



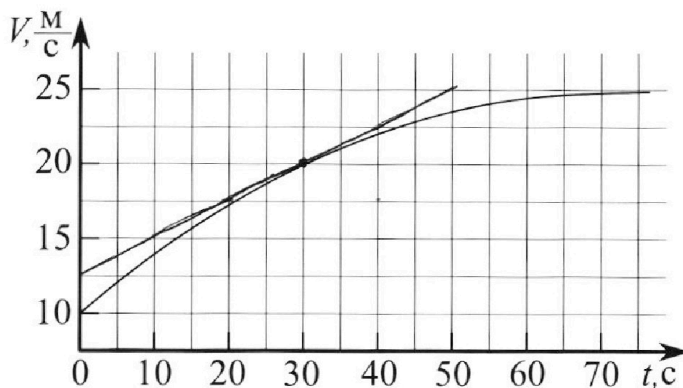
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

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%.

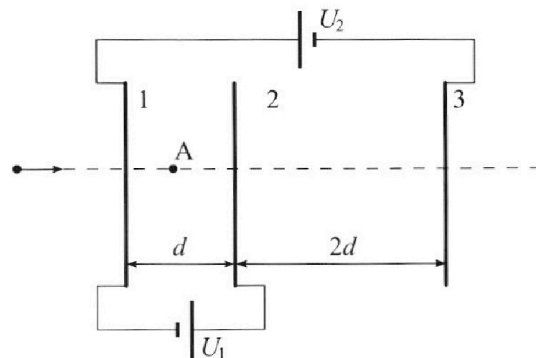
2. Герметичный вертикальный цилиндрический сосуд объемом V разделён тонким невесомым теплопроводящим герметичным поршнем (диск соосный с сосудом) на две равные части. Поршень может перемещаться без трения. В верхней части цилиндра находится углекислый газ, а в нижней - вода и углекислый газ. В начальный 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 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 $k \approx (1/3) \cdot 10^{-3}$ 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 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.

Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

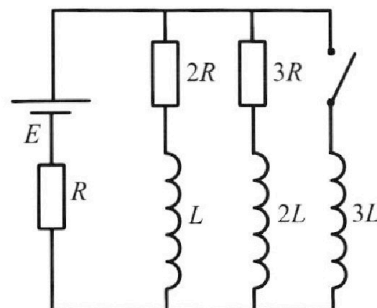
Вариант 11-01

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 $n_v = 1,0$. 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.

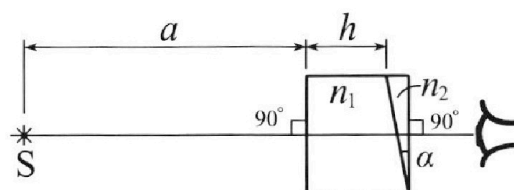


рис.). Угол $\alpha = 0,1$ рад можно считать малым, толщина $h = 9$ см. Толщина призмы с показателем преломления n_2 на прямой «источник – глаз» намного меньше h . Отражения в системе не учитывать.

- 1) Считая $n_1 = n_v = 1,0$, $n_2 = 1,7$, 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 $n_1 = 1,5$, $n_2 = 1,7$, найдите на каком расстоянии от источника будет его изображение, которое увидит наблюдатель.

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

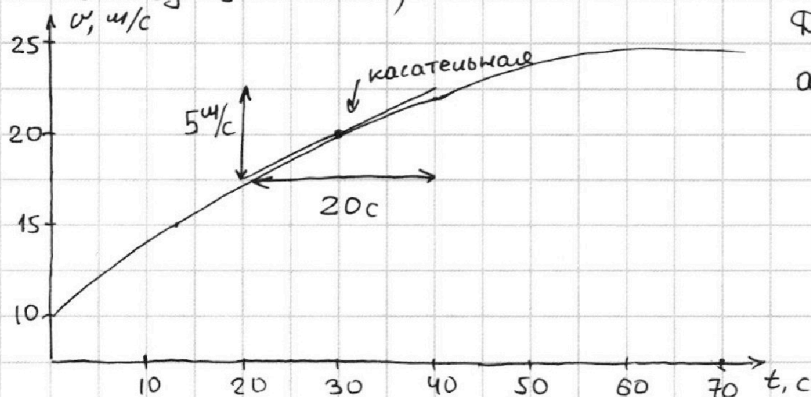
Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

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!

МФТИ

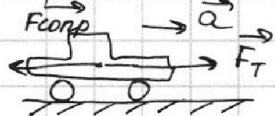
№1 1) Ускорение $a = \frac{dv}{dt} \Rightarrow$ чтобы определить ускорение построим касательную к кривой $v(t)$ в точке $(30; 20)$ (скорость $- 20$ м/с, время ей соответствующее $- 30$ с)



Для касательной:

$$a_1 = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{5 \text{ м/с}}{20 \text{ с}} = \underline{\underline{0,25 \text{ м/с}^2}}$$

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 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)

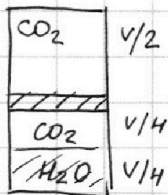
Ответ: 1) $a_1 = 0,25 \text{ м/с}^2$ 2) $F_1 = 850 \text{ Н}$ 3) $P_1 = 17 \text{ кВт}$

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!

N2

1) Пусть в верхней части количество 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 CO_2 сверху
(давление и там, и там P_0 , температуры и там, и там T_0)

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

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

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

Найдём количество CO_2 , растворённого в воде (объём воды $w = \frac{V}{4}$,
парциальное давление CO_2 P_0)

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

Ур. Менделеева - Клапейрона для CO_2 снизу (газообразного CO_2)
(объём $\frac{V}{2} - \frac{V}{4} = \frac{V}{4}$)

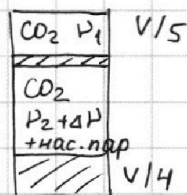
$$P_0 \cdot \frac{V}{4} = P_2 R T_0$$

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

$$\Rightarrow \frac{P_2}{P_1} = 2$$

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

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 CO_2 сверху поршня
(считаем, что давление сверху и снизу P_2)

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

из 1-го ур. Менд.-Кл.

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

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

Внизу давление будет складываться из насыщ. (по закону
давление нас. водяного пара и давление Фантона)
 CO_2 (его кол-во увеличилось, т.к. растворённого
теперь нет) ← кол-во CO_2 $V - \frac{V}{5} - \frac{V}{4} = \frac{11}{20} V$ (т.к. объём воды не изменился)

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

$$= \frac{25}{11} \cdot \frac{P_2 R T_0}{V} + k \cdot \frac{P_1 R T_0}{2} \cdot \frac{R T \cdot 20}{11 V} =$$

$$\left(\text{с учётом того, что } \frac{P_1 R T_0}{2} = \frac{P_0 V}{4} \right)$$

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

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

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

$\Rightarrow$



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) $\frac{88}{185} p_{ATM}$

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

$$\begin{array}{r} 25 \\ \times 11 \\ \hline 25 \\ 275 \\ \hline 295 \end{array}$$

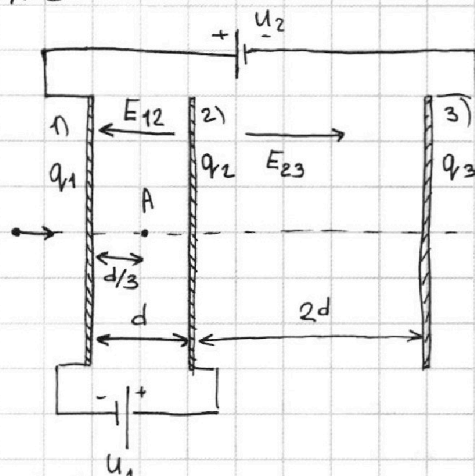
$$\frac{25}{8} - \frac{45}{44} = \frac{185}{88}$$

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!



N 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

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

$$\Rightarrow E_{12} = \frac{U}{d}$$

в области ш/у 1 и 2

Сила, действующая на частицу $q \cdot E_{12}$
 $\Rightarrow$ из 2го закона Ньютона

$$m \cdot a_{12} = q E_{12}$$

$$\Rightarrow a_{12} = \frac{qU}{md}$$

2) Пусть ~~определим~~ потенциал на сетке 1 $\Phi_1 = 0$, 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) Придем за 0 потенциал на бесконечности.

Найдём E_{23} . Т.к. разность потенциалов ш/у пл. 1 и 3 U_2 , то

$$U_2 = E_{23} \cdot 2d - E_{12} \cdot d$$

$$4U = E_{23} \cdot 2d - U \quad E_{23} \cdot 2d = 5U \Rightarrow E_{23} = \frac{5}{2} \frac{U}{d}$$

Пусть заряды пластин q_1, q_2, q_3 ($q_1, q_2, q_3 > 0$)

Тогда (для области 12) $E_{12} = \frac{-q_1 + q_2 + q_3}{2\epsilon_0} = \frac{U}{d}$ (считаешь их бесконечными плоскостями)

$$E_{23} = \frac{q_1 + q_2 - q_3}{2\epsilon_0 d} = \frac{5}{2} \frac{U}{d} \Rightarrow \text{поле слева от пластин (откуда прилетела частица)}$$

$$E_{\text{л}} = \frac{q_1 + q_2 + q_3}{2\epsilon_0} = 0 \quad (\text{т.к. изначально пластины незаряжены, то их суммарный заряд по Закону Сохранения Заряда остаётся 0})$$

$$E_{12} + E_{23} = \frac{q_2}{\epsilon_0} = \frac{7}{2} \frac{U}{d}$$

$$E_{12} - E_{23} = \frac{-2q_1 + q_2 + 2q_3}{2\epsilon_0} = \frac{-q_1 + q_2 + q_3}{\epsilon_0} = -\frac{3}{2} \frac{U}{d}$$

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

Подставим в E_{12}

$$\frac{U}{d} = \frac{q_1}{2\epsilon_0} + \frac{7}{4} \frac{U}{d} +$$

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

$$\begin{aligned} \frac{q_3 - q_1}{\epsilon_0} &= \frac{3}{2} \frac{U}{d} - \frac{q_2}{\epsilon_0} \\ \frac{q_3 - q_1}{\epsilon_0} &= -\frac{5U}{d} \\ \frac{q_3 - q_1}{\epsilon_0} &= -\frac{3}{2} \frac{U}{d} \end{aligned}$$

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!

Пусть скорость во время пролёта 1ой сетки v_1 .
Тогда из ЗСЭ $\frac{mv_1^2}{2} = \frac{mv_A^2}{2} + \overbrace{q \cdot E_{12} \cdot \frac{d}{3}}^{\text{работа эл.ст.}} - U_A$ — скорость в т. А

$$\frac{mv_1^2}{2} = \frac{mv_A^2}{2} + q \cdot E_{12} \cdot \frac{d}{3}$$

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

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

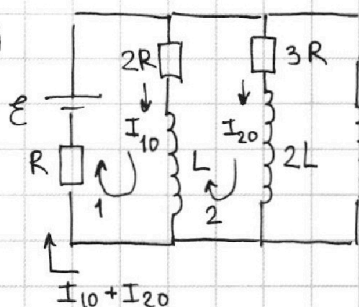
1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐

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 установив-
шийся $\Rightarrow \dot{I} = 0 \Rightarrow$ напряжений на
катушках нет

По 1-ой правили Кирхгофа общий ток
 $I_{10} + I_{20}$

2-ое правило Кирхгофа для контуров:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

(2)

Сразу после замыкания ключа токи не успевают измениться

$\Rightarrow$ тогда из обхода контура 3)

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

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

(I_{20} и $I_{общ}$ как в
1) пункте)

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

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

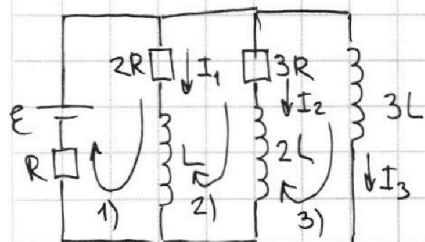
$$3L \dot{I}_3 = \frac{6}{11} \frac{E}{R}$$

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

(3)

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

Весь ток будет течь через $3L$ (через ветки L и $2L$ тока нет,
 $\Rightarrow$ ток $2/3$ $2R$ в конечном состоянии 0. а напряжение на всех катушках
в уст. режиме 0.



Из 1-ой правили Кирхгофа $I_{общ} = I_1 + I_2 + I_3$

Обход контура 1)

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

Обход контура 2)

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

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

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

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐

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

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

$$3R \cdot dq_2 + 2L \cdot dI_2 = 2Rdq_1 + LdI_1 \quad \text{Принтегрировав получим}$$

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

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

Обход $\uparrow$ по контуру 3):

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

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

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

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

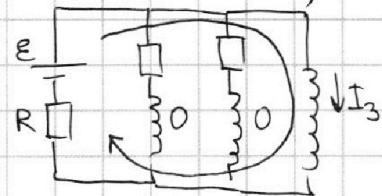
$$\Rightarrow 3L \frac{\mathcal{E}}{R} = 2Rq_1 - L \cdot \frac{3}{11} \frac{\mathcal{E}}{R}$$

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

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

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

(из пр. Кирхгофа
когда U на катушках
0)



Ответ: 1) $I_{10} = \frac{3}{11} \frac{\mathcal{E}}{R}$ 2) $\dot{I}_3 = \frac{2}{11} \frac{\mathcal{E}}{RL}$ 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!

№51) 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. $\alpha \ll 1$, то $\alpha \approx \sin \alpha$)

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

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

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

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

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

2) Рассмотрим луч, идущий не перпендикулярно левой грани

Пусть угол ш/у напр. $\perp$ левой грани и направлением
луча θ .

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

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

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

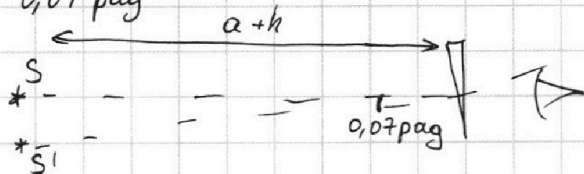
Второе преломление:

$$\gamma = n(\alpha - \beta) = n\alpha - \alpha - \theta = \alpha(n-1) - \theta$$

$$\Rightarrow \text{получаем, что изменение угла } \alpha(n-1),$$

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

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



$$\Rightarrow \text{расстояние будет } (a+h) \cdot \alpha(n-1) =$$

$$= (194 + 9) \cdot 0,07 = 203 \cdot 0,07 \approx$$

$$\approx \underline{\underline{14,21 \text{ см}}}$$

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

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

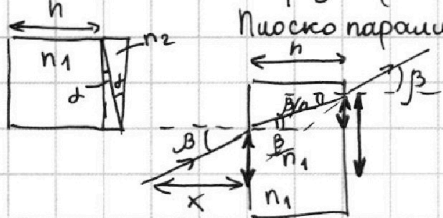
Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐

МФТИ

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 $a + h - \left(h \left(1 - \frac{1}{n_1}\right)\right) =$
 $= 203 - 9 \left(1 - \frac{2}{3}\right) = 200 \text{ см}$

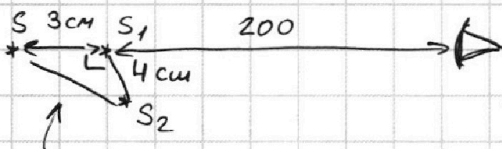
Потом первая призма отклонит луч на $\Delta(n_1 - 1)$ вниз (т.к. к основанию) а вторая на $\Delta(n_2 - 1)$ вверх

$\Rightarrow$ общий угол отклонения $\Delta(n_2 - 1) - \Delta(n_1 - 1) =$
 $= \Delta(n_2 - n_1)$

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

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

Ответ: 1) $\Delta(n - 1) = 0,07 \text{ рад}$ 2) $14,21 \text{ см}$ 3) 4 см



S и S2 - расстояние между
источником и итоговым
изображением

Расст. между S1 и S 3 см
между S1 и S2 4 см

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

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

Ответ: 1) $\Delta(n - 1) = 0,07 \text{ рад}$ 2) $14,21 \text{ см}$ 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
☐



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

