



Олимпиада «Физтех» по физике,  
февраль 2023

Вариант 11-01

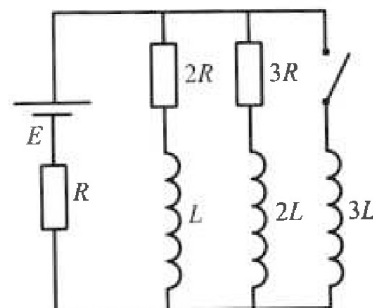
Во всех задачах, в ответах допустимы обыкновенные дроби  
и радикалы.



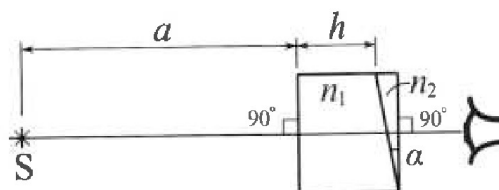
4. Параметры цепи указаны на схеме, все элементы идеальные. Ключ разомкнут, режим в цепи установился. Затем ключ замыкают.

- 1) Найти ток  $I_0$  через резистор с сопротивлением  $2R$  при разомкнутом ключе.
- 2) Найти скорость возрастания тока в катушке индуктивностью  $3L$  сразу после замыкания ключа.
- 3) Какой заряд протечет через резистор с сопротивлением  $2R$  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  $n_b = 1,0$ . Точечный источник света S расположен на расстоянии  $a = 194$  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  $h = 9$  см. Толщина призмы с показателем преломления  $n_2$  на прямой «источник – глаз» намного меньше  $h$ . Отражения в системе не учитывать.



- 1) Считая  $n_1 = n_b = 1,0$ ,  $n_2 = 1,7$ , найдите на какой угол отклонится системой луч, идущий от источника перпендикулярно левой грани системы.
- 2) Считая  $n_1 = n_b = 1,0$ ,  $n_2 = 1,7$ , найдите расстояние между источником и его изображением, которое будет видеть наблюдатель.
- 3) Считая  $n_1 = 1,5$ ,  $n_2 = 1,7$ , найдите на каком расстоянии от источника будет его изображение, которое увидит наблюдатель.



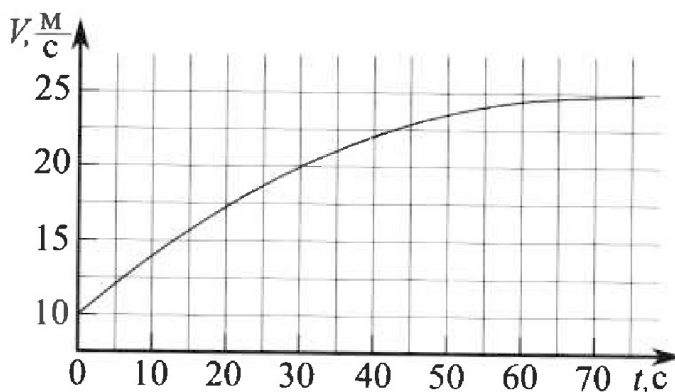
# Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

## Вариант 11-01

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



1. Автомобиль массой  $m = 1800$  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  $F_k = 500$  Н. Считать, что при разгоне сила сопротивления движению пропорциональна скорости.



1) Используя график, найти ускорение автомобиля при скорости  $V_1 = 20$  м/с.

2) Найти силу тяги  $F_1$  при скорости  $V_1$ .

3) Какая мощность  $P_1$  передается от двигателя на ведущие колеса при скорости  $V_1$ ?

Требуемая точность численного ответа на первый вопрос ориентировочно 10%.

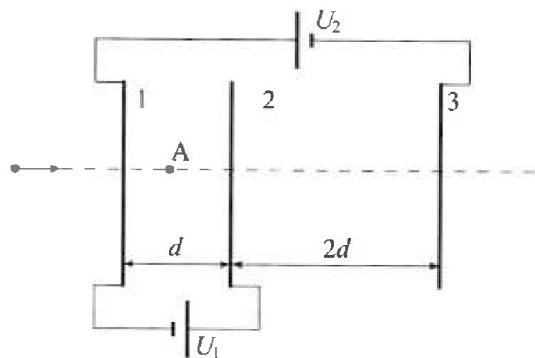
2. Герметичный вертикальный цилиндрический сосуд объёмом  $V$  разделён тонким невесомым теплопроводящим герметичным поршнем (диск соосный с сосудом) на две равные части. Поршень может перемещаться без трения. В верхней части цилиндра находится углекислый газ, а в нижней - вода и углекислый газ. В начальный момент система находилась в равновесии при комнатной температуре  $T_0$ . При этом жидкость занимала объём  $V/4$ . Затем цилиндр медленно нагрели до  $T = 5T_0/4 = 373$  К. Установившийся объём его верхней части стал равен  $V/5$ .

По закону Генри, при заданной температуре количество  $\Delta n$  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  $k \approx (1/3) \cdot 10^{-3}$  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 начальное давление в сосуде  $P_0$ . Ответ выразить через  $P_{\text{атм}}$  (нормальное атмосферное давление) с числовым коэффициентом в виде обыкновенной дроби.

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  $U_2 = 4U$ . 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  $d/3$  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                        |
| <input checked="" type="checkbox"/> | <input 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!



- 1) Найдём ускорение автомобиля при  $V_1 = 20 \frac{m}{s}$ , как производную графика  $V(t)$  в этой точке (коэффициент наклона касательной в этой точке)

ускорение автомобиля при  $V = V_1$

$$a_1 = \frac{dV}{dt}(V=V_1) ; a_1 = \frac{22,5 \frac{m}{s} - 13,5 \frac{m}{s}}{40s - 20s} = \frac{5 \frac{m}{s}}{20 \frac{s}{s}} = 0,25 \frac{m}{s^2}$$

$\Delta V = F_c$  - сила сопротивления

2)



$F_m$  - сила тяги двигателя

2-ой закон Н.:  $F_m - F_c = ma$

$F_m - \Delta V = ma$

В конце разгона:

$V_2 = 25 \frac{m}{s}$  (из графика) -  $V_2$  - скорость в конце разгона  
 $a_2 \approx 0$  - ускорение в конце разгона

$F_k - \Delta V_2 = ma_2 \Rightarrow F_k = \Delta V_2 \Rightarrow \Delta = \frac{F_k}{V_2}$

При скорости  $V = V_1$ :

$F_1 - \Delta V_1 = ma_1$

$F_1 = ma_1 + F_k \frac{V_1}{V_2} ; F_1 = 1800 \text{ кг} \cdot 0,25 \frac{m}{s^2} + 500 \text{ Н} \cdot \frac{20 \frac{m}{s}}{25 \frac{m}{s}} =$

$= 450 \text{ Н} + 400 \text{ Н} = 850 \text{ Н}$

3)  $P = F \cdot V \Rightarrow P_1 = F_1 V_1$

$P_1 = 12000 \text{ Вт} = 12 \text{ кВт}$

Ответ:  $0,25 \frac{m}{s^2} ; 850 \text{ Н} ; 12 \text{ кВт}$

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!



Поршень в равновесии  $\Rightarrow$  давление газов одинаково

1)  $\begin{cases} p_0 \frac{V}{2} = \nu_0 R T_0 \\ p \cdot (V - \frac{V}{4} - \frac{V}{2}) = \nu_1 R T_0 \end{cases}$

$\frac{V_0}{V_1} = \frac{V}{2(V - \frac{V}{4} - \frac{V}{2})} = \frac{4}{2} = 2$

2)  $\Delta V = k p_0 \frac{V}{4}$  - расширение в канале ~~какой~~ кан-во в-ва газа

При  $T$  газ в воде не расширяется  $\Rightarrow$   
 $\Rightarrow V_2 = V_1 + \Delta V$  - кан-во в-ва газа

$$V_2 = V_1 + \frac{k p_0 V}{4} = \frac{V_0}{2} + \frac{k p_0 V}{4}$$

Поршень в равновесии  $\Rightarrow$  давление газов равно:

$$\begin{cases} \frac{p_1 V}{5} = \nu_0 R T \\ p_2 (V - \frac{V}{4} - \frac{V}{5}) = \nu_2 R T \end{cases} \quad \begin{aligned} p_1 &= \frac{5 \nu_0 R T}{V} \\ p_2 &= \frac{20 \nu_1 R T}{11 V} \end{aligned}$$

~~$$\frac{p_1 V}{5} = \frac{p_2 (V - \frac{V}{4} - \frac{V}{5})}{1}$$~~

$p_2$  - парциальное давление газа снизу при  $T$

$p_1$  - парциальное давление газа сверху при  $T$

Условие равновесия поршня:

$\Rightarrow p_1 = p_2 + p_0$ , где  $p_0$  - давление водяных паров при  $T = 133^\circ \text{K}$  ( $p_0 = p_{\text{атм}} = 100 \text{ кПа}$ )

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!



$\sim 2$  (проверено)

$$\frac{5 V_0 R T}{V} = \frac{20 V_2 R T}{11 V} + p_8$$

$$p_0 V = 2 V R T_0 = 2 V R T$$

$$= 2 \cdot \frac{5}{8} V R T_0 \left( \text{и. н. } T = \frac{5}{4} T_0 \right)$$

$$\frac{25}{8} p_0 = \frac{10 R T}{11 V} \left( V_0 + \frac{K p_0 V}{2} \right) = p_{ATM}$$

$$V R T = \frac{5}{8} p_0 V$$

$$\frac{25}{8} p_0 - \frac{10}{11} \cdot \frac{5}{8} p_0 = \frac{10}{11} \frac{K R T p_0}{2} = p_{ATM}$$

$$K \cdot R T = \frac{1}{3 \cdot 10^3} \frac{\mu \text{мол}}{\text{м}^2} \cdot 3 \cdot 10^3 \frac{\text{м}^2}{\text{мол}}$$

$$= 1$$

$$\frac{25}{8} p_0 - \frac{10}{11} \cdot \frac{5}{8} p_0 - \frac{10}{11} \cdot \frac{1}{2} p_0 = p_{ATM}$$

$$\frac{5}{8} p_0 \left( \frac{5}{8} - \frac{10}{11} \right) - \frac{10}{11} \cdot \frac{1}{2} p_0 = p_{ATM}$$

$$\left( \frac{5 \cdot 45}{8 \cdot 11} - \frac{10}{11} \cdot \frac{1}{2} \right) p_0 = p_{ATM}$$

$$\frac{225 - 80}{11} p_0 = p_{ATM}$$

$$\frac{185}{11} p_0 = p_{ATM} \Rightarrow p_0 = \frac{88}{185} p_{ATM}$$

Ответ:  $2; \frac{88}{185} p_{ATM}$

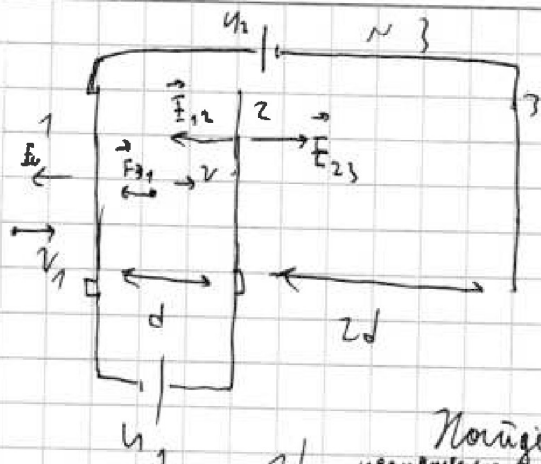


На одной странице можно оформлять только одну задачу.  
Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

|                          |                          |                                     |                          |                          |                          |                          |
|--------------------------|--------------------------|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 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!



$$U_1 = U$$

$$U_2 = 4U$$

$d \ll \text{размеров пластин}$   
 $\Rightarrow E_{12} \text{ и } E_{23} \sim \text{const}$

1/ Найдём  $E_{12}$  и  $E_{23}$ :  
напряжения между 1 и 2  
$$\begin{cases} U_1 = E_{12} \cdot d \\ U_2 + U_1 = E_{23} \cdot 2d \end{cases}$$
  
напряжения между 2 и 3

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

$$E_{23} = \frac{U_1 + U_2}{2d}$$

$F_{21}$  — сила действующая на заряды в области 1-2

$F_{21} = F_{12} \cdot q = m a_1$   $a_1$  — ускорение заряды в области 1-2

$$\frac{U_1 q}{d} = m a_1 \Rightarrow a_1 = \frac{U_1 q}{m d} = \frac{U q}{m d}$$

2) ЗЛЭ:

$$K_1 = K_2 + q E_{12} \cdot d$$

энергия электрона      энергия электрона

$$K_1 - K_2 = q E_{12} \cdot d = U_1 q$$

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. Парча QR-кода недопустима!



№3 (неоднородное)

Найти заряд на каждой из емкостей:

$q_2$  - заряд, перенесённый источником  $\mathcal{U}_2$

$q_1$  - заряд, перенесённый источником  $\mathcal{U}_1$ ,  
из закона сохр. заряда:

$q_1, q_2, q_3$  -  
заряды  
плоскостей  
1, 2, 3

$$q_3 = -q_2$$

$$q_2 = q_1$$

$$q_1 = q_2 - q_3$$

$$E_{12} = \frac{q_2}{2\epsilon_0} - \frac{q_1}{2\epsilon_0} + \frac{q_3}{2\epsilon_0} = \frac{2(q_2 - q_1)}{2\epsilon_0} = \frac{q_1}{d}$$

$$\frac{q_2 - q_1}{\epsilon_0} = \frac{q_1}{d}$$

$$E_{23} = \frac{(q_1 + q_2 - q_3)}{2\epsilon_0} = \frac{2q_2}{2\epsilon_0} = \frac{q_1 + q_2}{2d} \Rightarrow \frac{q_2}{\epsilon_0} = \frac{q_1 + q_2}{2d} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{q_1}{\epsilon_0} = \frac{3q_1 + q_2}{2d}$$

$$E_3 = -\frac{q_1 + q_2}{4d} \text{ - поле от пластин 3}$$

$$E_2 = \frac{3q_1 + q_2}{4d} \text{ - поле от пластин 2}$$

$$E_1 = -\frac{2q_1}{4d} = -\frac{q_1}{2d} \text{ - поле от пластин 1}$$

Найти разность потенциалов  $U_1$  при переносе заряда с пластины 1 на пластину 3

Найти разность потенциалов  $U_2$  и  $U_3$ :

Энергия взаимодействия зарядов

$$\frac{m v_0^2}{2} = K_A + q(E_1 \frac{d}{3} + (E_2)^{d - \frac{d}{3}} + (E_3)(d + 2d - \frac{d}{3}))$$

$$\frac{m v_0^2}{2} = \frac{m v^2}{2} + q \left( \frac{q_1}{6} + \frac{3q_1 + q_2}{6} - \frac{q_1 + q_2}{6} \right)$$

$$v^2 = v_0^2 + \frac{2q}{m} \left( \frac{q_1 + 3q_2}{6} \right) = \sqrt{v_0^2 + \frac{q^2}{3m}}$$

Ответ:  $\frac{U_1}{m d}$ ;  $U_1, q$ ;  $\sqrt{v_0^2 + \frac{12 q^2}{3 m}}$

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 checked="" 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!



1) *поиск токов*  $\Rightarrow$  через  $3L$  ток не течет

$I_{20}$  - ток через резистор  $3R$

Решим установившийся  $\Rightarrow$   
 $\Rightarrow \dot{I}_{10} = \dot{I}_{20} = 0$  ( $I_{10} = \cos t, I_{20} = \cos t$ )  $\Rightarrow$   
 $\Rightarrow$  ЭДС скомпенсированы в контуре  $0$

2-е правило Кирхгофа:

$$\begin{cases} \mathcal{E} = I_{10} \cdot 2R + (I_{10} + I_{20})R \\ \mathcal{E} = I_{20} \cdot 3R + (I_{10} + I_{20})R \end{cases}$$

$$I_{10} \cdot 2R = I_{20} \cdot 3R \Rightarrow I_{20} = \frac{2}{3} I_{10}$$

$$\mathcal{E} = I_{10} \cdot 2R + \left( I_{10} + \frac{2}{3} I_{10} \right) R = I_{10} R \left( 2 + 1 + \frac{2}{3} \right) = \frac{11}{3} I_{10} R$$

$$I_{10} = \frac{3\mathcal{E}}{11R}$$

2)  $I_3$  - ток через  $3L$  *в начальный момент*  
*токи через катушки не меняются*

$$\mathcal{E} = 3L \cdot \dot{I}_3 + (I_{10} + I_{20})R$$

$$3L \cdot \dot{I}_3 = \mathcal{E} - \frac{5}{3} I_{10} R = \mathcal{E} - \frac{5}{3} \cdot \frac{3}{11} \mathcal{E} = \frac{6}{11} \mathcal{E}$$

$$\dot{I}_3 = \frac{6\mathcal{E}}{3 \cdot 11 L} = \frac{2\mathcal{E}}{11L}$$

3)  $I_1$  - ток через  $1$

$I_2$  - ток через  $2L$  *для контура  $(-2R - L - R)$*

$$\mathcal{E} = R(I_1 + I_2 + I_3) + 2R I_1 + L \dot{I}_1$$

$$\mathcal{E} = 3R I_1 + R(I_2 + I_3) + L \dot{I}_1 \quad | \cdot d +$$

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 type="checkbox"/> | <input checked="" 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. Печать QR-кода недопустима!



~ 4 (продолжение)

$$\mathcal{E} = 3R dq_1 + R dq_2 + R dq_3 + L dI_1 \quad (1)$$

аналогично для контура  $\mathcal{E} - 3R - 2L - R$

$$\mathcal{E} = R(I_1 + I_2 + I_3) + 3I_2 R + L dI_2$$

$$\mathcal{E} d t = 4R dq_2 + R dq_1 + R dq_3 + L dI_2 \quad (2)$$

$$(2) - (1):$$

$$0 = 3R dq_2 - 2R dq_1 + L dI_2 - L dI_1$$

$$2R \int_0^{q_1} dq_1 + L \int_0^{I_1} dI_1 = 3R \int_0^{q_2} dq_2 + L \int_0^{I_2} dI_2$$

$$2R q_1 - L I_1 = 3R q_2 - L I_2$$

$$R(2q_1 - 3q_2) = L \frac{I_1 - I_2}{3}$$

$$2q_1 - 3q_2 = \frac{L \mathcal{E}}{11R^2}$$

для контура  $\mathcal{E} - 3L - R$ :

$$\mathcal{E} = 3L dI_1 + R(dI_1 + dI_2 + dI_3) \quad (3)$$

$$\mathcal{E} d t = 3L dI_1 + R(dI_1 + dI_2 + dI_3) \quad (3)$$

$$(1) - (3): \quad 2R \int_0^{q_1} dq_1 + L \int_0^{I_1} dI_1 - 3L \int_0^{I_1} dI_1 - R \int_0^{I_1} dI_1 - R \int_0^{I_2} dI_2 - R \int_0^{I_3} dI_3 = 0$$

$$2R q_1 = 3L I_1 + L I_1 + R I_1 + R I_2 + R I_3$$

$$q_1 = \left( \frac{3\mathcal{E}}{R} + \frac{3L}{11R} \right) \frac{1}{2R} = \frac{3L}{2R^2} \left( \frac{12}{11} \right) = \frac{36}{22} \frac{L \mathcal{E}}{R^2} = \frac{18}{11} \frac{L \mathcal{E}}{R^2}$$

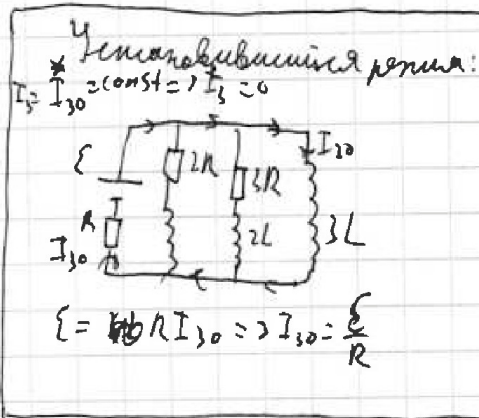
Ответ:  $\frac{3}{11} \frac{\mathcal{E}}{R}, \frac{2}{11} \frac{\mathcal{E}}{L}, \frac{18}{11} \frac{L \mathcal{E}}{R^2}$

$q_1$  - заряд, прошедший  
через  $2R$

$q_2$  - заряд, прошедший  
через  $3R$

$q_3$  - заряд, прошедший  
через  $3L$

В установившемся  
режиме все ток  
пойдёт через  $3L$ ,  
т.е. ток через  $L$  уменьшится  
от  $I_{10}$  до 0, а через  $2L$   
от  $I_{20}$  до 0



$I_{30}$  - ток через  
 $3L$  в установившемся  
режиме

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

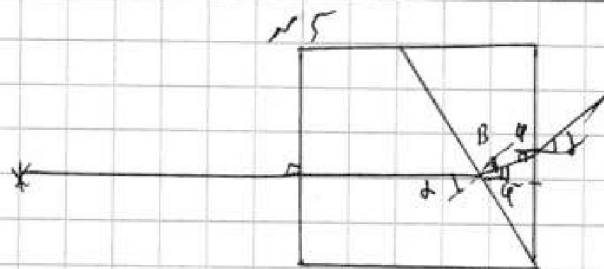
|                          |                          |                          |                          |                                     |                          |                          |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 1                        | 2                        | 3                        | 4                        | 5                                   | 6                        | 7                        |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input checked="" 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!



1)



2-материал

$$\gamma_{\text{полн}} \Rightarrow \Rightarrow \sin \alpha \approx \sin \beta \approx \sin \gamma \approx \sin \delta$$

$$\cos \alpha \approx 1$$

$$n_1 \sin \alpha = n_2 \sin \beta$$

$$n_1 \alpha \approx n_2 \beta \Rightarrow \beta \approx \alpha \frac{n_1}{n_2}$$

$$\frac{\pi}{2} - \beta = \frac{\pi}{2} - \alpha + \varphi \Rightarrow \varphi = \alpha - \beta = \alpha - \alpha \frac{n_1}{n_2} = \alpha \frac{n_2 - n_1}{n_2}$$

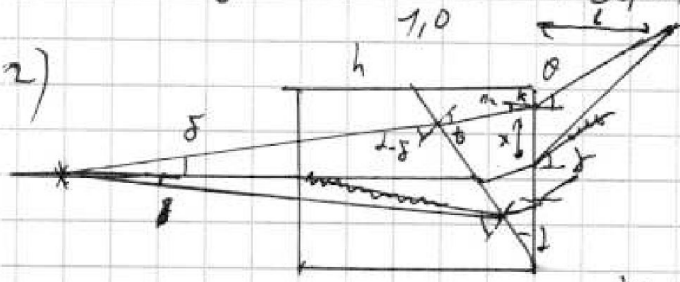
$$n_2 \sin \varphi = n_1 \sin \gamma$$

$$n_2 \varphi \approx n_1 \gamma \Rightarrow \gamma = \frac{n_2 \varphi}{n_1}$$

$$n_1 = n_g = 1,0; n_2 = 1,3:$$

$$\gamma = 0,1 \text{ рад} \cdot \frac{(1,3 - 1,0)}{1,0} \approx 0,03 \text{ рад}$$

2)



$$x \approx \delta(a+h) \text{ (м.к. малых углов при } n_2 \text{ мало)}$$

и 2-материал

$$x + l \tan \theta = l \tan \gamma$$

$$\delta(a+h) = l(\gamma - \theta)$$

$$n_2 \theta = n_1(\alpha - \delta) \Rightarrow \delta = \frac{n_1}{n_2}(\alpha - \delta)$$

$$\frac{n_1}{n_2} \alpha - \theta = \frac{n_1}{n_2} \alpha - \delta + \theta \Rightarrow \theta = \frac{n_1 \delta}{n_2}$$

$$\Rightarrow \theta = \frac{n_1 \delta}{n_2}$$

$$\alpha - \theta = \frac{n_1 \delta}{n_2}$$

$$\delta(a+h) = \frac{n_1 \delta}{n_2} \Rightarrow l = \frac{(a+h)n_2}{n_1}$$

$$S = (a+h) \approx 2(a+h) \text{ (при } n_1 = n_g = 1)$$

Ответ: 0,03 рад; 406 м

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

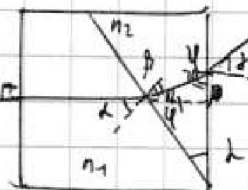
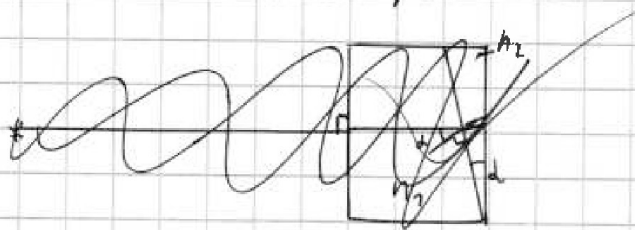
1 ☒ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☒

МФТИ

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

Черновик

1)



$$d - \text{максим. угол} \Rightarrow \\ \Rightarrow \sin d \approx \tan d \approx d \\ \cos d \approx 1$$

$$n_1 \sin d = n_2 \sin \beta$$

$$n_1 d \approx n_2 \beta$$

$$\beta \approx \frac{d n_1}{n_2} \text{ мал}$$

$$n_1 \sin(\alpha - \beta) = n_2 \sin \gamma$$

$$n_1 \cos \alpha \approx n_2 \sin \gamma \Rightarrow n_2 \sin \gamma \approx n_1 \cos \alpha$$

$$\frac{\pi}{2} - \beta = 90^\circ - \alpha + \gamma$$

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

$$n_2 \sin \gamma \approx n_1 \cos \alpha$$

$$n_2 \gamma \approx n_1 \cos \alpha \Rightarrow \gamma \approx \frac{d (n_2 - n_1)}{n_2}$$

$$n_1 = n_2 = 1.0; n_2 = 1.5;$$

$$\gamma \approx \frac{0.1 \text{ рад} \cdot (1.5 - 1.0)}{1.0} = 0.05 \text{ рад}$$

2)



$$n_1 = n_2 \Rightarrow$$

$\Rightarrow$  никакой точки преломления не будет

$$n_1 \sin(\alpha - \delta) = n_2 \sin \beta$$

$$n_1 (\alpha - \delta) \approx n_2 \beta \Rightarrow \beta \approx \frac{n_1}{n_2} (\alpha - \delta)$$

$$\beta \approx \frac{n_1}{n_2} (\alpha - \delta)$$

$$90^\circ - \beta = 90^\circ - \alpha + \delta \Rightarrow \delta = \alpha - \beta = \alpha - \frac{n_1}{n_2} (\alpha - \delta)$$

$$k = \frac{2(n_1 - n_2) - n_1 \delta}{n_2}$$

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. Поня QR-кода неопустима!



|               |       |
|---------------|-------|
| $V_0, V_0$    | $P_0$ |
| $V_1$         | $P_0$ |
| $\frac{V}{4}$ |       |

Черновик

$$V_0 = \frac{V}{2}$$

$V_1$  - кол-во газа  
внизу при  $T$ .

$V_2$  - кол-во газа  
внизу при  $T$

$$P_0 V_0 = \nu_0 k T_0$$

$$V_1 = V_2 - \Delta V = V_2 - \frac{k P_0 V}{4}$$

|               |       |               |
|---------------|-------|---------------|
| $V_0$         | $P_2$ | $\frac{V}{5}$ |
| $V_2$         | $P_2$ | $V_1$         |
| $\frac{V}{4}$ |       |               |

$$V_1 = V - \frac{V}{4} - \frac{V}{5} = \frac{11}{20} V$$

При  $T$  газ не  
наименования  $\Rightarrow$

$\Rightarrow V_2$  - кол-во  
кал-во в-ва  
газа внизу

$$\frac{P_2 V}{5} = \nu_0 k T_0$$

$$\frac{11 P_2 V}{20} = \nu_1 k T$$

$$\frac{V_2}{V_0} = \frac{11}{4} \Rightarrow V_2 = \frac{11}{4} V_0$$

$$\begin{cases} P_0 V_0 = \nu_0 k T_0 \Rightarrow P_0 V = 2 \nu_0 k T_0 \\ P_0 (V - \frac{V}{4} - V_0) = \nu_1 k T_0 \end{cases}$$

$$T = \frac{5 T_0}{4}$$

$$\Rightarrow R T_0 = \frac{4}{5} R T \approx 2,4 \cdot 10^3$$

$$k \cdot R T \approx \frac{1}{1 \cdot 10^3} \cdot 3 \cdot 10^3 \approx 3$$

$$P_0 (V - \frac{V}{4} - V_0) = \nu_1 k T_0$$

$$\frac{P_0 V}{4} = \left( \frac{11}{4} - \frac{k R T_0}{2} \right) P_0 V_0$$

$$P_0 V = \left( \frac{11}{4} - \frac{k R T_0}{2} \right) P_0 V_0$$

$$V_1 = V_2 - \frac{k \cdot V_0 R T_0}{2} = \left( \frac{11}{4} - \frac{k R T_0}{2} \right) V_0$$

$$\frac{V_0}{V_1} = \frac{1}{\frac{11}{4} - \frac{k R T_0}{2}} = \frac{1}{\frac{11}{4} - \frac{k \cdot R T_0 \cdot \frac{4}{5}}{2}} \approx \frac{1}{\frac{11}{4} - \frac{4}{10}} = \frac{1}{2,35 - 0,4} = \frac{1}{1,95} \approx 0,51$$