



Олимпиада «Физтех» по физике,
февраль 2023

Вариант 11-01

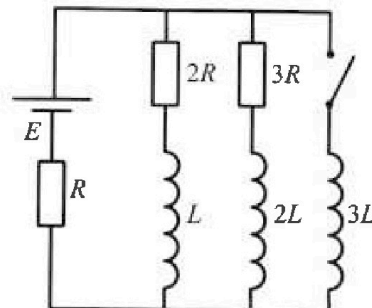


Во всех задачах, в ответах допустимы обыкновенные дроби
и радикалы.

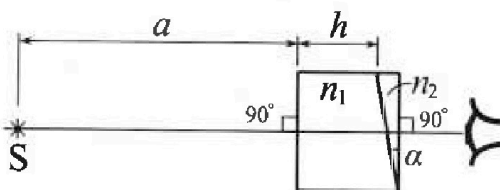
4. Параметры цепи указаны на схеме, все элементы идеальные. Ключ разомкнут, режим в цепи установился. Затем ключ замыкают.

- 1) Найти ток I_0 через резистор с сопротивлением $2R$ при разомкнутом ключе.
- 2) Найти скорость возрастания тока в катушке индуктивностью $3L$ 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 $a = 194$ 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 $h = 9$ см. Толщина призмы с показателем преломления n_2 на прямой «источник – глаз» намного меньше h . Отражения в системе не учитывать.



1) Считая $n_1 = n_v = 1,0$, $n_2 = 1,7$, 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 $n_1 = 1,5$, $n_2 = 1,7$, найдите на каком расстоянии от источника будет его изображение, которое увидит наблюдатель.



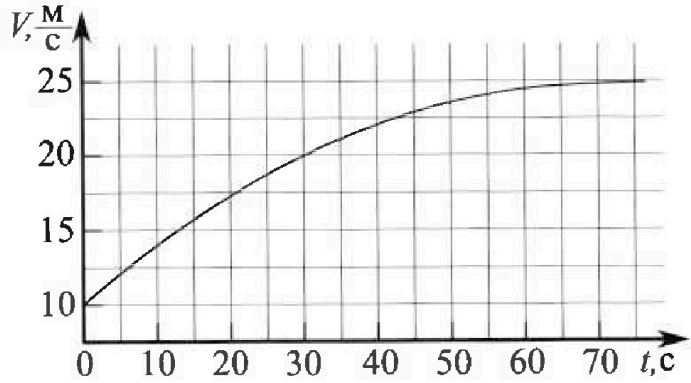
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

Вариант 11-01

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



1. Автомобиль массой $m = 1800$ кг движется с постоянной скоростью и затем разгоняется на прямолинейном горизонтальном участке дороги. График зависимости скорости от времени при разгоне показан на рисунке. В конце разгона сила тяги двигателя равна $F_k = 500$ Н. Считать, что при разгоне сила сопротивления движению пропорциональна скорости.



- 1) Используя график, найти ускорение автомобиля при скорости $V_1 = 20$ м/с.
- 2) Найти силу тяги F_1 при скорости V_1 .
- 3) Какая мощность P_1 передается от двигателя на ведущие колеса при скорости V_1 ?

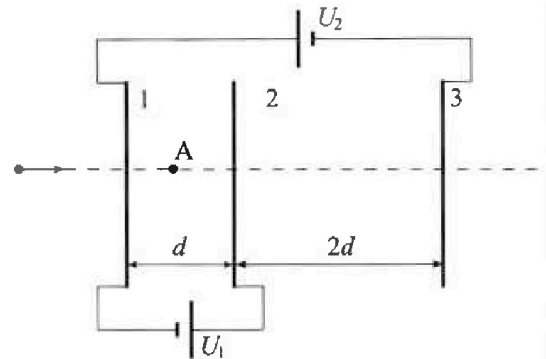
Требуемая точность численного ответа на первый вопрос ориентировочно 10%.

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 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 $V/4$. Затем цилиндр медленно нагрели до $T = 5T_0/4 = 373$ К. Установившийся объём его верхней части стал равен $V/5$.

По закону Генри, при заданной температуре количество Δv растворённого газа в объёме жидкости w пропорционально парциальному давлению p газа: $\Delta v = kpw$. Объём жидкости при этом практически неизменен. Для углекислого газа константа Генри для данной комнатной температуры $k \approx (1/3) \cdot 10^{-3}$ 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 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 $2d$ (см. рис.). Размеры сеток значительно больше d . Изначально сетки не заряжены. К сеткам подсоединили источники с напряжением $U_1 = U$ и $U_2 = 4U$. 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 1 и 2.
- 2) Найти разность $K_1 - K_2$, где K_1 и K_2 — кинетические энергии частицы при пролете сеток 1 и 2.
- 3) Найти скорость частицы в точке A на расстоянии $d/3$ от сетки 1.

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

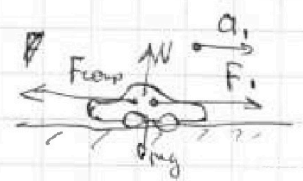
1	2	3	4	5	6	7
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

МФТИ

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

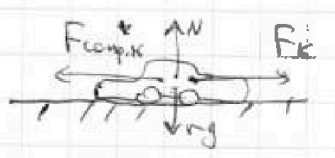
№1. $m = 1800 \text{ кг}$.

1) $a_1 = \frac{\Delta v_1}{\Delta t} = (v_1)' = \text{tg } \alpha$, где α угол между осью Oz и касательной к траектории в точке v_1 . $\Rightarrow a_1 = \frac{5 \frac{\text{м}}{\text{с}}}{20 \text{ с}} = 0,25 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$

2)  по I з.и на ось x : $F_1 - F_{\text{comp}} = ma_1$
 $F_{\text{comp}} = k v_1$ \Rightarrow

где скорость $v_1 = x$ $\Rightarrow F_1 = ma_1 + k v_1$ (1)

где концы рельсов:

 по II з.и на ось x' : $F_k = F_{\text{comp},k}$
 $F_{\text{comp},k} = k \cdot v_k$ $\Rightarrow k = \frac{F_k}{v_k}$ (2)

(2) в (1): $F_1 = ma_1 + \frac{F_k}{v_k} \cdot v_1 = 1800 \text{ кг} \cdot 0,25 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} + \frac{500 \text{ Н}}{25 \frac{\text{м}}{\text{с}}} \cdot 20 \frac{\text{м}}{\text{с}} =$
 $= 450 \text{ Н} + 400 \text{ Н} = 850 \text{ Н}$.

3) $P_1 = F_1 \cdot v_1 = 20 \frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot 850 \text{ Н} = 17000 \text{ Вт} = 17 \text{ кВт}$.

Ответ: 1) $a_1 = 0,25 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$; 2) $F_1 = 850 \text{ Н}$; 3) 17 кВт .

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

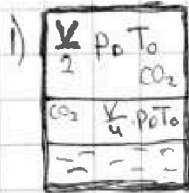


- 1 2 3 4 5 6 7

МФТИ

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

N2



Нарисуем картинку, знаем что ~~идеальный газ~~ ~~идеальный газ~~

Т.к. система изначально находится в равновесии;

го поршня \rightarrow запишем уравнение Менделеева - Клапейрона для

верхней и нижней частей газов: $p_0 \cdot \frac{V}{2} = \nu_B \cdot R T_0$ (1)

(3) $p_0 \cdot \frac{V}{4} = \nu_H R T_0$

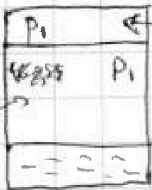
где p_0 - давление атмосферы

возьмем 2 этих уравнения:

а $\nu_B \nu_H$ - кол-во молей газа сверху и снизу.

$$\frac{V}{2} = \frac{\nu_B}{\nu_H} \Rightarrow \frac{\nu_B}{\nu_H} = 2$$

2)



Т.к. весь растворимый порошок воле пог вольвода

длина значит $\nu_H' = \nu_H + \delta \nu = \nu_H + k p_0 \frac{V}{4}$

Кроме того при $t = T = \frac{5}{4} T_0$ давление

парциальное давление водяного паров,

тогда по 3. Мен.-Клап. (для верхней части): $p_1 \cdot \frac{V}{5} = \nu_B \cdot R T$ (2)

для нижней части

$$\Rightarrow p_1 \cdot \frac{V}{5} = 2 \nu_H R T$$

$$p_r V \cdot 0,55 = \left(\nu_H + k p_0 \frac{V}{4} \right) \cdot R T, \text{ где } p_r - \text{ это давление нижней части газа.}$$

также известно, что $p_1 = p_H + p_r$, где $p_H = 10^5 \text{ Па}$, при $t = 100^\circ \text{ C}$.

$$\frac{(1)}{(2)}: \frac{V}{5} = \frac{p_0 \cdot 5}{2 \cdot p_1} \Rightarrow p_1 = \frac{25}{8} p_0 \Rightarrow \frac{25}{8} p_0 = p_H + p_r$$

$$p_r = \frac{RT}{0,55} \left(\frac{\nu_H}{V} + \frac{k p_0}{4} \right) \stackrel{\text{из (3)}}{=} p_0 \left(\frac{RT}{0,55} \left(\frac{1}{4 R T_0} + \frac{k}{4} \right) \right)$$

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1 2 3 4 5 6 7

МФТИ

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



$$\frac{25}{8} P_0 = P_A + P_0 \left(\frac{RT}{0,55} \left(\frac{1}{4RT_0} + \frac{K}{4} \right) \right) \Leftrightarrow P_0 = \frac{P_A}{\frac{25}{8} - \frac{RT}{0,55} \cdot \left(\frac{1}{4RT_0} + \frac{K}{4} \right)}$$

$$= \frac{P_A}{\frac{25}{8} - \frac{1}{3,2} \cdot \left(\frac{5}{4} + \frac{10^{-3}}{3} \cdot \frac{10^3 \text{ Па}}{4 \cdot 3,2} \cdot \frac{3 \cdot 10^3 \text{ Па}}{1} \right)} = \frac{P_A}{\frac{25}{8} - \frac{1}{3,2} \cdot \frac{9}{4}} = \frac{P_A \cdot 88}{185}$$

Ответ: 1) $\frac{v_0}{v_n} = 2$; 2) $P_0 = \frac{88}{185} P_A$.

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!



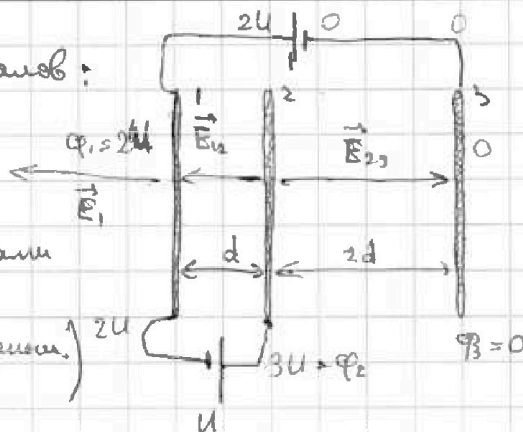
№3) Воспользуемся методом потенциалов:

тогда $\varphi_3 = 0$; $\varphi_1 = 2U$; $\varphi_2 = 3U$

Напряженность поля между пластинами

E_2 направлена влево (в сторону уменьшения потенциала)

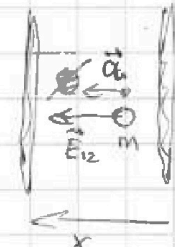
а между пластинами E_3 вправо.



тогда $d \cdot E_{12} = \varphi_2 - \varphi_1 \Rightarrow E_{12} = \frac{U}{d}$;

по II з.Н. на ось x: $E_{12} \cdot q = m a \Rightarrow$

$a = \frac{q \cdot U}{m \cdot d}$



2) $A_R = \Delta K \Rightarrow \vec{F}_{12} \cdot d = K_2 - K_1$

т.к. действующая сила
всегда отрицательна сила внешнего
с полем.

$\frac{qU}{d} \cdot d \cdot q = K_2 - K_1$
 $K_1 - K_2 = U \cdot q$

3) по 3ИЭ: $-\frac{m v_a^2}{2} + \frac{m v_0^2}{2} = \frac{E_{12} q \cdot d}{3} \Rightarrow v_a = \sqrt{v_0^2 - \frac{U q \cdot 2}{3 \cdot m}}$

Ответы: 1) $a = \frac{qU}{m d}$; 2) $K_1 - K_2 = U \cdot q$; 3) $v_a = \sqrt{v_0^2 - \frac{U q \cdot 2}{3 m}}$

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

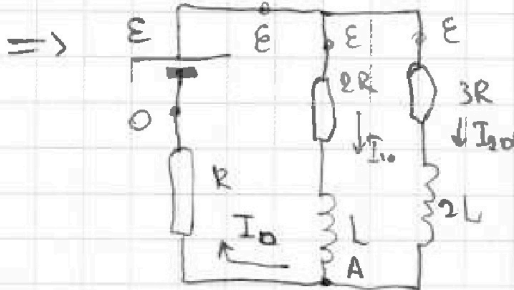
Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

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!

№4. 1) Ключ разомкнут, цепи в установившемся режиме \Rightarrow



т.е. ток через катушки не меняется
се и напряжения на них не

воспользуемся законом сохранения

ЗПЗ для т. А: $I_0 = I_{10} + I_{20}$

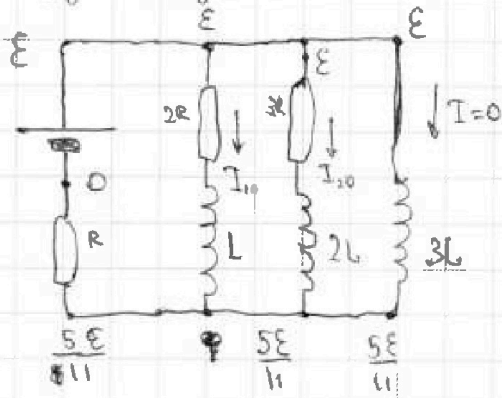
до замыкания φ

$$I_0 = \frac{\varphi}{R}; \quad I_{10} = \frac{\varepsilon - \varphi}{2R}; \quad I_{20} = \frac{\varepsilon - \varphi}{3R} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 6\varphi = 3\varepsilon - 3\varphi + 2\varepsilon - 2\varphi \Rightarrow \varphi = \frac{5\varepsilon}{11} \Rightarrow I_{10} = \frac{6\varepsilon}{11 \cdot 2R} = \frac{3 \cdot \varepsilon}{11 \cdot R}$$

2) для катушки справедливо равенство: $U_{3L} = 3L \cdot I'_{3L}$
связан. L

сразу после замыкания:



Тогда: $I'_{3L} = \frac{U_{3L}}{3L} = \frac{6\varepsilon}{11 \cdot 3L} = \frac{2\varepsilon}{11L}$

но время как I'_{3L} и есть скорость
возрастания тока на $3L$ ($I'_{3L} = \frac{dI_{3L}}{dt}$)
 $dt \rightarrow 0$

3) Ответ: 1) $I_{10} = \frac{3 \cdot \varepsilon}{11 \cdot R}$; 2) $I'_{3L} = \frac{2\varepsilon}{11L}$;

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

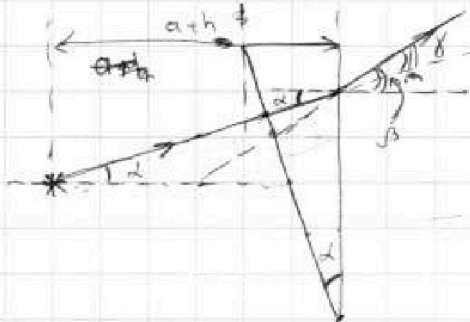
1	2	3	4	5	6	7
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

МФТИ

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

15. 1) т.к. $n_1 = n_2 = 1 \Rightarrow$ при прохождении лучей через призму 1, они

не отклоняются \Rightarrow можно рассматривать только 2 призму



луч, падающий перпендикулярно ке
отклоняется. Если равные углы α (

симметрично на рисунке) \Rightarrow

луч на заднюю стенку падает под углом α .

Тогда $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{1}{n_2} \Leftrightarrow \alpha \approx \beta$ и тогда $\alpha = \beta = n_2 \cdot \alpha$

Тогда α угол отклонения составил $\delta = \beta - \alpha = \alpha(n_2 - 1) \approx 0,1 \cdot 0,7 \text{ рад} =$
 $= 0,07 \text{ рад}.$

2) Ответ: 1) $0,07 \text{ рад}.$



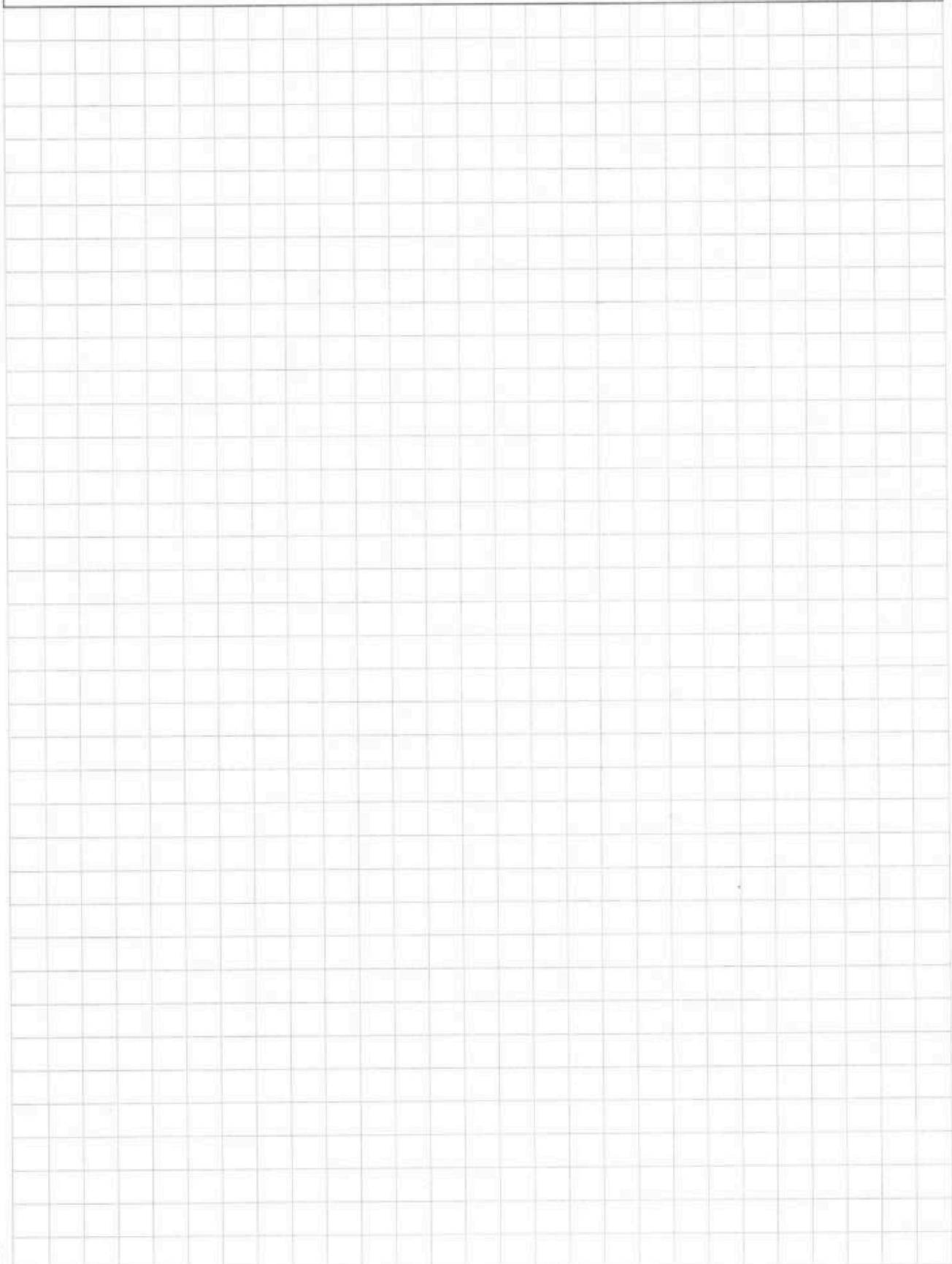
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

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

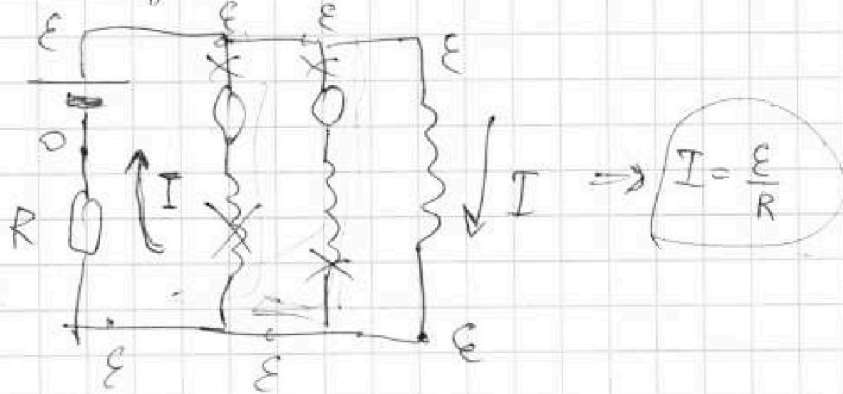
МФТИ

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

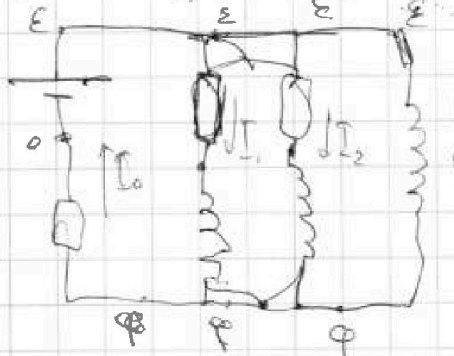
$U = L \cdot I'$ \rightarrow новое установившееся состояние, $I_{3C} = \text{const.} \Rightarrow$

$\Rightarrow U_{3C} = 0 \Rightarrow$

$W_k = \frac{LI^2}{2}$



в цепи есть катушки



$\mathcal{E} - \varphi = 3L \cdot I_0'$

$\mathcal{E} - \varphi = 2R I_1 + L I_1'$

$\mathcal{E} - \varphi = 2R I_2 + 2L I_2'$

$\varphi = I_0 R, I_0 = I_1 + I_2$

$\mathcal{E} - (I_1 + I_2)R = 2R I_1 + L I_1'$

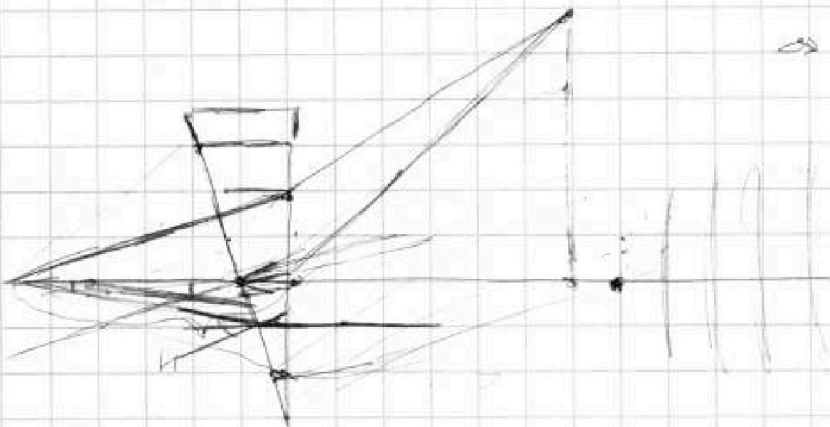


$\frac{V}{S} = \frac{1}{5}$

$1 - \frac{1}{5} - \frac{1}{4} = \frac{1}{1} - \frac{9}{20} = \frac{11}{20} = 0,55$

аналогично находим $\frac{I_1}{I_2} = 2$

$\Rightarrow U = 3L I_1'$



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!



$$P_r = \frac{25}{8} P_0 - P_A$$

1 2 3 4 5 - уравниваем
 $P_0 \cdot V \cdot \Delta n \cdot \Delta \rho \cdot P_r \cdot P_A$

$$\frac{25}{8} - \frac{9}{8,8} = \frac{27,5 - 9}{8,8}$$

$$P_0 \frac{V}{4}$$

$$\frac{RT_0 \cdot J_{\text{н}}}{RT \cdot (J_{\text{н}} + k P_0 \frac{V}{4})}$$

$$= \frac{18,5}{8,8} = \frac{185}{88}$$

$$\left(\frac{25 P_0}{8} - P_A \right) V_{0,55} =$$

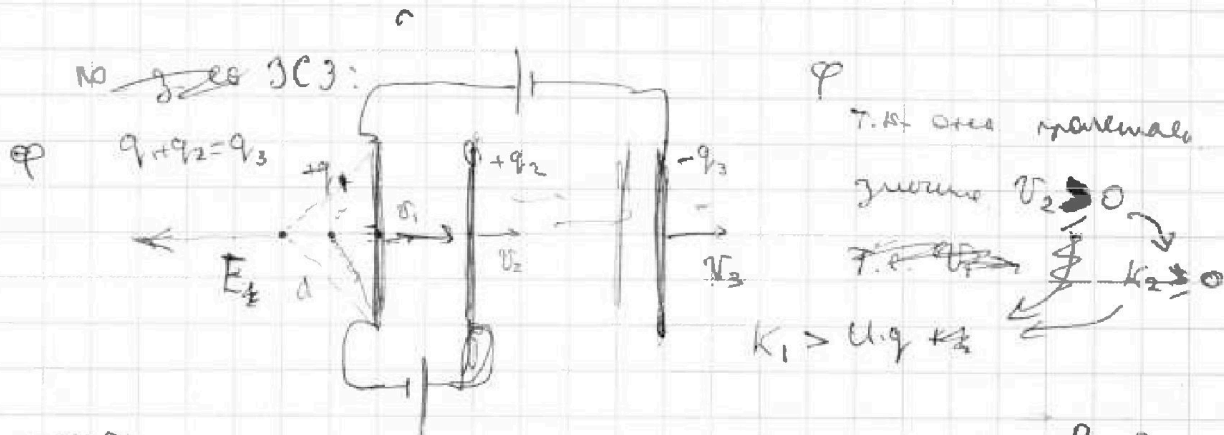
- 1) $2 \cdot V_{\text{н}} = V_0 \cdot \pi$
- 2) $P_i = P_A + P_r$
- 3) $\frac{25}{8} P_0 = P_A$

$$P_r = \frac{(J_{\text{н}} + k P_0 \frac{V}{4}) RT}{0,55 V}$$

знаем
 $\frac{RT}{0,55}$

$$\left(\frac{J_{\text{н}}}{V} + \frac{k P_0}{4} \right)$$

$$= \frac{RT}{0,55} \left(\frac{P_0}{4 \pi T_0} + \frac{P_0 k}{4} \right) = P_0 \left(\frac{RT}{0,55} \left(\frac{1}{4 \pi T_0} + \frac{k}{4} \right) \right)$$



no 304: $\frac{m v_A^2}{2} + \frac{m v_1^2}{2} = \frac{qU}{3} \Rightarrow v_A = \sqrt{v_1^2 - \frac{2qU}{3m}}$

$P_{\text{н}} = P_A$
 при $U_0 = 0$

аналогично $\frac{m v_1^2}{2} + \frac{m v_2^2}{2} = E$

$E_1 = \frac{q_1}{2 \epsilon_0 S}$ $E_2 = \frac{q_2}{2 \epsilon_0 S} \cdot \frac{1}{1 + k} = \frac{1}{2 \epsilon_0 S}$

$E = \frac{1}{4 \pi \epsilon_0} \cdot \delta \cdot \Omega = \frac{q}{S} \cdot \Omega \cdot \frac{1}{4 \pi \epsilon}$

$\Rightarrow E_2 - E_1 = E_{21}$ $q_2 - q_1 = \frac{E_{21} \cdot k}{k}$

$E_2 - E_3 = E_{23}$ $q_2 + q_3 = E_{23} \cdot k$

$S q_3 = (E_{23} + E_{13}) k$

$q_3 + q_2 = (E_{21} + E_{13}) k$

$U_1 = \frac{m v_1^2}{2}$

$v_1 = \sqrt{\frac{2U_1}{m}}$

$q_1 + q_3 = E_{13} k$

$q_1 + q_2 = q_3$