

Олимпиада «Физтех» по физике,
февраль 2023

Вариант 11-03

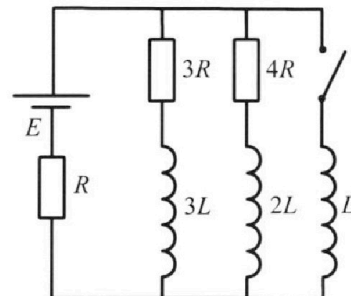
Во всех задачах, в ответах допустимы обыкновенные дроби
и радикалы.



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 $n_{\text{в}} = 1,0$. 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.

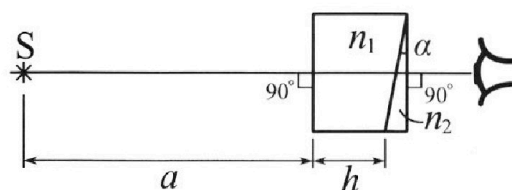


рис.). Угол $\alpha = 0,1$ рад можно считать малым, толщина $h = 14$ см. Толщина призмы с показателем преломления n_2 на прямой «источник – глаз» намного меньше h . Отражения в системе не учитывать.

- 1) Считая $n_1 = n_{\text{в}} = 1,0$, $n_2 = 1,7$, найдите на какой угол отклонится системой луч, идущий от источника перпендикулярно левой грани системы.
- 2) Считая $n_1 = n_{\text{в}} = 1,0$, $n_2 = 1,7$, найдите расстояние между источником и его изображением, которое будет видеть наблюдатель.
- 3) Считая $n_1 = 1,4$, $n_2 = 1,7$, найдите на каком расстоянии от источника будет его изображение, которое увидит наблюдатель.



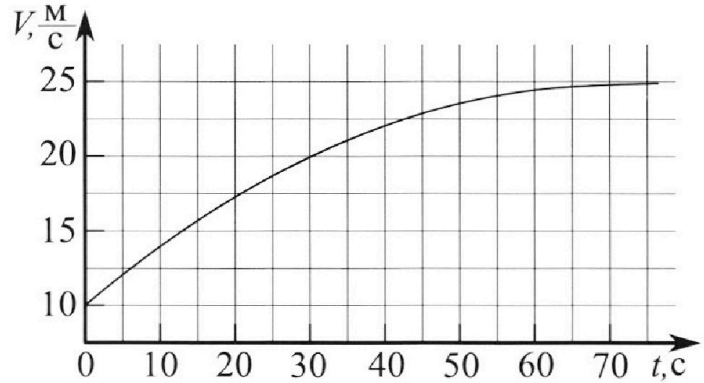
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

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?

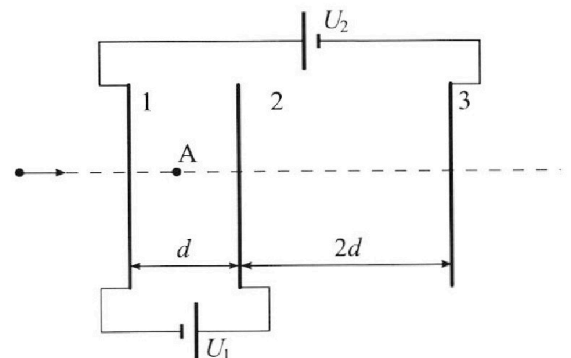
Требуемая точность численного ответа на первый вопрос ориентировочно 10%.

2. Герметичный вертикальный цилиндрический сосуд 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 $P_0 = P_{\text{ATM}}/2$ (P_{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 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/($\text{м}^3 \cdot \text{Па}$). 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.

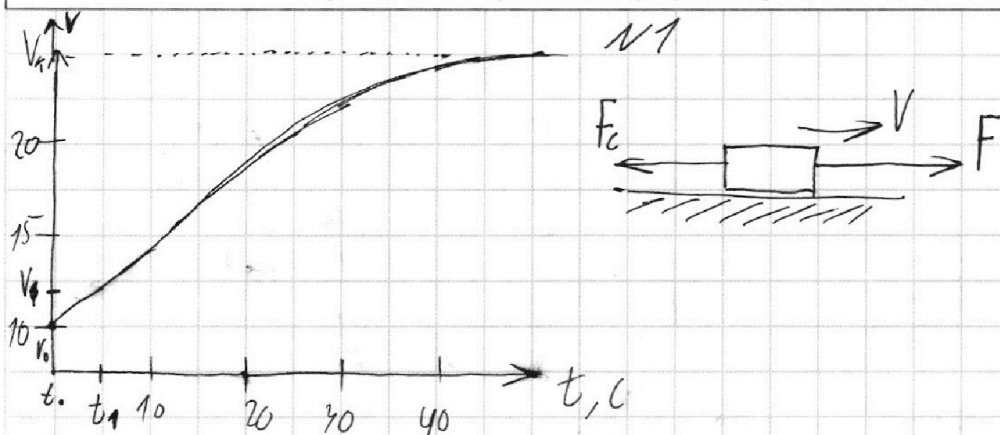
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

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 $v(t)$

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

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

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: $ma = F_k - F_c = F_k - kv = 0$

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

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

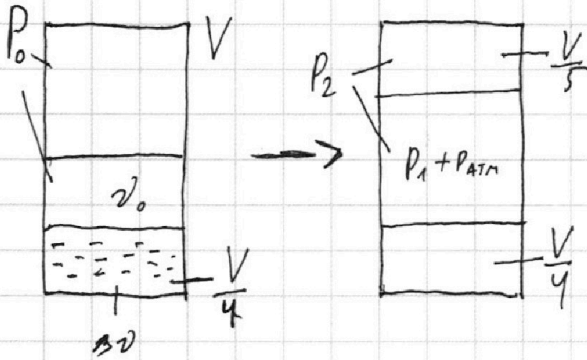
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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:

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

Углекислый газ и вода:

CO_2 : $P_0 \frac{V}{4} = \nu_0 RT_0$
 $P_1 \frac{V \cdot 0.55}{100} = (\nu_0 + \nu) RT$

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

по закону Гиббса $P_2 = 2P_0 + P_1$
 $\frac{T}{T_0} = \frac{2P_0 + P_1}{P_0}$

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

$$P_1 = \frac{P_0 T}{2.2 T_0} + \frac{4 RT P_0}{2.2} \quad P_{atm} = 4 P_0 + 2 P_1 = \frac{5 P_0 T}{T_0}$$

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

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

Handwritten signature

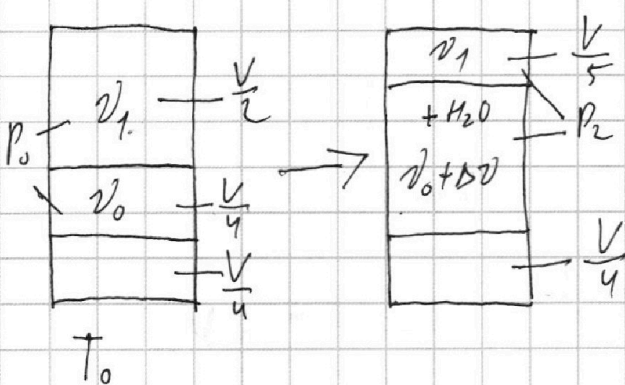
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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

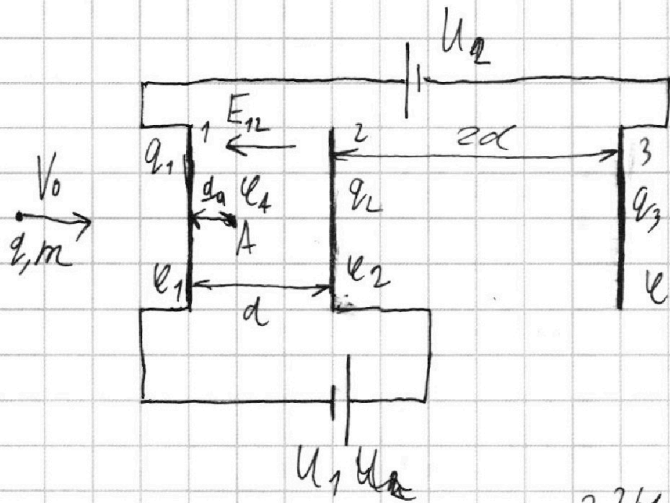
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

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:

$$\varphi_2 - \varphi_1 = U_1 = E_{12} d \Rightarrow$$

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

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

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

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

Ответ: $\frac{Uq}{md}$

2) ЗСЭ: $K_1 + \Pi_1 = K_2 + \Pi_2 = K_0$ где Π_1 и Π_2 — потенциалы энергии при пролете сеток 1 и 2, а K_0 — кин. энергия частицы в начальном моменте. Так сетки

в начальный момент не заряжены.

$$\varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 = 0 \Rightarrow$$

$$\begin{cases} \varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 = 0 \\ \varphi_1 - \varphi_3 = U_2 = 3U \\ \varphi_2 - \varphi_1 = U_1 = U \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} 3\varphi_1 = 2U \\ \varphi_2 = \frac{5}{3}U \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \varphi_1 = \frac{2}{3}U \\ \varphi_2 = \frac{5}{3}U \end{cases}$$

$$\text{ЗСЭ: } K_1 + \varphi_1 q = \frac{v_0^2 m}{2} \Rightarrow K_1 = \frac{v_0^2 m}{2} - \frac{2}{3} U q$$

$$K_2 + \varphi_2 q = \frac{v_0^2 m}{2} \Rightarrow K_2 = \frac{v_0^2 m}{2} - \frac{5}{3} U q$$

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

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.

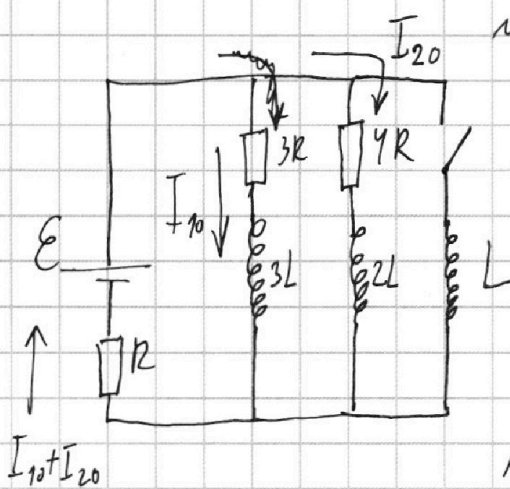
Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:



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 $13k$ через источник

течет ток $I_{20} + I_{10}$.

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

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

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~~:

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

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

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

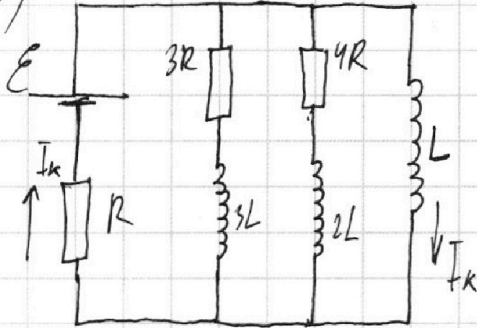
1 2 3 4 5 6 7

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:

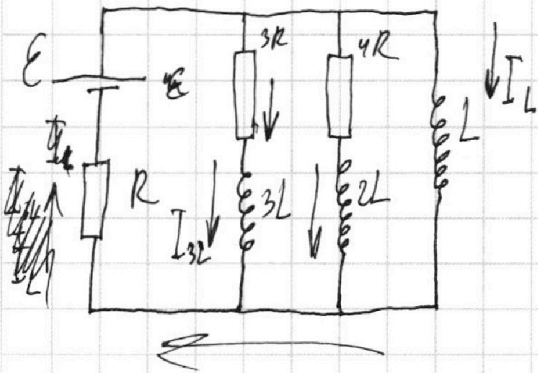
Ток установился \Rightarrow
напряжения на катушке L $U_L = 0$

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: $E = L I_L' + I_L R$

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

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

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:

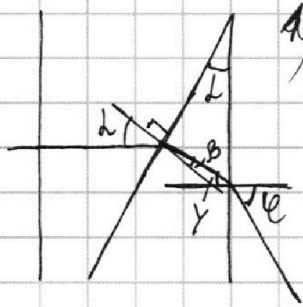
1 2 3 4 5 6 7

МФТИ

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



нс



а) ЗС для n_1 и n_2 : $n_1 \sin \alpha = n_2 \sin \beta$ Так $n_1 > n_2$ - малые

$$\beta = \frac{n_1 \sin \alpha}{n_2} \quad \gamma = \alpha - \beta = \alpha \left(1 - \frac{n_1}{n_2}\right)$$

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

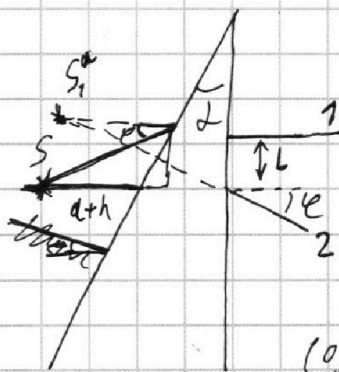
$$\epsilon = \gamma \frac{n_2}{n_1} = \frac{n_2}{n_1} \alpha \left(1 - \frac{n_1}{n_2}\right)$$

из геометрии системы угол отклонения равен $\epsilon =$

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

Ответ: $0,7 \alpha = 0,07 \text{ рад}$

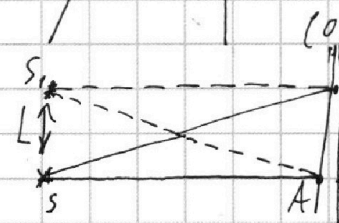
2) Попробуем в прямоугольнике угол отклонения верен для любого малого угла падения.



Так призма тонкая смещением луча можно пренебречь. Пусть луч 1

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

(отклонятся на $\epsilon = 0,7 \alpha$)



расстояние между точками вхождения лучей в призму $L = (a+h) \sin \epsilon = (a+h) \epsilon$

расстояние между изображениями равно L

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

Ответ: $(a+h) \frac{n_2}{n_1} \left(\frac{n_2}{n_1} - 1\right) \alpha = 1,07 \cdot 0,07 \approx 0,0743 \text{ м}$

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

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

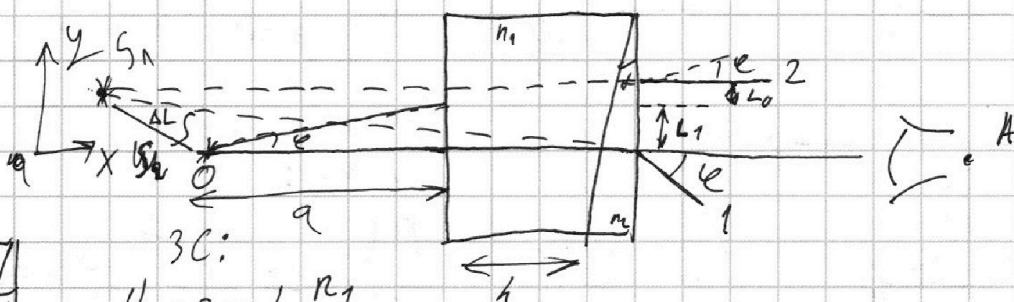
1 2 3 4 5 6 7

МФТИ

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



3)

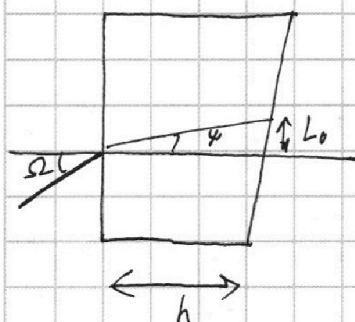


ЗС: $\sin \beta = n_1 \sin \alpha$

$y = d - \beta = d \left(1 - \frac{n_2}{n_1}\right)$

ЗС: $\psi = \frac{n_2}{n_1} \gamma \Rightarrow \gamma = \frac{n_1}{n_2} \psi = d \left(\frac{n_2}{n_1} - \frac{n_2 n_1}{n_1 n_2}\right) = d(n_2 - n_1)$

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 ψ

пусть луч 2 идет под углом ψ к SA

тогда он ~~отклонится~~ отклонится на угол ψ и сместится
на $L_2 = \frac{1}{n_1} h \psi = d h \left(\frac{n_2}{n_1} - 1\right) = d h \left(\frac{1,7}{1,4} - 1\right)$

продолженные лучи пересекутся в точке

$c y = L_1 + L_0 = d h \left(\frac{1,7}{1,4} - 1\right) + a d (n_2 - n_1)$

$x = \frac{a d (n_2 - n_1)}{d h \left(\frac{1,7}{1,4} - 1\right) + a d (n_2 - n_1)} (a + h) - (a + h)$

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

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

$\mu_0 \frac{F}{m}$

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

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

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

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

~~$\mu_2 = \epsilon_1 + u_m$~~

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

~~$\epsilon_1 = \epsilon_2 = u$~~

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

$\epsilon_2 = u + \epsilon_1$

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

$\epsilon_3 = \epsilon_2 \epsilon_1 - u$

$4,27 = \frac{3}{4} + \frac{16}{4} \geq \frac{19}{4}$

$\epsilon_1 + \epsilon_1 + u + \epsilon_1 - 3u = 0$

раз 5

$3\epsilon_1 = 2u$

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

$u_1 = \frac{2}{3} u$

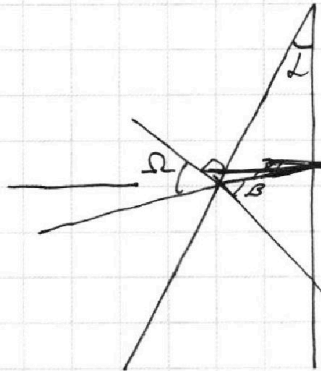
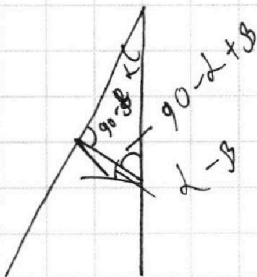
$\Delta q = \frac{LE}{R^2}$

$u_2 = \frac{5}{3} u$

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

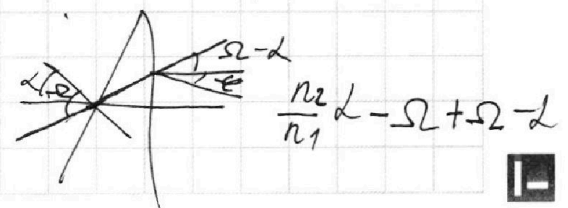
~~$\frac{24}{3} u$~~

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



$\epsilon = \frac{n_2}{n_1} (L - \frac{n_1}{n_2} \Omega)$

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



$\frac{n_2}{n_1} L - \Omega + \Omega - L$