



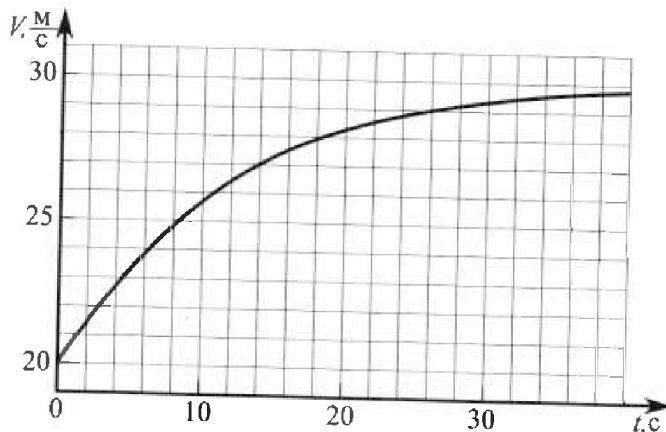
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

Вариант 11-02

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



1. Мотоциклист массой (вместе с мотоциклом) $m = 300$ 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 $F_k = 405$ Н.



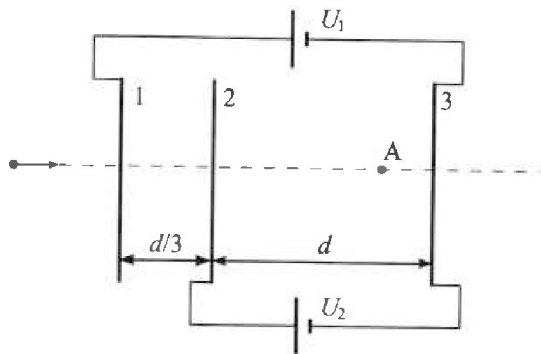
- 1) Используя график, найти ускорение мотоцикла при скорости $V_1 = 27$ м/с.
 - 2) Найти силу сопротивления движению F_1 при скорости V_1 .
 - 3) Какая часть мощности, передаваемой на ведущее колесо, идет на преодоление силы сопротивления движению при скорости V_1 ?
- Требуемая точность численного ответа 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 азот, 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 $T = 4T_0/3 = 373$ К. Установившийся объём его верхней части стал равен $V/6$.

По закону Генри, при заданной температуре количество $\Delta\nu$ растворённого газа в объёме жидкости w пропорционально парциальному давлению p газа: $\Delta\nu = k p w$. 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 конечное давление в сосуде P . 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 $U_1 = 2U$ 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 А на расстоянии $2d/3$ от сетки 2.

Олимпиада «Физтех» по физике,
февраль 2023

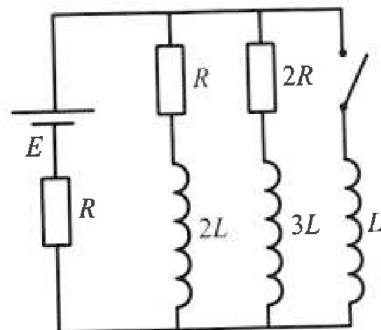
Вариант 11-02

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

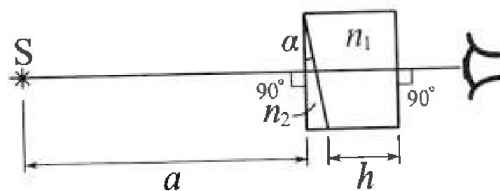
4. Параметры цепи указаны на схеме, все элементы идеальные. Ключ разомкнут, режим в цепи установился. Затем ключ замыкают.

- 1) Найти ток I_{20} через резистор с сопротивлением $2R$ при разомкнутом ключе.
- 2) Найти скорость возрастания тока в катушке индуктивностью L сразу после замыкания ключа.
- 3) Какой заряд протечет через резистор с сопротивлением $2R$ 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 $a = 200$ см от системы и рассматривается наблюдателем так, что источник и глаз наблюдателя находятся на прямой, перпендикулярной наружным поверхностям призм (см. рис.). Угол $\alpha = 0,05$ рад можно считать малым, толщина призмы с показателем преломления n_2 на прямой «источник – глаз» намного меньше h . Отражения в системе не учитывать.



- 1) Считая $n_1 = n_v = 1,0$, $n_2 = 1,6$, найдите на какой угол отклонится системой луч, идущий от источника перпендикулярно левой грани системы.
- 2) Считая $n_1 = n_v = 1,0$, $n_2 = 1,6$, найдите расстояние между источником и его изображением, которое будет видеть наблюдатель.
- 3) Считая $n_1 = 1,8$, $n_2 = 1,6$, найдите на каком расстоянии от источника будет его изображение, которое увидит наблюдатель.



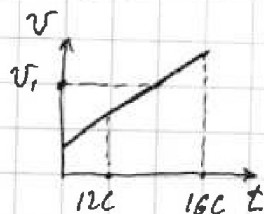
На одной странице можно оформлять только одну задачу.
Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐

МФТИ

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

1) Будем считать, что за небольшой промежуток времени $v = \text{const}$, $a = \text{const}$, тогда $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$:



$$\Delta t = 16c - 12c; \Delta v \approx 1 \frac{m}{c} \rightarrow a_1 = \frac{1 \frac{m}{c}}{4c} = 0,25 \frac{m}{c^2}$$

2) Заметим, что в конце разгона $v_k = 30 \frac{m}{c}$ и $\bar{a} = \bar{v} = \text{const}$,

тогда по 2-му 3-му Ньютона: $\bar{F} + \bar{F}_k = 0$ или $F = F_k$,
где $F = \frac{N}{v_k}$, где N в свою очередь мощность, передаваемая на
ведущее колесо $\rightarrow \frac{N}{v_k} = F_k \rightarrow N = v_k F_k$.

Занимем 23 Н для колеса, когда $v = v_1$: $F_k - F_1 = ma_1$, где
 $F_k = \frac{N}{v_1}$, т.е. $\frac{N}{v_1} - F_1 = ma_1 \rightarrow F_1 = \frac{N}{v_1} - ma_1 = \frac{v_k F_k}{v_1} - ma_1 = 450 \text{ Н} - 75 \text{ Н} =$
 $= 375 \text{ Н}$

3) Будем считать $N_k = N - N_1$, где N_1 — мощность идущая на преодоление
силы сопротивления, считается: $\frac{N_k}{v_1} = ma_1 \rightarrow N - N_1 = ma_1 v_1 \rightarrow$
 $\rightarrow N_1 = N - ma_1 v_1$

$$\text{Тогда искомая вел-ка } \beta = \frac{N_1}{N} = \frac{N - ma_1 v_1}{N} = 1 - \frac{ma_1 v_1}{v_k F_k} = 1 - \frac{1}{6} = \frac{5}{6}$$

Ответ: 1) $a_1 = 0,25 \frac{m}{c^2}$ 2) $F_1 = 375 \text{ Н}$ 3) $\beta = \frac{5}{6}$



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)



$$P = P_{CO_2} = P_N = \frac{2 \gamma R T_0}{V} \rightarrow J_N = \frac{P V}{2 R T_0}$$

$$J_{CO_2} = \frac{P V}{4 R T_0} + \frac{K P V}{\eta} = \frac{P V}{\eta} \left(K + \frac{1}{4 R T_0} \right)$$

$$\frac{J_N}{J_{CO_2}} = \frac{4 P V}{2 R T_0 \cdot P V \left(K + \frac{1}{4 R T_0} \right)} = \frac{2}{R T_0 K + 1}$$

$$= \frac{5}{16} \cdot \frac{5}{4}$$

Answer 1) $\frac{J_N}{J_{CO_2}} = \frac{5}{16} \cdot \frac{5}{4}$

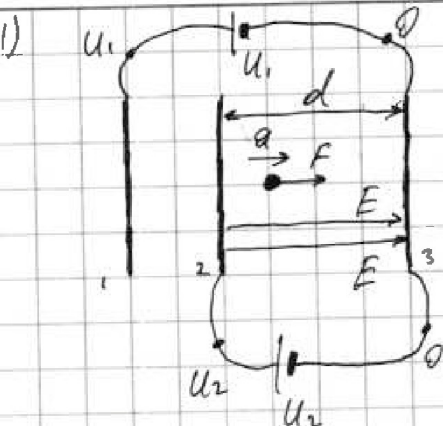
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

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!



E - напря-ть $ЭП$ м/у 2-ой и 3-ей сеткой

$$E = \frac{U_2 - 0}{d} = \frac{U}{d}$$

$$\text{ЗЗК: } F = ma, \text{ где } F = E \cdot q \rightarrow \\ \rightarrow Eq = ma \rightarrow a = \frac{qU}{dm}$$

метод потенциалов

2) Запишем ЗСЭ для начального момента q и момента U краёв 2-ой сетки, аналогично для момента краёв 3-ей сетки:

$$K_0 = K_2 + \varphi_2 q$$

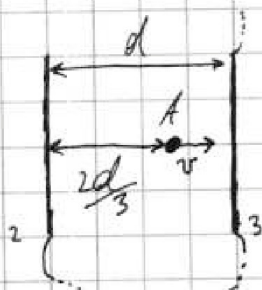
$$K_0 = K_3 + \varphi_3 q$$

$$K_3 - K_2 = q(\varphi_2 - \varphi_3); \varphi_2 = U_2, \varphi_3 = 0 \rightarrow \\ \rightarrow K_3 - K_2 = qU = qU$$

K_0 - кин. кин. эн-ия

φ_2, φ_3 - потенциалы U на 2-ой и 3-ей сетках соответственно

3)



Запишем ЗСЭ для начального момента U и момента когда частица оказалась в (.) A:

$$K_0 = K_A + \varphi_A q$$

$$\frac{m v_0^2}{2} = \frac{m v^2}{2} + \varphi_A q; U_2 - \varphi_A = \frac{2d}{3} \cdot E \rightarrow$$

$$\rightarrow \varphi_A = U - \frac{2dE}{3} = \frac{U}{3}$$

Подставим, что: $\frac{m v_0^2}{2} = \frac{m v^2}{2} + \frac{qU}{3} \rightarrow v = \sqrt{v_0^2 - \frac{2qU}{3m}}$

Ответ: 1) $a = \frac{qU}{dm}$ 2) $K_3 - K_2 = qU$ 3) $v = \sqrt{v_0^2 - \frac{2qU}{3m}}$



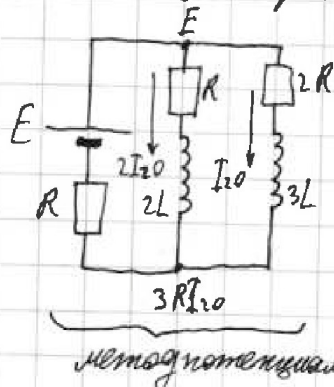
На одной странице можно оформлять только одну задачу.
Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐

МФТИ

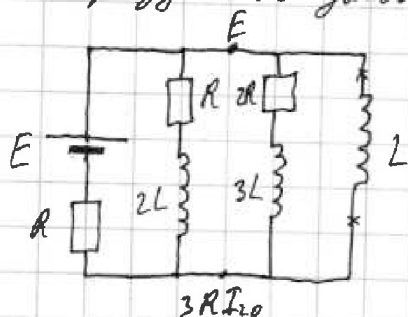
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Печать QR-кода недоступна!

1) В steady-аке рассмотрим $U_{2L} = U_{3L} = 0$:



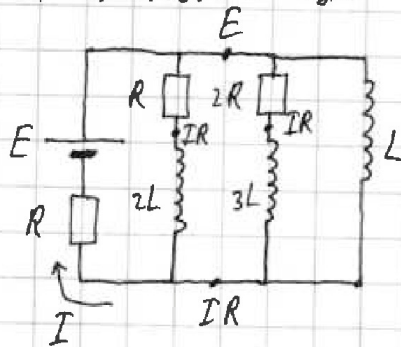
$$E = 3I_{20}R + 2R \cdot I_{20} \rightarrow I_{20} = \frac{E}{5R}$$

2) Сразу после замыкания ключа $I_L = 0$, а также $I_{2L} = 2I_{30}$ и $I_{3L} = I_{30}$:



$$U_L = E - 3RI_{20} = \frac{2}{5}E, U_L = LI \rightarrow \dot{I} = \frac{2E}{5L}$$

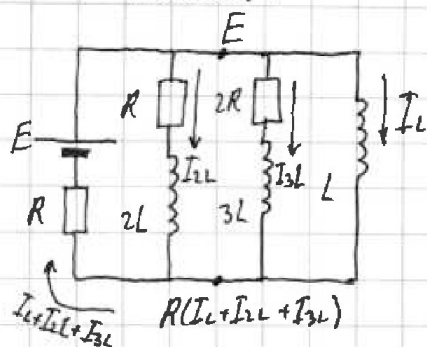
3) В новом steady-аке рассмотрим $U_L = U_{3L} = U_{2L} = 0$:



$$U_L = E - IR = 0 \rightarrow I = \frac{E}{R} = I_L(\text{уст})$$

Замечая, что через $2L$ и $3L$ ток идет.
 $I_{2L}(\text{уст}) = I_{3L}(\text{уст}) = 0$

Рассмотрим произвольный момент времени после замы-
кания ключа:



$$U_L = U_{2R} + I_{3L}, L \frac{\Delta I_L}{\Delta t} = 2R \cdot I_{3L} + L \frac{\Delta I_{3L}}{\Delta t} \rightarrow L \Delta I_L = 2R \Delta I_{3L} + L \Delta I_{3L} (*)$$

Продифференцируем (*) от момента замы-
кания ключа до момента установления нового steady-ака:
 $L(I_L(\text{уст}) - 0) = 2R \cdot I_{3L} + L(I_{3L}(\text{уст}) - I_{30})$
 $L \frac{E}{R} = 2R \cdot I_{3L} + L(-\frac{E}{5R}) \rightarrow$



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!

$$\rightarrow q_{2R} = \frac{6LE}{10R^2} = \frac{3LE}{5R^2}$$

$$\text{Ответ: } 1) I_{10} = \frac{E}{5R} \quad 2) \dot{I} = \frac{2E}{5L} \quad 3) q_{2R} = \frac{3LE}{5R^2}$$



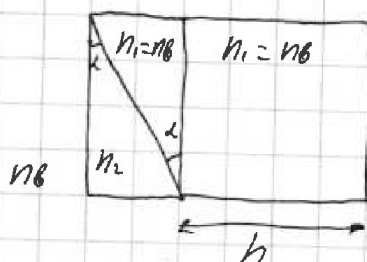
На одной странице можно оформлять только одну задачу.
Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐

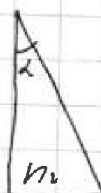
МФТИ

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

1)

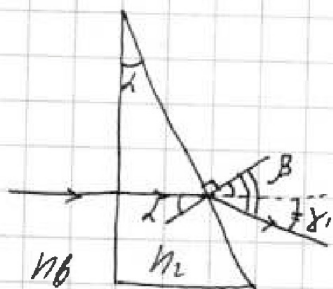


эквивалентно

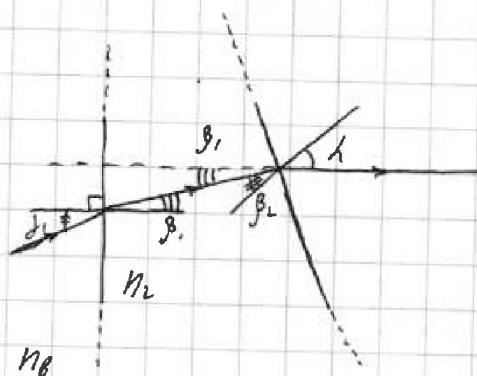
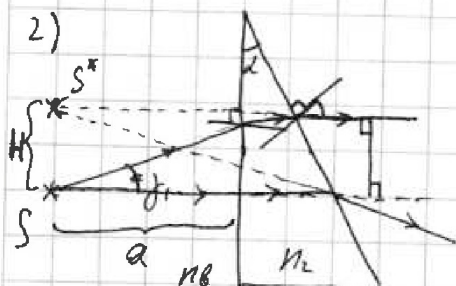


3-я схема: $n_2 \sin \alpha = n_6 \sin \beta \rightarrow \sin \beta = \frac{n_2 \sin \alpha}{n_6}$
т.к. углы малы: $\beta = \frac{n_2}{n_6} \alpha$

$\gamma_1 = \beta - \alpha = \alpha \left(\frac{n_2}{n_6} - 1 \right) = 0,03 \text{ рад}$



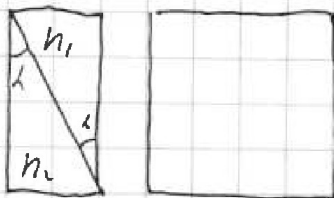
2)



$n_2 \sin \beta_2 = n_6 \sin \alpha \rightarrow \beta_2 = \frac{\alpha}{n_2} \rightarrow \beta_1 = \alpha - \beta_2 = \alpha \left(1 - \frac{1}{n_2} \right)$

$H = a \cdot \sin \gamma_1 \approx a \cdot \alpha \left(\frac{n_2}{n_6} - 1 \right) = 0,27 \text{ мм} \approx 0,3 \text{ мм}$

3) Разобьем призму с пок-ем преломления n_1 на ПППи призму подобную призме с пок-ем преломления n_2 :



Получившаяся призма, аналогично призме с пок-ем преломления n_2 будет отклонять лучи на угол (от первоначального направления):

$\gamma_2 = \alpha \left(\frac{n_1}{n_6} - 1 \right) = 0,04 \text{ рад}$, но

уже в другую сторону (если 1-ая призма отклоняла лучи "вниз" на угол γ_1 , 2-ая призма будет отклонять лучи "вверх")

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
☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐

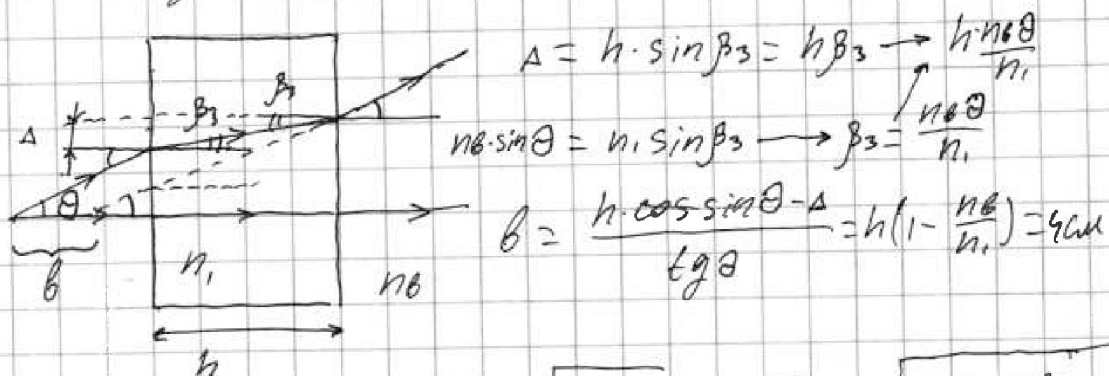
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

Однако, формула для j_1 верна, только в том случае, если
из всех призм "вставлена" тонкая, воздушная,
плоскопараллельная пластинка.

Получается, для того, чтобы луч выходил из краев
двух пластин призм параллельно прямой "источник-глаз",
необходимо направить его под углом $j_1 - j_2$ к этой
прямой.

Из п.2 выходит, что в таком случае изображение
источника будет смещено перпендикулярно прямой
на рас-ие $x = |a(j_1 - j_2)| = 0,03 \text{ см}$ 2 см

После чего луч попадет в ППП с пок-ем преломления n_1 :



b - сдвиг по прямой $\rightarrow c = \sqrt{x^2 + b^2} = n_2 \theta \sqrt{\left(a(n_1 - n_2)\right)^2 + \left(h \frac{n_2}{n_1}\right)^2}$
 $= 4,75 \text{ см}$

Ответ: 1) $j_1 = 0,03 \text{ рад}$ 2) $K = 6 \text{ см}$ 3) $c = 4,75 \text{ см}$



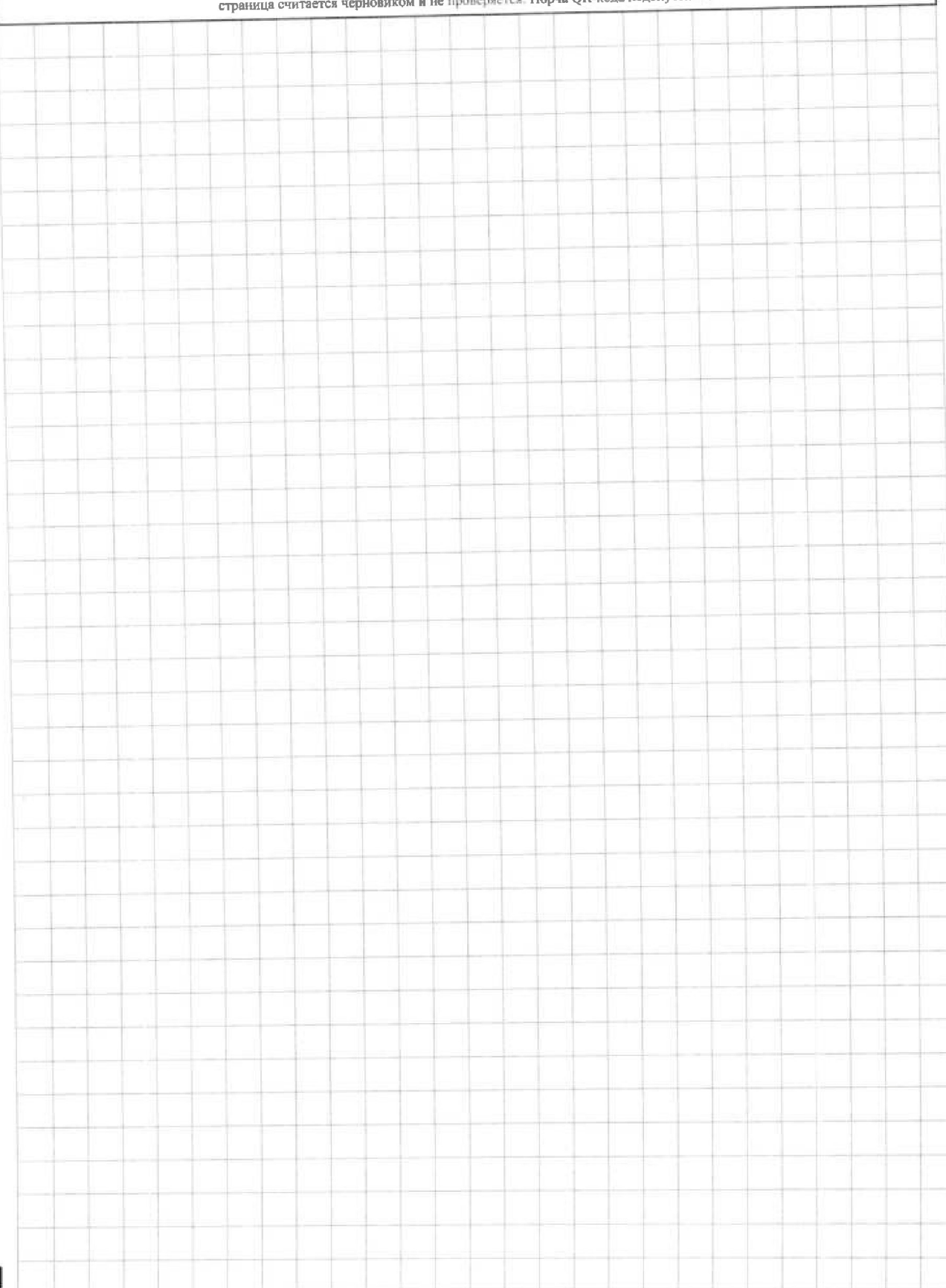
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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!



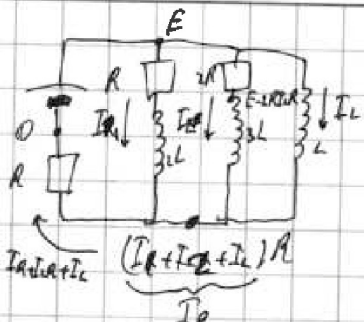
На одной странице можно оформлять только одну задачу.
Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

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)



$$E - RI_R + U_L = U_L$$

$$E - RI_R + (RI_R - R(I_R + I_L + I_L)) = U_L$$

$$E - R(I_R + I_L + I_L) = \frac{L}{\Delta t} I_L$$

$$2RI_R + U_L = U_L$$

$$U_L = 2RI_R - RI_L = 2RI_L - RI_L - RI_L = RI_L$$

$$L \frac{dI_L}{dt} = R(3I_R - I_L)$$

$$RI_L + U_L = U_L$$

$$U_L = RI_L - R(I_R + I_L)$$

$$d(I_R - I_L - I_L) = L \frac{dI_L}{dt}$$

$$2I_R L = R(q_1 - q_2 - q_3)$$

$$L(I_R - 0) = R(3q_1 - q_1 - q_2)$$

$$2RI_L + U_L = U_L$$

$$2RI_L = L \frac{dI_L}{dt} + 3L \frac{dI_L}{dt}$$

$$2RI_L = L(I_R - 0) + 3L(0 - I_L)$$

$$q = \frac{L(I_R - 3LI_L)}{2R}$$

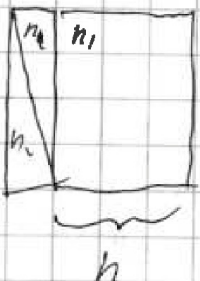
$$R \left(2 + \frac{1}{R} \right) = R \left(2 + \frac{1}{R} \right)$$

$$4 \cdot 10^3$$

$$\Delta T = \frac{4R}{3}$$

5)

1)



$$n_2 L = \frac{n_1 L}{n_1} \quad \beta = \frac{n_2 L}{n_1}$$

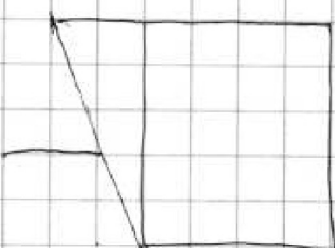
$$\beta = L - \beta$$

$$\left(L(n_2 - 1) - L(n_1 - 1) \right)^2$$

$$L(n_2 - 1) + L(n_1 - 1)$$

$$1) \beta_1 = L(n_2 - 1)$$

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
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

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

МФТИ

$$v_0 = 10 \frac{m}{s}$$



$$ma = F - F_{comp}$$

$$m \frac{dv}{dt} = F - F_{comp}$$

$$N = N_0 - ma, \quad m \frac{dv}{dt} = N_0 - F_{comp}$$

$$Fv = N$$

$$\frac{m \cdot v}{c^2} = \frac{m_0 \cdot v}{c^2} \quad \checkmark$$

$$F = \frac{N}{v}$$

$$t = 14 \text{ мс при } v = v_0 = 10 \frac{m}{s} \quad N - N_1 = ma, \quad v_1 = 10 \frac{m}{s}, \quad F = F_k$$

4) $\alpha = 0,25 \frac{m}{s^2}$

$$\frac{N_2}{v_1} = ma, \quad N = F_k v$$

$$\frac{N_1}{N} = 1 - \frac{ma \cdot v_1}{N} = \frac{ma \cdot v_1}{F_k v_1} = \frac{a}{F_k} = \frac{0,25}{9,75} = \frac{1}{4}$$

2) $F_1 = F_k - ma = 330 \text{ Н}$

$$\frac{m \frac{dv}{dt}}{at} = F_k - kv$$

$$m \frac{dv}{dt} = F_k at - kv$$

3) $ma = F, \quad F = \frac{N}{v}$

$$N_2 = N_0 - N$$

3) $F = ma$

$$\frac{F_k F_k}{v_1} - F_1 = ma$$

$$m \frac{dv}{dt} = N_2 = N_0 - N$$

$$\frac{qU_1}{d} = me \rightarrow a = \frac{qU}{dm}$$

1) $\frac{m v_0^2}{2} = qU + \frac{m v^2}{2}$

$$2RqR = \frac{6LE}{SR}$$

$$\frac{10 \cdot 405}{9} = \frac{10 \cdot 45 \cdot 9}{9}$$

$$K_0 = q_1 + K_2$$

$$K_3 - K_2 = q(\varphi_1 - \varphi_2) = q(U_1 - U_2) = qU_1$$

$$K_3 + q_2 = K_2 + q_1$$

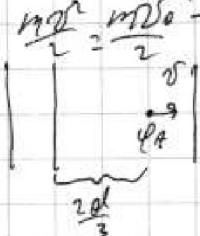
$$K_0 = q_3 + K_3$$

$$U - \varphi = E \cdot \frac{2d}{3} \rightarrow \varphi = U - E \frac{2d}{3}$$

$$K_2 - K_1 = q(\varphi_2 - \varphi_1)$$

$$0,6 \cdot \frac{3}{8}$$

3)



$$\frac{m v_0^2}{2} = \frac{m v^2}{2} - qU$$

$$\frac{m v_0^2}{2} = qU + \frac{m v^2}{2}$$

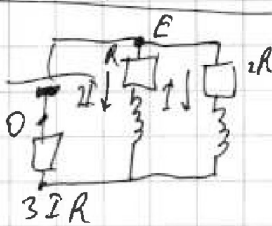
$$v = \sqrt{\frac{m v_0^2 - 2qU}{m}}$$

$$K_0 = I$$

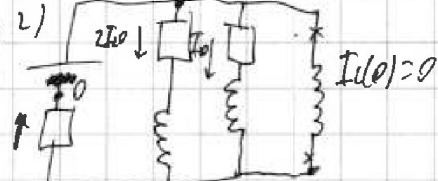
$$\frac{B \cdot C \cdot B}{A \cdot a^2} = \frac{B^2}{a^2 K_0}$$

$$K_2 = \frac{B^2}{a^2}$$

1)



$$3IR = E \rightarrow I = \frac{E}{3R}$$



$$U_C(0) = E - 3I_0 R = \frac{2}{3} E = L I \rightarrow I = \frac{2E}{5L}$$

МФТИ



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!

