

Олимпиада «Физтех» по физике,
февраль 2023

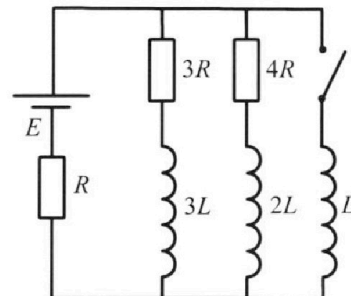
Вариант 11-03

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 $n_{\text{в}} = 1,0$. 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.

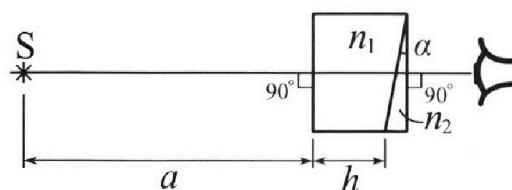


рис.). Угол $\alpha = 0,1$ рад можно считать малым, толщина $h = 14$ см. Толщина призмы с показателем преломления n_2 на прямой «источник – глаз» намного меньше h . Отражения в системе не учитывать.

- 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.



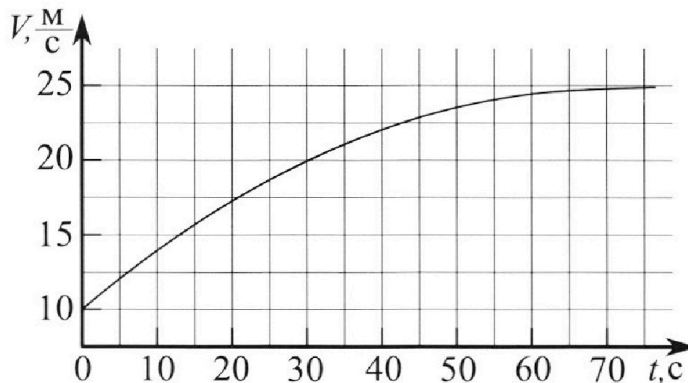
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

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.



- 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?

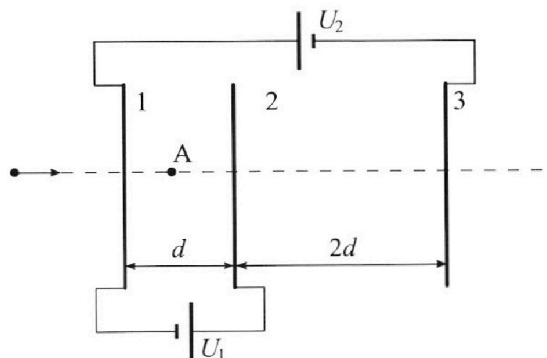
Требуемая точность численного ответа на первый вопрос ориентировочно 10%.

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.

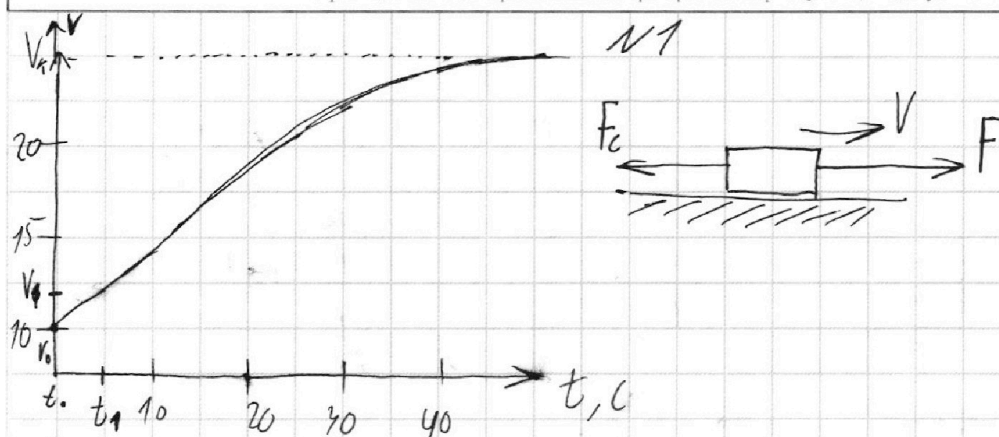
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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 $V_1 \approx 12,5 \text{ м/с}$

$$a_0 = \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{V_1 - V_0}{t_1 - t_0} = \frac{12,5 - 10}{5 - 0} = \frac{2,5}{5} = 0,5 \text{ м/с}^2 \quad \text{Ответ: } 0,5 \text{ м/с}^2$$

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

пропорциональности в зависимости $F_c = \lambda V$.

Так как в конце разгона скорость становится

постоянной то 2ЗМ: $ma = F_k - F_c = F_k - \lambda V = 0$

$$\Rightarrow \lambda V_k = F_k \Rightarrow \lambda = \frac{F_k}{V_k} \quad \text{где } V_k \text{ — скорость в}$$

конце разгона. Тогда в начале разгона:

$$2ЗМ: ma_0 = F_0 - \lambda V_0 = F_0 - \frac{F_k}{V_k} V_0 \Rightarrow$$

$$F_0 = ma_0 + \frac{F_k}{V_k} V_0 = 1500 \cdot 0,5 + \frac{600}{25} \cdot 10 = 750 + 240 = 990 \text{ Н}$$

Ответ: 990 Н

$$3) P_0 = F_0 V_0 = 990 \cdot 10 = 9900 \text{ Вт}$$

Ответ: 9900 Вт

Лист 1

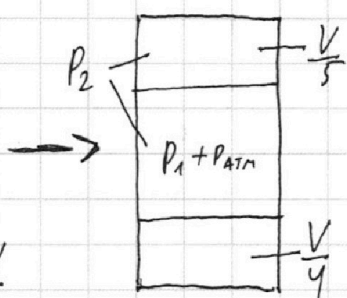
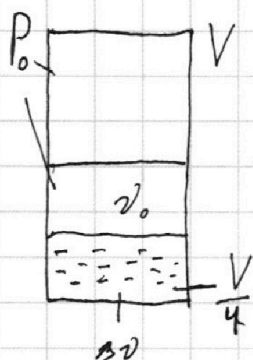
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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 : $P_0 \frac{V}{4} = \nu_0 R T_0$

$$P_0 \frac{V}{4} = \nu_0 R T_0$$

$$P_1 \frac{V}{100} = (\nu_0 + \nu_{\text{H}_2\text{O}}) R T$$

$$P_1 \frac{V}{100} = (\nu_0 + \nu_{\text{H}_2\text{O}}) R T$$

H_2O : при температуре 373°C давление
паров воды $P_{\text{атм}} = 2P_0$

$$\frac{T}{T_0} = \frac{2P_0 + P_1}{P_0} \quad \text{по закону Гей-Люссака} \quad P_2 = 2P_0 + P_1$$

$$\nu_0 = \frac{P_0 V}{4 R T_0} \Rightarrow P_1 = \frac{\left(\frac{P_0 V}{4 R T_0} + 0,25 k P_0 V\right) R T}{0,55 V} = \frac{P_0 \left(\frac{1}{4 R T_0} + k\right) R T}{0,55}$$

$$P_1 = \frac{P_0 T}{2,2 T_0} + \frac{4 R T P_0}{2,2}$$

$$P_2 = 4P_0 + 2P_1 = \frac{5P_0 T}{T_0}$$

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

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

Черновик

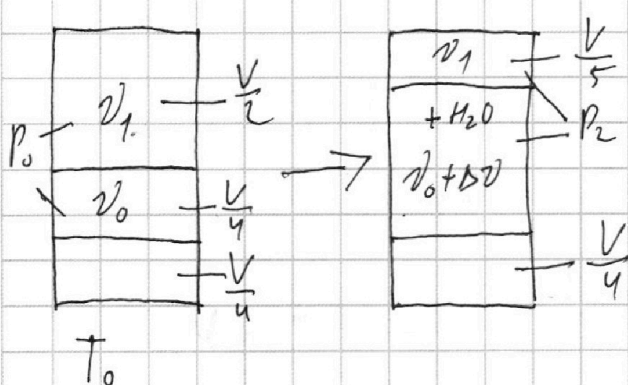
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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: $P_2 = 2P_0 + P_1 - \rho g h$
 $2P_0$ - давление пара а P_1 - давление CO_2

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

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

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

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

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

ИУСТ 5

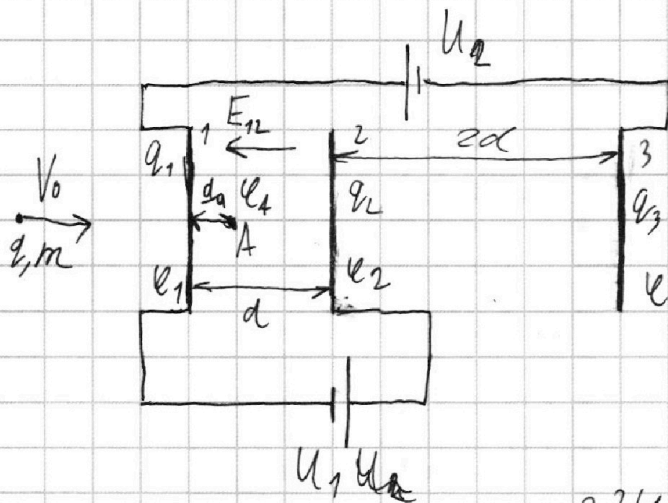
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐

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

МФТИ



1) Запишем разности потенциалов для пластин 1 и 2:

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

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

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

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

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

$$\text{Ответ: } \frac{U q}{md}$$

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 — кинетическая энергия частицы в начальном моменте. Так сетки

в начальный момент не заряжены $q_1 + q_2 + q_3 = 0 \Rightarrow$

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

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

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

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

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

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐

 МФТИ

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Лист 2

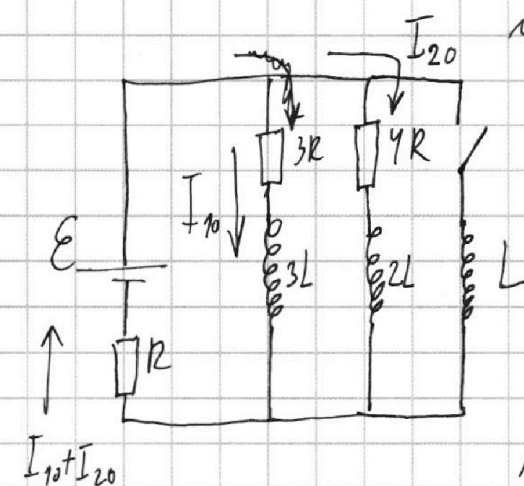
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

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 $13R$ через источник

тот ток $I_{20} + I_{10}$.

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

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

Ответ: $\frac{4}{19} \frac{E}{R}$

2) время прошедшее после размыкания ключа $\Rightarrow$

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

~~элементов не изменились~~ Напряжение на

резисторе R не изменилось $\Rightarrow$ 23k:

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

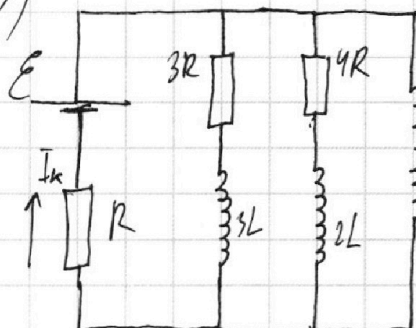
$$I' = \frac{E - \frac{4}{19}E}{L} = \frac{12}{19} \frac{E}{L} \quad \text{Ответ: } \frac{12}{19} \frac{E}{L}$$

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)

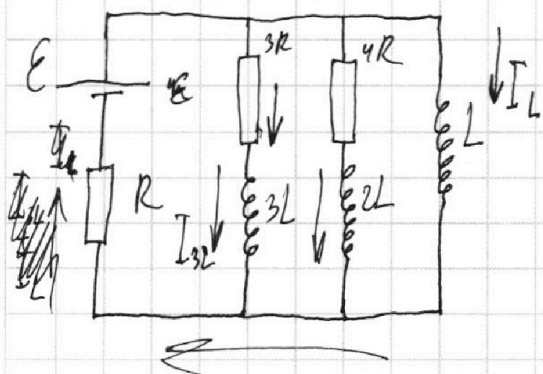


Рассмотрим режим
уставившийся после
замыкания ключа:

Ток установился $\Rightarrow$
напряжение 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: $E = L I_L' + I_L R$

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

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

по суммируем;

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

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

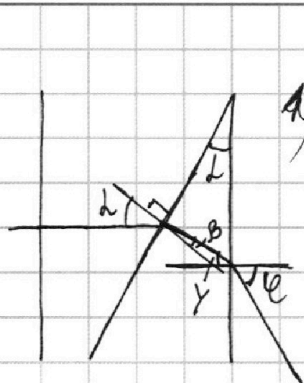
$3R \Delta I = L \frac{E}{R} + \frac{12}{19} \frac{E}{R} L = \frac{31}{19} \frac{LE}{R}$

$\Delta I = \frac{31}{57} \frac{LE}{R^2}$

ИУСТ 3

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!



а) ЗС для L и β : $L n_1 = \beta n_2$ Тк L и β - малы

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

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

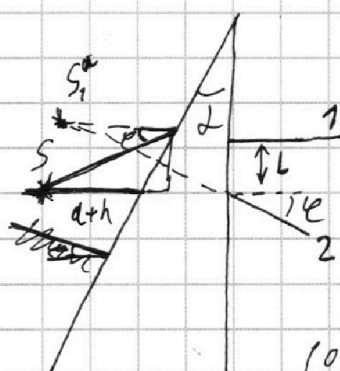
$$\epsilon = \gamma \frac{n_2}{n_1} = \frac{n_2}{n_1} L \left(1 - \frac{n_1}{n_2}\right)$$

из геометрии системы угол отклонения равен $\epsilon =$

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

Ответ: $0,7 L = 0,07 \text{ рад}$

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



Тк призма тонкая смещением луча

можно пренебречь. Пусть луч 1

изначально идет под углом ϵ к прямой

«линейка-глаз» А луч 2 параллельно

данной прямой. Тогда после преломления

они будут идти как показано на рисунке

(отклонятся на $\epsilon = 0,7 L$)

расстояние между

точками входа лучей

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

расстояние между изображениями равно L

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

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

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

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

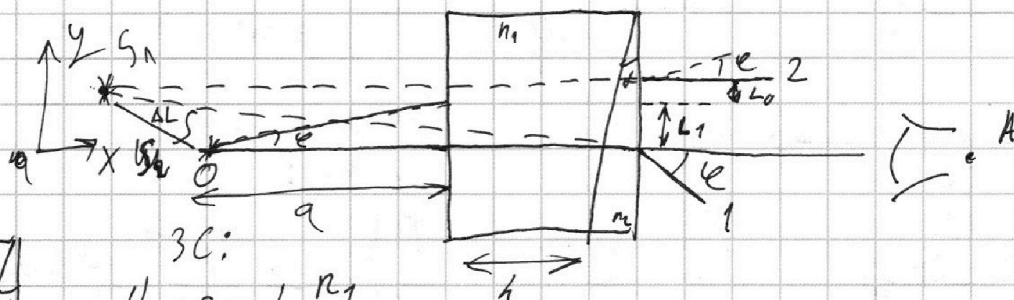
1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☒ 6 ☐ 7 ☐

МФТИ

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



3)

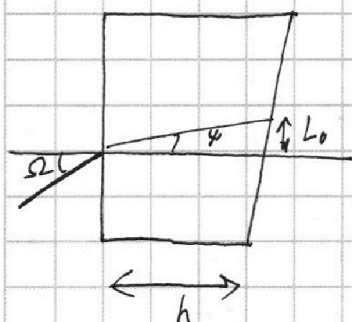


$$\text{ЗС: } \beta = \alpha \frac{n_1}{n_2}$$

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

$$\text{ЗС: } \varphi = \frac{n_2}{n_0} \gamma = \alpha \left(\frac{n_2}{n_0} - \frac{n_2 n_1}{n_0 n_2}\right) = \alpha (n_2 - n_1)$$

Если же луч падает под углом на призму n_1 то
полюс отклонения он сместится на L_0 расстояние L_0 .



$$\text{ЗС: } \varphi = \frac{n_0}{n_1} \alpha \Rightarrow L_0 = \frac{1}{n_1} h \alpha$$

$$L_1 = a \varphi$$

пусть луч 1 идет параллельно SA
тогда он отклонится на угол φ

пусть луч 2 идет под углом φ к SA

тогда он ~~отклонится~~ ^{отклонится} на угол φ и сместится
на $L_2 = \frac{1}{n_1} h \varphi = \alpha h \left(\frac{n_2}{n_1} - 1\right) = \alpha h \left(\frac{1.7}{1.4} - 1\right)$

продолжение лучей пересекутся в точке

$$c \quad y = L_1 + L_0 = \alpha h \left(\frac{1.7}{1.4} - 1\right) + a \alpha (n_2 - n_1)$$

$$и \quad x = \frac{a \alpha (n_2 - n_1)}{\alpha h \left(\frac{1.7}{1.4} - 1\right) + a \alpha (n_2 - n_1)} (a + h) - (a + h)$$

$$\Delta L = \sqrt{x^2 + y^2}$$

Итого



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!

Черновик

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

$$\begin{array}{r} 1,04 \cdot \\ \times 0,04 \\ \hline 0,0428 \end{array}$$

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

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

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

$$\varphi_2 = \varphi_1 + u$$

$$\Delta v = k p_0 \cdot \frac{V}{4}$$

$$\varphi_1 \neq \varphi_2 + u$$

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

$$\varphi_2 = u + \varphi_1$$

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

$$\varphi_3 = u_2 \varphi_1 - u$$

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

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

нх

$$3\varphi_1 = 2u$$

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

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

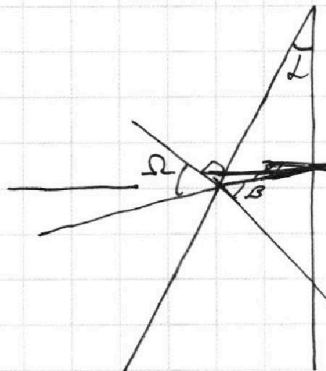
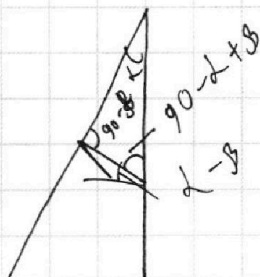
$$\Delta q = \frac{L E}{R^2}$$

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

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

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

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



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

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

