



Олимпиада «Физтех» по физике,  
февраль 2023

Вариант 11-01

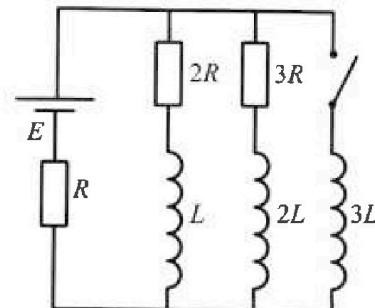


Во всех задачах, в ответах допустимы обыкновенные дроби  
и радикалы.

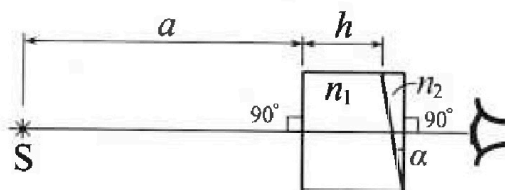
4. Параметры цепи указаны на схеме, все элементы идеальные. Ключ разомкнут, режим в цепи установился. Затем ключ замыкают.

- 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.



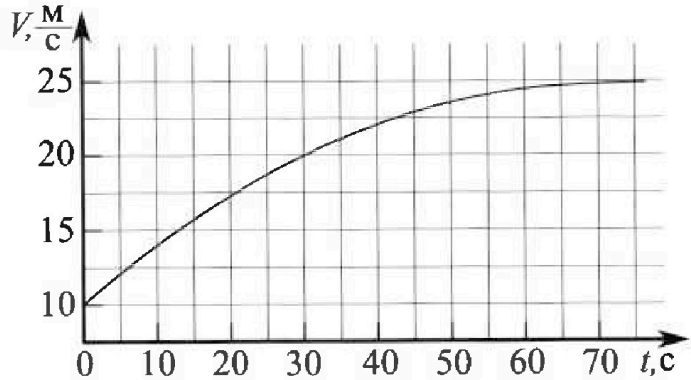
# Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

## 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  $V_1$ ?

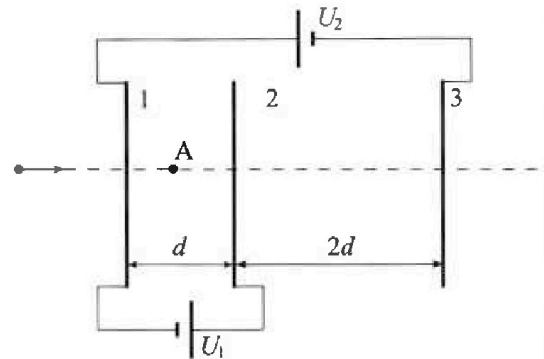
Требуемая точность численного ответа на первый вопрос ориентировочно 10%.

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  $\Delta v$  растворённого газа в объёме жидкости  $v$  пропорционально парциальному давлению  $p$  газа:  $\Delta v = kp v$ . Объём жидкости при этом практически неизменен. Для углекислого газа константа Генри для данной комнатной температуры  $k \approx (1/3) \cdot 10^{-3}$  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 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:

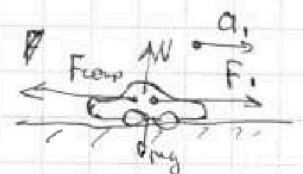
1  2  3  4  5  6  7

МФТИ

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

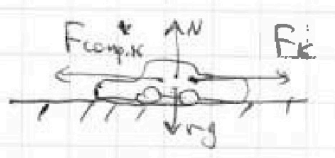
11.  $m = 1800 \text{ кг}$ .

1)  $a_1 = \frac{\Delta v_1}{\Delta t} = (v_1)' = \text{tg } \alpha$ , где  $\alpha$  угол между осью  $Oz$  и касан. 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  $x$ :  $F_1 - F_{\text{ср}} = ma_1$   
 $F_{\text{ср}} = kv_1$   $\Rightarrow$

где скорость  $v_1 = x$   $\Rightarrow F_1 = ma_1 + kv_1$  (1)

где концы рельсов:

$a_k = 0$   по II з.и на ось  $x'$ :  $F_k = F_{\text{ср},k}$   
 $F_{\text{ср},k} = k \cdot v_k$   $\Rightarrow k = \frac{F_k}{v_k}$  (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)  $17 \text{ кВт}$ .

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

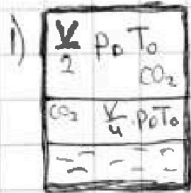


- 1  2  3  4  5  6  7

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;

до нагрева  $\rightarrow$

запишем уравнение Менделеева - Клапейрона для

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

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

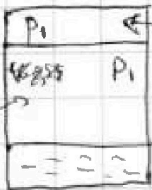
где  $p_0$  - давление  
сначала  
(начальное)

возьмем 2 этих уравнения:

а  $\nu_B \nu_H$  - по-во  
без-ва сверху и снизу.

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

2)



0,55V

после нагрева  $\rightarrow$

Т.к. весь растворимый ранее газ по-во 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 смеси,

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

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

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

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!



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

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

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!



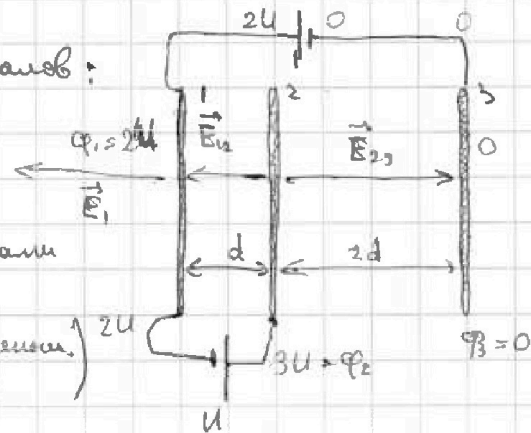
№3) Воспользуемся методом потенциалов:

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

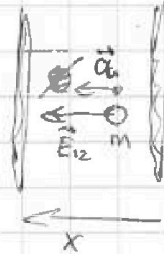
Напряженность поля между пластинами

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



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

т.к. действующая сила  
всегда одна -  $\vec{F}_{12}$  сила внешнего  
с полем.

$\frac{qU}{d} \cdot d \cdot \frac{q}{2} = K_2 - K_1$   
 $K_1 - K_2 = U \cdot q$

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

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

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

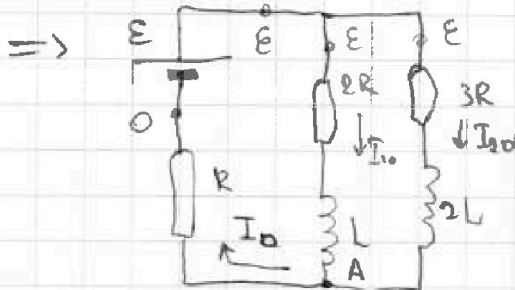
Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

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!

№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 энергии

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

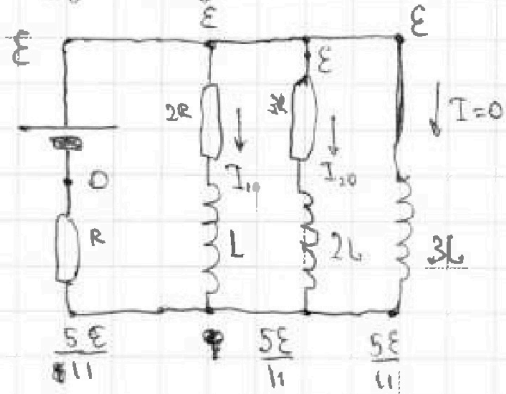
до замыкания  $\Phi$

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

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

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:

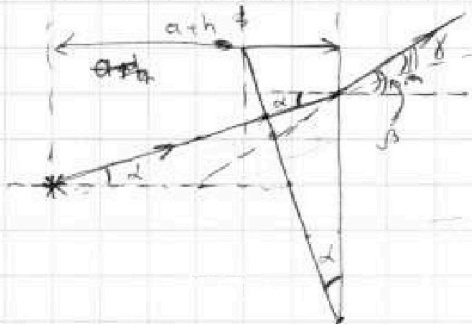
1	2	3	4	5	6	7
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

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  $\alpha$  (

симметрично на рисунке)  $\Rightarrow$

луч на заднюю стенку падает под углом  $\alpha$ .

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

Тогда  $\alpha$  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)  $0,07 \text{ рад.}$





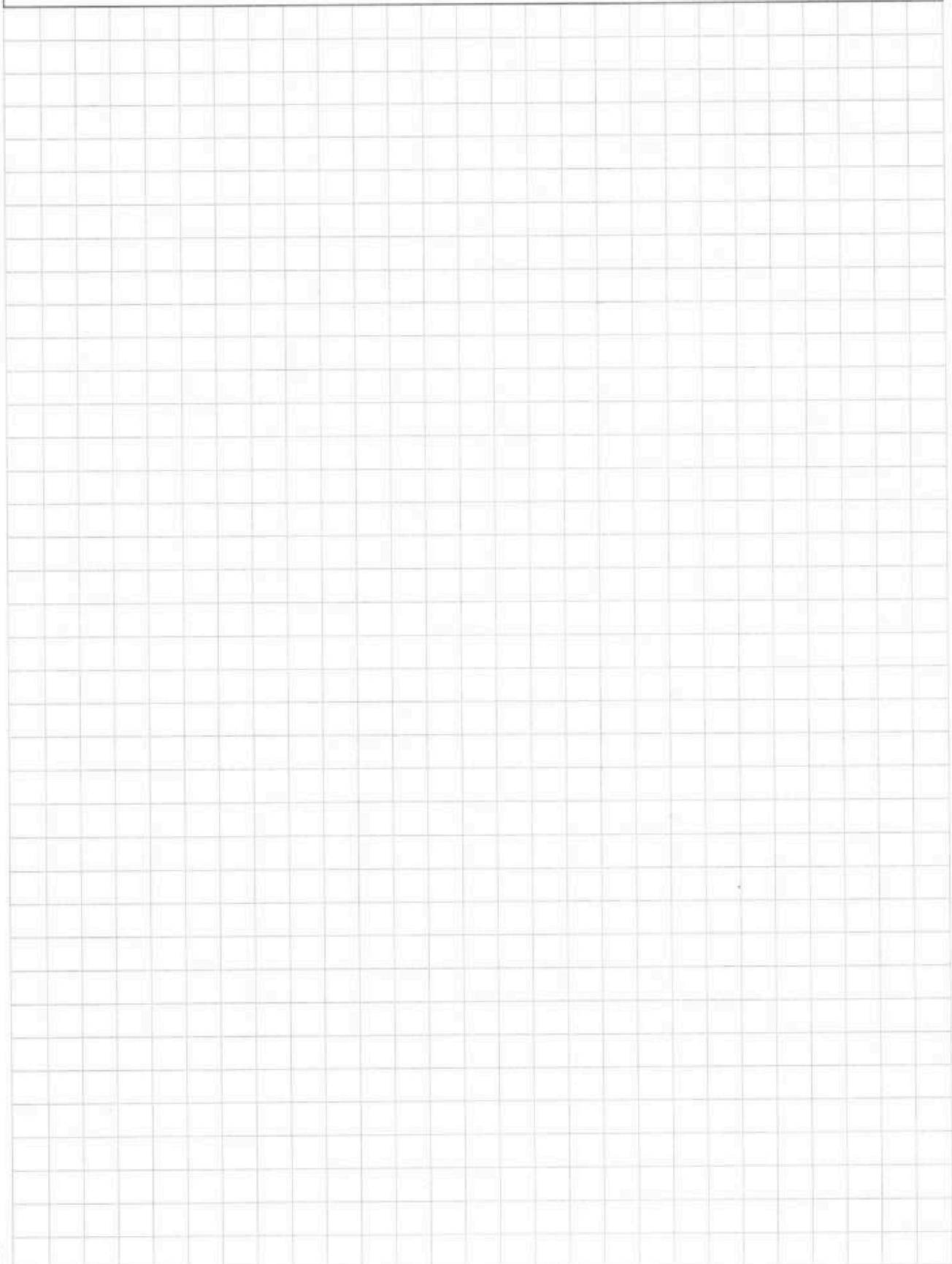
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

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!





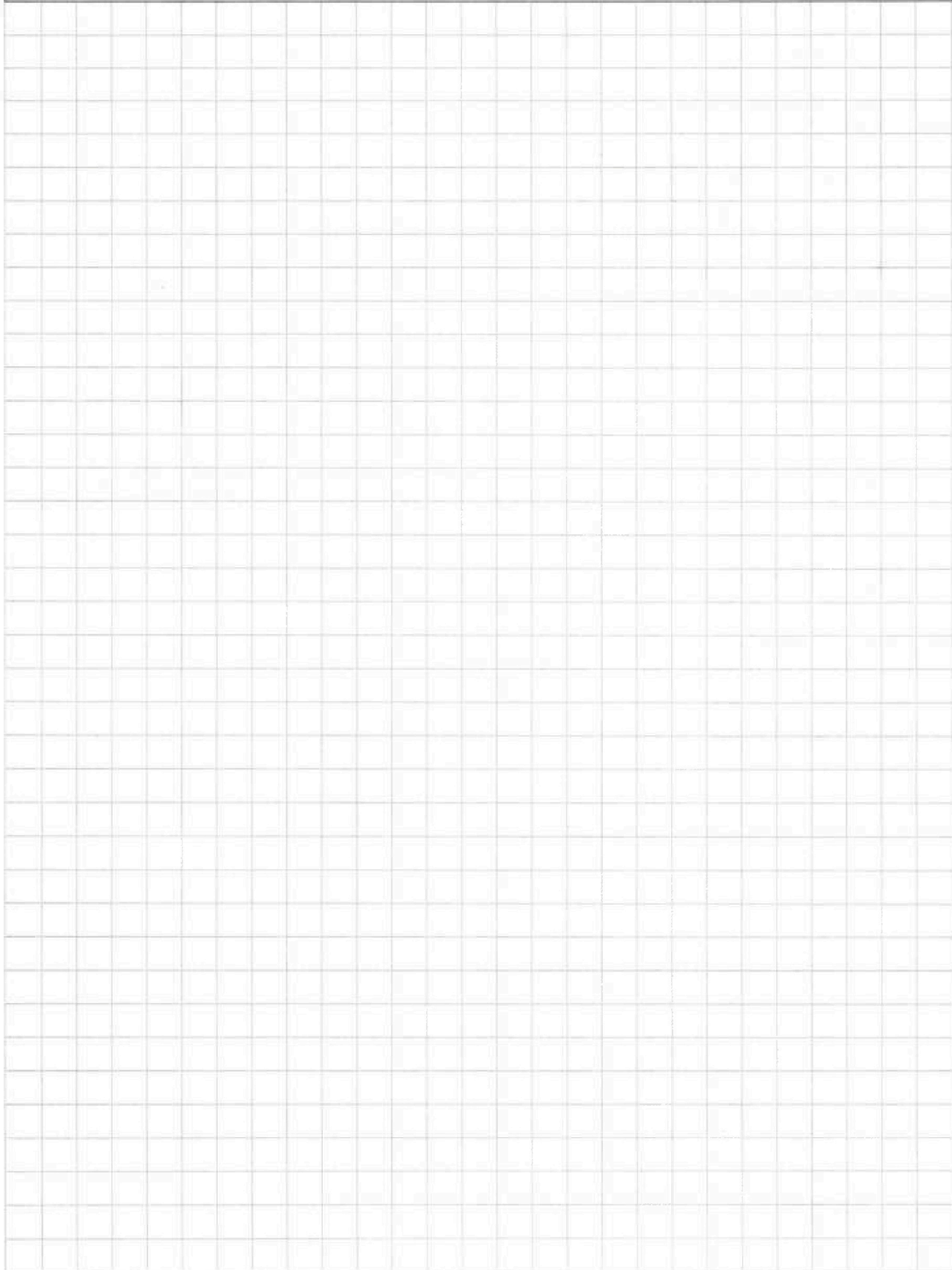
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

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

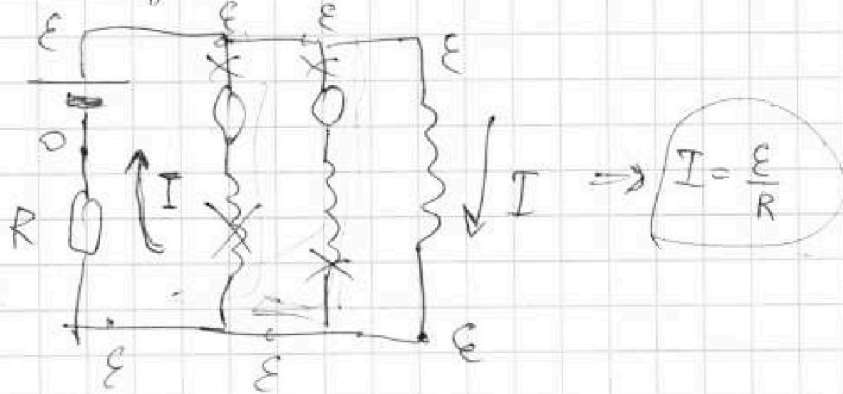
МФТИ

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

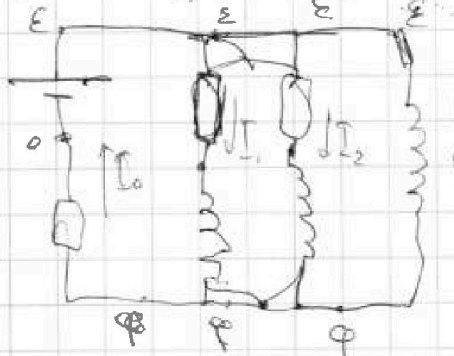
$U = L \cdot I'$   $\rightarrow$  новое установившееся состояние,  $I_{3C} = \text{const.} \Rightarrow$

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

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



в цепи есть ЭДС



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

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

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

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

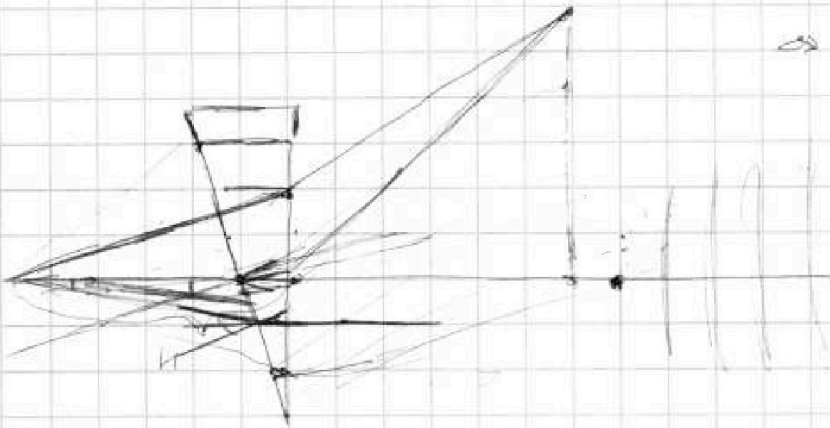
$\mathcal{E} - (I_1 + I_2)R = 2R I_1 + L I_1'$

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

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

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  
 $P_0 \cdot V \cdot \Delta n \cdot \Delta \rho \cdot P_r \cdot P_A$

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

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

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

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

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

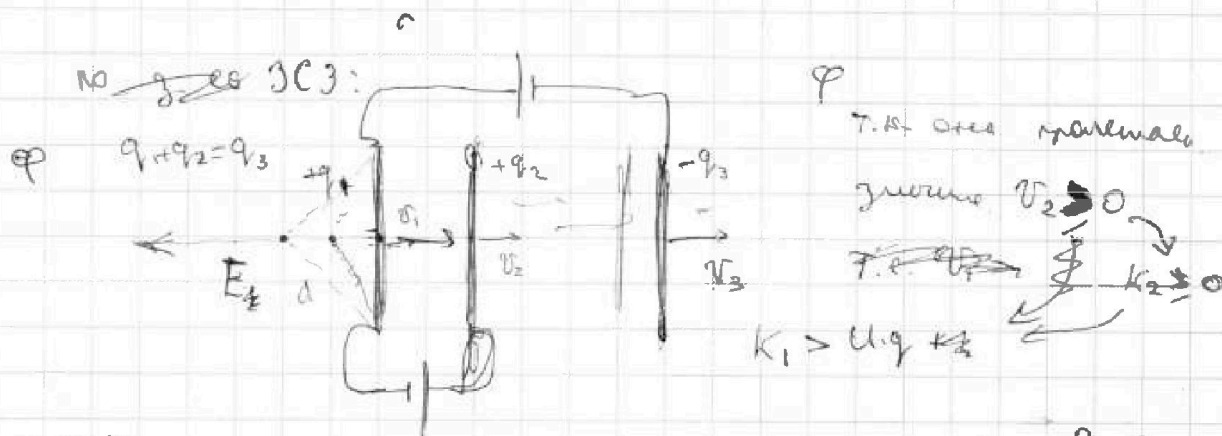
- 1)  $2 \cdot V_{\text{н}} = V_0 \cdot \kappa$
- 2)  $P_i = P_A + P_r$
- 3)  $\frac{25}{8} P_0 = P_A$

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

знаем  
 $\frac{RT}{0,55}$

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

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



по 3УЭ:

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

$P_{\text{н}} = P_A$   
 при  $U_0 = 0$

аналогично

$$\frac{m v_1^2}{2} - \frac{m v_1^2}{2} = E$$

$$E_1 = \frac{q_1}{2 \epsilon_0 S}$$

$$E_2 = \frac{q_2}{2 \epsilon_0 S} \cdot \frac{1}{\kappa} = \frac{1}{2 \epsilon_0 S}$$

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

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

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

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

$$q_2 + q_3 = E_{23} \cdot \kappa$$

$$q_3 = (E_{23} + E_{13}) \cdot \kappa$$

$$q_3 + q_2 = (E_{21} + E_{13}) \cdot \kappa$$

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

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

~~...~~

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

$$q_1 + q_2 = q_3$$