



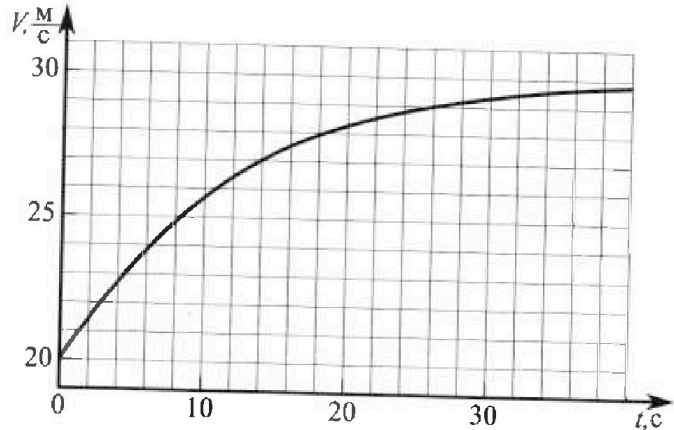
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

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.



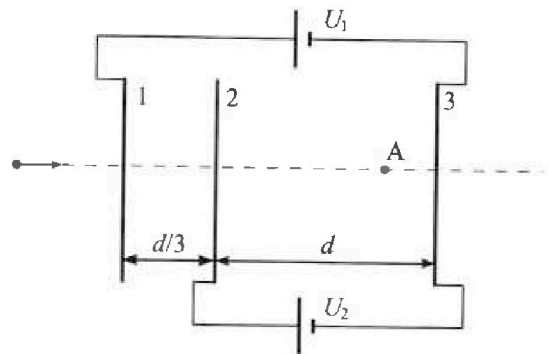
- Используя график, найти ускорение мотоцикла при скорости $V_1 = 27$ м/с.
 - Найти силу сопротивления движению F_1 при скорости V_1 .
 - Какая часть мощности, передаваемой на ведущее колесо, идет на преодоление силы сопротивления движению при скорости V_1 ?
- Требуемая точность численного ответа на 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: $\Delta\nu = kpw$. 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 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.



- 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 $2d/3$ от сетки 2.

Олимпиада «Физтех» по физике,
февраль 2023

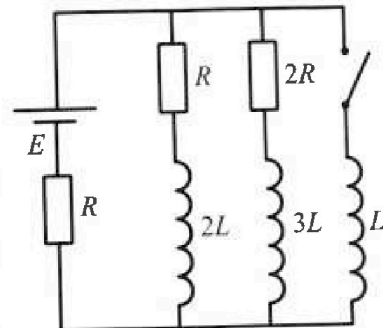
Вариант 11-02

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

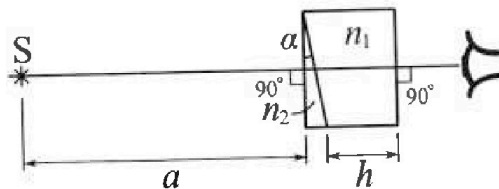
4. Параметры цепи указаны на схеме, все элементы идеальные. Ключ разомкнут, режим в цепи установился. Затем ключ замыкают.

- 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 $n_{\text{в}} = 1,0$. 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 призм $h = 9$ см. Толщина призмы с показателем преломления n_2 на прямой «источник – глаз» намного меньше h . Отражения в системе не учитывать.



- 1) Считая $n_1 = n_{\text{в}} = 1,0$, $n_2 = 1,6$, найдите на какой угол отклонится системой луч, идущий от источника перпендикулярно левой грани системы.
- 2) Считая $n_1 = n_{\text{в}} = 1,0$, $n_2 = 1,6$, 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.



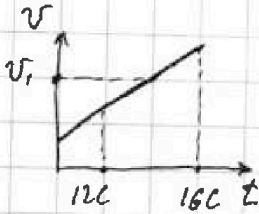
На одной странице можно оформлять только одну задачу.
Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

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. Печать QR-кода недопустима!

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



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

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

тогда по 2-му 3-му Ньютона: $\vec{F} + \vec{F}_k = \vec{0}$ 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 23к для колеса, когда $v = v_i$: $F_k - F_i = ma$, где
 $F_k = \frac{N}{v_i}$, т.е. $\frac{N}{v_i} - F_i = ma$ $\rightarrow F_i = \frac{N}{v_i} - ma = \frac{v_k F_k}{v_i} - ma = \frac{450k \cdot 75k}{v_i} - ma = 375k$

3) Будем считать $N_e = N - N_i$, где N_i — мощность идущая на преодоление
силы сопротивления, вычитается: $\frac{N_e}{v_i} = ma$ $\rightarrow N - N_i = ma \cdot v_i$ \rightarrow
 $N_i = N - ma \cdot v_i$

Тогда искомая вел-ка $\beta = \frac{N_i}{N} = \frac{N - ma \cdot v_i}{N} = 1 - \frac{ma \cdot v_i}{v_k F_k} = 1 - \frac{1}{6} = \frac{5}{6}$

Ответ: 1) $a_1 = 0,25 \frac{\mu}{c^2}$ 2) $F_i = 375k$ 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)



$$P = p_{CO_2} = p_{N_2} = \frac{2 \sqrt{2} R T_0}{V} \rightarrow J_{N_2} = \frac{pV}{2 R T_0}$$

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

$$\frac{J_{N_2}}{J_{CO_2}} = \frac{4 p V}{2 R T_0 \cdot p V \left(K + \frac{1}{R T_0} \right)} = \frac{2}{R T_0 K + 1}$$

$$= \frac{5}{10} = \frac{5}{4}$$

Answer 1) $\frac{J_{N_2}}{J_{CO_2}} = \frac{5}{10} = \frac{5}{4}$

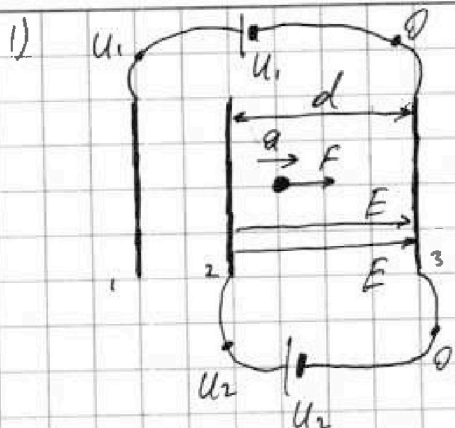
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

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

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

ЗЗК: $F = ma$, где $F = E \cdot q \rightarrow$
 $\rightarrow E q = ma \rightarrow a = \frac{qU}{d \cdot m}$

метод потенциалов

и метода

2) Запишем ЗСЭ для начального момента в крайётом ~~2-ой~~ 2-ой сетки, аналогично для момента крайётом 3-ей сетки:

$$K_0 = K_2 + \varphi_2 q$$

$$K_0 = K_3 + \varphi_3 q$$

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

$$\rightarrow K_3 - K_2 = qU_2 = qU$$

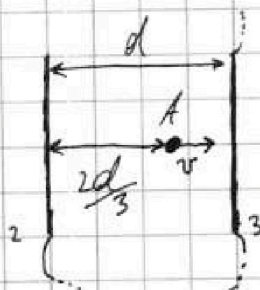
K_0 - кин. кин. эн-ия

φ_2, φ_3 - потенциалы ~~в~~

на 2-ой и 3-ей сетках

соответственно

3)



Запишем ЗСЭ для начального момента и
и момента когда частица оказалась в (•) А:

$$K_0 = K_A + \varphi_A q$$

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

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

Получаем, 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) $a = \frac{qU}{d \cdot m}$ 2) $K_3 - K_2 = qU$ 3) $v = \sqrt{v_0^2 - \frac{2qU}{3m}}$



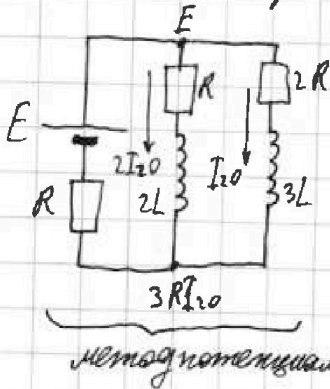
На одной странице можно оформлять только одну задачу.
 Отметьте крестиком номер задачи,
 решение которой представлено на странице:

- 1 2 3 4 5 6 7

МФТИ

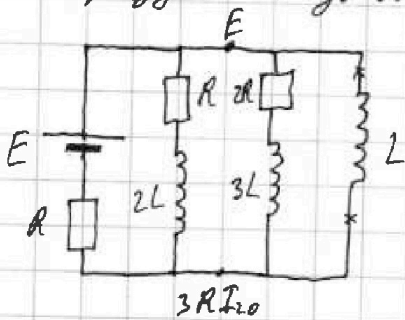
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
 страница считается черновиком и не проверяется. Печать QR-кода полезна!

1) В steady-state режиме $U_{2L} = U_{3L} = 0$:



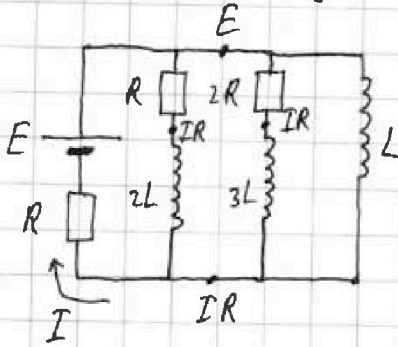
$$E = 3I_{20}R + 2R \cdot I_{20} \rightarrow I_{20} = \frac{E}{5R}$$

2) Сразу после замыкания ключа $I_L = 0$, а также $I_{2L} = 2I_{20}$ и $I_{3L} = I_{20}$:



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

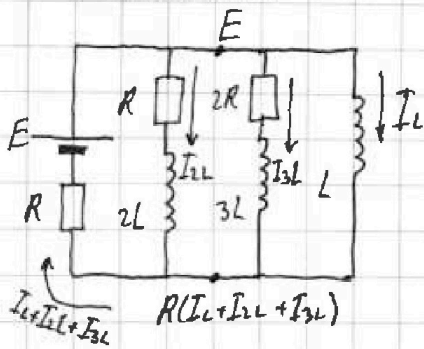
3) В новом steady-state режиме $U_{2L} = U_{3L} = U_{L} = 0$:



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

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

Рассмотрим произвольный момент времени после замы-
 кания ключа:



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

Продифференцируем (*) от момента замы-
 кания ключа до момента установившегося нового steady-state режима:

$$L \frac{E}{R} = 2R \cdot 0 + L \left(I_{3L}(\text{уст}) - I_{30} \right) \rightarrow L \frac{E}{R} = 2R \cdot 0 + L \left(-\frac{E}{5R} \right)$$

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 checked="" 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!

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

$$\text{Ответ: 1) } I_{20} = \frac{E}{5R} \quad 2) \dot{I} = \frac{2E}{5L} \quad 3) q_{2R} = \frac{3LE}{5R^2}$$



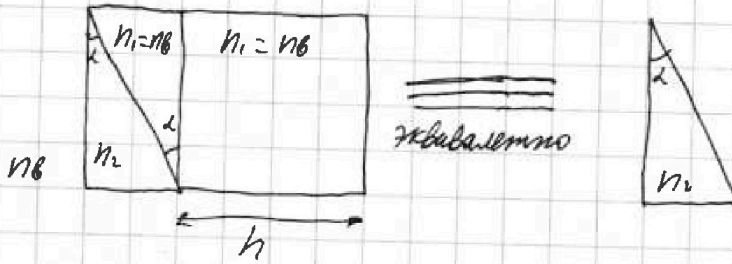
На одной странице можно оформлять только одну задачу.
Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

- 1 2 3 4 5 6 7

МФТИ

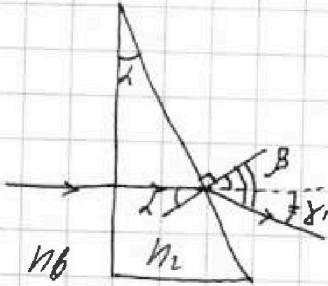
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

1)

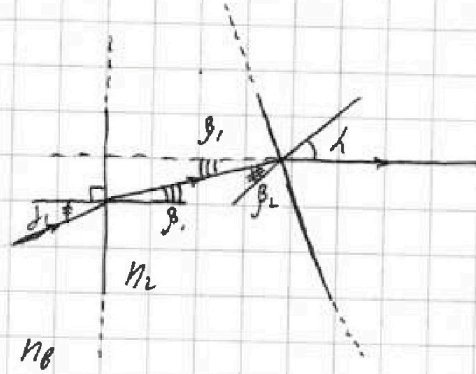
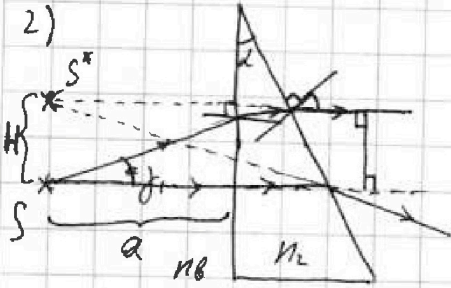


3-я формула: $n_2 \sin \alpha = n_b \sin \beta \rightarrow \sin \beta = \frac{n_2 \sin \alpha}{n_b}$
т.к. углы малые: $\beta = \frac{n_2}{n_b} \alpha$

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



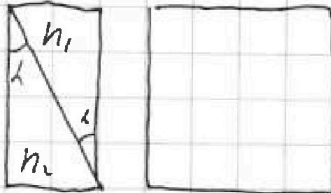
2)



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

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

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



Получившаяся призма, аналогично призме с пок-ем n_2 будет отклонять лучи на угол (от первоначальной направ-ия):

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

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

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

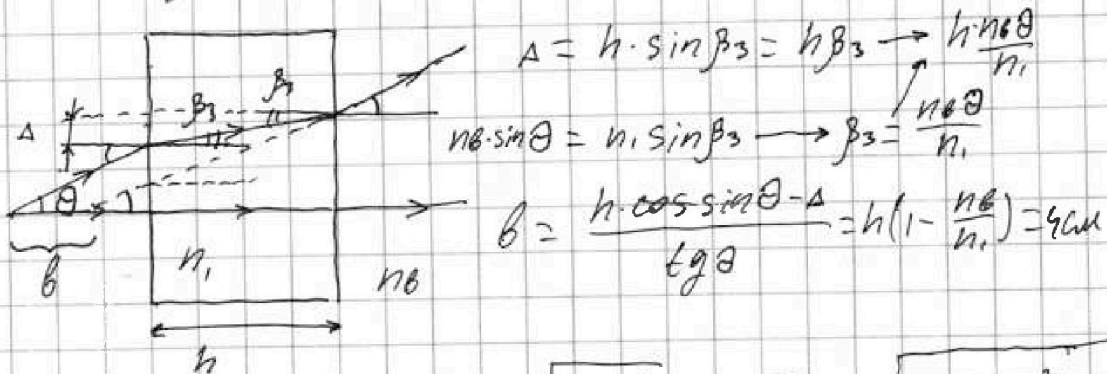
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Печать QR-кода недопустима!

Однако, формула для γ_2 верна, только в том случае, если
луч всеми призмами "вставлен" тонкая, воздушная,
плоскопараллельная пластинка.

Получается, для того, чтобы луч выходил из вершин
двух пластинки призма параллельно прямой "источник-глаз",
необходимо направить его под углом $\gamma_1 - \gamma_2$ к этой
прямой.

Из п.2 выходит, что в таком случае изображение
источника будет смещено перпендикулярно прямой
на рас-ие $x = |a(\gamma_1 - \gamma_2)| = 0,03 \text{ см} \approx 3 \text{ см}$

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



b - сдвиг по прямой $\rightarrow c = \sqrt{x^2 + b^2} = 4 \sqrt{5} \text{ см} \approx \sqrt{(0,03 \text{ м})^2 + (4 \text{ м})^2}$
 $= 4,75 \text{ см}$

Ответ: 1) $\gamma_1 = 0,03 \text{ рад}$ 2) $K = 6 \text{ см}$ 3) $c = 4,75 \text{ см}$

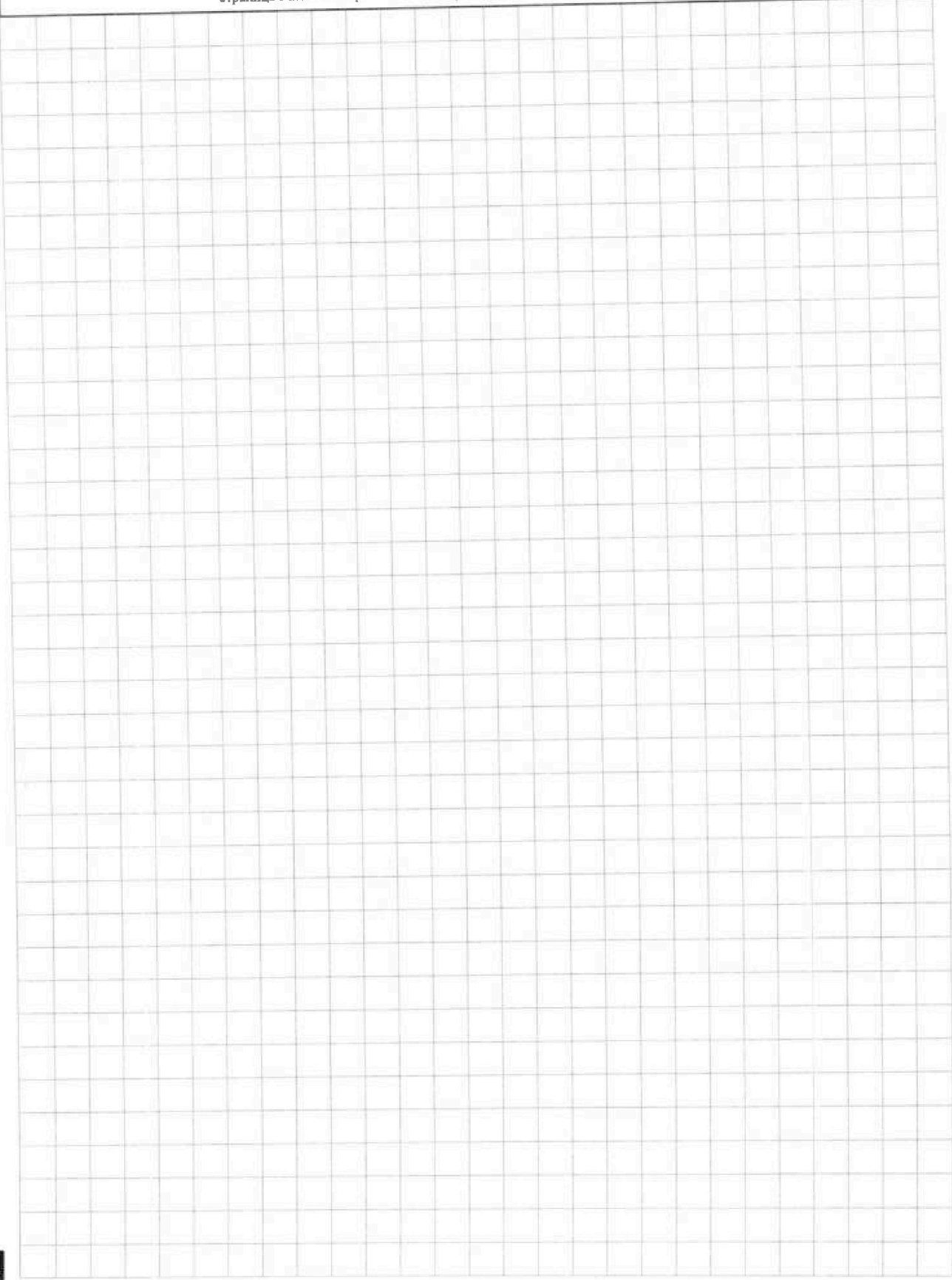


На одной странице можно оформлять **только одну задачу**.
Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:



- 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!



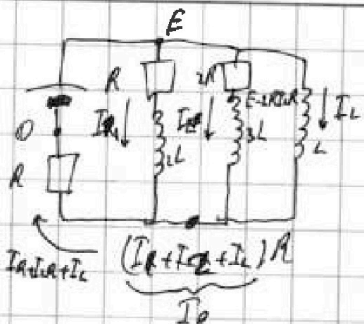
На одной странице можно оформлять только одну задачу.
 Отметьте крестиком номер задачи,
 решение которой представлено на странице:

- 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)



~~$E - RI_1 + U_{3L} = E - RI_2 + U_{3L}$~~

$$E - RI_1 + (RI_2 - R(I_1 + I_2 + I_L)) = U_L$$

$$E - R(I_1 + I_2 + I_L) = \frac{L}{\Delta t} I_L$$

$$2R \cdot I_1 + U_{3L} = U_L$$

$$U_{3L} = 2RI_1 - RI_2 = 2RI_2 - RI_1 - RI_2 - RI_L = R(I_2 - I_1 - I_L)$$

$$L \frac{dI_L}{dt} = R(3I_1 - I_1 - I_L) \quad \Delta t$$

$$RI_1 + U_{3L} = U_L$$

$$U_L = RI_1 - R(I_2 - I_1 - I_L)$$

$$\Delta t R(I_1 - I_2 - I_L) = L \Delta I_L$$

$$2R I_L = R(I_1 - I_2 - I_L)$$

$$L(I_1 - 0) = R(3q_1 - q_1 - q_2) \quad 0,6 \neq 1$$

$$2R I_L + U_{3L} = U_L$$

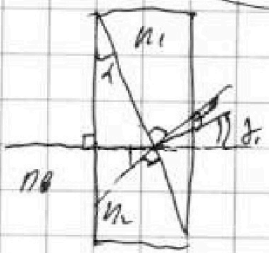
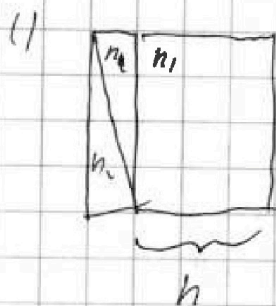
$$2R I_L = \frac{L \Delta I_L}{\Delta t} + 3L \frac{\Delta I_L}{\Delta t}$$

$$2R(I_1 \Delta t) = L(I_1 - 0) + 3L(0 - I_1) \quad 4 \cdot 10^3$$

$$q = \frac{L(I_1 - 3LI_1)}{2R}$$

$$\Delta I_L = \frac{4R I_1}{3}$$

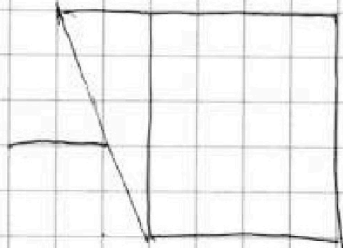
5)



~~$n_2 L = \frac{n_1 L}{\sin \beta}$~~
 $\beta = \frac{n_2 L}{n_1}$
 $\alpha = \frac{L}{h} - \beta$
 $\alpha = \frac{L}{h} - \frac{L}{h} \frac{n_2}{n_1}$

1) $\alpha = L(h - 1)$

2)



$(L(L^{n_2-1} - L^{n_1-1}))$
 $L n_2 - 1 + L - L^{n_1}$
 $(\alpha L(n_2 - n_1))^2$



На одной странице можно оформлять только одну задачу.

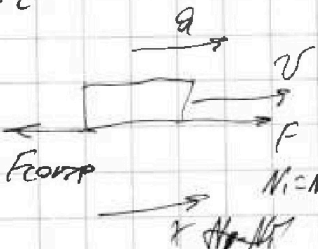
Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

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!

$v_0 = 20 \frac{m}{s}$



$ma = F - F_{comp}$

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

$N_1 - N_2 = m \frac{dv}{dt} \implies m \int_0^t v dt = N_1 t - F_{comp} t$

~~$Fv = N$~~
 $\frac{kv \cdot m \cdot v}{c^2} = \frac{kv \cdot m \cdot v}{c^2} \cdot \frac{m}{c} \checkmark$
 $F = \frac{N}{v}$

$\epsilon = mc \text{ при } v = v_0 = 20 \frac{m}{s} \implies N - N_1 = m a_1 v_1 \implies F = F_K$

4) параметр α

$\alpha = 0,25 \frac{m}{c}$

$\frac{N_2}{v_1} = ma_1 \implies N = F_K v$
 $\frac{N_1}{N} = 1 - \frac{m a_1 v_1}{N} = \frac{m a_1 v_1}{F_K v_1} = \frac{9 \cdot 75K}{10 \cdot 10^3 K} = \frac{9 \cdot 75}{10 \cdot 25 \cdot 9} = \frac{9 \cdot 75}{250} = \frac{25}{100} = \frac{1}{6}$
 $m \frac{dv}{dt} = F_K - F_{comp} \implies \frac{m dv}{v} = \frac{F_K dt}{v}$

2) $F_1 = F_K - ma = 330R$
 " " " " $10^3 H$

$\frac{m dv}{dt} = F_K - kv$

3) $ma = F, F = \frac{N_2}{v_1}$
 $F_K - F_1 = ma_1$
 $ma_1 v_1 = N_2 = N_0 - N$

$\frac{N_2}{v_1} = N_0 - N$
 $\frac{N_2}{N_0} = ?$

3) $F = ma$

$\frac{qU_1}{d} = ma \implies a = \frac{qU}{dm}$

1) $\frac{m v_0^2}{2} = \varphi_1 + \frac{m v^2}{2}$

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

$\frac{10 \cdot 10^3 \cdot 10^3}{9} = \frac{10 \cdot 10^3 \cdot 9}{9} = 10 \cdot 10^3 = 10^4$
 $K_3 + K_2 = q(\varphi_2 - \varphi_1)$
 $K_2 - K_1 = q(\varphi_2 - \varphi_1)$
 $0,6 \cdot \frac{2}{3}$

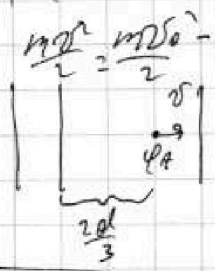
$K_0 = \varphi_1 + K_2$

$K_3 - K_2 = q(\varphi_1 - \varphi_2) = q(U_1 - U_2) = qU_2$

$K_0 = \varphi_2 + K_3$

$U - \varphi = E \cdot \frac{2d}{3} \implies \varphi = U - E \frac{2d}{3}$
 $v^2 = v_0^2 - \frac{2qU}{3m}$

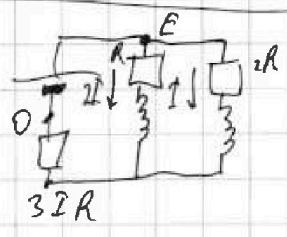
3)



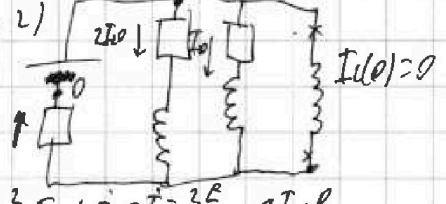
$\frac{m v_0^2}{2} = \frac{m v^2}{2} + \frac{qU}{3}$
 $\frac{m v_0^2}{2} = \frac{2E q}{3} + \frac{m v^2}{2} \implies v = \sqrt{\frac{m v_0^2 - 2E q}{3}}$
 $\varphi_1 = \frac{U_2}{3}$

$\frac{B \cdot C \cdot B}{A \cdot a^2} = \frac{B^2}{a^2 k \mu} \implies k \mu = \frac{B^2}{a^2}$

а) 1)



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



$U(0) = E - 3I_0 R = \frac{2}{3} E = LI \implies I = \frac{2E}{3L}$

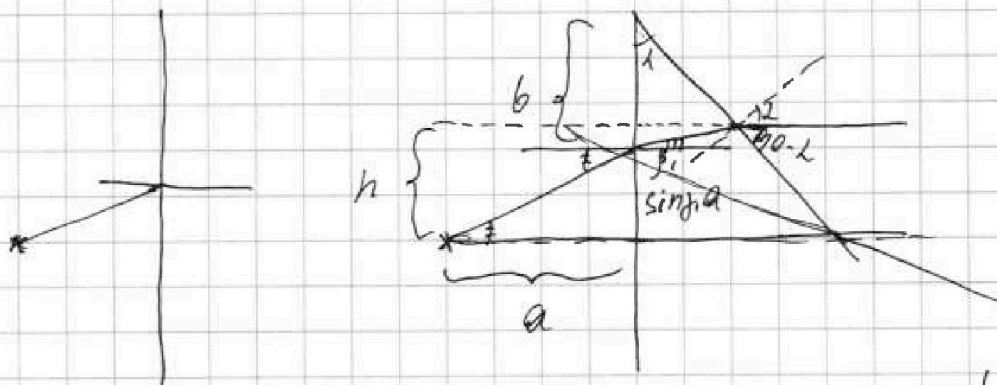
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

МФТИ

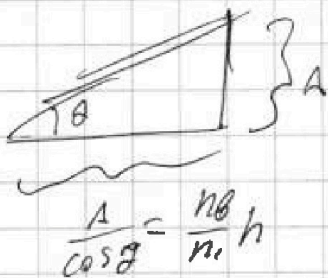
- 1 2 3 4 5 6 7

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

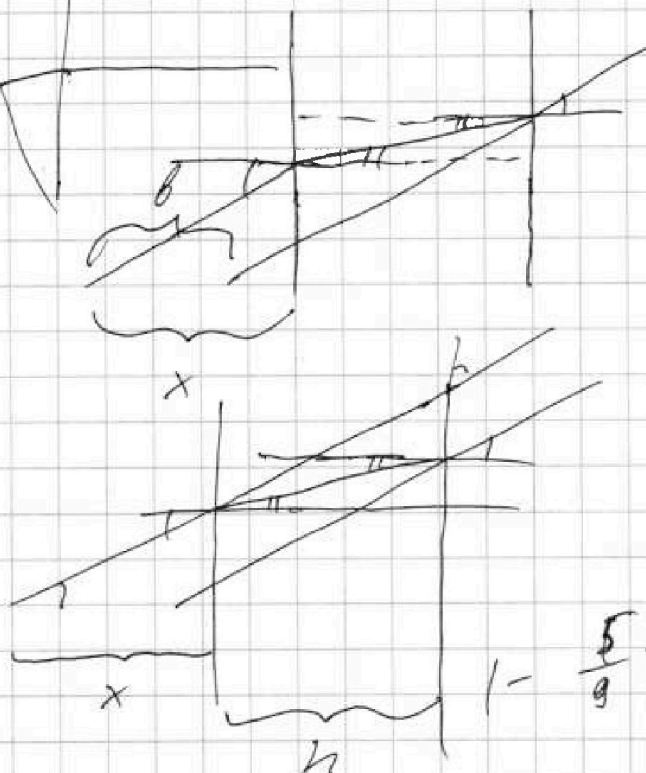


$$\frac{A}{\operatorname{tg} \theta} = h \frac{n_2}{n_1}$$

$$b \cdot \operatorname{tg} \alpha = b \operatorname{tg} \beta = b \cdot \beta = 2L \left(1 - \frac{1}{n_2}\right)$$



$$\frac{A}{\cos \theta} = \frac{n_2}{n_1} h$$




$$1 - \frac{5}{9} = \frac{4}{9}$$



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"/>

 МФТИ

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

