



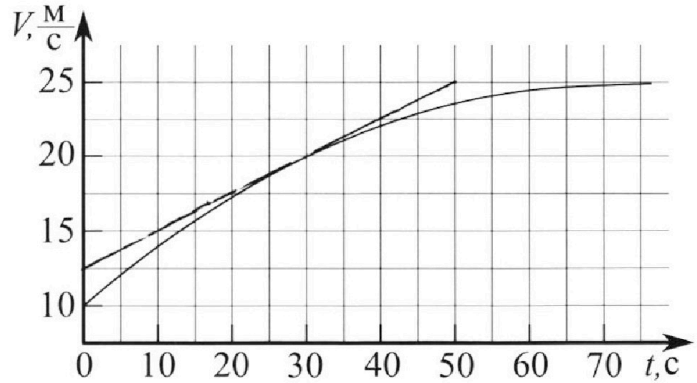
Олимпиада «Физтех» по физике,  
февраль 2023

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  $V_1$ ?

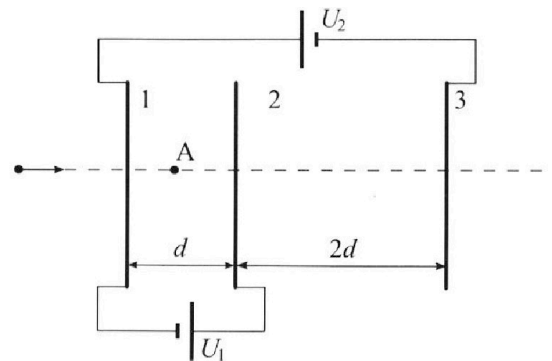
Требуемая точность численного ответа на первый вопрос ориентировочно 10%.

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  $w$  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/(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 А на расстоянии  $d/3$  от сетки 1.

Олимпиада «Физтех» по физике,  
февраль 2023

Вариант 11-01

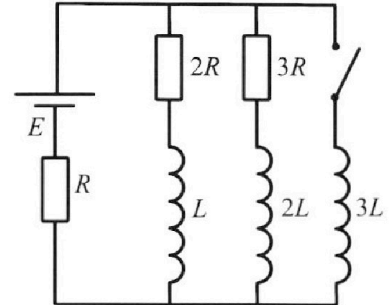
Во всех задачах, в ответах допустимы обыкновенные дроби  
и радикалы.



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

- 1) Найти ток  $I_{10}$  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 числителями и знаменателями 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  $a = 194$  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.

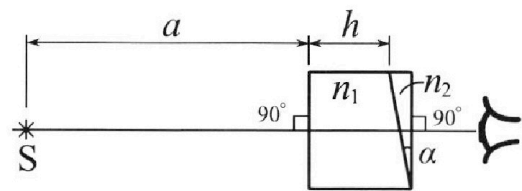


рис.). Угол  $\alpha = 0,1$  рад можно считать малым, толщина  $h = 9$  см. Толщина призмы с показателем преломления  $n_2$  на прямой «источник – глаз» намного меньше  $h$ . Отражения в системе не учитывать.

- 1) Считая  $n_1 = n_{\text{в}} = 1,0$ ,  $n_2 = 1,7$ , найдите на какой угол отклонится системой луч, идущий от источника перпендикулярно левой грани системы.
- 2) Считая  $n_1 = n_{\text{в}} = 1,0$ ,  $n_2 = 1,7$ , 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.

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!

## Задача №1

$$m = 1800 \text{ кг}; \quad F_k = 500 \text{ Н}$$

$F_{\text{сопр}} = kv$ , где  $k$  - коэффициент пропорциональности между силой сопротивления движению и скоростью.

1) Запишем второй закон Ньютона для автомобиля в процессе разгона:

$$ma = m \frac{dv}{dt} = F_{\text{тяги}} - F_{\text{сопр}} = F_{\text{тяги}} - kv$$

Конец разгона, т.е. момент, когда

$a = \frac{dv}{dt} = 0$  ускорение равно нулю, наступит при скорости равной  $v_k = 25 \text{ м/с}$

Второй закон Ньютона в конце разгона запишется так:

$$m \cdot 0 = 0 = F_k - kv_k$$

Значение  $v_k$   
мы нашли с  
помощью уравнения

$$k = \frac{F_k}{v_k} = 20 \frac{\text{Н}}{\frac{\text{м}}{\text{с}}} = 20 \frac{\text{Н} \cdot \text{с}}{\text{м}} = 20 \text{ кг/с}$$

Ускорение автомобиля при скорости  $v_1$  найдем графически.

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!

Проведём касательную к точке

графика, где  $v = v_1 = 20 \text{ м/с}$  и определим  
её коэффициент наклона  $\frac{dv}{dt} = a_1$

$$a_1 = \frac{dv}{dt} = \frac{20 - 7,5 \text{ м}}{30 - 0 \text{ с}} = \frac{7,5}{30} \text{ м/с}^2 = \underline{\underline{0,25 \text{ м/с}^2}}$$

~~Итого:~~  $a_1 = 0,25 \text{ м/с}^2$

2) Второй закон Ньютона при  $v = v_1$ :

$$m a_1 = F_{\text{тяги}} - k v_1 = F_1 - k v_1$$

$$\begin{aligned} F_1 &= k v_1 + m a_1 = (1800 \cdot 0,25 + 20 \cdot 20) \text{ Н} = \\ &= (450 + 400) \text{ Н} = \underline{\underline{850 \text{ Н}}} \end{aligned}$$

$$3) P = \frac{dA}{dt} = \frac{F \cdot dx}{dt} = F \cdot v$$

Мощность  $P_1$  равна произведению силы  
тяги  $F_1$  на скорость  $v_1$ :

$$P_1 = F_1 \cdot v_1 = (850 \cdot 20) \text{ Вт} = 17000 \text{ Вт} = \underline{\underline{17 \text{ кВт}}}$$

Ответ: 1)  $a_1 = 0,25 \text{ м/с}^2$

2)  $F_1 = 850 \text{ Н}$

3)  $P_1 = 17 \text{ кВт}$



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!



Задача №2.

$$\begin{array}{r} 246 \\ - 246 \\ \hline 0 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 373 \cdot 5 \\ - 35 \cdot 170,6 \\ \hline 70 \end{array}$$

1)  $V$  - объем сосуда;  $\text{CO}_2$  - моновалентный газ

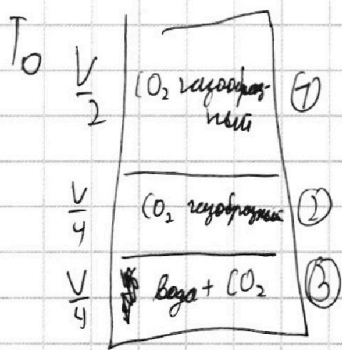
$\frac{V}{4}$  - ном. объем воды;

$$T = \frac{5 T_0}{4} = 373 \text{ K}; \quad T_0 = \frac{4}{5} T = \frac{4}{5} \cdot 373 \text{ K} = 298,4 \text{ K}$$

$\frac{V}{5}$  - уст. объем верхней части

$\Delta U = k p W$ , где  $k \approx \frac{1}{3} \cdot 10^{-3} \text{ моль/м}^3 \cdot \text{Па}$  при  $T_0$

$$R T \approx 3 \cdot 10^3 \text{ Дж/моль}$$



Поскольку система находится

в равновесии, давления газов в газобразной  
состоянии (в сечениях 1 и 2 на  
рисунке) равны  $p_0$

Затем упр-ние состояния идеального

газа.  $p_0 \frac{V}{2} = \nu_1 R T_0$ , где  $\nu_1$  - кол-во  
 $\text{CO}_2$  в верхней части цилиндра

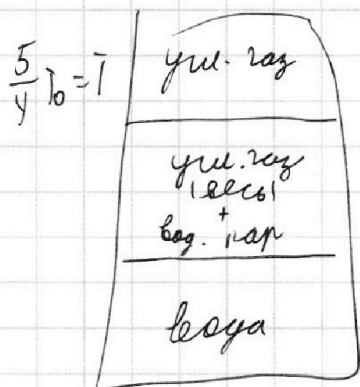
$p_0 \frac{V}{4} = \nu_2 R T_0$  (мы пренебрегаем  
давлением водяных  
паров при комнатной  
температуре)

$$\frac{\nu_1}{\nu_2} = \frac{p_0 \frac{V}{2}}{p_0 \frac{V}{4}} = \underline{\underline{2}}$$

1  2  3  4  5  6  7



2) Зарисуем как будет выглядеть система после нагревания:



$\frac{V}{5}$  ① Найдем объем замкнутой ухмылькой газом в нижней части после нагревания в установившемся режиме:  
 $V'$  ②  
 $\frac{V}{4}$  ③

$$V' = V - \frac{V}{4} - \frac{V}{5} = \frac{20V - 5V - 4V}{20} = \frac{11}{20} V$$

(мы пренебрегаем изм. объема воды в ходе нагревания)

$V' = V_2 + \Delta V = V_2 + k p_0 \frac{V}{4}$  — кол-во ухмылькой газа в нижней части после нагревания (весь растворившийся газ поглотил воду). Найдем давление водяных паров  $p_{\text{вод. пар}}$ . Так как система находится в установившемся режиме и снизу оттаивает вода пар является насыщенным, при такой температуре  $T = \frac{5}{4} T_0 = 373 \text{ K}$  его давление равно атмосферному  $p_{\text{и.п}} = p_{\text{атм}}$



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!

Давление  $\text{CO}_2$  в верхней части -  $p_1$ .

$$p_1 = p_{\text{к.п}} + p_2 = p_{\text{атм}} + p_2 - \text{давление}$$

в верхней части равно сумме кармановых давлений  $\text{CO}_2$  и водяного пара над ним.

$$p_1 \frac{V}{5} = \nu_1 R T - \text{уравнение Менделеева-Клапейрона для } \text{CO}_2 \text{ в верхней части}$$

$$p_2 \frac{11}{20} V = p_2 \frac{11}{20} V = (\nu_2 + \Delta \nu) R T$$

$$\frac{\nu_1 R T}{\nu_2 R T} = \frac{p_1 \frac{V}{5}}{\frac{11}{20} p_2 V - \Delta \nu R T} = 2; \quad \Delta \nu = k p_0 \frac{V}{4}$$

$$\frac{p_1 \frac{V}{5}}{5} = \frac{11}{20} p_2 V - 2 \Delta \nu R T = \frac{11}{20} (p_1 - p_{\text{атм}}) V - 2 \Delta \nu R T$$

$$\frac{11}{20} p_{\text{атм}} V + 2 k p_0 \frac{V}{4} R T = \frac{11}{20} p_1 V - \frac{p_1 V}{5} = \left( \frac{11}{20} - \frac{2}{20} \right) p_1 V$$

$$\frac{11}{20} p_{\text{атм}} + \frac{p_0 k R T}{2} = \frac{9}{20} p_1$$

$$\frac{p_1 \frac{V}{5}}{p_0 \frac{V}{2}} = \frac{\nu_1 R T}{\nu_2 R T}; \quad p_1 \frac{V}{5} = p_0 \frac{V}{2} \frac{5}{4}$$
$$p_1 = \frac{25}{8} p_0$$

$$\frac{11}{20} p_{\text{атм}} + p_0 \frac{k R T}{2} = 9 p_1 = \frac{9 \cdot 25}{8} p_0$$



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 checked="" 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!

$$\frac{17}{70} p_{атм} + \frac{p_0 k R T}{2} = \frac{9}{70} p_1 = \frac{9 \cdot 25}{70 \cdot 8} p_0 = \frac{45}{70} p_0$$

$$88 p_{атм} + 40 p_0 k R T = 225 p_0$$

$$p_0 = \frac{88}{225 - 40 k R T} p_{атм}$$

$$k R T = 3 \cdot 70^3 \cdot \frac{1}{3} \cdot 70^{-3} \frac{\text{Дж} \cdot \text{моль}}{\text{моль} \cdot \text{м}^3 \cdot \text{К}} = 1$$

$$p_0 = \frac{88}{225 - 40} p_{атм} = \frac{88}{185} p_{атм}$$

Ответ: 1)  $\frac{V_1}{V_2} = 2$

2)  $p_0 = \frac{88}{185} p_{атм}$



На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

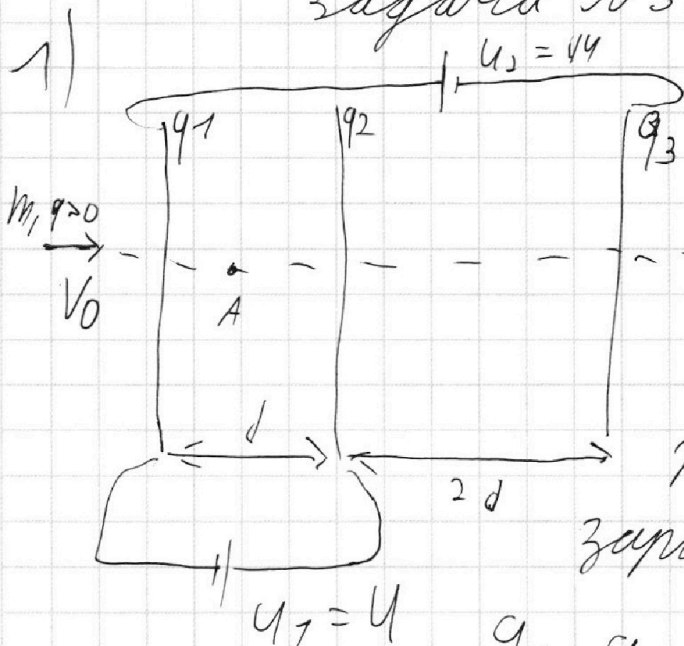
1  2  3  4  5  6  7

МФТИ

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



### Задача №3.



$m, q > 0$  - масса  
и заряд частицы

$$U_1 = U$$

$$U_2 = 4U$$

Найдем распределение  
зарядов на сетках

$q_1, q_2, q_3$  - заряды на  
сетках 1, 2 и 3 соответственно.

$\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$  - потенциалы на проводящих  
сетках. Пусть  $S$  - площадь сетки,  
тогда поле от проводящей плоской сетки,  
для которой верно  $\sqrt{S} \gg d$  (дано в условии)

равняется  $E = \frac{q}{S \cdot 2 \cdot \epsilon_0}$ , где  $q$  - заряд на сетке

$$\varphi_1 - \varphi_3 = U_2 = 4U;$$

$$\varphi_2 - \varphi_1 = U;$$

$$q_1 + q_2 + q_3 = 0 - закон сохранения заряда$$

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!



$$\varphi_2 - \varphi_1 = \frac{q_2}{5 \cdot 2 \epsilon_0} d + \frac{q_3 d}{5 \cdot 2 \epsilon_0} - \frac{q_1 d}{2 \cdot 5 \epsilon_0} = U$$

$$\varphi_3 - \varphi_1 = -U = \frac{(q_2 + q_3 - q_1) d}{2 \cdot 5 \epsilon_0} + \frac{(q_3 - q_2 - q_1) \cdot 2 d}{2 \cdot 5 \epsilon_0}$$

$$\frac{2 \cdot 5 \epsilon_0 U}{d} = q_2 + q_3 - q_1$$

$$-4 U \cdot \frac{2 \cdot 5 \epsilon_0}{d} = q_2 + q_3 - q_1 + 2 q_3 - 2 q_2 - 2 q_1 = 3 q_3 - q_2 - 3 q_1$$

$$\left. \begin{array}{l} -4 q_2 - 11 q_3 + 11 q_1 = 3 q_3 - q_2 - 3 q_1 \\ q_1 + q_2 + q_3 = 0 \end{array} \right\}$$

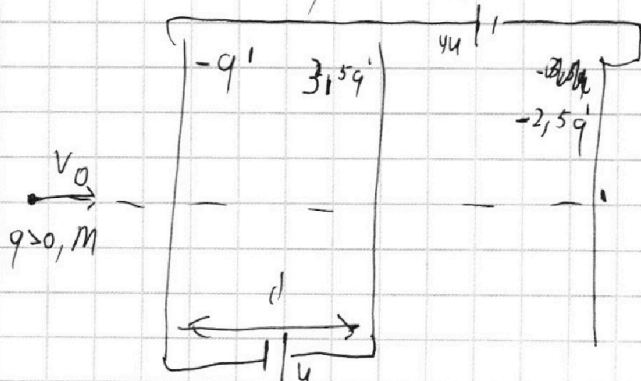
$$q_1 + q_2 + q_3 = 0$$

$$\left. \begin{array}{l} 7 q_1 = 3 q_2 + 7 q_3 \\ q_1 + q_2 + q_3 = 0 \end{array} \right\} \Rightarrow \left. \begin{array}{l} 7(q_1 - q_3) = 3 q_2 \\ q_1 + q_3 + \frac{7}{3} q_1 - \frac{7}{3} q_3 = 0 \end{array} \right\} \Rightarrow \left. \begin{array}{l} \frac{7}{3} (q_1 - q_3) = q_2 \\ \frac{10}{3} q_1 = \frac{4}{3} q_3 \end{array} \right\}$$

$$q_3 = \frac{10}{4} q_1 = 2,5 q_1$$

$$q_2 = \frac{7}{3} (q_1 - 2,5 q_1) = -\frac{7}{3} \cdot 1,5 q_1 = -\frac{7}{2} q_1 = -3,5 q_1$$

Пусть  $q_1 = -q'$ , тогда  $q_2 = 3,5 q'$ ,  $q_3 = -2,5 q'$



$$U = \varphi_2 - \varphi_1 = \frac{q_2 + q_3 - q_1}{2 \cdot 5 \epsilon_0} d$$

$$q_2 + q_3 - q_1 = \frac{2 \cdot 5 \epsilon_0 U}{d}$$

$$2 q' = \frac{2 \cdot 5 \epsilon_0 U}{d}$$

$$q' = \frac{\epsilon_0 5 U}{d} > 0$$

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!

Найдем модуль ускорения на участке  
1-2.

$$m a_{12} = \vec{F}_{k1} + \vec{F}_{k2} + \vec{F}_{k3}$$

$$m \bar{a}_{12} = \bar{F}_{k1} + \bar{F}_{k2} + \bar{F}_{k3}$$

$$m a_{12} = (E_1 + E_2 + E_3) q =$$

$$= \left( \frac{q_1}{25\epsilon_0} - \frac{q_2}{25\epsilon_0} - \frac{q_3}{25\epsilon_0} \right) q = \frac{q}{25\epsilon_0} (-q' - 3,5q' + 2,5q')$$

$$= -\frac{2q q'}{25\epsilon_0} = -\frac{q}{5\epsilon_0} \cdot \frac{\epsilon_0 S U}{d} = -\frac{qU}{d}$$

$$|a_{12}| = \frac{qU}{md} - \text{ускорение } a_{12} \text{ направлено}$$

против нач. скорости  $v_0$

2) Потенциал эд. поля на бесконечности  
равен 0.  $\varphi_1 = 0$ , т.к. снаружи (металл)  
поле нет (суммарный заряд равен нулю)

$$\varphi_2 = U + \varphi_1 = U - \text{потенциал на второй сетке}$$

ЗСЭ для частицы:

$$K_1 + q\varphi_1 = K_2 + q\varphi_2 = K_0 = \frac{m v_0^2}{2}$$

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



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!



$$3) \quad K_1 + q\varphi_1 = K_1 = K_0 = \frac{mv_0^2}{2}$$

найдем потенциал точки A  $\varphi_A$ :

$$\begin{aligned} \varphi_A - \varphi_1 &= \varphi_A - 0 = \varphi_A = \left( \frac{q_2 + q_3 - q_1}{2S\epsilon_0} \right) \frac{d}{3} = \\ &= \frac{3,5q' - 2,5q' + q'}{2S\epsilon_0} \frac{d}{3} = \frac{2q'd}{2S\epsilon_0 \cdot 3} = \frac{Ud}{d \cdot 3} = \frac{U}{3} \end{aligned}$$

Затем из (3) для энергии

$$K_1 + q\varphi_1 = K_0 = K_A + q\varphi_A$$

$$K_A = K_0 - q\varphi_A, \quad \frac{mv_A^2}{2} = \frac{mv_0^2}{2} - q \frac{U}{3}$$

$$V_A = \sqrt{v_0^2 - \frac{2qU}{3m}}$$

Ответ: 1)  $|a_{12}| = \frac{qU}{md}$

2)  $K_1 - K_2 = U$

3)  $V_A = \sqrt{v_0^2 - \frac{2qU}{3m}}$



На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

1  2  3  4  5  6  7

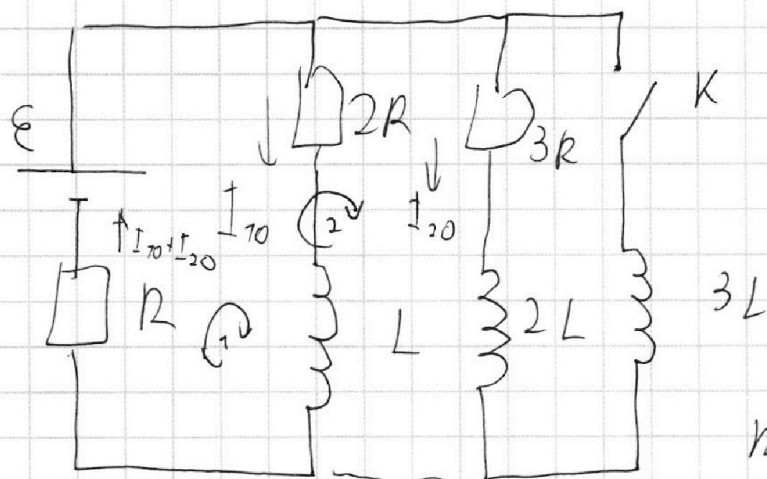
МФТИ

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



### Задача №4.

1)  $\mathcal{E} = \mathcal{E}$  — ЭДС батарейки



K — обозначение  
ключа на схеме

1)  $I_{10}$  — ток  
через резистор  
 $2R$  при разомкну-  
том ключе при уста-  
новившемся режиме

$I_{20}$  — ток ~~в~~ через  $3R$  при разомкнутом ключе  
в установившемся, т.е. токи не  
меняются  $\Rightarrow$  на катушки не падает  
напряжение.

Заменим правила Кирхгофа для контуров 1 и 2:

$$\begin{cases} \mathcal{E} = 2R \cdot I_{10} + (I_{10} - I_{20})R & \mathcal{E} = 3I_{10}R + I_{20}R \\ \mathcal{E} = 3R I_{20} + (I_{10} + I_{20})R \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} 2I_{10} = 3I_{20} \end{cases}$$

$$\begin{cases} I_{20} = \frac{2}{3} I_{10} \\ \mathcal{E} = 3I_{10}R + \frac{2}{3} I_{10}R \end{cases}$$

$$I_{10} R \cdot \frac{11}{3} = \mathcal{E}$$

$$\underline{\underline{I_{10} = \frac{3}{11} \frac{\mathcal{E}}{R}}}$$

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"/>

МФТИ

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

2) сразу после замыкания  
~~тока~~<sup>у.к. катушки</sup> ток ~~идет~~<sup>идет</sup> через катушки и помещается  
многом, т.е. ток, идущий  
через катушки так же и помещается

Пусть  $\dot{I}_{30}$  - скорость изменения

тока в катушке  $3L$  сразу после замыкания

Ток через  $L$  равен  $I_{10}$ , через  $2L$  равен

$I_{20} = \frac{2}{3} I_{10}$ , а через  $3L$  ток равен 0.

Запишем правило Кирхгофа для большого контура:

$$\mathcal{E} = 3L \cdot \dot{I}_{30} + (I_{10} + I_{20}) R$$

$$3L \dot{I}_{30} = \mathcal{E} - \left(1 + \frac{2}{3}\right) \frac{3\mathcal{E}}{11R} R = \mathcal{E} - \frac{5 \cdot 3}{3 \cdot 11} \mathcal{E} =$$

$$= \frac{6}{11} \mathcal{E},$$

$$\dot{I}_{30} = \frac{6}{11 \cdot 3} \frac{\mathcal{E}}{L} = \frac{2}{11} \frac{\mathcal{E}}{L}$$

3) теперь найдём ток в цепи в  
установившемся режиме при замкнутом  
к ключе.

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"/>

**МФТИ**

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

$$\tilde{L} = \frac{3L}{R}; \quad \Delta I_3 = I_{3K} - 0 = \frac{\varepsilon}{R}$$

$$\Delta I_7 = I_{1K} - I_{70} = -\frac{3}{11} \frac{\varepsilon}{R}; \quad \Delta I_2 = I_{2K} - I_{20} = -\frac{2}{11} \frac{\varepsilon}{R}$$

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{3L}{R} \varepsilon &= (\Delta q_1 + \Delta q_2 + \Delta q_3) R + 3 \frac{\varepsilon}{R} L \\ \frac{3L}{R} \varepsilon &= (3\Delta q_1 + \Delta q_2 + \Delta q_3) R - \frac{3}{11} \frac{\varepsilon L}{R} \\ \frac{3L}{R} \varepsilon &= (\Delta q_1 + 4\Delta q_2 + \Delta q_3) R - \frac{4}{11} \frac{\varepsilon L}{R} \end{aligned} \right.$$

$$\left\{ \begin{aligned} \Delta q_1 + \Delta q_2 + \Delta q_3 &= 0 \\ 3\Delta q_1 + \Delta q_2 + \Delta q_3 &= \frac{\varepsilon L}{R^2} \left(3 + \frac{3}{11}\right) \\ \Delta q_1 + 4\Delta q_2 + \Delta q_3 &= \frac{\varepsilon L}{R^2} \left(3 + \frac{4}{11}\right) \end{aligned} \right. \Rightarrow \left\{ \begin{aligned} \Delta q_1 + \Delta q_2 + \Delta q_3 &= 0 \\ 2\Delta q_1 &= \frac{\varepsilon L}{R^2} \frac{36}{11} \\ 3\Delta q_2 &= \frac{37}{11} \frac{\varepsilon L}{R^2} \end{aligned} \right.$$

$$\Delta q_1 = \frac{18}{11} \frac{\varepsilon L}{R^2}$$

ответ: 1)  $I_{70} = \frac{3}{11} \frac{\varepsilon}{R}$

2)  $I_{30} = \frac{2}{11} \frac{\varepsilon}{R}$

3)  $\Delta q_1 = \frac{18}{11} \frac{\varepsilon L}{R^2}$



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

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

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

**МФТИ**

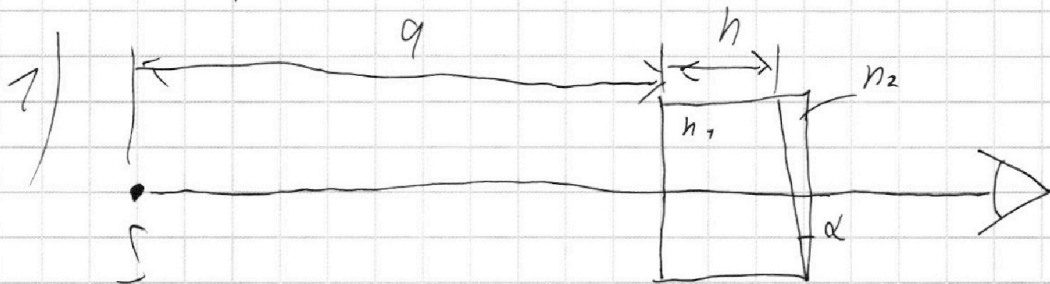
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,  
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



### Задача N5

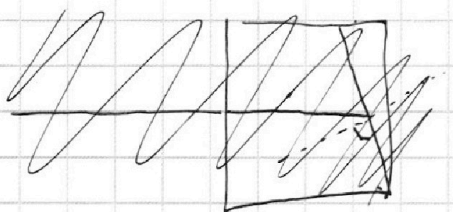
$$n_1 = 1,0; \quad a = 194 \text{ см}; \quad h = 9 \text{ см}$$

$$d = 0,1$$



~~Искать наибольшую преломляющую в первом  
призме  $n_2 =$~~

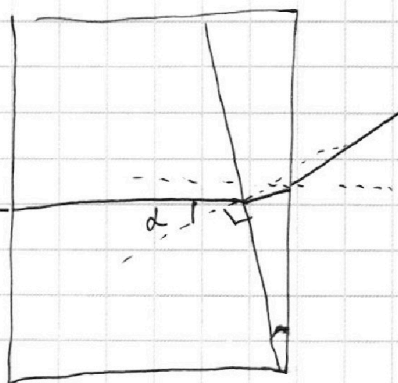
$$n_1 = n_1 = 1,0; \quad n_2 = 1,7$$



луч без преломле- S

ния проходит

через первую призму. Угол между  
нормалью левой грани второй призмы  
и лучом равен  $d$ .





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

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

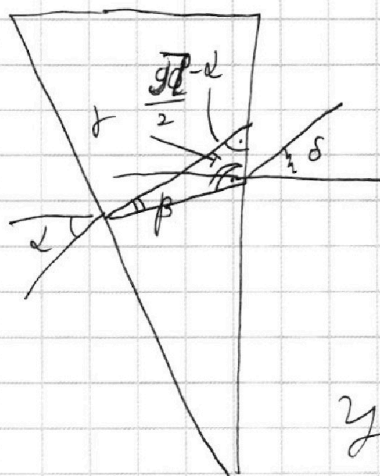
1	2	3	4	5	6	7
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**МФТИ**

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

Поскольку углы малы закон  
преломления заменим тем:

$$n_1 d = n_2 d = d = n_2 \beta \Rightarrow \beta < d$$
$$(\sin d \approx d, \sin \beta \approx \beta); \beta = \frac{d}{n_2}$$

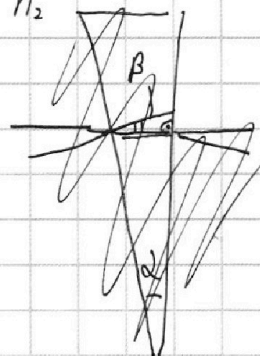


$$\text{Угол } \delta =$$
$$= 180^\circ - \beta - \alpha$$

$$\text{Угол } \delta =$$

$$= \pi - \frac{\pi}{2} + d - \beta =$$

$$= \frac{\pi}{2} + d - \beta$$



$$\text{Угол } \delta - \frac{\pi}{2} = d - \beta - \text{преклоненный}$$

луч именно такой угол имеет между  
нормалью ко второй грани

$\delta$  - угол двукратного преломленного луча к нормали  
второй грани (т.е. угол отклонения в итоге)

$$\delta \cdot n_2 = n_1 (d - \beta) - \text{углы малы}$$

$$\delta = \frac{n_2 (d - \beta)}{n_1} = n_2 \left( d - \frac{d}{n_2} \right) = d (n_2 - 1) =$$

$$= \underline{\underline{0,07 \text{ рад}}}$$

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

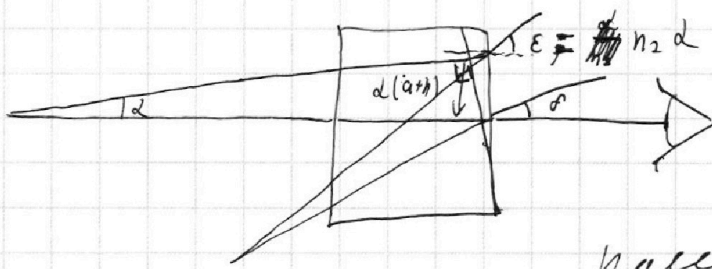
1  2  3  4  5  6  7

МФТИ

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

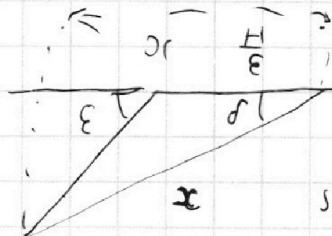
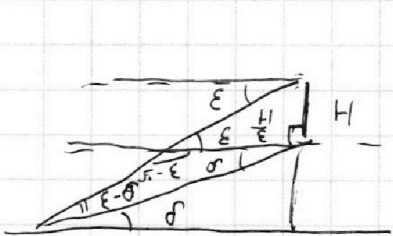


2) Пусть есть два луча из источника  
(один по углу  $\alpha$  к прямой  
"источник-глаз", второй ровно по ней)



луч, прошедший  
по углу  $\alpha$   
выйдет из  
призмы на  
расстоянии  $H = d(a+h)$  от

прямой по углу  $\epsilon = n_2 \alpha$ , второй  
луч выйдет  
по углу  $\delta$   
Найдем положение изображения.



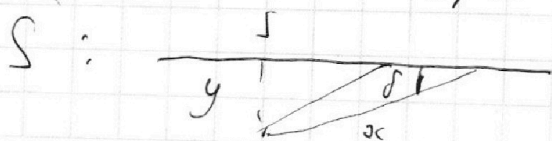
$$\alpha \cos \delta \approx \alpha$$

$$\frac{\alpha}{\sin(\alpha - \delta)} = \frac{H/\epsilon}{\sin(\epsilon - \delta)} = \frac{x}{\epsilon}$$

~~$$\alpha = \frac{H(\alpha - \delta)}{\epsilon(\epsilon - \delta)} = \frac{d(a+h) n_2 (\alpha - n_2 \alpha)}{n_2 d (n_2 \alpha - (n_2 - 1)\alpha)} = \frac{(a+h)(\alpha - n_2 \alpha)}{n_2 d}$$~~

$$\alpha = \frac{H \epsilon}{\epsilon(\epsilon - \delta)} = \frac{d(a+h)}{(n_2 d - n_2 d + d)} = a+h$$

Изображение будет примерно по источнику



$$\frac{y}{x} = \tan \delta = \delta = d(n_2 - 1)$$



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!

$$y = \alpha d (n_2 - 1) = (a + b) d (n_2 - 1) =$$
$$= (203 \cdot 0,1 \cdot 0,7) / \text{см} = \underline{14,21 \text{ см}}$$

3/1

Ответ: 1)  $\delta = d(n_2 - 1) = 0,07 \text{ рад}$   
2)  $y = 14,21 \text{ см}$

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

1  2  3  4  5  6  7

МФТИ

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



$$\frac{11}{10} \text{ Па} + p_0 \frac{KRT}{2} = \frac{225}{8} p_0$$

Чертовик

$$KRT = 3 \cdot 10^3 \cdot \frac{1}{3} \cdot 10^{-3} \frac{\text{моль} \cdot \text{Дж}}{170 \cdot \text{м}^3 \cdot \text{моль}} = 7$$

$$\frac{11}{10} \text{ Па}$$

$$\frac{11}{5} \text{ Па} + p_0 KRT = \frac{225}{4} p_0$$

$$p_0 \text{ Па} = \frac{11}{5} \text{ Па} / \left( \frac{225}{4} - KRT \right) =$$

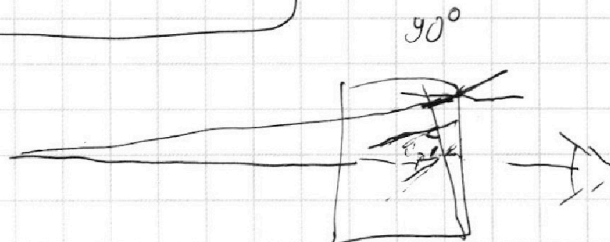
$$= \frac{11}{5 \cdot \left( \frac{225}{4} - 7 \right)} \text{ Па}$$

$$KRT = 3 \cdot 10^3 \cdot \frac{1}{3} \cdot 10^{-3} \frac{\text{моль} \cdot \text{Дж}}{\text{моль} \cdot 170 \cdot \text{м}^3} = 7$$

$$p_0 = \frac{11}{5 \left( \frac{225}{4} - 7 \right)} \text{ Па} = \frac{44}{5 \cdot 227} = \frac{44}{1105} \text{ Па}$$

Ответ: 1)  $\frac{V_1}{V_2} = 2$  ;

2)  $p_0 = \frac{44}{1105} \text{ Па}$





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

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

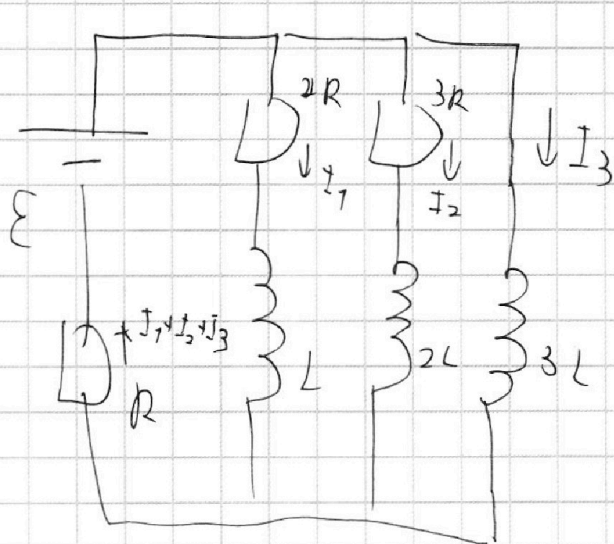
- 1  2  3  4  5  6  7



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



$I_{7.k}, I_{2.k}, I_{3.k}$  - токи через  $L, 2L$  и  $3L$  соответственно



$$E = (I_{7.k} + I_{2.k} + I_{3.k}) R$$

$$E = (I_{7.k} + I_{2.k} + I_{3.k}) R + 2R I_{7.k}$$

$$E = (I_{7.k} + I_{2.k} + I_{3.k}) R + 3R I_{2.k}$$

$$2R I_{7.k} = 0$$

$$3R I_{2.k} = 0$$

$$I_1 + I_2 + I_3 = \frac{E}{R}$$

$$\begin{cases} I_{7.k} = 0 \\ I_{2.k} = 0 \\ I_{3.k} = \frac{E}{R} \end{cases}$$

~~$\Delta q_1 = \Delta q_2 = \Delta q_3$~~

Теперь запишем те же уравнения, но только в какой-то случайный момент в процессе установившегося тока.

~~$$E = (I_1 + I_2 + I_3) R + I_3 3L$$~~

~~$$E = (I_1 + I_2 + I_3) R + 2R I_1 + I_1 L$$~~

~~$$E = (I_1 + I_2 + I_3) R + 3R I_2 + I_2 2L$$~~

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"/>

МФТИ

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



Затмшем те же уравнения,  $\frac{L \ddot{I}_1}{R} = \frac{q_1}{C}$   
только в какой-то случайный момент  
установимся равновесия (токи в цепи  
 $I_1, I_2$  и  $I_3$  через  $L, 2L$  и  $3L$  соответственно)

$$\mathcal{E} = (I_1 + I_2 + I_3)R + \dot{I}_3 3L = \left( \frac{dq_1}{dt} + \frac{dq_2}{dt} + \frac{dq_3}{dt} \right) R + \frac{dI_3}{dt} 3L$$

$$\mathcal{E} = (I_1 + I_2 + I_3)R + I_1 2R + \dot{I}_1 L$$

$$\mathcal{E} = (I_1 + I_2 + I_3)R + I_2 \cdot 3R + \dot{I}_2 \cdot 2L$$

$$\int_0^{\tilde{t}} \mathcal{E} dt = \left( \int_0^{\tilde{t}} dq_1 + \int_0^{\tilde{t}} dq_2 + \int_0^{\tilde{t}} dq_3 \right) R + \int_0^{\tilde{t}} dI_3 \cdot 3L$$

$$\int_0^{\tilde{t}} \mathcal{E} dt = \left( \int_0^{\tilde{t}} dq_1 + \int_0^{\tilde{t}} dq_2 + \int_0^{\tilde{t}} dq_3 \right) R + 2R \int_0^{\tilde{t}} dq_1 + \int_0^{\tilde{t}} dI_1 L$$

$$\int_0^{\tilde{t}} \mathcal{E} dt = \left( \int_0^{\tilde{t}} dq_1 + \int_0^{\tilde{t}} dq_2 + \int_0^{\tilde{t}} dq_3 \right) R + 3R \int_0^{\tilde{t}} dq_2 + \int_0^{\tilde{t}} dI_2 \cdot 2L$$

$$\mathcal{E} \tilde{t} = (\Delta q_1 + \Delta q_2 + \Delta q_3) R + \Delta I_3 3L$$

$$\mathcal{E} \tilde{t} = (\Delta q_1 + \Delta q_2 + \Delta q_3) R + \Delta I_1 L + 2 \Delta q_1 R$$

$$\mathcal{E} \tilde{t} = (\Delta q_1 + \Delta q_2 + \Delta q_3) R + \Delta I_2 2L + \Delta q_2 3R$$

$\tilde{t}$  - характерное время установления равновесия

$\Delta q_1, \Delta q_2, \Delta q_3$  - заряды прошедшие через  $2R, 3R$  и

$3L$  соответственно,  $\Delta I_1, \Delta I_2, \Delta I_3$  - изм. тока за время  $\tilde{t}$