

# Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

## Вариант 11-04

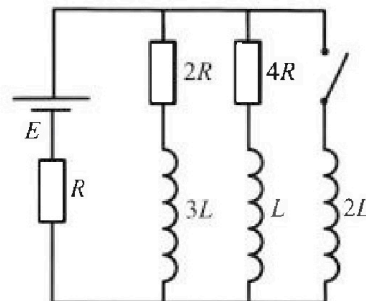
Во всех задачах, в ответах допустимы обыкновенные дроби  
и радикалы.



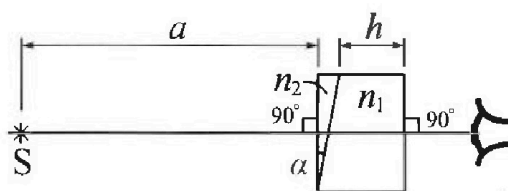
4. Параметры цепи указаны на схеме, все элементы идеальные. Ключ разомкнут, режим в цепи установился. Затем ключ замыкают.

- 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.

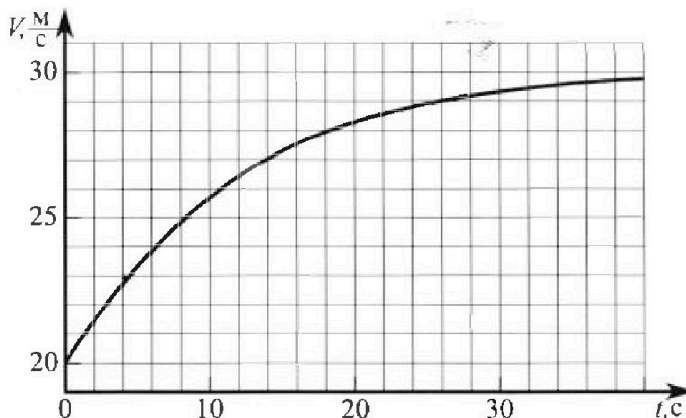
# Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

## 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.



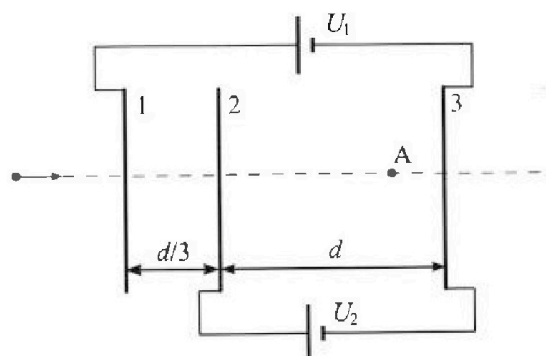
- 1) Используя график, найти ускорение мотоцикла в начале разгона.
- 2) Найти силу сопротивления движению  $F_0$  в начале разгона.
- 3) Какая часть мощности, передаваемой на ведущее колесо, идет на преодоление силы сопротивления движению в начале разгона? Требуемая точность численного ответа на первый 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  $\Delta v$  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/(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 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:

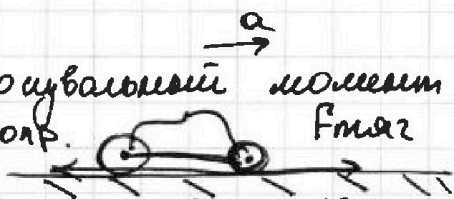
1  2  3  4  5  6  7

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:



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

1) 23к для мотоцикла в начальный момент времени:

$$m a_0 = F_{тяги_0} - F_0$$

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

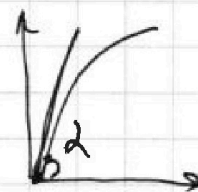
$$0 = F_{тяги} - F_k \rightarrow [F_{тяги} = F_k] \\ \text{При этом } N_{тяги} = F_k \cdot v^* = \text{const}; v^* = 30 \text{ км/с};$$

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

$$(m a_e = \frac{\text{const}}{v} - F_0) \quad a = \frac{dv}{dt}$$

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

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



Из графика  $a = \frac{dv}{dt}$ , поскольку  $a = v'$ , то ее график касательной к началу координат

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

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

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

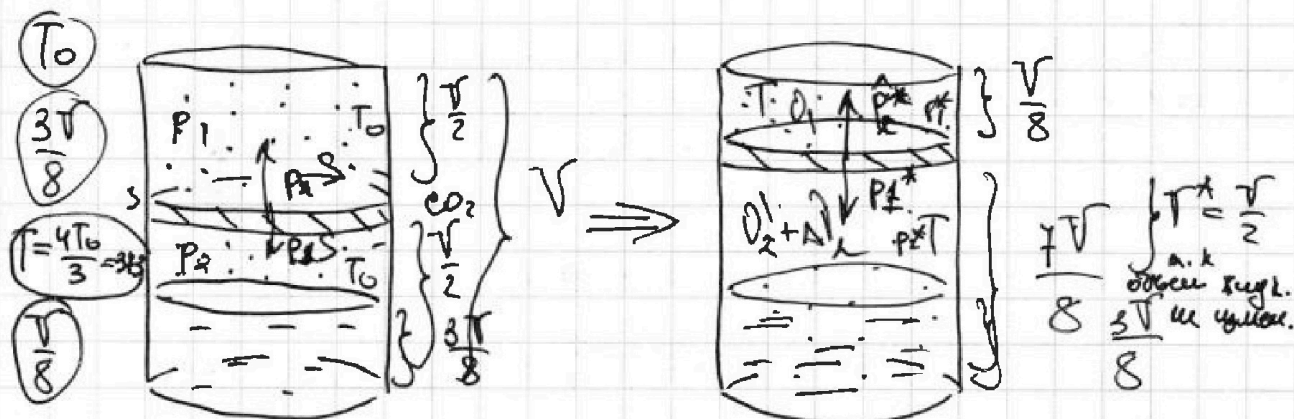
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

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!



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

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

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

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

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

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

• По формуле Давидсона  $\hat{P}_2 = P_2^* + p_{\text{пл}}$   
 • давление газа в полости трубки

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

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

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

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

Уравнение состояния для неизвестного газа в нижнем отсеке:

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

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

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

$$(P_2 = \frac{3P_2^*}{1 + kRT_0})$$

Ответ:  $\frac{1}{3} + kRT_0$

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 испарится и сконденсируется, 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:  $p_1^* = p_2^*$

$$\frac{16}{3} p_1 = p_1 \frac{(1 + 3kRT_0)}{3} + p_{\text{атм}}$$

$$\frac{p_1}{3} (15 - 3kRT_0) = p_{\text{атм}}$$

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

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

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

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 ЗСЭток:

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

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:

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

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

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

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

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

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

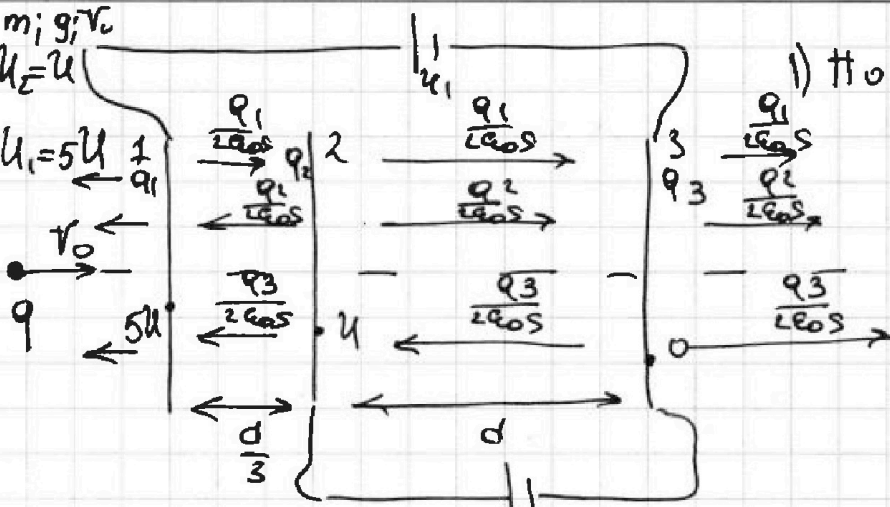
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

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:  $q_1 + q_2 + q_3 = 0$

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

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

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

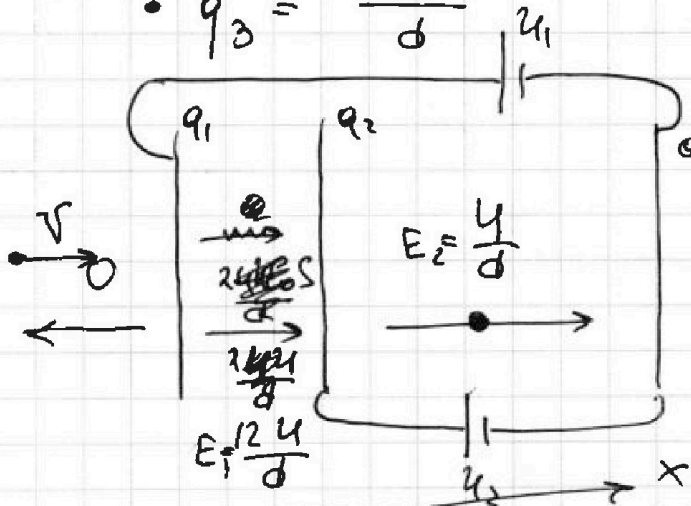
$2q_1 + 2q_2 = \frac{24 \mu \epsilon_0 S}{d}$

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

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

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

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



$F_{21} = E_2 q$

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

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

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

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

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

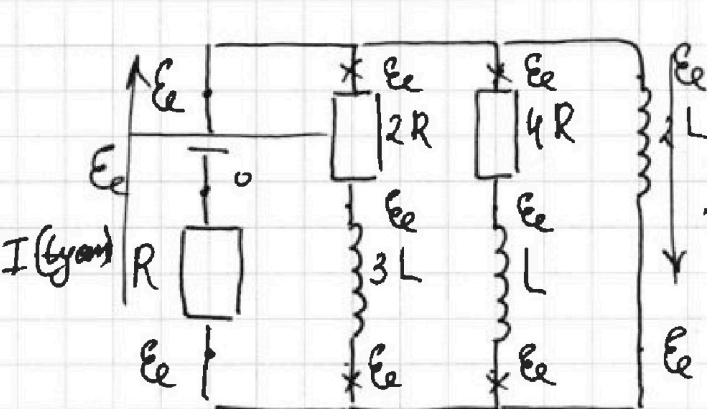
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

1  2  3  4  5  6  7

МФТИ

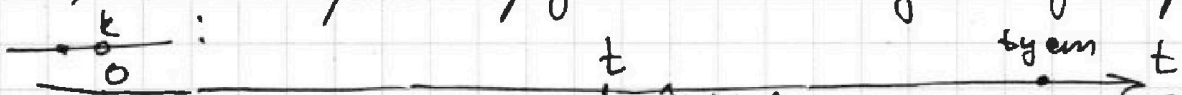
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



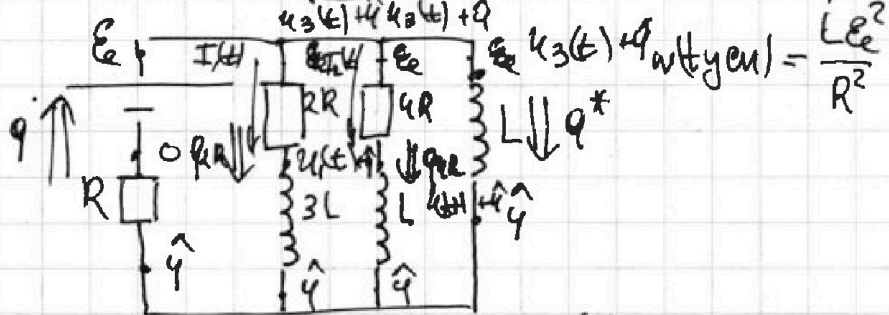
$$I(t_{уем}) = \frac{E_e}{R} \cdot \frac{2L I(t_{уем})}{2L I(t_{уем})} = \frac{L E_e^2}{R^2}$$

$$W(t_{уем}) = \frac{2L I(t_{уем})^2}{2} = \frac{L E_e^2}{R^2}$$

3) Рассмотрим процесс от  $t=0$  до  $t=t_{уем}$  на



$$w(0) = \frac{13L E_e^2}{2 R^2}$$



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

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

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

Про суммируем от  $t=0$  до  $t=t_{уем}$ :  $4R \sum dq_2 = 2L \sum dI_3 - L \sum dI_2 \rightarrow (q_2 = \frac{15L E_e}{4R^2})$

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

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



На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

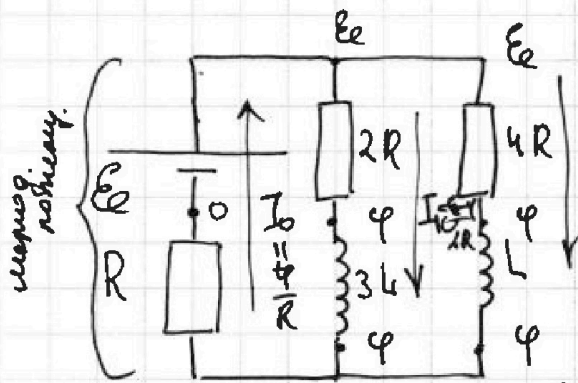
- 1  2  3  4  5  6  7

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  $2R$  и  $4R$  ветвях:  $U_L = 0$ ;  $U_{3L} = 0$



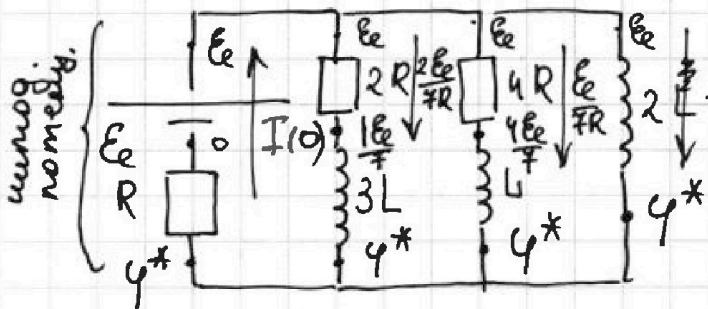
$I_{20} + I_{10} = I_0$

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

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

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

1) Рассмотрим цепь сразу после  $t = 0$ :  
 Напряжения  $U_1(0) = I_{10} = \frac{2E_e}{7R}$ ;  $U_2(0) = I_{20} = \frac{E_e}{7R}$ ;  $U_3(0) = 0$ .



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

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

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

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

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

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

$I_3'(0) = \frac{U_3(0)}{2L} = \frac{2E_e}{7L}$

2) Рассмотрим цепь в уст. состоянии при  $t \rightarrow \infty$ :  
 Напряжения на  $2R$  и  $4R$  ветвях:  $U_1(t_{уст}) = 0$ ;  $U_2(t_{уст}) = 0$ ;  $U_3(t_{уст}) = 0$

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

1   
  2   
  3   
  4   
  5   
  6   
  7

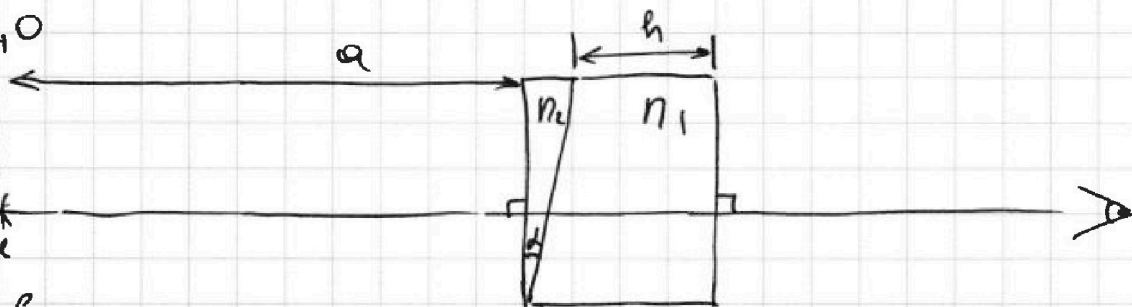


Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

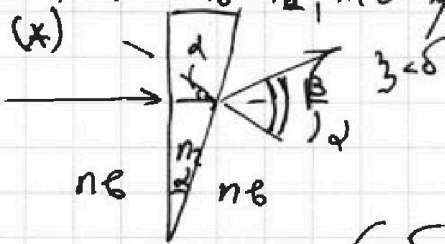
$n_2 = 1,0$

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

$h = 14 \text{ см}$

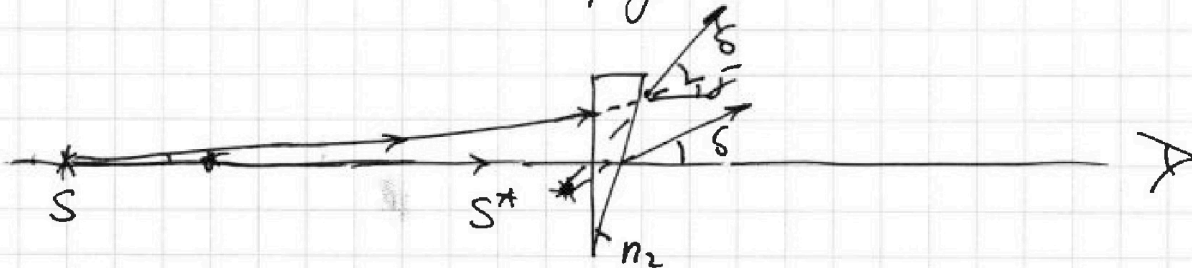


(\*) Если  $n_2 = n_1$ , то лучи не выводит излучения в отн. <sup>считаем</sup>  
 По 3-й формуле:  $\sin \alpha \cdot n_2 = n_1 \sin \beta$   
 т.к. углы малы  $d n_2 = n_1 \beta$ .



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

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



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



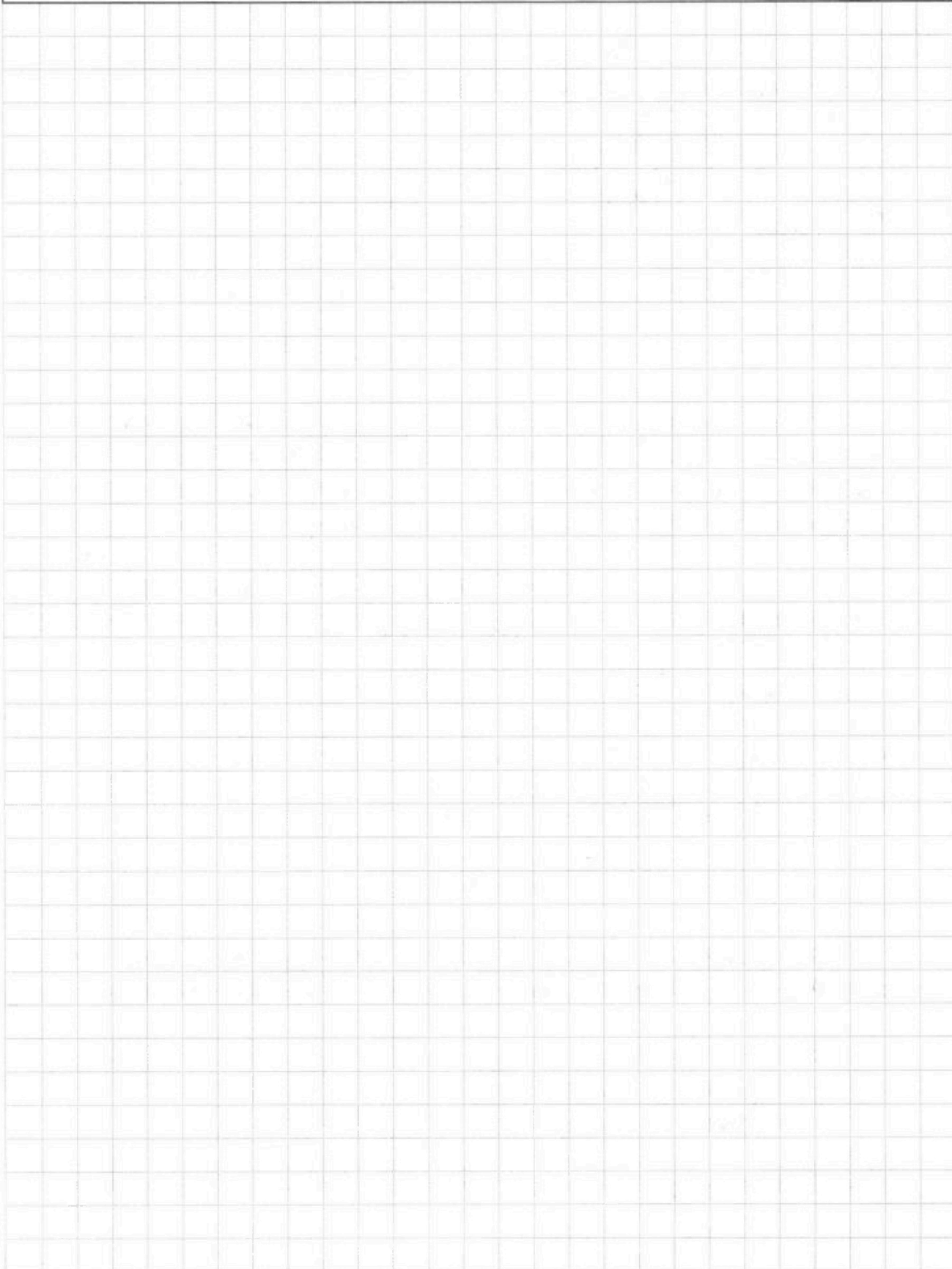
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

|                          |                          |                          |                          |                          |                          |                          |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 1                        | 2                        | 3                        | 4                        | 5                        | 6                        | 7                        |
| <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!

