

Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

Вариант 11-04

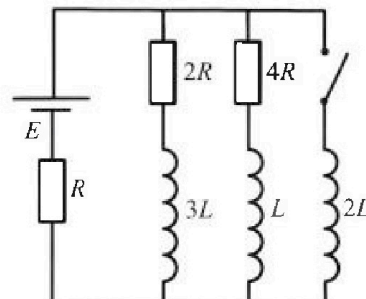
Во всех задачах, в ответах допустимы обыкновенные дроби и радикалы.



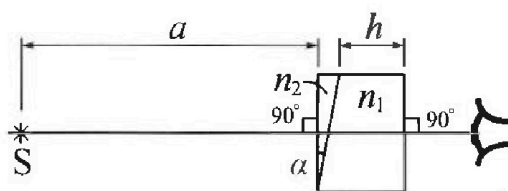
4. Параметры цепи указаны на схеме, все элементы идеальные. Ключ разомкнут, режим в цепи установился. Затем ключ замыкают.

- 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.



(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.

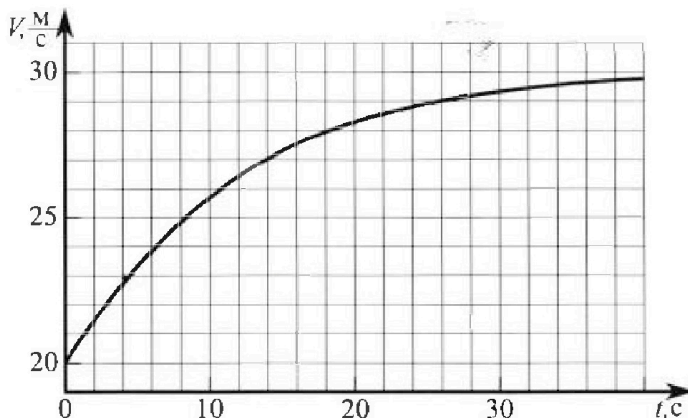
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

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.



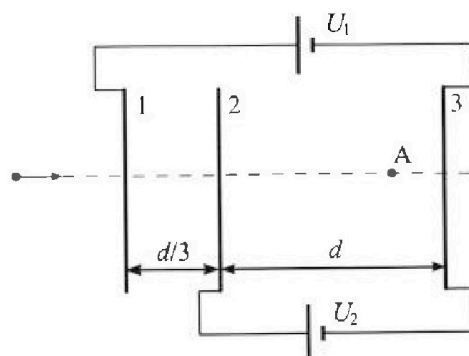
- 1) Используя график, найти ускорение мотоцикла в начале разгона.
- 2) Найти силу сопротивления движению F_0 в начале разгона.
- 3) Какая часть мощности, передаваемой на ведущее колесо, идет на преодоление силы сопротивления движению в начале разгона? Требуемая точность численного ответа на первый вопрос ориентировочно 10%.

2. Герметичный вертикальный цилиндрический сосуд объемом V разделен 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 объем $3V/8$. Затем цилиндр медленно нагрели до $T = 4T_0/3 = 373$ К. Установившийся объем его верхней части стал равен $V/8$.

По закону Генри, при заданной температуре количество Δv растворенного газа в объеме жидкости w пропорционально парциальному давлению p газа: $\Delta v = kpw$. Объем 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 объема 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.

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

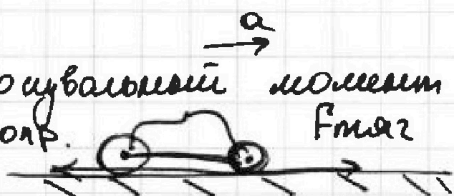
1 2 3 4 5 6 7

МФТИ

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

3)

(*) В произвольный момент времени:



• $N_{тяги} = \frac{F_{тяги} \cdot ds}{dt} = F_{тяги} v = const.$

1) 23Н для мотоцикла в начальный момент времени:

$ma_0 = F_{тяги_0} - F_0$

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

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

$[F_{тяги_0} = \frac{F_k v^*}{v_0} = \frac{200 \cdot 30}{20} = 300 \text{ Н}]$

• $(ma = \frac{const}{v} - F_0) \quad a = \frac{dv}{dt}$

$m \frac{dv}{dt} = \frac{const}{v} - F_0 \cdot dt$

$m dv = \frac{const}{v} dt - F_0 dt$



Из графика $a = \frac{v'}{v}$, поскольку $a = v'$, то ее равна $a = k \cdot \frac{1}{v}$ касательной к графику в начальной точке

$F_0 = F_{тяги} - ma_0 = 300 - \frac{3}{4} \cdot 240 = 120 \text{ Н.}$

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

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

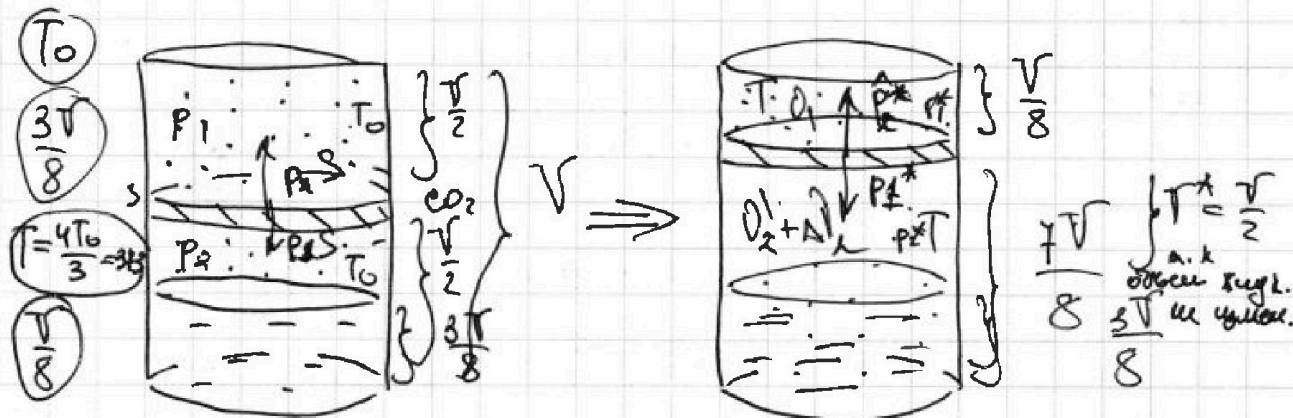
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

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!



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

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

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

$$P_1 \frac{V_0}{2} = \nu_1 RT_0$$

$$P_2 \frac{V_0}{8} = \nu_2 RT_0$$

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

• По формуле Давидсона $\hat{P}_2 = P_2^* + p_{\text{ст}}$
• давление газа в конце процесса

1) Процесс медленный, значит равновесный, то есть поршень не имеет ускорения а пор = 0, тогда в любой момент времени $P_1^* S = P_2^* S \rightarrow [P_1^* = P_2^* = P^*]$
• в начальном моменте: $P_1 = P_2 = P_0$
• уравнение состояния для газа в верхнем отсеке:

$$P_1^* \frac{V}{2} = \nu_1 RT_0 ; P_2^* \frac{V}{8} = \nu_2 R \cdot \frac{4}{8} T_0$$

$$\frac{P_2^*}{P_1^*} = \frac{16}{3} \rightarrow (P_2^* = \frac{16}{3} P_1^*)$$

$$(\Delta U)_2 = k p W \quad k P_2 \cdot \frac{3V}{8} = k \frac{8 \nu_2' RT_0 \cdot 3V}{8} = 3 k \nu_2' RT_0$$

Уравнение состояния для диоксида азота в нижнем отсеке:

$$P_2^* \frac{V}{8} = \nu_2' RT_0$$

$$P_2^* \cdot \frac{V}{2} = (\nu_2' + 3k \nu_2' RT_0) R \cdot \frac{4}{8} T_0$$

$$\frac{P_2^*}{P_2} = \frac{(\nu_2' + 3k \nu_2' RT_0) \frac{8}{3} T_0}{8 \nu_2' T_0} = \frac{1 + 3k RT_0}{3}$$

$$(P_2^* = \frac{3 P_2}{1 + k RT_0})$$

Ответ: $\frac{1}{3} + k RT_0$

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

МФТИ

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!

(*) При увеличении температуры в сосуде до T вода начнет испаряться, так что $p_{\text{нп}} = p_{\text{нп}} \cdot \frac{T}{T_0}$. $T = 373 \text{ K} = 100^\circ \text{C}$, но $p_{\text{нп}} = p_{\text{атм}}$

2) Из условия равновесия: $p_1^* = p_2^*$

$$\frac{16}{3} p_1 = p_1 \frac{(5 - 3kRT_0)}{3} + p_{\text{атм}}$$

$$\frac{p_1}{3} (5 - 3kRT_0) = p_{\text{атм}}$$

$$p_0 = p_1 = \frac{p_{\text{атм}}}{5 - 3kRT_0} = \frac{p_{\text{атм}}}{5 - 0,8 \cdot 10^{-3} \cdot 3 \cdot 10^3}$$

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

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

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!

(*) Заметим, что авиа от первой машины не имеет эл. поля, значит на катушку не действует никаких сил, тогда v_1 - скорость катушки при пролете первой авиа $v_1 = v_0$.

3) ЗСЭ: от втор и до треток:

$$k_2 + q \cdot \varphi_2 = k_3 + q \cdot \varphi_3 \rightarrow k_3 - k_2 = q(\varphi_2 - \varphi_3)$$
$$[k_3 - k_2 = 2q]$$

4) Отметим, что напряженность поля q у авиа не изменяется, тогда на катушку действует постоянная сила, а значит $a = \text{const}$. (между авиами).
Выведем формулы РУН:

$$\bullet 2q_{1x} \cdot \delta x = v_{2x}^2 - v_{1x}^2$$

$$[v_2^2 = v_0^2 + 2 \cdot \frac{124q}{m\alpha} \cdot \frac{\delta}{3} = v_0^2 + \frac{84q}{m\alpha}]$$

$$\bullet 2q_{2x} \cdot S_{2x} = v_{x^*}^2 - v_{2x}^2$$

$$2 \cdot \frac{4q}{m\alpha} \cdot \frac{3\delta}{4} = v_{x^*}^2 - v_2^2 \rightarrow v_{x^*}^2 = v_0^2 + \frac{84q}{m\alpha} + \frac{3}{2} \frac{4q}{m}$$

$$(v_{x^*} = \sqrt{v_0^2 + \frac{194q}{2m}})$$

Ответ: 1) $a_2^* = \frac{4q}{m\alpha}$; 2) $k_3 - k_2 = 2q$; 3) $v_{x^*} = \sqrt{v_0^2 + \frac{194q}{2m}}$

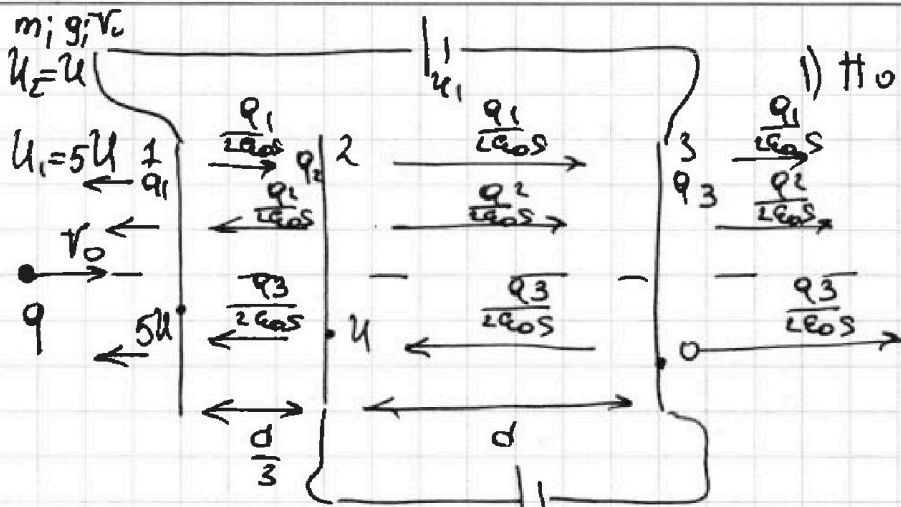
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

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!



1) По 3 ЦЗ: $q_1 + q_2 + q_3 = 0$

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

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

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

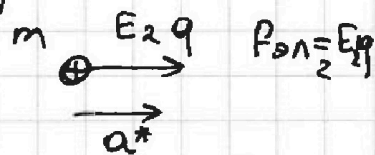
$2q_1 + 2q_2 = \frac{24 \mu \epsilon_0 S}{d}$

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

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

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

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



23M: $ma^* = F_{21} + F_{22}$

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

*) Рассмотрим момент, когда капля находится между сетками 1-3:

[$a_1^* = \frac{F_{31}}{m} = \frac{E_1 q}{m} = \frac{12 \mu q}{m d}$]

$F_{31} = E_1 q$
 $ma_1^* = F_{31}$

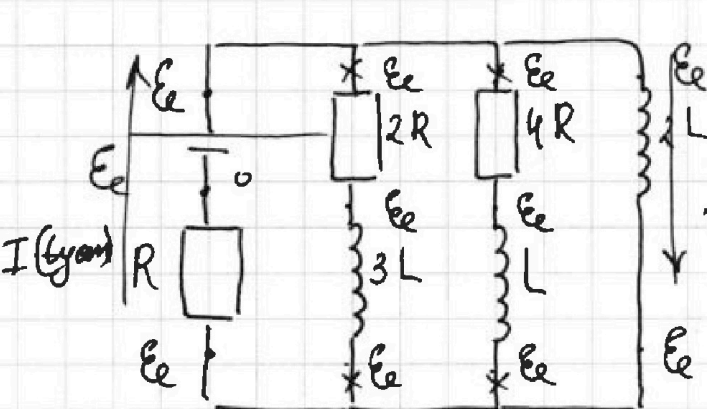
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

1 2 3 4 5 6 7

МФТИ

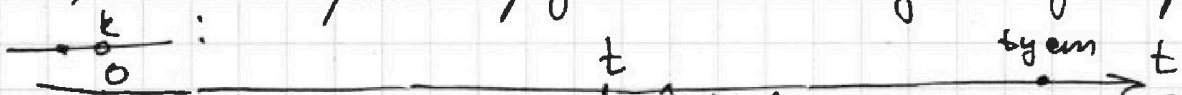
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



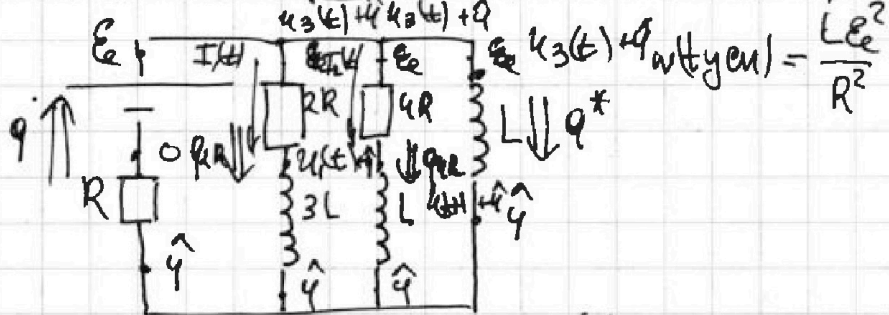
$$I(t_{\text{уст}}) = \frac{\mathcal{E}}{R} \cdot \frac{2}{2}$$

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

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



$$w(0) = \frac{3L \mathcal{E}^2}{2 R^2}$$



$$I_1(t) = \frac{u_3(t) - u_1(t)}{2R}, \quad I_2(t) = \frac{u_3(t) - u_2(t)}{4R}$$

~~(*) 3P2):~~
$$4R \cdot I_2(t) dt = 2L \frac{dI_3}{dt} - L \frac{dI_2}{dt} \cdot dt$$

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

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

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

$$4R \cdot q_2 = 2L \left(\frac{\mathcal{E}}{R} - 0 \right) - L \left(0 - \frac{\mathcal{E}}{7R} \right)$$

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

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

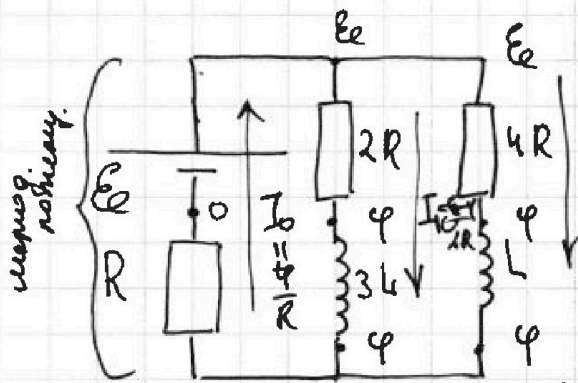
- 1 2 3 4 5 6 7

МФТИ

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



0) Рассмотрим цепь в уст. состоянии при $t \rightarrow \infty$: Напряжения на $3L$ и $4R$ ветвях: $U_L = 0$; $U_{3L} = 0$

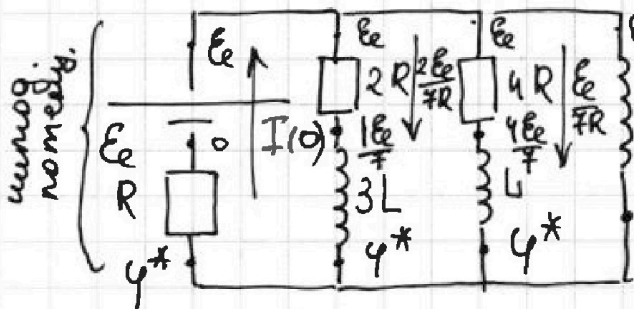


$I_{20} + I_{10} = I_0$
 $I_{20} = \frac{E_e - \varphi}{4R}$
 $\frac{E_e - \varphi}{4R} + \frac{E_e - \varphi}{2R} = \frac{\varphi}{R} \cdot 4$

$E_e - \varphi + 2E_e - 2\varphi = 4\varphi$

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

1) Рассмотрим цепь сразу после $t = 0$:
 Напряжения на $3L$ и $4R$ ветвях: $U_L = 0$; $U_{3L} = 0$
 или по направлению тока; или по величине.
 $I_1(0) = I_{10} = \frac{2E_e}{7R}$; $I_2(0) = I_{20} = \frac{E_e}{7R}$; $I_3(0) = 0$.



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

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

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

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

$\frac{U_3(0) - 0}{R} = \frac{3E_e}{7R} \rightarrow U_3(0) = \frac{3E_e}{7}$

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

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

2) Рассмотрим цепь в уст. состоянии при $t \rightarrow \infty$:
 Напряжения на $3L$ и $4R$ ветвях: $U_L = 0$; $U_{3L} = 0$; $U_{4R} = 0$

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

1 2 3 4 5 6 7

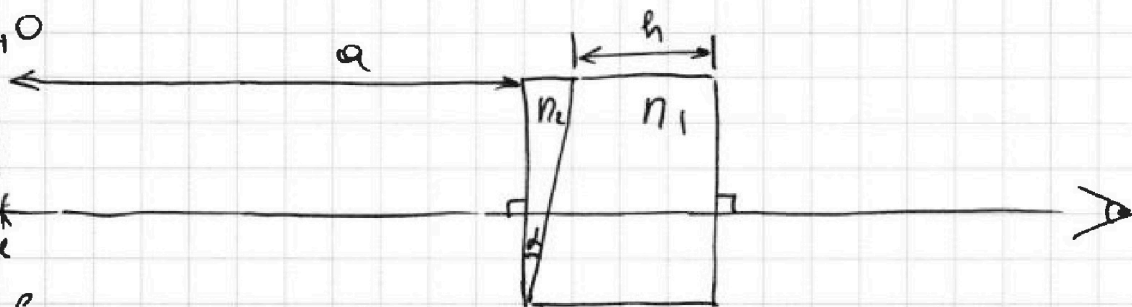
МФТИ

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

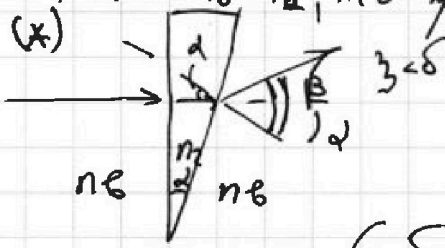
$n_2 = 1,0$

$Q = 100 \text{ см}$
 $\lambda = 0,1 \mu\text{м}$

$h = 14 \text{ см}$

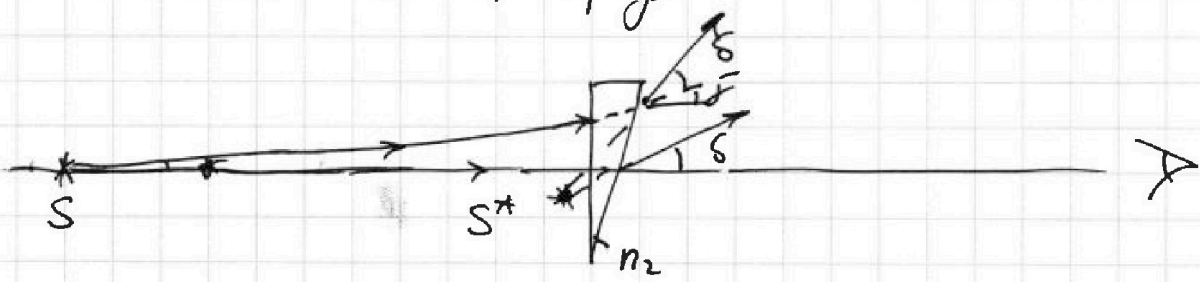


(*) Если $n_2 = n_1$, то условия не выполняются из-за отсутствия разности фаз.
(*) По 3-й формуле: $\sin \alpha \cdot n_2 = n_1 \sin \beta$
и к углам малые $d n_2 = n_1 \beta$.



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

$(\alpha \approx \beta = \alpha - \alpha = \frac{d n_2}{n_1} - \alpha = d \left(\frac{n_2}{n_1} - 1 \right) = 0,1 \cdot 0,4 = 0,04 \text{ рад}$



Ответ: 1) $\alpha \approx \beta = 0,04 \text{ рад}$



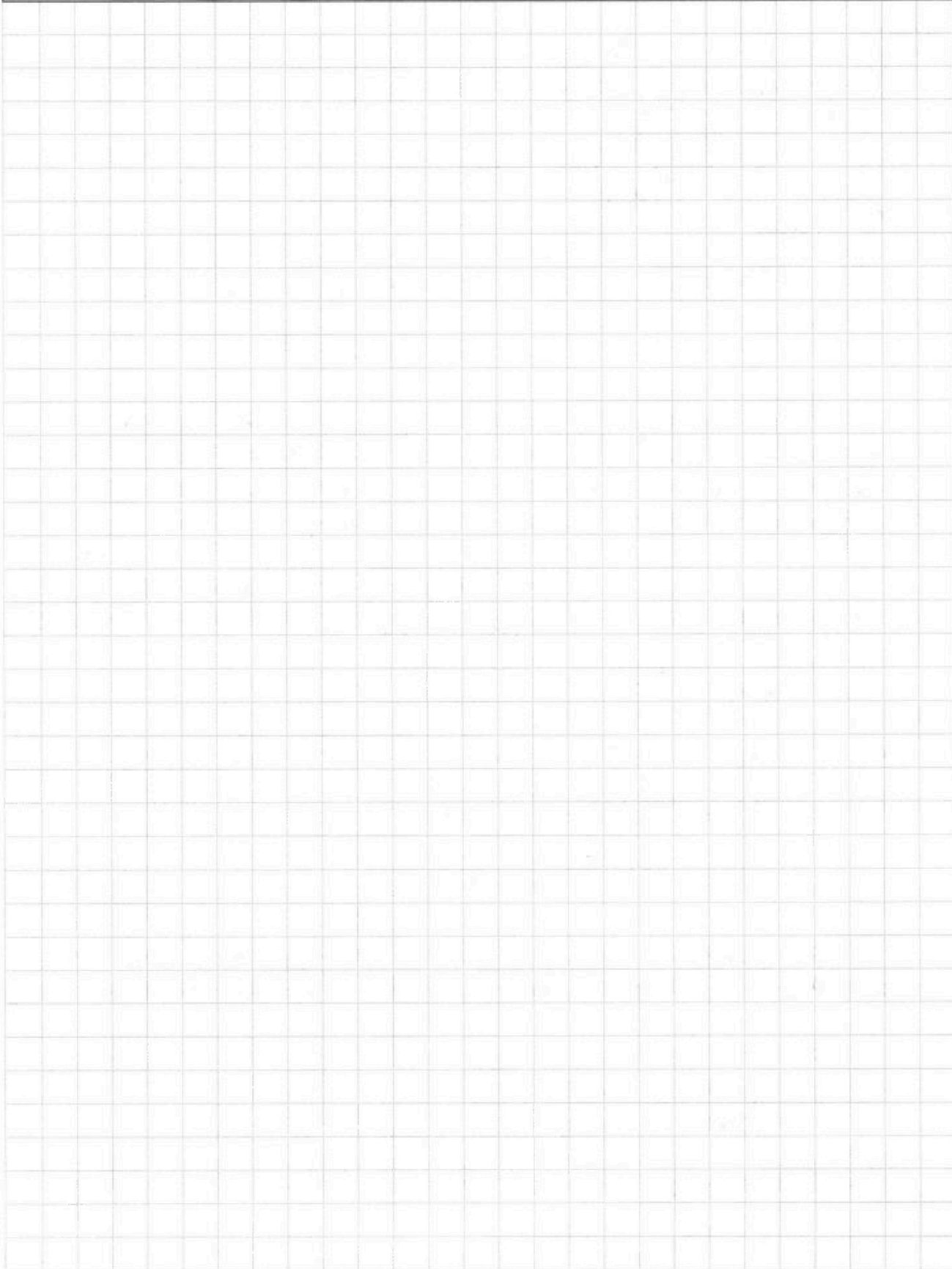
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
<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!





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!

