти разность  $K_1 - K_2$ , где  $K_1$  и  $K_2$  — кинетические энергии частицы при пролете сеток 1 и 2.
- Найти скорость частицы в точке А на расстоянии  $d/4$  от сетки 1.

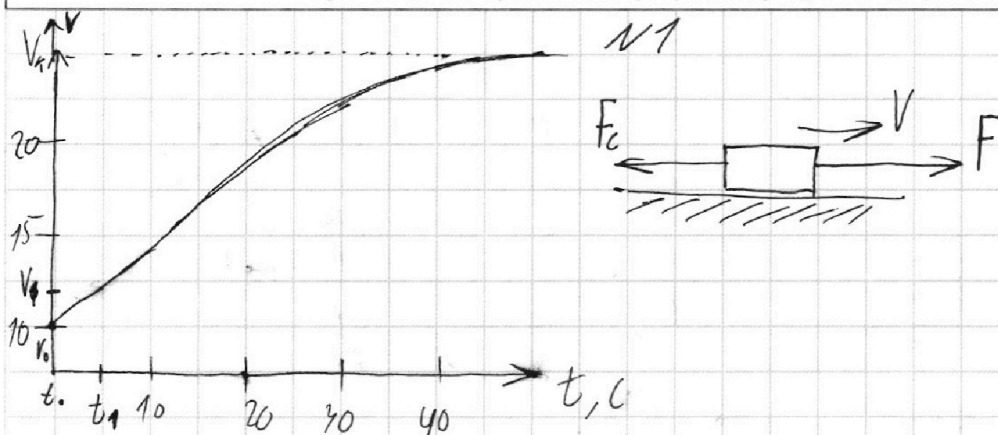
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

1  2  3  4  5  6  7

МФТИ

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



1) За первые 5 секунд зависимость  $v(t)$

длина к линейной. Из графика  $v_k \approx 20 \text{ м/с}$

$$a_0 = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_k - v_0}{t_1 - t_0} = \frac{20 - 10}{5 - 0} = \frac{10}{5} = 2 \text{ м/с}^2 \text{ Ответ: } 2 \text{ м/с}^2$$

2) пусть  $F_c$  — сила сопротивления  $\propto v$  — коэффициент

пропорциональности в зависимости  $F_c = kv$ .

Так как в конце разгона скорость становится

постоянной то 2ЗМ:  $ma = F_k - F_c = F_k - kv = 0$

$$\Rightarrow kv_k = F_k \Rightarrow k = \frac{F_k}{v_k} \text{ где } v_k \text{ — скорость в}$$

конце разгона. Тогда в начале разгона:

$$2ЗМ: ma_0 = F_0 - kv_0 = F_0 - \frac{F_k}{v_k} v_0 \Rightarrow$$

$$F_0 = ma_0 + \frac{F_k}{v_k} v_0 = 1500 \cdot 2 + \frac{600}{25} \cdot 10 = 3000 + 240 = 3240 \text{ Н}$$

Ответ: 3240 Н

$$3) P_0 = F_0 v_0 = 3240 \cdot 10 = 32400 \text{ Вт}$$

Ответ: 32400 Вт

Лист 1

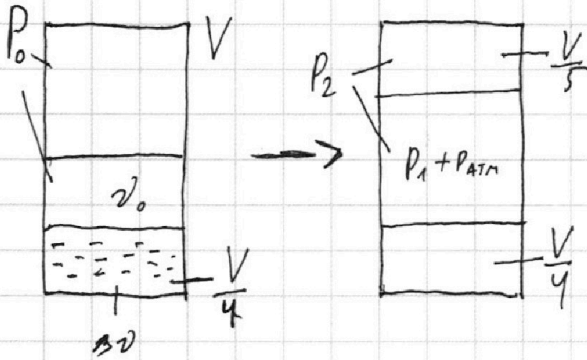
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

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!



~~ЗМК для газа~~

~~Уравнение состояния~~  
газа:

$$\frac{P_0 \frac{V}{2}}{T_0} = \frac{P_2 \frac{V}{5}}{T} \Rightarrow \frac{5P_0}{T_0} = 2 \frac{P_2}{T}$$

Черновик

Углекислый газ и вода:

$CO_2$ :  $P_0 \frac{V}{4} = \nu_0 RT_0$

$$P_0 \frac{V}{4} = \nu_0 RT_0$$

~~$P_1 \frac{V}{100} = (\nu_0 + \nu) RT$~~

$$P_1 \frac{V \cdot 0.55}{100} = (\nu_0 + \nu) RT$$

$H_2O$ : при температуре  $373^\circ K$  давление паров воды  $P_{atm} = 2P_0$

по закону Гейлюса  $P_2 = 2P_0 + P_1$

$$\frac{T}{T_0} = \frac{2(2P_0 + P_1)}{5P_0}$$

$$\nu_0 = \frac{P_0 V}{4RT_0} \Rightarrow P_1 = \frac{\left(\frac{P_0 V}{4RT_0} + 0.55 k P_0 V\right) RT}{0.55 V} = \frac{P_0 \left(\frac{1}{RT_0} + k\right) RT}{4.22}$$

$$P_1 = \frac{P_0 T}{2.2 T_0} + \frac{4RT P_0}{2.2}$$

$$P_{atm} = 4P_0 + 2P_1 = \frac{5P_0 T}{T_0}$$

$$2P_1 = \frac{5P_0 T}{2T_0} + 2P_0$$

$$\frac{5P_0 T}{2T_0} -$$

*Handwritten signature*

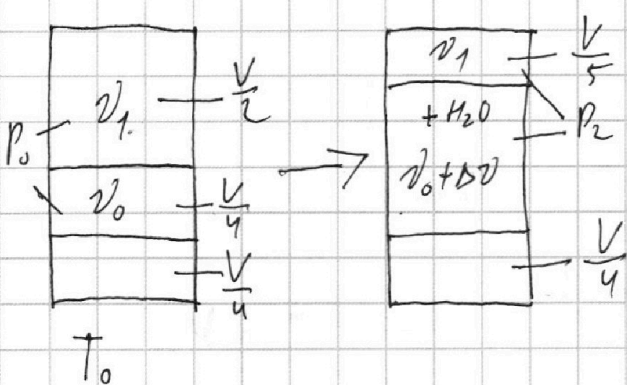
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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) ЗМК:

$$\frac{1}{2} P_0 V = v_1 R T_0$$

$$\frac{1}{4} P_0 V = v_0 R T_0$$

$$\frac{v_1}{v_0} = \frac{\frac{1}{2} \frac{P_0 V}{R T_0}}{\frac{1}{4} \frac{P_0 V}{R T_0}} = \frac{4}{2} = 2$$

2)  $\Delta v = k P W = k P_0 \frac{V}{4}$

по закону Гей-Люссака:  $P_2 = 2P_0 + P_1 - p_{ге}$   
 $2P_0$  - давление пара а  $P_1$  - давление  $CO_2$

ЗМК:  $\frac{1}{5} P_2 V = v_1 R T$   
 $\frac{11}{20} P_1 V = (v_0 + \Delta v) R T \Rightarrow \frac{\frac{1}{5} P_2}{\frac{11}{20} P_1} = \frac{v_1 R T}{(v_0 + \Delta v) R T} \Rightarrow$

$$\Rightarrow \frac{P_2}{P_1} = \frac{v_1}{v_0 + \Delta v} \frac{20}{55}$$

$$v_1 R T = P_2 \frac{V}{5} \Rightarrow \cancel{v_1} \frac{RV}{5RT} v_1 = \frac{RV}{5RT}$$

$$\Rightarrow \frac{P_2}{P_1} = \frac{2RV}{5RT} \Rightarrow \frac{P_1 + 2P_0}{P_1} = \frac{2V}{5RT} \frac{(P_1 + 2P_0)}{P_0 \left( \frac{2V}{5RT} + k \frac{V}{4} \right) + P_1 \left( \frac{P_2 V}{5RT} \right)} \frac{20}{55}$$

$$\frac{\frac{1}{2} P_0 V}{T_0} = \frac{P_2 \frac{V}{5}}{T} \Rightarrow \frac{T}{T_0} = \frac{2}{5} \frac{2P_0 + P_1}{P_0}$$

14CT 5

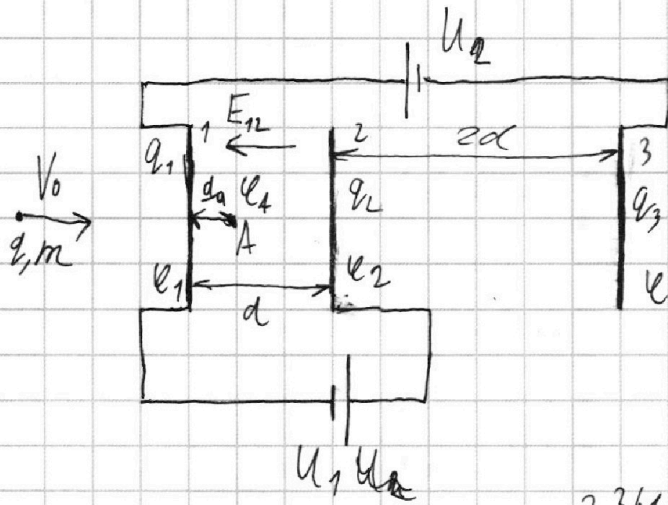
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

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) Запишем разности потенциалов для пластин 1 и 2:

$$U_2 - U_1 = U_1 = E_{12} d \Rightarrow$$

$$E_{12} = \frac{U_1}{d}$$

$$F = Eq = E_{12} q$$

$$2) \text{ЗМ: } ma = F \Rightarrow a = \frac{F}{m} = \frac{E_{12} q}{m}$$

$$a = \frac{E_{12} q}{m} = \frac{U_1 q}{md} = \frac{U q}{md}$$

Ответ:  $\frac{Uq}{md}$

2) ЗСЭ:  $K_1 + \Pi_1 = K_2 + \Pi_2 = K_0$  где  $\Pi_1$  и  $\Pi_2$  — потенциалы энергии при пролете сеток 1 и 2, а  $K_0$  — кин. энергия частицы в начальном моменте. Так сетки

и кин. энергия частицы в начальном моменте.

В начальный момент все заряжены  $q_1 + q_2 + q_3 = 0 \Rightarrow$

$$\begin{cases} q_1 + q_2 + q_3 = 0 \\ q_1 - q_3 = U_2 = 3U \\ q_2 - q_1 = U_1 = U \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} 3q_1 = 2U \\ q_2 = \frac{5}{3}U \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} q_1 = \frac{2}{3}U \\ q_2 = \frac{5}{3}U \end{cases}$$

$$\text{ЗСЭ: } K_1 + q_1 q = \frac{v_0^2 m}{2} \Rightarrow K_1 = \frac{v_0^2 m}{2} - \frac{2}{3} U q$$

$$K_2 + q_2 q = \frac{v_0^2 m}{2} \Rightarrow K_2 = \frac{v_0^2 m}{2} - \frac{5}{3} U q$$

$$K_1 - K_2 = U q \quad \text{Ответ: } U q$$

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!

$$3) \varphi_A - \varphi_1 = \frac{d}{4} E_{12} = \frac{d}{4} \cdot \frac{u}{d} = \frac{u}{4} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \varphi_A = \varphi_1 + \frac{u}{4} = \frac{2}{3} u + \frac{u}{4} = \frac{11}{12} u$$

$$3(7): K_A + \Pi_A = K_0 \Rightarrow K_A + \varphi_A q = \frac{V_0^2 m}{2}$$

$$K_A = \frac{V_0^2 m}{2} - \frac{11}{12} u q$$

$$\frac{m V_A^2}{2} = \frac{V_0^2 m}{2} - \frac{11}{12} u q$$

$$V_A^2 = V_0^2 - \frac{11}{6} \frac{u q}{m}$$

$$V_A = \sqrt{V_0^2 - \frac{11}{6} \frac{u q}{m}}$$

$$\text{Ответ: } \sqrt{V_0^2 - \frac{11}{6} \frac{u q}{m}}$$

ЛМСТ 2

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

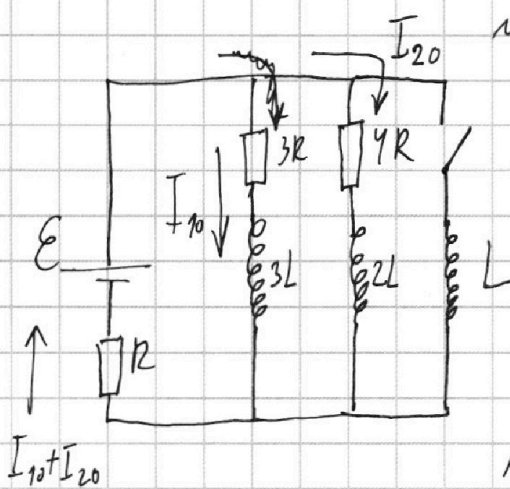
Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:



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!



1) Режим установившийся  $\Rightarrow$

Токи постоянны  $\Rightarrow$

Напряжения на катушках 0.

Пусть ток через  $4R$   $= I_{20}$

тогда по  $3R$  через источник

течет ток  $I_{20} + I_{10}$ .

$$23k: \begin{cases} E = R(I_{10} + I_{20}) + 3I_{10}R = 4I_{10}R + I_{20}R \\ 0 = 3RI_{10} + 4RI_{20} \Rightarrow I_{20} = \frac{3}{4} I_{10} = 0,75 I_{10} \end{cases}$$

$$E = 4,75 I_{10} R \Rightarrow I_{10} = \frac{E R}{4,75 R} = \frac{4}{19} \frac{E}{R}$$

Ответ:  $\frac{4}{19} \frac{E}{R}$

2) время протекшее после размыкания мало  $\Rightarrow$

токи не изменились  $\Rightarrow$  ~~напряжения на катушках~~

~~элементов не изменились~~ Напряжение на

резисторе  $R$  не изменилось  $\Rightarrow$  23k:

$$E = LI' + R(I_{10} + I_{20}) \Rightarrow I' = \frac{E - R(I_{10} + I_{20})}{L} \Rightarrow$$

$$I' = \frac{E - \frac{4}{19} E}{L} = \frac{12}{19} \frac{E}{L} \quad \text{Ответ: } \frac{12}{19} \frac{E}{L}$$



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

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

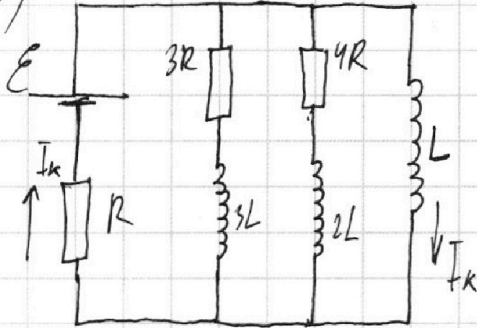
1  2  3  4  5  6  7

МФТИ

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



3)



Рассмотрим режим  
уставившийся после  
замыкания ключа:

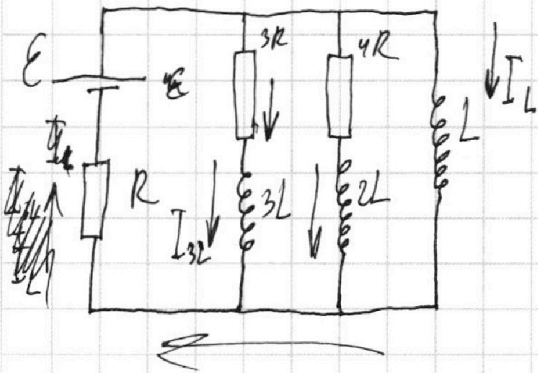
Ток установился  $\Rightarrow$   
напряжения на катушке  $L$   $U_L = 0$

Тогда по 2ЗК напряжения на  $3R$  и  $4R$  также  
нулевые  $\Rightarrow$  ток  $I_k$  течет только через источник,

сопротивление  $R$  и катушку  $L$ . по закону Ома

$$I_k = \frac{E}{R}.$$

Рассмотрим произвольный момент  
после замыкания ключа и перед установкой режима.



2ЗК:  $E = L I_L' + I_L R$

$$3R I_{3L}' + 2 I_{3L}' = L I_L'$$

$$3R q' + q = L I_L' - 3L I_{3L}'$$

про суммируем;

$$3R \Delta q = L \Delta I_L - 3L \Delta I_{3L}$$

$$3R \Delta q = L \left( \frac{E}{R} - 0 \right) - 3L \left( 0 - \frac{4}{19} \frac{E}{R} \right)$$

$$3R \Delta q = L \frac{E}{R} + \frac{12}{19} \frac{E}{R} L = \frac{31}{19} \frac{LE}{R}$$

$$\Delta q = \frac{31}{54} \frac{LE}{R^2}$$

Луст 3

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

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

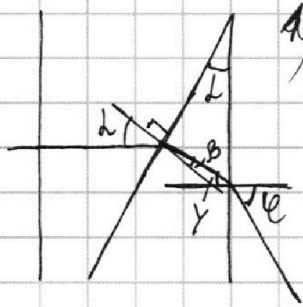
1  2  3  4  5  6  7

**МФТИ**

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



н5



а) ЗС для  $L$  и  $B$ :  $n_1 L = n_2 B$  Так  $L$  и  $B$  - малые

$$B = \frac{n_1 L}{n_2} \quad \gamma = L - B = L \left(1 - \frac{n_1}{n_2}\right)$$

ЗС для  $\gamma$  и  $\epsilon$   $n_1 \gamma = n_2 \epsilon$

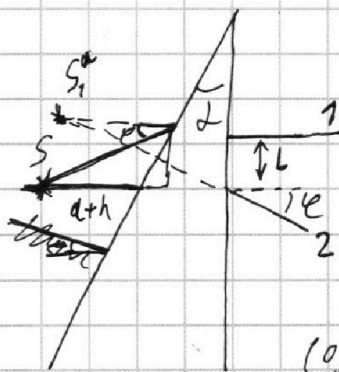
$$\epsilon = \gamma \frac{n_1}{n_2} = \frac{n_1}{n_2} L \left(1 - \frac{n_1}{n_2}\right)$$

Из геометрии системы угол отклонения равен  $\epsilon =$

$$= L \left(\frac{n_2}{n_1} - 1\right) = 0,7L = 0,07 \text{ рад}$$

Ответ:  $0,7L = 0,07 \text{ рад}$

2) Попробуем в прямоугольнике угол отклонения верен для любого малого угла падения.



Так призма тонкая смещением луча можно пренебречь. Пусть луч 1

изначально идет под углом  $\epsilon$  к прямой «линии-глаз». А луч 2 параллельно данному прямому. Тогда после преломления они будут идти как показано на рисунке

(отклонятся на  $\epsilon = 0,7L$ )

расстояние между

точками вхождения лучей

в призму  $L = (a+h) \sin \epsilon = (a+h) \epsilon$

расстояние между изображениями равно  $L$

Так  $\triangle S_1 O A = \triangle S_2 O A$ .

Ответ:  $(a+h) \frac{n_2}{n_1} \left(\frac{n_2}{n_1} - 1\right) L = 1,04 \cdot 0,07 \approx 0,073 \text{ м}$

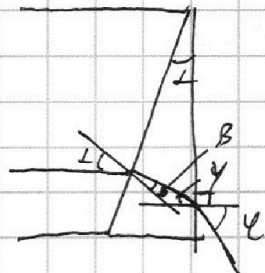
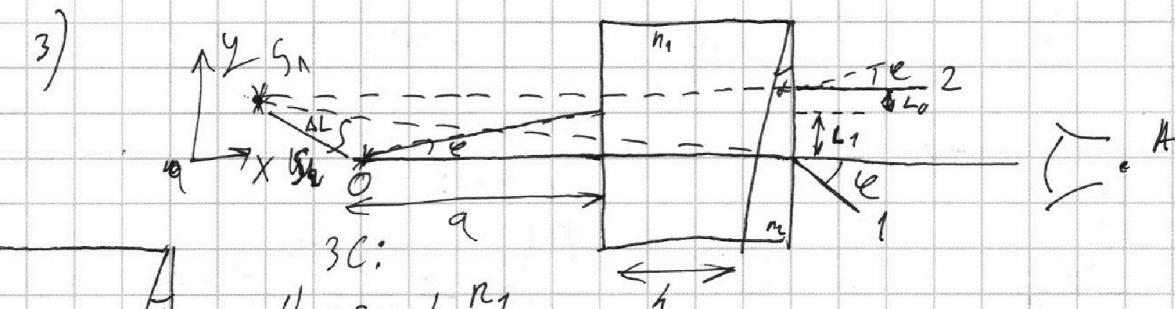
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

- 1  2  3  4  5  6  7

МФТИ

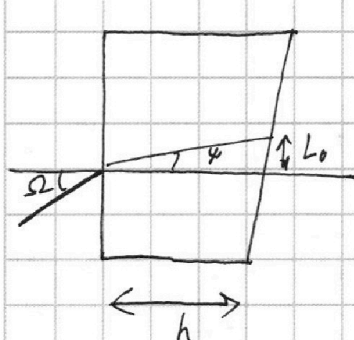
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



$$\gamma = \alpha - \beta = \alpha - \arcsin\left(\frac{n_1}{n_2} \sin \alpha\right)$$

ЗС:  $\psi = \frac{n_2}{n_1} \gamma = \frac{n_2}{n_1} \left( \alpha - \arcsin\left(\frac{n_1}{n_2} \sin \alpha\right) \right) = \alpha \left( \frac{n_2}{n_1} - 1 \right)$

Если же луч падает под углом на призму  $n_1$  то вертикальное отклонение сместится на  $L_0$  расстояние  $L_0$ .



ЗС:  $\psi = \frac{n_1}{n_2} \Omega \Rightarrow L_0 = \frac{1}{n_1} h \Omega$

$L_1 = a \psi$

пусть луч 1 идет параллельно SA тогда он отклонится на угол  $\psi$

пусть луч 2 идет под углом  $\psi$  к SA

тогда он ~~отклонится~~ отклонится на угол  $\psi$  и сместится на  $L_2 = \frac{1}{n_1} h \psi = \frac{1}{n_1} h \left( \frac{n_2}{n_1} \psi - \psi \right) = \frac{1}{n_1} h \left( \frac{n_2}{n_1} - 1 \right) \psi$

продолженные лучи пересекутся в точке

с  $y = L_1 + L_0 = \frac{1}{n_1} h \psi + \frac{1}{n_1} h \left( \frac{n_2}{n_1} \psi - \psi \right) = \frac{1}{n_1} h \left( \frac{n_2}{n_1} \psi \right)$

и  $x = \frac{1}{n_1} h \left( \frac{n_2}{n_1} \psi - \psi \right) = \frac{1}{n_1} h \left( \frac{n_2}{n_1} - 1 \right) \psi$

$AL = \sqrt{x^2 + y^2}$

пусть

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!



Черновик

$$m \frac{F}{m}$$

$$\begin{array}{r} 104. \\ \times 0.07 \\ \hline 0,0728 \end{array}$$

$$\text{кг} \cdot \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}$$

$$\text{кг} \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$v = 4 \text{ p.u. W}$$

$$\cancel{\varphi_2 = \varphi_1 + u_m}$$

$$\Delta v = k P_0 \cdot \frac{V}{4}$$

$$\cancel{\varphi_1 = \varphi_2 + u.}$$

$$\frac{8}{12} + \frac{3}{12} \quad \frac{V}{2} - \frac{V}{5} = \frac{3}{10} V$$

$$\varphi_2 = u + \varphi_1$$

$$\frac{5,5}{10}$$

$$\varphi_3 = \varphi_2 \varphi_1 - u$$

$$y_{\text{нп}} = \frac{3}{4} + \frac{16}{4} = \frac{19}{4}$$

$$\varphi_1 + \varphi_1 + u + \varphi_1 - 3u = 0$$

нп 5

$$3\varphi_1 = 2u$$

$$R \Delta q = L \Delta I = L \frac{E}{R}$$

$$\varphi_1 = \frac{2}{3} u$$

$$\Delta q = \frac{L E}{R^2}$$

$$\varphi_2 = \frac{5}{3} u$$

$$\beta = \frac{n_1}{n_2} \Omega$$

$$\frac{24}{3} u = 8u$$

$$\gamma = L - \beta = L - \frac{n_1}{n_2} \Omega$$

$$e = \frac{n_2}{n_1} \left( L - \frac{n_1}{n_2} \Omega \right)$$

$$e = \frac{n_2}{n_1} L - \Omega$$

