



Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

Вариант 11-04

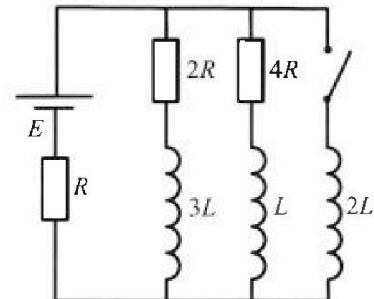
Во всех задачах, в ответах допустимы обыкновенные дроби и радикалы.



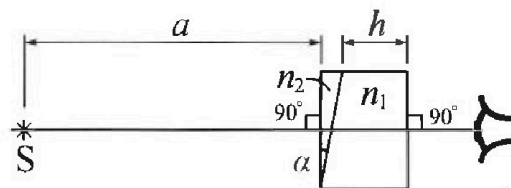
4. Параметры цепи указаны на схеме, все элементы идеальные. Ключ разомкнут, режим в цепи установился. Затем ключ замыкают.

- 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?

Отве ты 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.



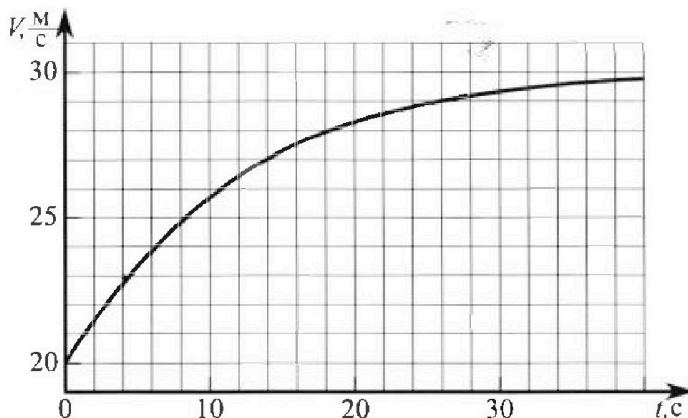
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

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.



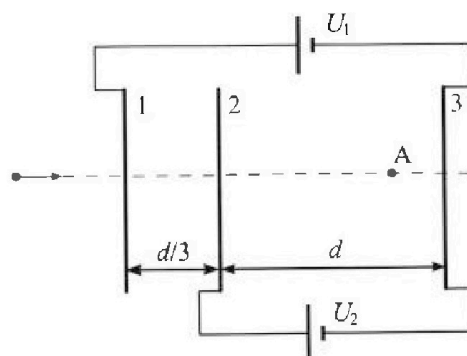
- Используя график, найти ускорение мотоцикла в начале разгона.
 - Найти силу сопротивления движению F_0 в начале разгона.
 - Какая часть мощности, передаваемой на ведущее колесо, идет на преодоление силы сопротивления движению в начале разгона?
- Треб уемая точность численного ответа на первый вопрос 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.

- 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 $d/3$ (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.



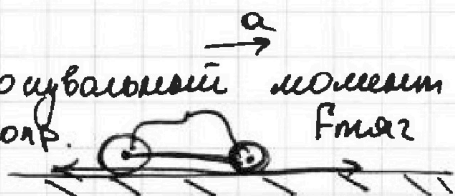
- Найти модуль ускорения частицы в области между сетками 2 и 3.
- Найти разность $K_3 - K_2$, где K_2 и K_3 — кинетические энергии частицы при пролете сеток 2 и 3.
- Найти скорость частицы в точке A на расстоянии $3d/4$ от сетки 2.

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!

м)

(*) В произвольный момент времени:



$$N_{тяги} = \frac{F_{тяги} \cdot dS}{dt} = F_{тяги} V = \text{const.}$$

1) 23 Н для мотоцикла в начальный момент времени:

$$m a_0 = F_{тяги_0} - F_0$$

Заметим, что в конце разгона, когда скорость стремится к 30 м/с, она почти горизонтальна, значит $a \rightarrow 0$ в этот момент, значит 23 Н для мотоцикла в этот момент.

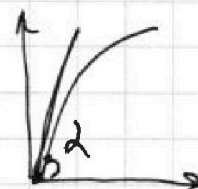
$$0 = F_{тяги} - F_k \rightarrow [F_{тяги} = F_k] \\ \text{При этом } N_{тяги} = F_k \cdot V^* = \text{const}; V^* = 30 \text{ м/с};$$

$$[F_{тяги_0} = \frac{F_k V^*}{V_0} = \frac{200 \cdot 30}{20} = 300 \text{ Н}]$$

$$(m a = \frac{\text{const}}{v} - F_k) \quad a = \frac{dv}{dt}$$

$$m \frac{dv}{dt} = \frac{\text{const}}{v} - F_k \quad \cdot dt$$

$$m dv = \frac{\text{const}}{v} dt - F_k dt$$



Из графика $a = \frac{dv}{dt} = 0,75 \text{ м/с}^2$, поскольку $a = v'$, то ее график касательной к начальной точке графика

$$F_0 = F_{тяги} - m a_0 = 300 - \frac{3}{4} \cdot 240 = 120 \text{ Н.}$$

$$\eta = \frac{N_{сопр}}{N_{тяги}} = \frac{120 \cdot 20}{300 \cdot 20} = \frac{4}{10} = 0,4$$

Ответ: 1) $a = 0,75 \text{ м/с}^2$ 2) $F_0 = 120 \text{ Н.}$ 3) 0,4.

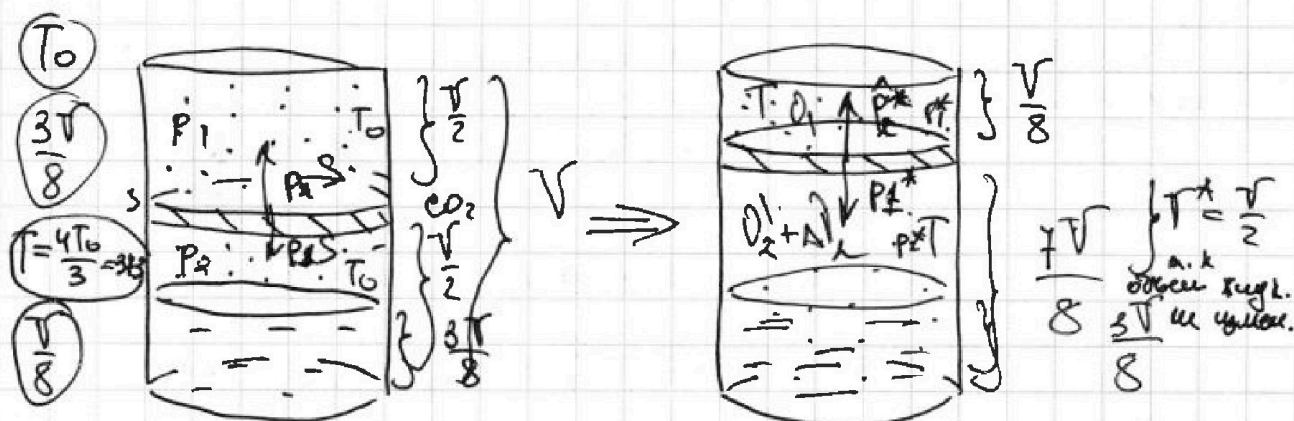
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

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!



$$(\Delta U) = k p w$$

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

$$RT = 3 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{масс}}$$

$$p_1 \frac{V_0}{2} = \nu_1 RT_0$$

$$p_2 \frac{V_0}{8} = \nu_2^* RT_0$$

$$\frac{\nu_2^*}{\nu_1} = 4$$

По уравнению Давидсона
 $\hat{p}_2 = p_2^* + p_{\text{пл}}$
 давление внешнего газа в конце процесса

1) Процесс изотермический, значит равновесный, то есть поршень не имеет ускорения а_{пор} = 0, тогда в любой момент времени $p_1^* = p_2^* \rightarrow [p_1 = p_2 = p^*]$
 • в начальном моменте: $p_1 = p_2 = p_0$
 • уравнение состояния для газа в верхнем отсеке:

$$p_1^* \frac{V}{2} = \nu_1 RT_0 ; p_2^* \frac{V}{8} = \nu_2 R \cdot \frac{4}{3} T_0$$

$$\frac{p_2^*}{p_1^*} = \frac{16}{3} \rightarrow (p_2^* = \frac{16}{3} p_1^*)$$

$$(\Delta U)_2 = k p w \quad k p_2 \cdot \frac{3V}{8} = k \frac{8 \nu_2^* RT_0 \cdot 3K}{K} = 3 k \nu_2^* RT_0$$

Уравнение состояния для гелиевого газа в нижнем отсеке:

$$p_2^* \frac{V}{8} = \nu_2^* RT_0$$

$$p_2^* \cdot \frac{V}{2} = (\nu_2^* + 3 k \nu_2^* RT_0) R \cdot \frac{4}{3} T_0$$

$$\frac{p_2^*}{p_2} = \frac{(\nu_2^* + 3 k \nu_2^* RT_0) \frac{8}{3} T_0}{8 \nu_2^* T_0} = \frac{1 + 3 k RT_0}{3}$$

$$(p_2 = \frac{3 p_2^*}{1 + k RT_0})$$

Ответ: $\frac{1}{3} + k RT_0$



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!

(*) При увеличении температуры в сосуде до T вода начнет испаряться, так что $p_{\text{нп}} = p_{\text{нп.пл.к.}} T = 373 \text{ K} = 100^\circ \text{C}$, но $p_{\text{нп}} = p_{\text{атм}}$

2) Из условия равновесия: $p_1^* = \hat{p}_2$

$$\frac{16}{3} p_1 = p_1 \frac{(1 + 3 k R T_0)}{3} + p_{\text{атм}}$$

$$\frac{p_1}{3} (5 - 3 k R T_0) = p_{\text{атм}}$$

$$p_0 = p_1 = \frac{p_{\text{атм}}}{5 - 3 k R T_0} = \frac{p_{\text{атм}}}{5 - 0,8 \cdot 10^{-3} \cdot 3 \cdot 10^3}$$

$$= \frac{p_{\text{атм}}}{3,2} = \frac{5}{16} p_{\text{атм.}}$$

$$\text{Ответ: } 1) \frac{p_2}{p_1} = 4; \quad p_0 = \frac{5}{16} p_{\text{атм.}}$$



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!

(*) Заметим, что аэра от первой пластины нет эл. поля, значит на частицу не действует никаких сил, тогда V_1 - скорость частицы при пролете первой аэры $V_1 = V_0$.

3) ЗЦЗ: от втора до Зсеток:

$$k_2 + q \cdot \varphi_2 = k_3 + q \cdot \varphi_3 \rightarrow k_3 - k_2 = q(\varphi_2 - \varphi_3)$$

$$[k_3 - k_2 = 11q]$$

4) Отметим, что напряженность между аэрами не изменяется, тогда на частицу действует постоянная сила, а значит $a = \text{const.}$ (между аэрами).
Введем формулы РУН:

$$\bullet 2q_{1x} \delta x = V_{2x}^2 - V_{1x}^2:$$

$$[V_2^2 = V_0^2 + 2 \cdot \frac{124q}{m\alpha} \cdot \frac{\alpha}{3} = V_0^2 + \frac{84q}{m\alpha}]$$

$$\bullet 2q_{2x} S_{2x} = V_{x}^{*2} - V_{2x}^2:$$

$$2 \cdot \frac{11q}{m\alpha} \cdot \frac{3\alpha}{4} = V^{*2} - V_2^2 \rightarrow V^{*2} = V_0^2 + \frac{84q}{m\alpha} + \frac{3}{2} \frac{11q}{m}$$

$$(V^* = \sqrt{V_0^2 + \frac{19}{2} \frac{11q}{m}})$$

Ответ: 1) $q_1^* = \frac{11q}{m\alpha}$; 2) $k_3 - k_2 = 11q$; 3) $V^* = \sqrt{V_0^2 + \frac{1911q}{2m}}$

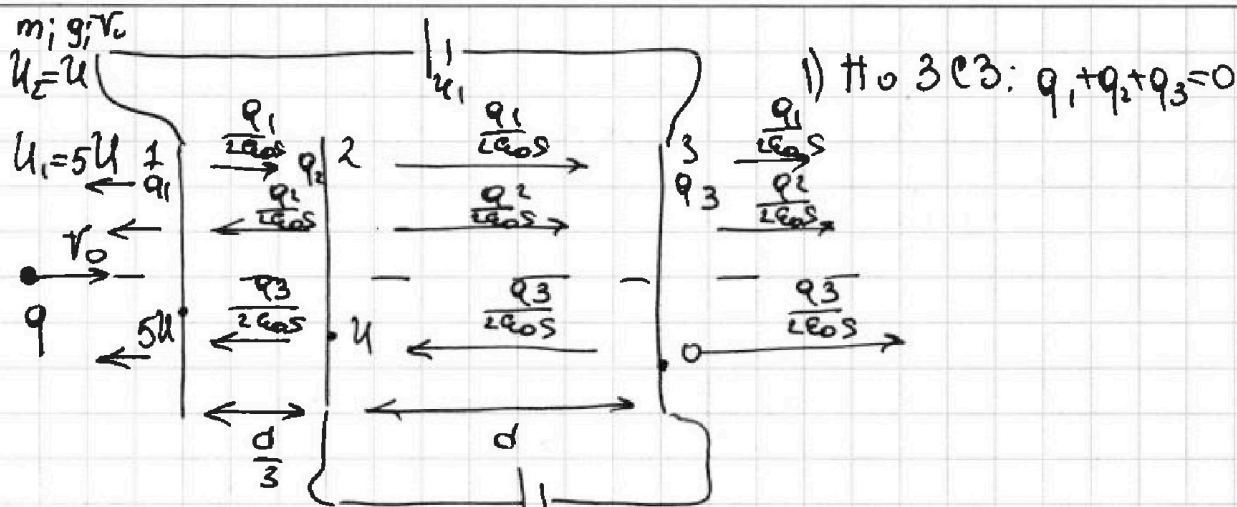
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

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!



$$(*) \quad d \left(\frac{q_3 + q_1 + q_1}{2 \epsilon_0 S} \right) = U_2 U,$$

$$\frac{d}{3} \left(\frac{q_3 + q_2 + q_1}{2 \epsilon_0 S} \right) = U_1 - U_2 = 4U$$

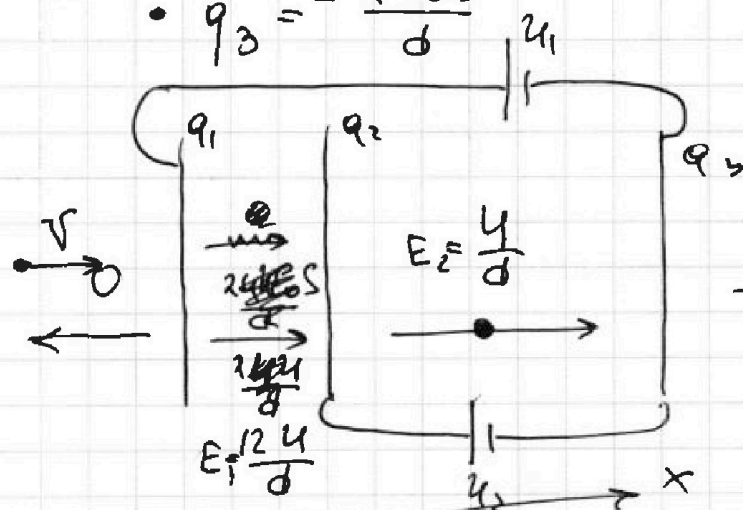
$$(\bullet q_1 = \frac{12 \epsilon_0 S}{d})$$

$$2 q_1 + 2 q_2 = \frac{24 \epsilon_0 S}{d}$$

$$[\bullet q_2 = -\frac{11 \epsilon_0 S}{d}]$$

$$\bullet q_3 = -\frac{4 \epsilon_0 S}{d}$$

$$\begin{cases} q_1 - q_2 - q_3 = \frac{24 \epsilon_0 S}{d} \\ q_1 + q_2 + q_3 = 0 \\ q_1 + q_2 - q_3 = \frac{24 \epsilon_0 S}{d} \end{cases}$$



2) Рассмотрим момент, когда частица находится между 2 и 3 сеткой:

$$m \xrightarrow{E_2 q} F_{эл} = E_2 q$$

$$23 \text{ м: } m a^* = F_{эл}$$

$$[a_2^* = \frac{E_2 q}{m} = \frac{4q}{m d}]$$

Рассмотрим момент, когда частица находится между сетками 1-3:

$$[a_1^* = \frac{F_{эл}}{m} = \frac{E_1 q}{m} = \frac{12 U q}{m d}]$$

$$m a_1^* = F_{эл} \quad F_{эл} = E_1 q$$

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

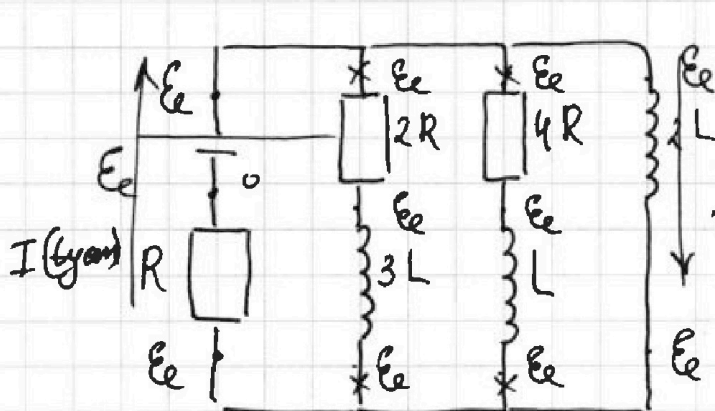
Отметьте крестиком номер задачи,

решение которой представлено на странице:

1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☒ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐

МФТИ

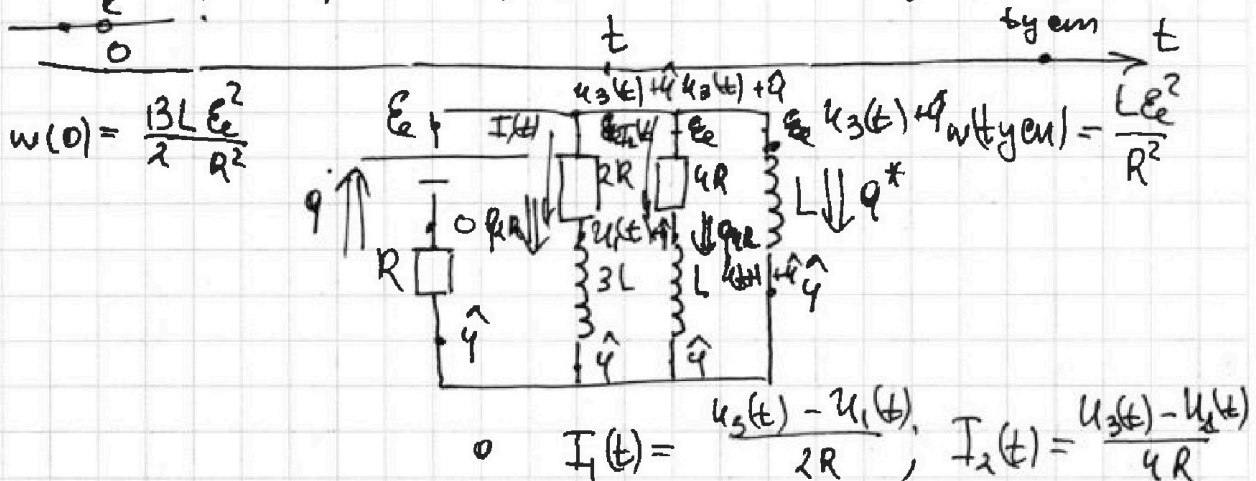
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



$$I(t_{\text{уст}}) = \frac{E}{R}$$

$$W(t_{\text{уст}}) = \frac{2L I(t_{\text{уст}})^2}{2} = \frac{L E^2}{R^2}$$

3) Рассмотрим процесс от $t=0$ до $t=t_{\text{уст}}$ на графике:



$$I_1(t) = \frac{U_3(t) - U_1(t)}{2R}, \quad I_2(t) = \frac{U_3(t) - U_2(t)}{4R}$$

(*) 3) $4R \cdot I_2(t) = \frac{2L \cdot dI_3}{dt} - \frac{L \cdot dI_2}{dt} \cdot dt$

(*) $4R I_2(t) dt = 2L dI_3 - L dI_2$

Просуммируем от $t=0$ до $t=t_{\text{уст}}$:

$$4R \sum dq_2 = 2L \sum dI_3 - L \sum dI_2 \rightarrow \left(q_2 = \frac{15LE}{4R^2} \right)$$

$$4R \cdot q_2 = 2L \left(\frac{E}{R} - 0 \right) - L \left(0 - \frac{E}{4R} \right)$$

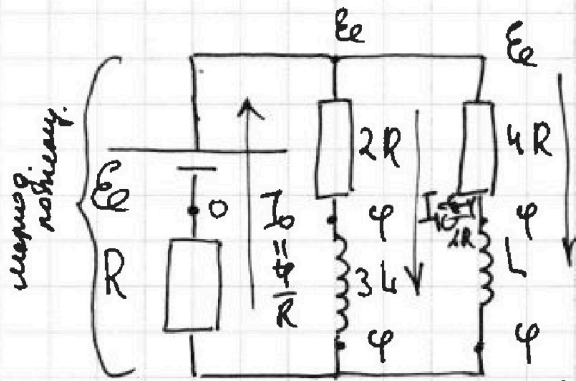
Ответ: 1) $I_{20} = \frac{E}{4R}$ 2) $I_3(0) = \frac{2E}{7L}$ 3) $q_2 = \frac{15LE}{4R^2}$

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!



0) Рассмотрим цепь в уст. состоянии при $t \rightarrow \infty$: Напряжения на --- и --- ветвях: $U_L = 0$; $U_{3L} = 0$



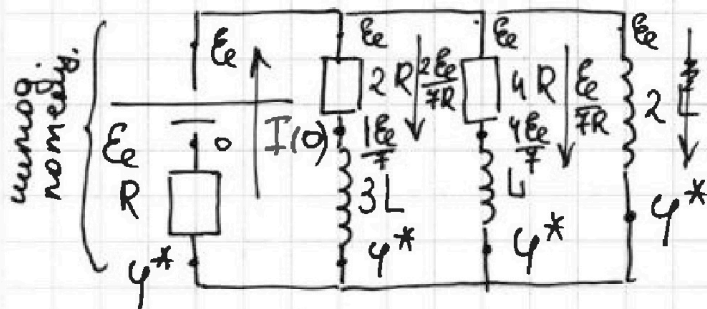
$$I_{20} + I_{10} = I_0$$

$$I_{20} = \frac{E_e - U}{4R} \quad \frac{E_e - U}{4R} + \frac{E_e - U}{2R} = \frac{U}{R} \quad | \cdot 4$$

$$E_e - U + 2E_e - 2U = 4U$$

$$I_{20} = \frac{E_e - \frac{3E_e}{7}}{4R} = \frac{E_e}{7R} \quad 3E_e = 4U \rightarrow U = \frac{3E_e}{4} \quad I_{10} = \frac{E_e - \frac{3E_e}{4}}{2R} = \frac{E_e}{8R}$$

1) Рассмотрим цепь сразу после $t = 0$:
Напряжения на --- и --- ветвях: $U_L = 0$; $U_{3L} = 0$
и по направлению; и по величине. $I_1(0) = I_{10} = \frac{2E_e}{7R}$; $I_2(0) = I_{20} = \frac{E_e}{7R}$; $I_3(0) = 0$.



$$U_3(0) = 2L I_3(0)$$

$$I_3(0) = \frac{U_3(0)}{2L}$$

$$I(0) = I_1(0) + I_2(0) + I_3(0)$$

$$I(0) = \frac{3E_e}{7R}$$

$$U^* - 0 = \frac{3E_e}{7R} \rightarrow U^* = \frac{3E_e}{7R}$$

$$U_{\max} \quad U_3(0) = E_e - \frac{3E_e}{7} = \frac{4E_e}{7}$$

$$I_3'(0) = \frac{U_3(0)}{2L} = \frac{2E_e}{7L} \quad W(0) = \frac{3L I_1(0)^2}{2} + \frac{L I_2(0)^2}{2} + 0 = \frac{3L E_e^2}{2R}$$

2) Рассмотрим цепь в уст. состоянии при $t \rightarrow \infty$: Напряжения на --- и --- ветвях: $U_1(\text{уст}) = 0$; $U_2(\text{уст}) = 0$; $U_3(\text{уст}) = 0$

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!

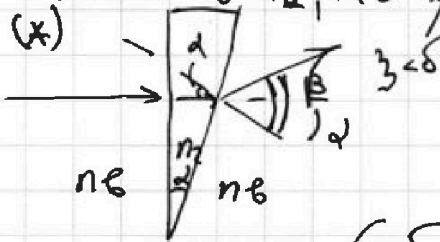
$$n_0 = 1,0$$

$$Q = 100 \text{ нм}$$

$$\lambda = 0,1 \text{ рад}$$

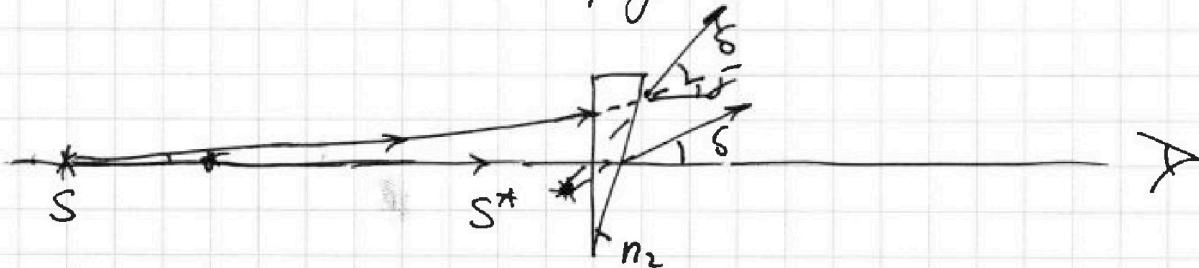
$$h = 14 \text{ см}$$

(*) Если $n_0 = n_2$, то луча не будет изгибаний в отн. ^{системе}
(*) По 3-й теореме: $\sin \alpha \cdot n_2 = n_1 \sin \beta$
м.к. углы малы $d n_2 = n_1 \beta$.



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

$$\begin{aligned} \angle \delta &= \beta - \alpha = \frac{d n_2}{n_1} - \alpha = d \left(\frac{n_2}{n_1} - 1 \right) = \\ &= 0,1 \cdot 0,4 = 0,04 \text{ рад} \end{aligned}$$



Ответ: 1) $\angle \delta = 0,04 \text{ рад}$.



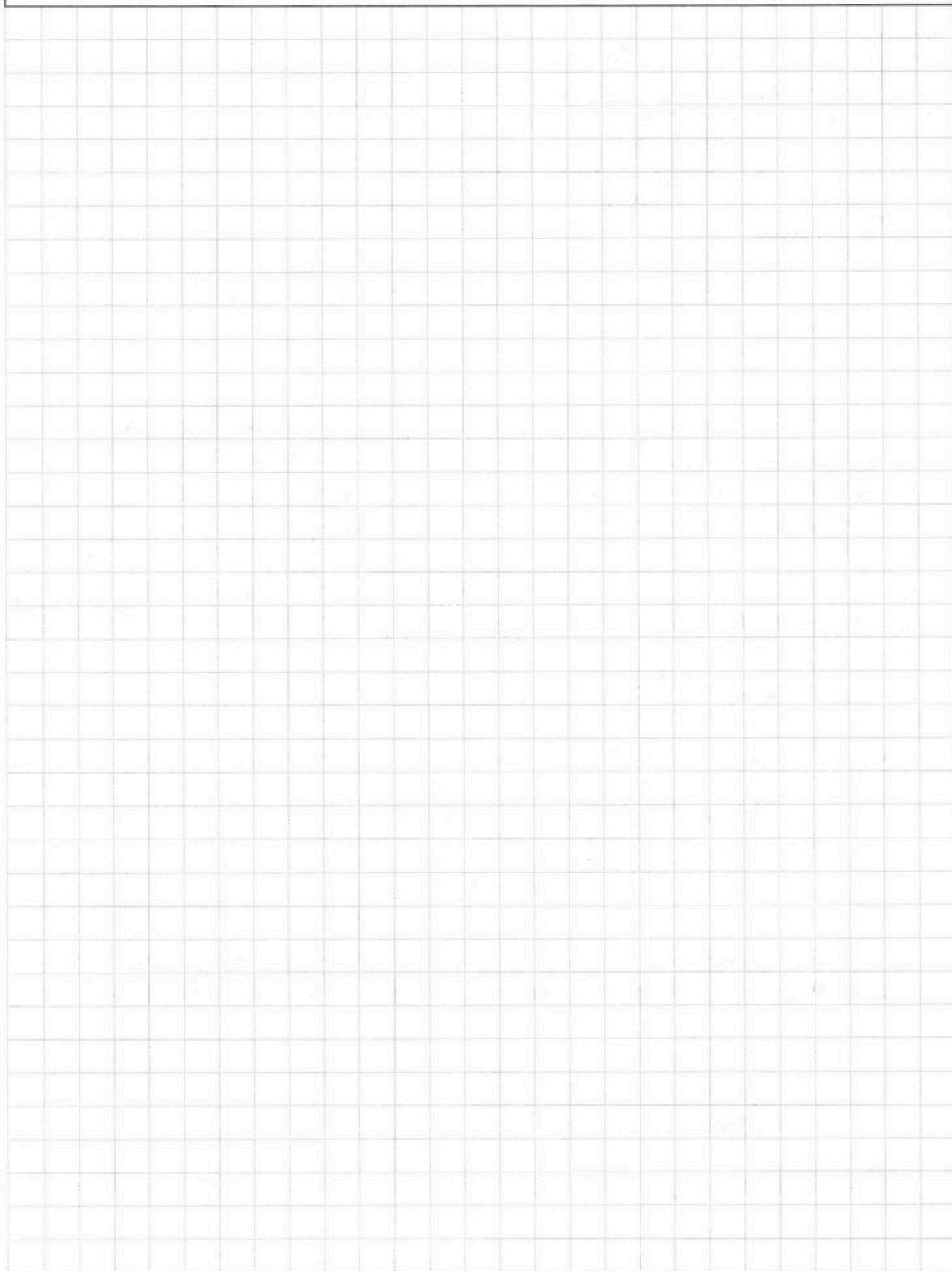
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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!





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!

