



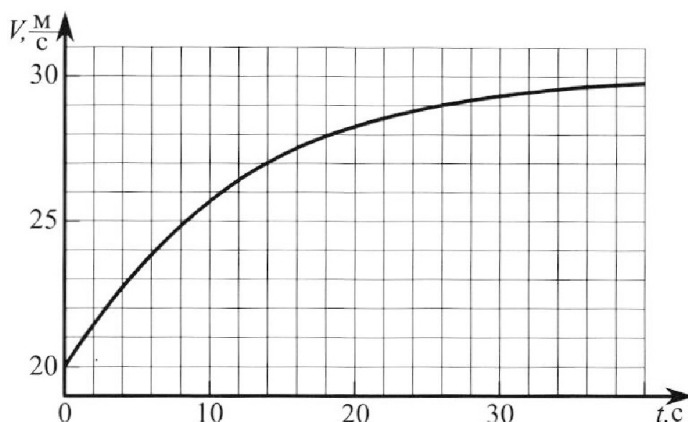
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

Вариант 11-04

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



1. Мотоциклист массой (вместе с мотоциклом) $m = 240$ кг движется с постоянной скоростью и затем разгоняется на прямолинейном горизонтальном участке дороги так, что мощность, передаваемая от двигателя на ведущее колесо, остается постоянной. График зависимости скорости от времени при разгоне показан на рисунке. В конце разгона сила сопротивления движению равна $F_k = 200$ Н.



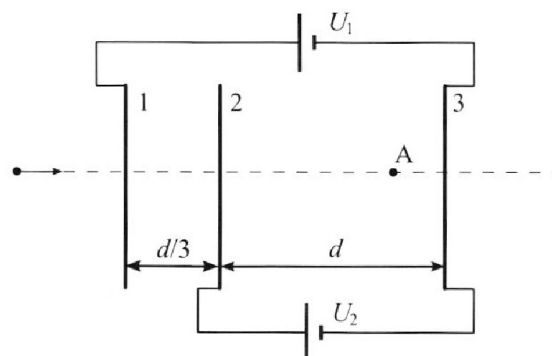
- 1) Используя график, найти ускорение мотоцикла в начале разгона.
 - 2) Найти силу сопротивления движению F_0 в начале разгона.
 - 3) Какая часть мощности, передаваемой на ведущее колесо, идет на преодоление силы сопротивления движению в начале разгона?
- Требуемая точность численного ответа на первый 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 $3V/8$. Затем цилиндр медленно нагрели до $T = 4T_0/3 = 373$ К. Установившийся объём его верхней части стал равен $V/8$.

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 $k \approx 0,6 \cdot 10^{-3}$ 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 $d/3$ (см. рис.). Размеры сеток значительно больше d . Изначально сетки не заряжены. К сеткам подсоединили источники с напряжением $U_1 = 5U$ и $U_2 = U$. 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 2 и 3.
- 2) Найти разность $K_3 - K_2$, где K_2 и K_3 — кинетические энергии частицы при пролете сеток 2 и 3.
- 3) Найти скорость частицы в точке A на расстоянии $3d/4$ от сетки 2.



Олимпиада «Физтех» по физике,
февраль 2023

Вариант 11-04

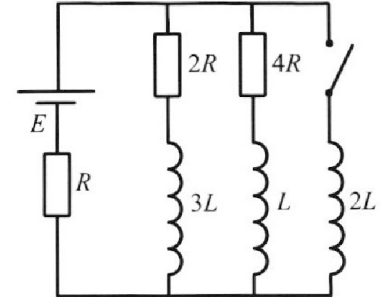
Во всех задачах, в ответах допустимы обыкновенные дроби
и радикалы.



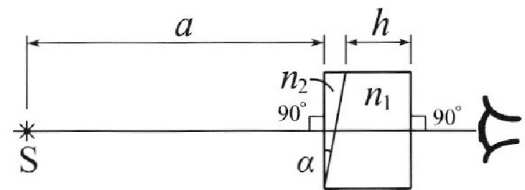
4. Параметры цепи указаны на схеме, все элементы идеальные. Ключ разомкнут, режим в цепи установился. Затем ключ замыкают.

- 1) Найти ток I_{20} через резистор с сопротивлением $4R$ при разомкнутом ключе.
- 2) Найти скорость возрастания тока в катушке индуктивностью $2L$ сразу после замыкания ключа.
- 3) Какой заряд протечет через резистор с сопротивлением $4R$ 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 $n_v = 1,0$. Точечный источник света S расположен на расстоянии $a = 100$ 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.



- 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 $n_1 = 1,4$, $n_2 = 1,7$, найдите на каком расстоянии от источника будет его изображение, которое увидит наблюдатель.

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.

Дано:

$m = 240 \text{ кг}$

$F_k = 200 \text{ Н}$

1) $a_0 = ?$

2) $F_0 = ?$

3) $n = ?$

Решение:

1) Т.к. требуемая точность численного ответа на этот вопрос ориентировочно 10%, то можно примерно определить начальное ускорение мотоцикла с человеком a_0 как тангенс угла наклона к графику зависимости $v(t)$ в точке $t=0$ ($a(t) = \frac{dv(t)}{dt}$).

По графику можно определить $\tan \alpha \approx 0,75$

Значит $a_0 \approx 0,75 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$



2) По графику видно, что в конце

разгона скорость мотоцикла практически ~~уже~~ постоянна.

Из ~~второго~~ закона Ньютона (ИСО - земля) можно сделать вывод, что

на то, что ускорение в этот момент равно нулю

Значит ускорение в этот момент равно нулю.

На основании второго закона Ньютона (ИСО - Земля) можно сделать вывод, что равнодействующая сил тяги и сопротивления, действующих на мотоцикл, равна нулю ($\vec{F}_k + \vec{F}_{\text{тр}} = m\vec{a} = \vec{0}$)

В проекциях: $F_k = F_{\text{тр}}$, где $F_{\text{тр}}$ - сила тяги в конечный момент.

Т.е. $F_{\text{тр}} = 200 \text{ Н}$

Мощность двигателя $P = F_{\text{тр}} \cdot v_k$, по графику ~~конечная~~ установившаяся

$P = F_{\text{тр}} \cdot v_k = 200 \cdot 30 = 6000 \text{ (Вт)}$ скорость $v_k = 30 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

Мощность двигателя в начале движения $P_0 = F_{0\text{т}} \cdot v_0$, $F_{0\text{т}}$ - начальная сила тяги.

Из условия постоянства мощности $P = P_0$

v_0 - нач. скорость.
 $v_0 = 20 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

Т.е. $F_{0\text{т}} \cdot v_0 = P$

$F_{0\text{т}} = \frac{P}{v_0} = \frac{6000}{20} = 300 \text{ (Н)}$

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

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐

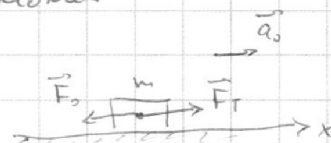
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

МФТИ



Второй закон Ньютона для метачулки в изг. момент в проекции на горизонтальную ось: $F_{от} - F_0 = ma_0$

$$F_0 = F_{от} - ma_0 = 300 - 240 \cdot 0,75 = 120 \text{ (Н)}$$



3) Мощность двигателя $P = 6 \text{ кВт}$

Мощность, идущая на преодоление сил сопротивления движению

равна $P_{сопр} = F_0 \cdot V_0 = 120 \cdot 20 = 2400 \text{ (Вт)}$ — в изг. момент.

$$\eta = \frac{P_{сопр}}{P} = \frac{2400}{6000} = \frac{2}{5} = 0,4$$

Ответ: 1) $a_0 = 0,75 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$

2) $F_0 = 120 \text{ Н}$

3) $\eta = 0,4$

(Вспомог. $P = Fv \cos \alpha$)

$$P = \frac{A}{t} = \frac{F \cdot s \cdot \cos \alpha}{t} = Fv \cos \alpha$$

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.

Дано:

$$T = 373 \text{ K}$$

$$T_0 = \frac{3}{4} T$$

$$k \approx 0,6 \cdot 10^{-3} \frac{\text{моль}}{\text{м}^3 \cdot \text{Па}}$$

$$RT \approx 3 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{моль}}$$

Решение:

Начальное состояние:

Уравнения Менделеева-Клапейрона для

углекислого газа в верх. и в ниж.

частях сосуда:

$$\frac{p_0 V}{2} = \nu_1 RT_0 \quad (1)$$

$$\frac{p_0 V}{8} = \nu_2 RT_0 \quad (2) \text{ — уравнение равновесия,}$$

т.к. поршень в равновесии.

По закону Тейлора количества молей CO_2 в сосуде равно:

$$\nu_3 = k p_0 \cdot \frac{3}{8} V \quad (3)$$

Конечное состояние:

В сосуде углекислого газа нет;

над водой находится угл. газ

в количестве $(\nu_2 + \nu_3)$ молей и насыщенное

водяное пар при $T = 373 \text{ K}$, т.е.

давление насыщенного пара равно $p_{\text{атм}}$.

Уравнение Менделеева-Клапейрона для угл. газа в обеих частях сосуда:

$$p_1 \cdot \frac{1}{8} V = \nu_1 RT \quad (4)$$

$$p_2 \cdot \frac{1}{2} V = (\nu_2 + \nu_3) RT \quad (5), \text{ } p_2 \text{ — парциальное давление } \text{CO}_2 \text{ в ниж. части.}$$

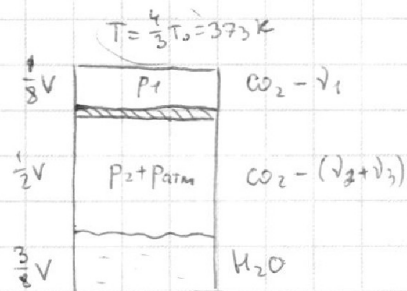
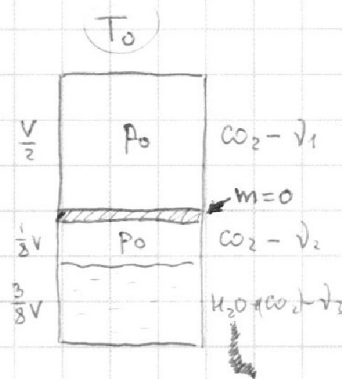
Используя (1), (2) и (3), находим:

$$\frac{\nu_1}{\nu_2 + \nu_3} = \frac{\frac{p_0 V}{2 RT_0}}{\frac{p_0 V}{8 RT_0} + \frac{3}{8} k p_0 V} = \frac{8}{2 + 6 k RT_0} = \frac{4}{1 + 3 k RT_0} = \frac{4}{1 + 3 \cdot 0,6 \cdot 10^{-3} \cdot 3 \cdot 10^3} = \frac{4}{1 + 5,4} = \frac{4}{6,4} = \frac{5}{8}$$

Используя (4) и (5), находим:

Условие равновесия поршня в конечном состоянии: $p_1 = p_2 + p_{\text{атм}}$

Используя (1) и (2), находим $\frac{\nu_1}{\nu_2} = \frac{\frac{p_0 V}{2 RT_0}}{\frac{p_0 V}{8 RT_0}} = 4$



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!

Используя (1) найдем: $v_1 = \frac{p_0 V}{2RT_0}$

$$U_3 (4) \text{ найдем: } p_1 = \frac{8v_1 RT}{V} = \frac{8 \cdot p_0 V \cdot R \cdot \frac{4}{3} T_0}{2RT_0 \cdot V} = \frac{16}{3} p_0$$

Используя (2) найдем: $v_2 = \frac{p_0 V}{8RT_0}$; $U_3 (3): v_3 = \frac{3}{8} k p_0 V$

$$U_3 (5) \text{ найдем: } p_2 = \frac{2(v_2 + v_3)RT}{V} = \frac{2 \left(\frac{p_0 V}{8RT_0} + \frac{3}{8} k p_0 V \right) \cdot RT_0 \cdot \frac{4}{3}}{V} = \frac{p_0}{3} + k \cdot R \cdot p_0 \cdot T_0 =$$

$$= \frac{p_0}{3} + k \cdot \frac{3}{4} TR \cdot p_0 = \frac{p_0}{3} + 0,6 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{3}{4} \cdot 3 \cdot 10^3 \cdot p_0 = \frac{101}{60} p_0$$

Условие равновесия поршня в конечном состоянии: $p_1 = p_2 + p_{\text{атм}}$

$$\frac{16}{3} p_0 = \frac{101}{60} p_0 + p_{\text{атм}}$$

$$p_0 = \frac{60}{219} p_{\text{атм}}$$

Ответ: 1) 4

$$2) \frac{60}{219} p_{\text{атм}}$$

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!



N3.

Дано:

d
 $q (q > 0)$
 m
 $U_1 = 5U$
 $U_2 = U$
 V_0

Решение:

~~Схему, данную в задаче можно свести к эквивалентной:~~

1) В области 2-3 на заряд действует электрическая сила

$$F_{23} = qE_{23}$$

$$E_{23} = \frac{U_2}{d}$$

1) $a_{23} = ?$

2) $K_3 - K_2 = ?$

3) $V_A = ?$

По второму закону Ньютона: $ma_{23} = F_{23}$

$$a_{23} = \frac{F_{23}}{m} = \frac{qU_2}{md} = \frac{qU}{md}$$

2) Теорема об изменении кинетической энергии:

$$K_2 - K_0 = A_{12}; \quad K_0 = \frac{mV_0^2}{2}; \quad A_{12} - \text{РАБОТА электрического сил на участке 1-2.}$$

$$A_{12} = F_{12} \cdot \frac{d}{3} = qE_{12} \cdot \frac{d}{3}$$

~~Находим E_{12}~~

$$\text{Имеем: } \begin{cases} \varphi_1 - \varphi_3 = U_1 \\ \varphi_2 - \varphi_3 = U_2 \end{cases}$$

$$\text{Откуда } \varphi_1 - \varphi_2 = U_1 - U_2 = 4U$$

$$E_{12} = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{d_{12}} = \frac{4U}{d}$$

$$A_{12} = q \cdot \frac{4U}{d} \cdot \frac{d}{3} = \frac{4}{3}qU$$

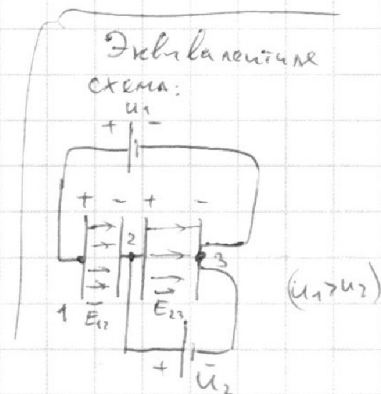
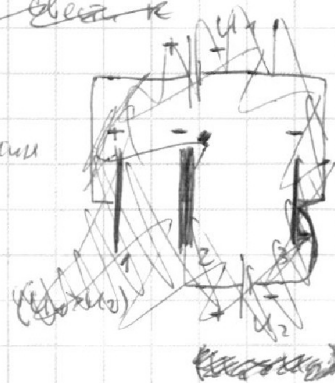
$$K_2 = K_0 + A_{12} = \frac{mV_0^2}{2} + \frac{4}{3}qU \quad (1)$$

Теорема об изменении кинетической энергии: $K_3 - K_2 = A_{23}$

A_{23} - РАБОТА электрических сил на участке 2-3.

$$A_{23} = F_{23} \cdot d = qE_{23} \cdot d = qU_2 = qU$$

$$\text{Т.е. } K_3 - K_2 = qU$$



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

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

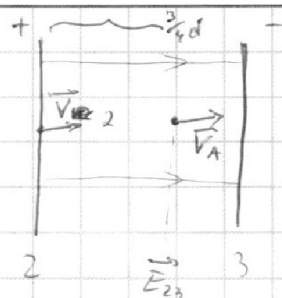
1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐

МФТИ

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

3) U_3 (1) находим $K_2 = 4qU + \frac{mV_0^2}{2}$

~~$K_2 = \frac{mV_0^2}{2}$~~



По теореме об изменении кинетической

энергии: ~~$\frac{mV_0^2}{2}$~~ $\frac{mV_A^2}{2} - K_2 = A_{эл.}$

$A_{эл.} = qE_{23} \cdot \frac{3}{4}d = q \cdot \frac{3}{4}d \cdot \frac{U}{d} = \frac{3}{4}qU$

$\frac{mV_A^2}{2} = \frac{3}{4}qU + 4qU + \frac{mV_0^2}{2}$

$V_A = \sqrt{\frac{19}{2} \frac{qU}{m} + V_0^2}$

3) Скорость V_0 частицы имеет вдвое от сеток, где потенциал принимается за ноль.

Потенциал ноль и в центре в середине между сетками.

Т.е. в точке 0 скорость частицы

Омлем: 1) $a_{23} = \frac{qU}{md}$

2) ~~K_2~~ $K_3 - K_2 = qU$

3) $V_A = \sqrt{\frac{19}{2} \frac{qU}{m} + V_0^2}$

1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☒ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐

№4.

Дано:

R

L

E

Решение:

1) При установившемся режиме и разомкнутом ключе

ток в цепи постоянен, ЭДС самоиндукции в катушках не возникает ЭДС

1) I_{20} - ?

самостоятельно $E_{is} = -L \frac{dI}{dt} = 0$.

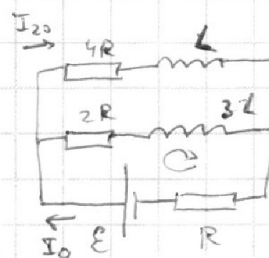
2) $\frac{dI}{dt}$ - ?

Закон Ома: $I_0 = \frac{E}{R + \frac{3R}{6}} = \frac{3}{7} \frac{E}{R}$

3) q - ?

Напряжения на $4R$ и $3R$ равны

Второе правило Кирхгофа для контура $E-R-4R-L$:



$$E = I_{20} \cdot 4R + I_0 R$$

$$I_{20} = \frac{E}{4R} - \frac{I_0}{4} = \frac{E}{4R} - \frac{3E}{28R} = \frac{1}{7} \frac{E}{R}$$

2) Сразу после замыкания ключа

ток через катушку $2L$ отсутствует,

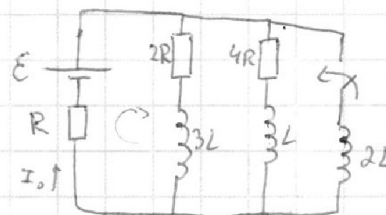
емк представляет E_{is} ЭДС самоиндукции, возникшей в катушке.

Затем второе правило Кирхгофа для контура $E-R-2L$ (сразу после замыкания)

$$E + E_{is2} = I_0 R$$

$$E - 2L \frac{dI}{dt} = \frac{3}{7} \frac{E}{R}$$

$$\frac{dI}{dt} = \frac{2}{7} \frac{E}{L}$$



3) Во время замыкания ключа:

Сущая длительное время после замыкания:

Ток через $4R$ и L

$$I_{20} = \frac{1}{7} \frac{E}{R}$$

Ток через R

$$I_0 = \frac{3}{7} \frac{E}{R}$$

$$I' = \frac{E}{R}$$

Ток через $2L$

т.к. сущая длительное время после замыкания ток будет

определяется

только в контуре $E-2L-R$, т.к. катушка $2L$ не имеет сопротивления. (идеальная)

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

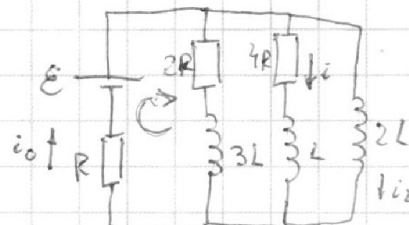
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



Запишем второе правило Кирхгофа в некоторый момент
времени после замыкания ключа: $\mathcal{E} + \mathcal{E}_{is} = i_0 R + i \cdot 4R$ (контур $\mathcal{E}-R-2L$)

$$\mathcal{E} - L \cdot \frac{\Delta i}{\Delta t} = i_0 R + 4iR$$

$$\Delta t (\mathcal{E} - i_0 R) = L \cdot \Delta i + 4iR \cdot \Delta t \quad (i \cdot \Delta t = \Delta q)$$



Запишем второе правило Кирхгофа
для некоторого момента времени после замыкания ключа для $\mathcal{E}-2L-R$:

$$\mathcal{E} + \mathcal{E}_{is2} = i_0 R$$

$$\mathcal{E} - 2L \frac{\Delta i_2}{\Delta t} = i_0 R$$

$$2L \cdot \Delta i_2 = (\mathcal{E} - i_0 R) \Delta t$$

Суммируем от нач. момента до времени установившегося режима

$$2L \sum \Delta i_2 = \sum (\mathcal{E} - i_0 R) \Delta t_i$$

$$2L (I' - 0) = \sum (\mathcal{E} - i_0 R) \Delta t_i \quad \text{т.е.} \quad \sum (\mathcal{E} - i_0 R) \Delta t_i = 2L \frac{\mathcal{E}}{R}$$

Теперь также просуммируем выражение (1):

$$\sum (\mathcal{E} - i_0 R) \Delta t_i = L \left(0 - \frac{1}{7} \frac{\mathcal{E}}{R} \right) + 4R \sum \Delta q_i$$

$$\frac{2\mathcal{E}L}{R} = -\frac{1}{7} \frac{\mathcal{E}L}{R} + 4R \cdot q$$

$$\frac{2\mathcal{E}L}{R} = -\frac{1}{7} \frac{\mathcal{E}L}{R} + 4R \cdot q$$

$$q = \frac{15}{28} \frac{\mathcal{E}L}{R^2}$$

$$\text{Откуда } q = \frac{15}{28} \frac{\mathcal{E}L}{R^2}$$

Ответ: 1) $I_{20} = \frac{1}{7} \frac{\mathcal{E}}{R}$; 2) $\frac{dI}{dt} = \frac{1}{28} \frac{\mathcal{E}}{R}$; 3) $q = \frac{15}{28} \frac{\mathcal{E}L}{R^2}$.

Предположим табл.:

	Во время замыкания	Система уравнений в момент после замыкания
Ток через $4R$ и L (i)	$I_{20} = \frac{1}{7} \frac{\mathcal{E}}{R}$	0
Ток через R (i_0)	$I_0 = \frac{3}{7} \frac{\mathcal{E}}{R}$	$I' = \frac{\mathcal{E}}{R}$
Ток через $2L$ (i_2)	0	$I' = \frac{\mathcal{E}}{R}$

Эти данные необходимы для суммирования:

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!



№5.

Дано:

1) $n_8 = 1$

$n_1 = 1$

$n_2 = 1,7$

2) $n_8 = 1$

$n_1 = 1$

$n_2 = 1,7$

$d = 0,1 \text{ см}$

$h = 14 \text{ см}$

$a = 100 \text{ см}$

$d = 0,1 \text{ см}$

1) $\delta = ?$

2) $\delta = ?$

Решение:

1) Проложа новую призму

n_2 не отклонится, т.к. угол отражения равен 0. ($\sin 0 = 0$), т.е. будет под углом 0°

Закон преломления: $n_2 \sin \beta = n_1 \sin \alpha$

Т.к. углы малые, то $n_2 \cdot \beta = n_1 \cdot \alpha$

Следовательно $\beta = \alpha$

$$\delta = \frac{n_2}{n_1} \beta = \frac{n_2}{n_1} \alpha$$

Из рисунка видно, что $\delta = \gamma - \beta = \left(\frac{n_2}{n_1} - 1 \right) \alpha$

Дане n_2 не преломляется т.к. $n_1 = n_8$.

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

2) Т.к. клин тонкий, то угол отклонения будет равен δ .

