



Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

Вариант 11-01

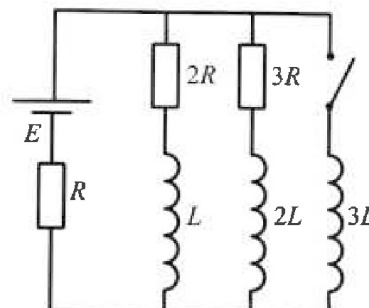
Во всех задачах, в ответах допустимы обыкновенные дроби
и радикалы.



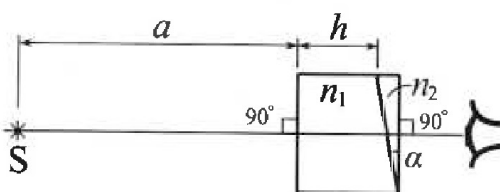
4. Параметры цепи указаны на схеме, все элементы идеальные. Ключ разомкнут, режим в цепи установился. Затем ключ замыкают.

- 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.



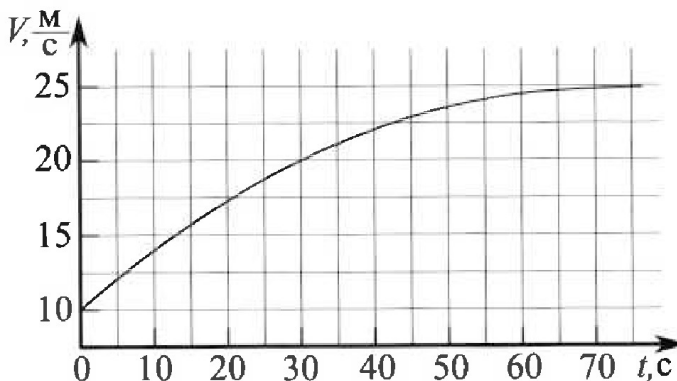
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

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%.

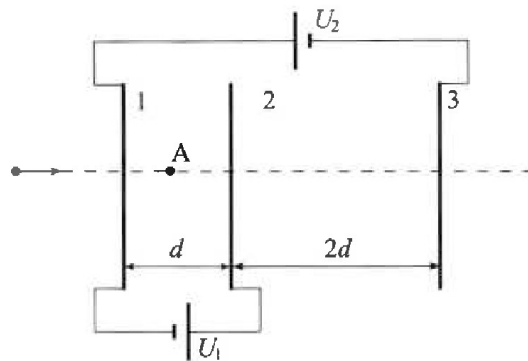
2. Герметичный вертикальный цилиндрический сосуд объемом V разделен тонким невесомым теплопроводящим герметичным поршнем (диск соосный с сосудом) на две равные части. Поршень может перемещаться без трения. В верхней части цилиндра находится углекислый газ, а в нижней - вода и углекислый газ. В начальный момент система находилась в равновесии при комнатной температуре T_0 . При этом жидкость занимала объем $V/4$. Затем цилиндр медленно нагрели до $T = 5T_0/4 = 373$ К. Установившийся объем его верхней части стал равен $V/5$.

По закону Генри, при заданной температуре количество Δn растворенного газа в объеме жидкости w пропорционально парциальному давлению p газа: $\Delta n = kpw$. Объем 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 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 $2d$ (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
☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐

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



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

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

где концы рычагов:



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

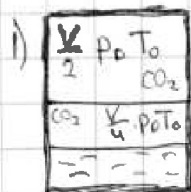
Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

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 пистон, знаем его ~~объем~~ ~~массу~~ ~~площадь~~

Т.к. система изначально находится в равновесии;

до нагрева

запишем уравнение Менделеева - Клапейрона для

верхней и нижней частей газов:

$$p_0 \cdot \frac{V}{2} = \nu_B \cdot R T_0 \quad (1)$$

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

где p_0 - давление
атмосферы

поделим 2 эти уравнения:

а ν_B / ν_H - кол-во

вещ-ва сверху и снизу.

$$\frac{1}{2} = \frac{\nu_B}{\nu_H} \Rightarrow \frac{\nu_B}{\nu_H} = 2$$

2)



Т.к. весь растворенный ранее в воде газ высвободился

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

равновесное давление в газовой части,

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

для нижней части

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

$$p_1 V \cdot 0,55 = \left(\nu_H + k p_0 \frac{V}{4} \right) \cdot R T, \text{ где } p_1 - \text{это давление нижней части газа}$$

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

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

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



На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

☐☒☐☐☐☐☐

МФТИ

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

$$\frac{25}{8} p_0 = p_A + p_0 \left(\frac{RT}{0,55} \left(\frac{1}{4RT_0} + \frac{k}{4} \right) \right) \Leftrightarrow p_0 = \frac{p_A}{\frac{25}{8} - \frac{RT}{0,55} \cdot \left(\frac{1}{4RT_0} + \frac{k}{4} \right)}$$

$$= \frac{p_A}{\frac{25}{8} - \frac{1}{2,2} \cdot \left(\frac{5}{4} + \frac{10^{-3} \frac{\text{моль}}{\text{м}^3 \cdot \text{Па}} \cdot 332,3 \cdot 10^3 \frac{\text{Па}}{\text{моль}}}{3} \right)} = \frac{p_A}{\frac{25}{8} - \frac{1}{2,2} \cdot \frac{9}{4}} = \frac{p_A \cdot 88}{185}$$

Ответ: 1) $\frac{p_0}{p_A} = 2$; 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!



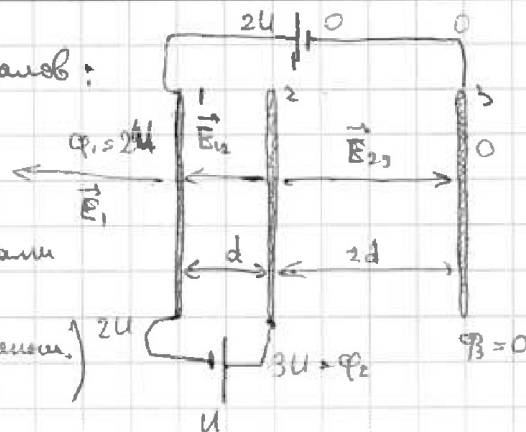
13) Воспользуемся методом потенциалов:

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

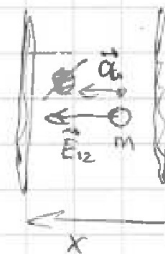
Напряженность поля между пластинами

12 направлена влево (в сторону уменьшения потенциала)

а между пластинами 23 вправо.



тогда $d \cdot E_{12} = \varphi_2 - \varphi_1 \Rightarrow E_{12} = \frac{U}{d}$;
по 3-й н. Ньютона: $E_{12} \cdot q = ma \Rightarrow a = \frac{q \cdot U}{m \cdot d}$



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

т.к. действующая сила

всегда одна - сила внешнего поля.

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

3) по 3УД: $-\frac{mv_a^2}{2} + \frac{mv_0^2}{2} = \frac{E_{12} \cdot q \cdot d}{3} \Rightarrow v_a = \sqrt{v_0^2 - \frac{Uq^2}{3 \cdot m}}$

Ответ: 1) $a = \frac{qU}{md}$; 2) $K_1 - K_2 = Uq$; 3) $v_a = \sqrt{v_0^2 - \frac{Uq^2}{3m}}$

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

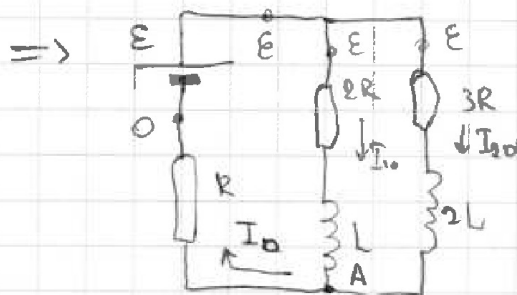
Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

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. Порча QR-кода недопустима!

14. 1) Ключ разомкнут, чему в установившемся режиме $\Rightarrow$



т.е. ток через катушки не меняется и напряжение на них не

изменяется.

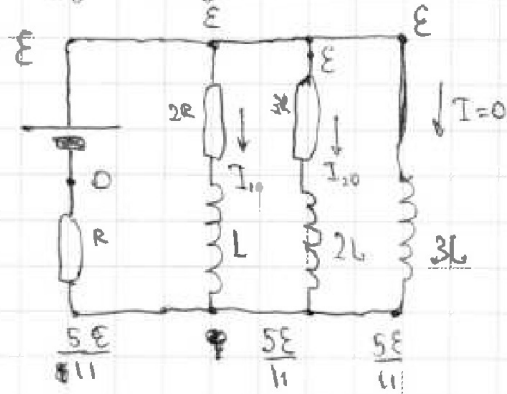
ЗКЗ для т. А: $I_0 = I_{10} + I_{20}$

$I_0 = \frac{\Phi}{R}$; $I_{10} = \frac{E - \Phi}{2R}$; $I_{20} = \frac{E - \Phi}{3R}$

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

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

сразу после замыкания:



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

но в момент I'_{3L} и есть скорость
возрастания тока на $3L$ ($I'_{3L} = \frac{dI_{3L}}{dt}$)

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

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

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

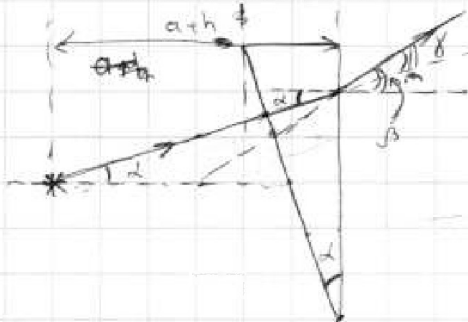
1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐

МФТИ

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

NS. 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 на
границу раздела. Если равные углы α (

отмечены на рисунке) $\Rightarrow$

луч на заднюю границу падает под углом α .

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

Тогда α угол отклонения составим $\gamma = \beta - \alpha = \alpha(n_2 - 1) = 0,107 \text{ рад} =$
 $= 0,07 \text{ рад.}$

2) Ответ: 1) $0,07 \text{ рад.}$



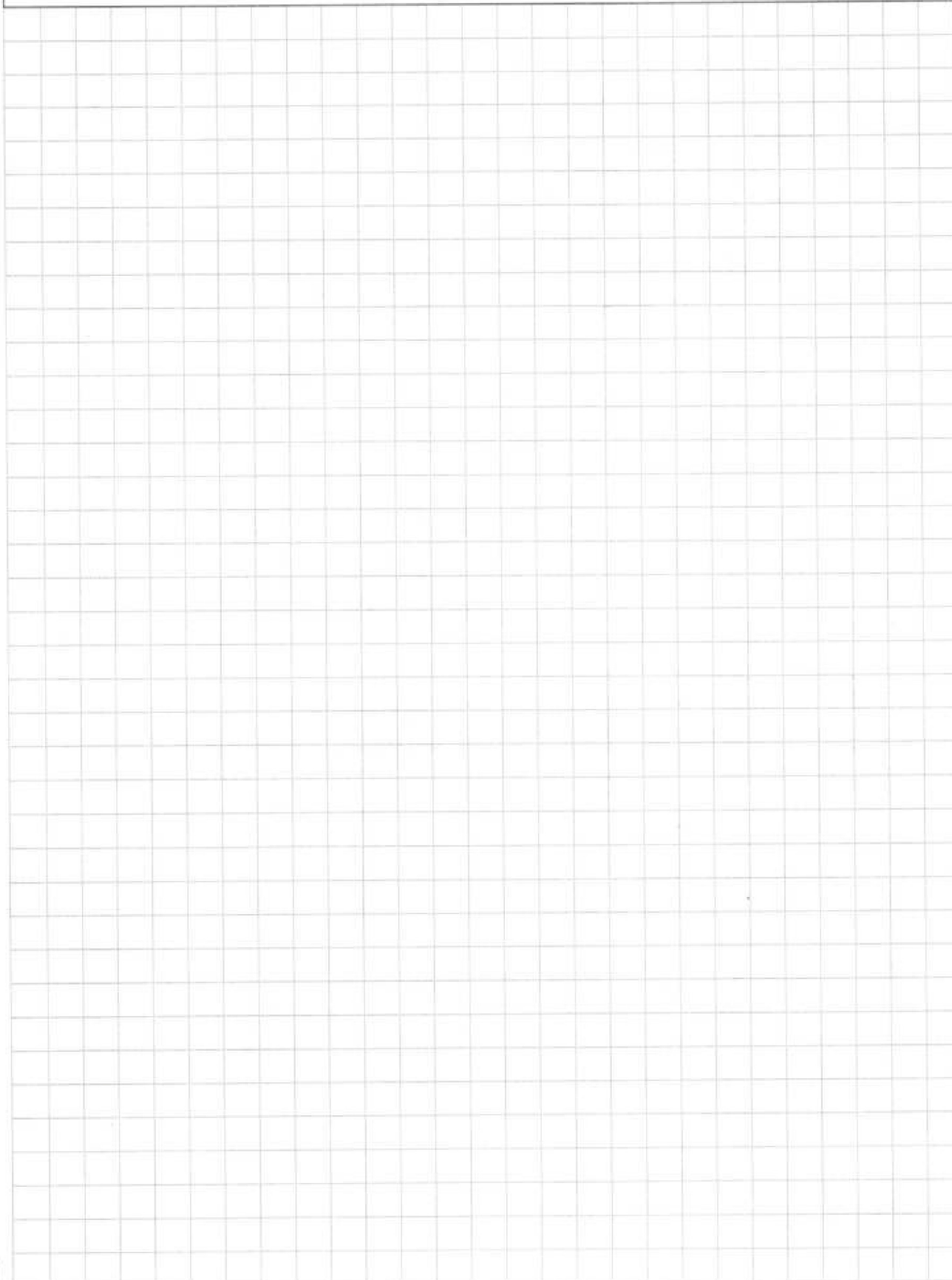
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐



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

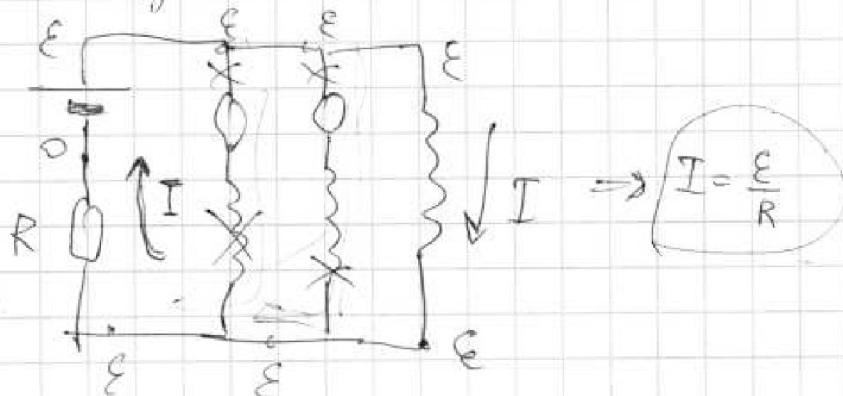
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



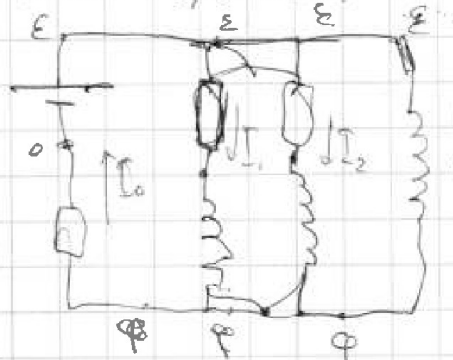
$U = L \cdot I'$ $\Rightarrow$ Новое установившееся состояние, $I_{3L} = \text{const.} \Rightarrow$

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

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



в момент времени



$$E - \varphi = 3L \cdot I_0'$$

$$E - \varphi = 2RI_0 + L I_1'$$

$$E - \varphi = 2RI_2 + 2L I_0'$$

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

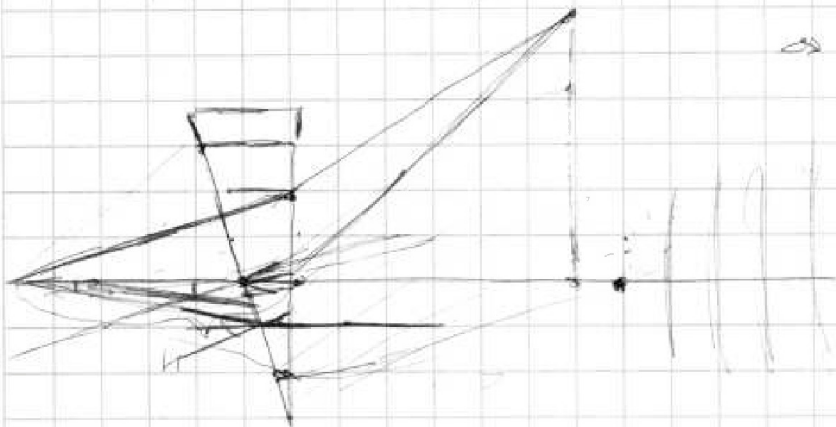
$$E - (I_1 + I_2)R = 2LI_1' + 2LI_2'$$

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

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

$$\text{отношение мощностей } \frac{I_1}{I_2} = \frac{3}{2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow U = 3LI_1'$$



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!



$$P_r = \frac{2S}{8} p_0 - P_A$$

12345 - упрощения
 $p_0 V \ln \frac{p_0}{P_r}$

$$\frac{25}{8} - \frac{9}{8,8} = \frac{27,5-9}{8,8} = \frac{18,5}{8,8} = \frac{185}{88}$$

$$p_0 \frac{V}{4}$$

$$\left(\frac{25 p_0}{8} - P_A \right) V_{0,55}$$

$$\frac{R T_0}{P_T} \cdot \frac{J_H}{\ln + k p_0 \frac{V}{4}}$$

1) $2 \cdot V_H = V_0 \cdot \pi$

2) $p_i = p_A + P_r$

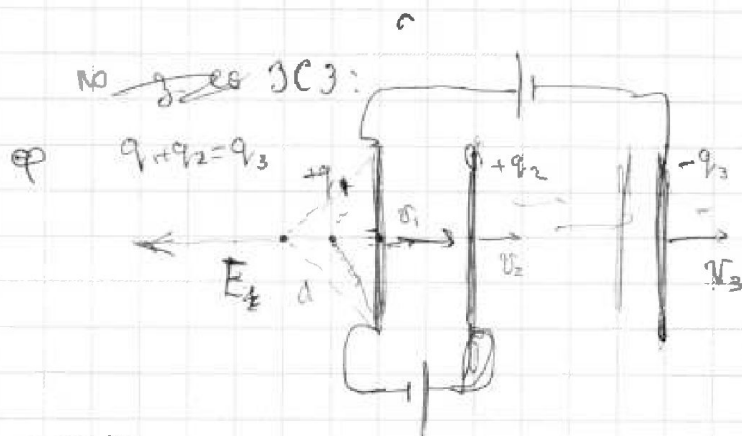
3) $\frac{2S}{8} p_0 = P_r$

$$P_r = \left(\ln + k p_0 \frac{V}{4} \right) \frac{R T}{0,55 V}$$

знаем
 $\frac{RT}{0,55}$

$$\left(\frac{V_H}{V} + k p_0 \frac{V}{4} \right)$$

$$= \frac{R T}{0,55} \left(\frac{p_0}{4 R T_0} + \frac{p_0 k}{4} \right) = p_0 \left(\frac{R T}{0,55} \left(\frac{1}{4 R T_0} + \frac{k}{4} \right) \right)$$



т.к. она максимальна
 значит $U_2 \rightarrow 0$
 т.е. $U_1 \rightarrow 0$
 $K_1 > U_1 q_1 + k$

по 3УЭ:

$$-\frac{m v_A^2}{2} + \frac{m v_1^2}{2} = \frac{q U}{3} \Rightarrow v_A = \sqrt{v_1^2 - \frac{2 q U}{3 m}}$$

$P_H = P_A$
 при $\omega = 0$

значит

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

$$E_1 = \frac{q_1}{2 \epsilon_0 S} \quad E_2 = \frac{q_2}{2 \epsilon_0 S} \quad \text{где } k = \frac{1}{2 \epsilon_0 S}$$

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

$$\Rightarrow E_2 - E_1 = E_{21}$$

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

$$E_2 - E_3 = E_{23}$$

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

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

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

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

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

~~т.е. $U_1 \rightarrow 0$~~

$$q_1 + q_3 = E_{13} \cdot k$$

$$q_1 + q_2 = q_3$$