



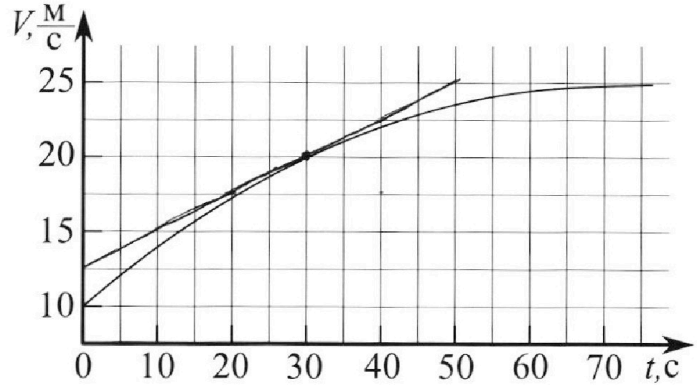
Олимпиада «Физтех» по физике,  
февраль 2023

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.



- Используя график, найти ускорение автомобиля при скорости  $v_1 = 20$  м/с.
- Найти силу тяги  $F_1$  при скорости  $v_1$ .
- Какая мощность  $P_1$  передается от двигателя на ведущие колеса при скорости  $v_1$ ?

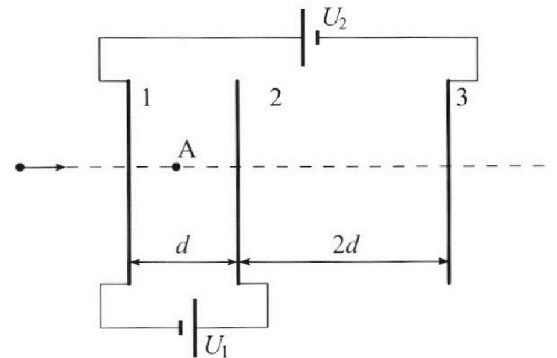
Требуемая точность численного ответа на первый вопрос ориентировочно 10%.

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  $\Delta v$  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  $k \approx (1/3) \cdot 10^{-3}$  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.

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



- 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  $d/3$  от сетки 1.

# Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

## Вариант 11-01

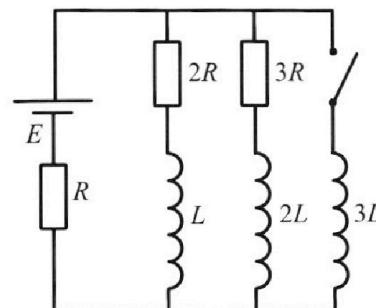
Во всех задачах, в ответах допустимы обыкновенные дроби  
и радикалы.



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

- 1) Найти ток  $I_{10}$  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 ч ислowymi 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.

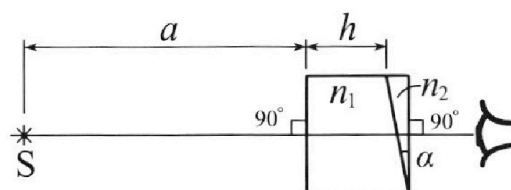


рис.). Угол  $\alpha = 0,1$  рад можно считать малым, толщина  $h = 9$  см. Толщина призмы с показателем преломления  $n_2$  на прямой «источник – глаз» намного меньше  $h$ . Отражения в системе не учитывать.

- 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.

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

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

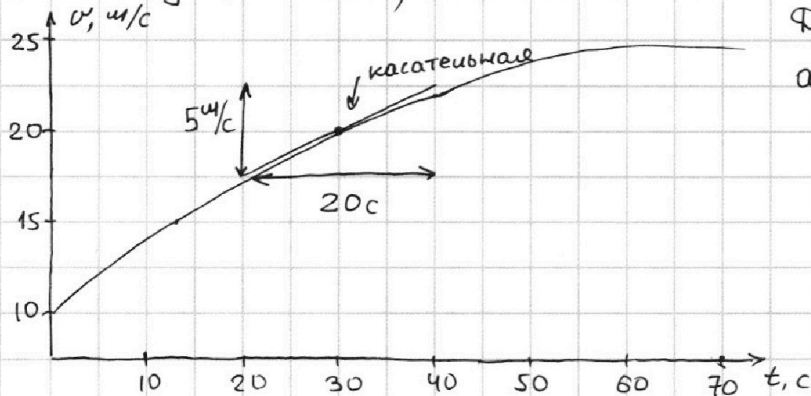
1  2  3  4  5  6  7



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



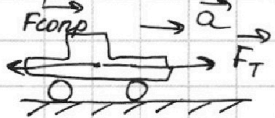
№1 1) Ускорение  $a = \frac{dv}{dt} \Rightarrow$  чтобы определить ускорение построим касательную к кривой  $v(t)$  в точке  $(30; 20)$  (скорость  $- 20$  м/с, время ей соответствующее  $- 30$  с)



Для касательной:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{5 \text{ м/с}}{20 \text{ с}} = \underline{\underline{0,25 \text{ м/с}^2}}$$

2) Запишем 2ой закон Ньютона для машины в пр. на ось  $x$ :



$$ma = F_T - kV$$

(в момент разгона)

из графика Видим, что установившаяся скорость (когда  $a = 0$ )  $25 \text{ м/с}$

$$\Rightarrow 0 = F_k - kV \quad 0 = 500 \text{ Н} - k \cdot 25 \text{ м/с}, \text{ отсюда}$$

$$k = 20 \frac{\text{Н} \cdot \text{с}}{\text{м}}$$

$\Rightarrow$  для произвольного момента

$$ma = F_T - 20v$$

$$m \cdot \frac{dv}{dt} = F_T - 20v \quad | \cdot dt$$

$$m \cdot dv = F_T \cdot dt - 20 ds$$

Когда скорость  $v_1$ , то

$$ma_1 = F_T - 20 \frac{\text{Н} \cdot \text{с}}{\text{м}} \cdot v_1$$

$$1800 \text{ кг} \cdot 0,25 \text{ м/с}^2 = F_T - 400 \text{ Н}$$

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

3) Работа силы тяги за малый промежуток времени  $dt$ :

$$A = F_T \cdot ds = F_T \cdot v_1 \cdot dt$$

$$\Rightarrow \hat{P}_1 = \frac{A}{dt} = F_T \cdot v_1 = 850 \text{ Н} \cdot 20 \text{ м/с} = \underline{\underline{17 \text{ кВт}}}$$

Мощность

(такой, что скорость можно считать постоянной)

Ответ: 1)  $a_1 = 0,25 \text{ м/с}^2$  2)  $F_1 = 850 \text{ Н}$  3)  $P_1 = 17 \text{ кВт}$

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

1  2  3  4  5  6  7

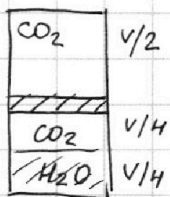
МФТИ

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



№2

1) Пусть в верхней части количество газобразного  $\text{CO}_2$   $P_1$ , в нижней  $P_2$



Из условия равновесия поршня (т.к. он невесомый) следует, что давление сверху и снизу равны.

Ур. Менделеева - Клапейрона для  $\text{CO}_2$  сверху (давление и там, и там  $P_0$ , температуры и там, и там  $T_0$ )

$$P_0 \cdot \frac{V}{2} = P_1 R T_0 \Rightarrow P_0 = \frac{2P_1 R T_0}{V}$$

Т.к. температура комнатная, то  $V$  все вода в жидком состоянии

Найдём количество  $\text{CO}_2$ , растворённого в воде (объём воды  $w = \frac{V}{4}$ , парциальное давление  $\text{CO}_2$   $P_0$ )

$$\Rightarrow \Delta P = k \cdot \frac{2P_1 R T_0}{V} \cdot \frac{V}{4} = k \cdot \frac{P_1 R T_0}{2} = k \cdot \frac{P_0 V}{4}$$

Ур. Менделеева - Клапейрона для нерастворённого (газообразного  $\text{CO}_2$ ) (объём  $\frac{V}{2} - \frac{V}{4} = \frac{V}{4}$ )

$$P_0 \cdot \frac{V}{4} = P_2 R T_0 \Rightarrow P_0 = \frac{4P_2 R T_0}{V}$$

$$\Rightarrow \frac{P_{21}}{P_{12}} = 2$$

$$\frac{P_2 R T_0}{V} = \frac{P_0}{4}$$

2) Т.к. конечная температура  $T = 100^\circ\text{C}$ , то насыщенный водяной пар создаёт давление  $P_{\text{атм}}$  (насыщ., т.к. в контакте с водой)

Ур. Менделеева - Клапейрона для  $\text{CO}_2$  сверху поршня (считаем, что давление сверху и снизу  $P_2$ )

$$P_2 \cdot \frac{V}{5} = P_1 R T \Rightarrow P_2 \cdot \frac{V}{5} = \frac{5T_0}{4} P_1 R$$

из 1го ур. Менд.-Кл.

$$\Rightarrow P_2 = \frac{5}{V} \cdot \frac{5}{4} P_1 T_0 R =$$

$$= \frac{5}{V} \cdot \frac{5}{4} \cdot P_0 \cdot \frac{V}{2} =$$

давление нас. водяного пара и давление Фавстона)

$\text{CO}_2$  (его кол-во увеличилось, т.к. растворённого теперь нет) ← кол-во  $\text{CO}_2$   $V - \frac{V}{5} - \frac{V}{4} = \frac{11}{20} V$  (т.к. объём воды не изменился)  $= \frac{25}{8} P_0$

$$P_{\text{CO}_2} = \frac{(P_2 + \Delta P) \cdot R T \cdot 20}{11V} = \frac{P_2 R \cdot \frac{5}{4} T_0 \cdot 20}{11V} + \frac{\Delta P R T \cdot 20}{11V} =$$

$$= \frac{25}{11} \cdot \frac{P_2 R T_0}{V} + k \cdot \frac{P_1 R T_0}{2} \cdot R T \cdot \frac{20}{11V} = \left( \text{с учётом того, что } \frac{P_1 R T_0}{2} = \frac{P_0 V}{4} \right)$$

$$= \frac{25}{11} \cdot \frac{P_0}{4} + k \cdot \frac{P_0}{4} \cdot R T \cdot \frac{20}{11}$$

$$k \cdot R T \approx 1$$

$$\frac{P_2 R T_0}{V} = \frac{P_0}{4}$$

$\Rightarrow$



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!

$$P_{CO_2} = \frac{P_0}{4} \left( \frac{25}{11} + \frac{20}{11} \right) = \frac{45}{44} P_0$$

$$P_2 = P_{CO_2} + P_{ATM} = \frac{45}{44} P_0 + P_{ATM} = \frac{25}{8} P_0$$

$$P_{ATM} = P_0 \left( \frac{25}{8} - \frac{45}{44} \right)$$

$$P_{ATM} = P_0 \cdot \frac{185}{88}$$

$$\Rightarrow P_0 = \frac{88}{185} P_{ATM}$$

Ответ: 1)  $\frac{P_1}{P_2} = 2$     2)  $\frac{88}{185} P_{ATM}$

$$\begin{array}{r} 275 \\ 90 \\ \hline 185 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} \times 25 \\ 11 \\ \hline 25 \\ \hline 275 \end{array}$$

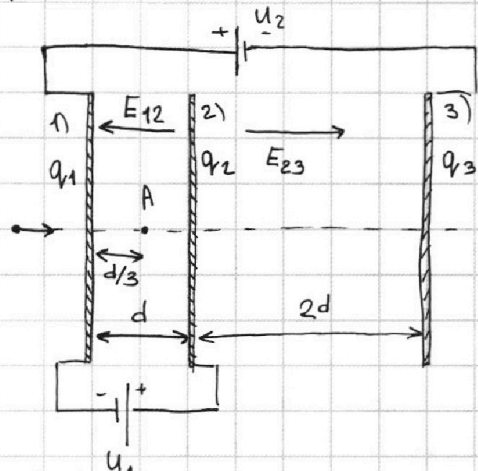
$$\frac{25}{8} - \frac{45}{44} = \frac{185}{88}$$

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



1) Пусть поле ш/у пластинами 1 и 2  $E_{12}$ , между 2 и 3  $E_{23}$  (направление см. на рисунке) (поле пост., т.к. считаем пластины бесконечными)  
 Тогда, т.к. разность потенциалов ш/у 1 и 2  $U_1$   $E_{12} \cdot d = U_1$   
 $\Rightarrow E_{12} = \frac{U_1}{d}$  в области ш/у 1 и 2  
 Сила, действующая на пластину  $q \cdot E_{12}$   
 $\Rightarrow$  из 2го закона Ньютона  
 $m \cdot a_{12} = q E_{12}$   
 $\Rightarrow a_{12} = \frac{q U_1}{m d}$

2) Пусть ~~определить~~ потенциал на сетке  $\Delta \Phi_1 = 0$ , тогда  $\Phi_2 = U_1 = U$   
 $\Rightarrow$  потенциальная энергия на сетке 1  $W_{p1} = 0$   
 на сетке 2  $W_{p2} = \frac{1}{2} q \Phi_2 = \frac{1}{2} q U$   
 ЗСЭ:  $K_1 = K_2 + W_{p2}$   
 $\Rightarrow K_1 - K_2 = \frac{1}{2} q U$

3) Примем за 0 потенциал на бесконечности.  
 Найдём  $E_{23}$ . Т.к. разность потенциалов ш/у пл. 1 и 3  $U_2$ , то  
 $U_2 = E_{23} \cdot 2d - E_{12} \cdot d$   
 $4U = E_{23} \cdot 2d - U$   $E_{23} \cdot 2d = 5U \Rightarrow E_{23} = \frac{5U}{2d}$   
 Пусть заряды пластин  $q_1, q_2, q_3$  ( $q_1, q_2, q_3 > 0$ )  
 Тогда (две области 12)  $E_{12} = \frac{-q_1 + q_2 + q_3}{2\epsilon_0} = \frac{U}{d}$  (считаешь их бесконечными плоскостями)  
 $E_{23} = \frac{q_1 + q_2 - q_3}{2\epsilon_0 d} = \frac{5U}{2d}$   $\Rightarrow$  поле слева от пластин (откуда прилетела пластина)  
 $E_n = \frac{q_1 + q_2 + q_3}{2\epsilon_0} = 0$  (т.к. изначально пластины незаряжены, то их суммарный заряд по Закону Сохранения Заряда остается 0)  
 $E_{12} + E_{23} = \frac{q_2}{\epsilon_0} = \frac{7U}{2d}$   
 $E_{12} - E_{23} = \frac{-2q_1 + q_2 + 2q_3}{2\epsilon_0} = \frac{-q_1 + q_2 + q_3}{\epsilon_0} = -\frac{3U}{2d}$

$\Rightarrow \frac{q_3}{\epsilon_0} = \frac{q_1}{\epsilon_0} - \frac{3U}{2d}$

Подставим в  $E_{12}$   
 $\frac{U}{d} = \frac{q_1}{2\epsilon_0} + \frac{7U}{4d} +$

~~$\frac{q_3 - q_1}{\epsilon_0} = \frac{3U}{2d} - \frac{q_2}{\epsilon_0}$~~   
 ~~$\frac{q_3 - q_1}{\epsilon_0} = -\frac{5U}{d}$~~   
 ~~$\frac{q_3 - q_1}{\epsilon_0} = -\frac{3U}{2d}$~~

$\Rightarrow$  поле слева от пластин  $\frac{q_1 + q_2 + q_3}{2\epsilon_0} = \frac{q_1}{\epsilon_0} + \frac{U}{d}$

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!

Пусть скорость во время пролёта 1ой сетки  $v_1$ .  
Тогда из ЗСЭ  $v_A$  - скорость в т. А

$$\frac{mv_1^2}{2} = \frac{mv_A^2}{2} + \overbrace{q \cdot E_{12} \cdot \frac{d}{3}}^{\text{работа эл. ст. сил}}$$

$$\frac{mv_1^2}{2} = \frac{mv_A^2}{2} + q \cdot \frac{U}{3}$$

Выразим скорость в т. 1 через  $v_0$ .

Поскольку сетки изначально были не заряжены, то и в конце

$q_1 + q_2 + q_3 = 0$  по закону сохранения заряда

Это значит, что слева и справа от ~~сеток~~ <sup>сеток</sup> поле нет  $\Rightarrow$

вблизи первой ~~сетки~~ сетки скорость будет  $v_0$  (поскольку поле вне сеток 0, то потенциальные энергии и на бесконечности и вблизи 1ой сетки слева 0)

$$\Rightarrow \frac{mv_1^2}{2} = \frac{mv_0^2}{2} = \frac{mv_A^2}{2} + \frac{qU}{3}$$

$$v_A = \sqrt{\frac{2}{m} \left( \frac{mv_0^2}{2} - \frac{qU}{3} \right)}$$

$$v_A = \sqrt{v_0^2 - \frac{2qU}{3m}}$$

Ответ: 1)  $a_{12} = \frac{qU}{md}$  2)  $K_1 - K_2 = qU$  3)  $v_A = \sqrt{v_0^2 - \frac{2qU}{3m}}$



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

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

1  2  3  4  5  6  7

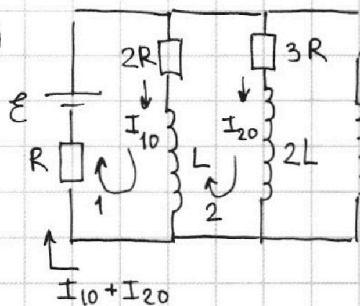


Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



№4

1)



При разомкнутом ключе режим установившийся  $\Rightarrow \dot{I} = 0 \Rightarrow$  напряжений на катушках нет

По 1-ому правилу Кирхгофа общий ток  $I_{10} + I_{20}$

2-ое правило Кирхгофа для контуров:

$$2) I_{20} \cdot 3R - I_{10} \cdot 2R = 0$$

$$\Rightarrow 3 I_{20} = 2 I_{10}$$

$$I_{20} = \frac{2}{3} I_{10}$$

$$\Rightarrow I_{общ} = \frac{5}{3} I_{10}$$

$$1) \varepsilon - 2R \cdot I_{10} - R \cdot I_{общ} = 0$$

$$\varepsilon - 2R \cdot I_{10} - \frac{5}{3} R \cdot I_{10} = 0$$

$$\varepsilon = \frac{11}{3} R I_{10}$$

$$I_{10} = \frac{3}{11} \frac{\varepsilon}{R}$$

$$(I_{20} = \frac{2}{11} \frac{\varepsilon}{R})$$

2) Сразу после замыкания ключа токи не успевают измениться

$\Rightarrow$  тогда из обхода контура 3)

$$\varepsilon - 3R \cdot I_{20} - 2L \dot{I}_{20} - R I_{общ} = 0$$

$$2L \dot{I}_{20} = 0$$

( $I_{20}$  и  $I_{общ}$  как в 1) пункте)

Тогда обход для контура 4 ( $2L \dot{I}_{20} = 0$ )

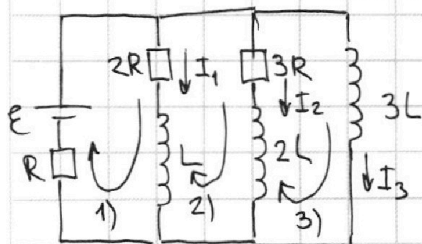
$$3L \dot{I}_3 - 3R \cdot I_{20} = 0$$

$$3L \dot{I}_3 = \frac{6}{11} \frac{\varepsilon}{R}$$

$$\Rightarrow \dot{I}_3 = \frac{2}{11} \frac{\varepsilon}{RL}$$

3) Рассмотрим конечное состояние системы (уст. режим с замкнутым ключом)

Весь ток будет течь через  $3L$  (через ветки  $L$  и  $2L$  тока нет, т.к. там сопротивление) а напряжение на всех катушках в уст. режиме 0.



Из 1-го правила Кирхгофа  $I_{общ} = I_1 + I_2 + I_3$

Обход контура 1)

$$\varepsilon - 2R I_1 - R(I_1 + I_2 + I_3) - L \dot{I}_1 = 0$$

Обход контура 2)

$$\varepsilon - 3R I_2 - R(I_1 + I_2 + I_3) - 2L \dot{I}_2 = 0$$

$$\Rightarrow \varepsilon - R(I_1 + I_2 + I_3) = 3R I_2 + 2L \dot{I}_2$$



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

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
<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!

Подставим в первый обход и получим

$$3RI_2 + 2L\dot{I}_2 = 2R\dot{I}_1 + L\dot{I}_1 \quad | \cdot dt$$

$$3R \cdot dq_2 + 2L \cdot dI_2 = 2Rdq_1 + L dI_1 \quad \text{Принтегрировав получим}$$

$$3R \cdot q_2 + 2L\Delta I_2 = 2Rq_1 + L\Delta I_1$$

$$\Rightarrow 3R \cdot q_2 + 2L(0 - I_{20}) = 2Rq_1 + L(0 - I_{10})$$

Обход  $\uparrow$  (по контуру 3):

$$3L\dot{I}_3 = I_2 \cdot 3R + 2L\dot{I}_2 \quad | \cdot dt$$

$$3L\Delta I_3 = 3Rdq_2 + 2LdI_2 \quad | \int$$

$$3L(I_{31} - 0) = 3Rq_2 + 2L(0 - I_{20})$$

$$3L(I_{31} - 0) = 2Rq_1 + L(0 - I_{10})$$

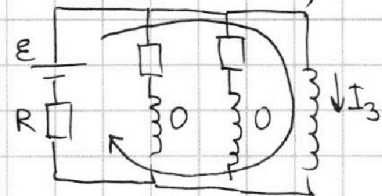
$$\Rightarrow 3L \frac{\mathcal{E}}{R} = 2Rq_1 - L \cdot \frac{3}{11} \frac{\mathcal{E}}{R}$$

$$L \cdot \frac{36}{11} \frac{\mathcal{E}}{R} = 2Rq_1$$

$$q_1 = \frac{18}{11} \frac{\mathcal{E}L}{R^2}$$

$$I_{31} = \frac{\mathcal{E}}{R}$$

(из пр. Кирхгофа  
когда  $U$  на катушках  
0)



Ответ: 1)  $I_{10} = \frac{3}{11} \frac{\mathcal{E}}{R}$    2)  $I_3 = \frac{2}{11} \frac{\mathcal{E}}{RL}$    3)  $q_1 = \frac{18}{11} \frac{\mathcal{E}L}{R^2}$

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!

NS1) Т.к.  $n_1 = n_2 = 1$  можно считать, что первой призмы нет

Рассмотрим луч, идущий  $\perp$  левой грани первой призмы

Запишем закон преломления для первого прохождения через границу сред (т.к.  $d \ll 1$ , то  $d \approx \sin d$ )

$$\frac{\sin d}{1} = \frac{\sin \beta}{1} \Rightarrow \beta = \frac{d}{n}$$

Тогда угол падения на вторую границу раздела  $d - \beta$  (см. рис.)

$$\text{Тогда } \frac{d - \beta}{1} = \frac{\gamma}{n}$$

$$\Rightarrow \gamma = n(d - \beta) = n\left(d - \frac{d}{n}\right) = \underline{d(n-1)}$$

$$\gamma = d(n-1) = 0,1 \text{ рад} \cdot (1,7 - 1) = \underline{0,07 \text{ рад}}$$

2) Рассмотрим луч, идущий не перпендикулярно левой грани

Пусть углы ш/у напр.  $\perp$  левой грани и направлением луча  $\theta$ .

Тогда можем записать всё аналогично 1-му сл., но начальный угол падения  $\beta + \theta$

$$\beta = \frac{d + \theta}{n}$$

$$\Rightarrow \text{второй угол падения } d - \beta = d - \frac{d + \theta}{n}$$

второе преломление:

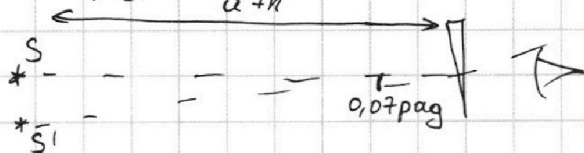
$$\gamma = n(d - \beta) = nd - d - \theta = d(n-1) - \theta$$

$\Rightarrow$  получаем, что изменение угла  $d(n-1)$ ,

т.е. луч всё равно отклоняется на угол  $d(n-1)$  к основанию призмы

Значит все лучи, образующие изображение для наблюдателя просто отклонились на  $d(n-1) = 0,07 \text{ рад} \Rightarrow$  угол ш/у источником и изображением

$0,07 \text{ рад}$



$$\Rightarrow \text{расстояние будет } (a+h) \cdot d(n-1) = (194 + 9) \cdot 0,07 = 203 \cdot 0,07 \approx \underline{\underline{14,21 \text{ см}}}$$

$$\begin{array}{r} 203 \\ \times 7 \\ \hline 1421 \end{array}$$

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

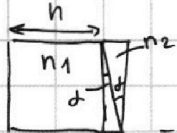
Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

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!

3) Первую призму можно представить как суперпозицию плоскопараллельной пластинки и призмы (маленькой толщины)



Плоскопараллельная пластинка сдвигает изображение

на  $x$  ближе к наблюдателю

$$x \cdot \beta + h \cdot \frac{\beta}{n_1} = h \cdot \beta$$

$$\Rightarrow x = h \left(1 - \frac{1}{n_1}\right)$$

$\Rightarrow$  после прохождения п.п. пластинки наблюдатель будет видеть источник на расстоянии  $a + h - \left(h \left(1 - \frac{1}{n_1}\right)\right) = 203 - 9 \left(1 - \frac{2}{3}\right) = 200$  см

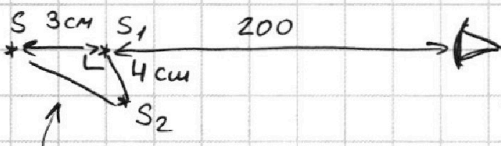
Потом первая призма отклонит луч на  $d(n_1 - 1)$  вниз (т.к. к основанию) а вторая на  $d(n_2 - 1)$  вверх

$$\Rightarrow \text{общий угол отклонения } d(n_2 - 1) - d(n_1 - 1) = d(n_2 - n_1)$$

$\Rightarrow$  общий угол отклонения  $0,1(1,7 - 1,5) = 0,02$  рад

$\Rightarrow$  аналогично п. 2 расстояние между источником и изображением и изображением, которое видит наблюдатель (S1) будет  $200 \text{ см} \cdot 0,02 \text{ рад} = \underline{4 \text{ см}}$  (S2)

Ответ 1)  $d(n-1) = 0,07$  рад 2) 14,21 см 3) 4 см



Расст. м/у S1 и S 3 см  
м/у S1 и S2 4 см

S и S2 - расстояние м/у источником и итоговым изображением

$$\Rightarrow \text{по Т. Пифагора } SS_2 = \sqrt{3^2 + 4^2} = 5 \text{ см}$$

(т.к. угол малый, считаем, что  $\perp$ )

Ответ: 1)  $d(n-1) = 0,07$  рад 2) 14,21 см 3) 5 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!

