

Олимпиада «Физтех» по физике,
февраль 2023

Вариант 11-01

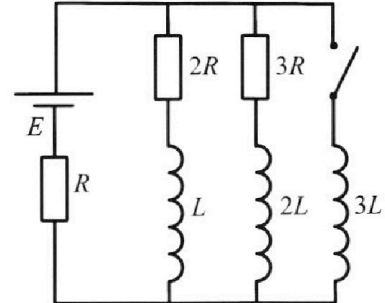
Во всех задачах, в ответах допустимы обыкновенные дроби
и радикалы.



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.

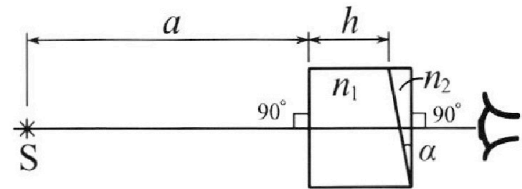


рис.). Угол $\alpha = 0,1$ рад можно считать малым, толщина $h = 9$ см. Толщина призмы с показателем преломления n_2 на прямой «источник – глаз» намного меньше h . Отражения в системе не учитывать.

- 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.



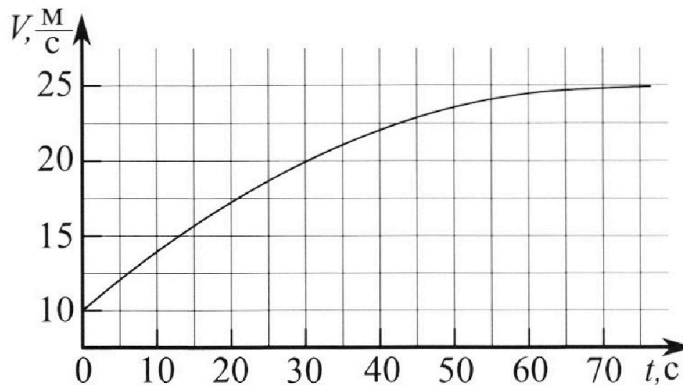
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

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 ?

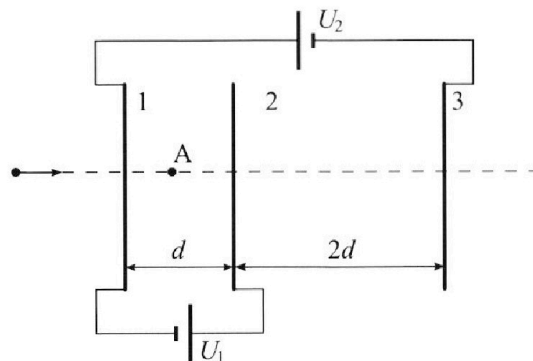
Требуемая точность численного ответа на первый вопрос ориентировочно 10%.

2. Герметичный вертикальный цилиндрический сосуд объёмом 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 А 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!

$$\textcircled{3} \quad P_1 = \frac{dA}{dt} = \overset{\text{из } dS}{F_1} \cdot \frac{dS}{dt} = F_1 \cdot v_1 = 850 \cdot 20 =$$
$$= 17000 \text{ Вт}$$

Ответ:

1. $0,25 \text{ м/с}^2$
2. 850 Н
3. 17000 Вт

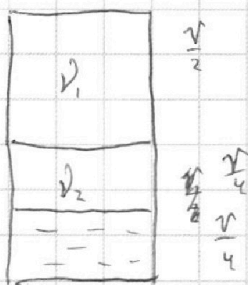
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

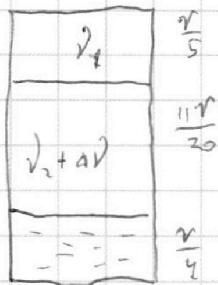
1 2 3 4 5 6 7

МФТИ

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



до нагревания



после нагревания

Пусть n_1 и n_2 - кол-во в-ва CO_2 в верхней и нижней частях

столба, p_1 - давление в верхней части после нагревания, p_2 - давление

CO_2 в нижней части после нагревания, Δn - кол-во ~~раств~~ раство-

ренного в воде CO_2 до нагревания, тогда:

$$\textcircled{1} p_0 \cdot \frac{v}{2} = n_1 R T_0 \Rightarrow n_1 = \frac{p_0 v}{2 R T_0}$$

$$p_0 \cdot \frac{v}{4} = n_2 R T_0$$

$$\frac{n_1}{n_2} = 2 \Rightarrow n_2 = \frac{1}{2} n_1$$

$$\textcircled{2} p_1 \cdot \frac{v}{5} = n_1 R T$$

$$p_2 \cdot \frac{11v}{20} = (n_2 + \Delta n) \cdot R T$$

$$p_1 = p_{\text{атм}} + p_2 \quad (p_{\text{атм}} - \text{давление паров воды при } T = 373 \text{ K})$$

$$\Delta n = k p_0 \cdot \frac{v}{4}$$

$$n_2 = \frac{1}{2} n_1$$

$$n_1 = \frac{p_0 v}{2 R T_0}$$

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!



$$v_2 = \frac{p_0 V}{4 R T_0}$$

$$p_1 = \frac{5 p_0 T}{2 T_0} = \frac{25}{8} p_0$$

$$p_2 \cdot \frac{11}{20} = \frac{p_0 T}{4 T_0} + \frac{p_0 K R T}{4}$$

$$p_2 = \frac{25}{44} p_0 + \frac{5}{11} p_0$$

$$p_2 = \frac{45}{44} p_0$$

$$p_1 = p_2 + p_{atm}$$

$$\frac{25}{8} p_0 = \frac{45}{44} p_0 + p_{atm}$$

$$p_1 = p_2 + p_{atm}$$

$$\frac{25}{8} p_0 = \frac{45}{44} p_0 + p_{atm}$$

$$\frac{275 - 90}{88} p_0 = p_{atm}$$

$$p_0 = \frac{88}{185} p_{atm}$$

Ответ: 1. $2 \cdot \frac{v_1}{v_2} = 2$

2. $\frac{88}{185} p_{atm}$

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

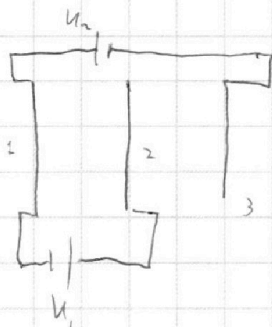
Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

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



φ_i - потенциал i -й пластины

$$\left. \begin{aligned} \varphi_2 - \varphi_1 &= U_1 \\ \varphi_3 - \varphi_1 &= U_2 \end{aligned} \right\} \Rightarrow \varphi_3 - \varphi_2 = U_2 - U_1 = 3U$$

Пусть напряжённость поля, создаваемая i -й пластиной - E_i ,

заряды - q_i , площадь пластины - S , тогда сила поле между

пластинами однородна:

$$\begin{cases} (E_1 + E_2 - E_3) d = U \\ (E_2 + E_3 - E_1) 2d = 3U \end{cases}$$

$$\left\{ \begin{aligned} q_2 &= q_3 + q_1 \\ E_i &= \frac{q_i}{2\epsilon_0} \end{aligned} \right. \quad \begin{array}{l} \text{по закону сопр. зарядов т.к. пластины} \\ \text{не заряжены} \end{array}$$

$$\begin{cases} E_2 = E_3 + E_1 \\ E_1 = \frac{U}{2d} \\ E_3 = \frac{3U}{4d} \\ E_2 = \frac{5U}{4d} \end{cases}$$

тогда напряжённость поля между пластинами 1 и 2 $E = E_1 + E_2 - E_3 = \frac{U}{d}$

$$ma = \frac{qU}{d}$$

$$a = \frac{qU}{md}$$

а

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 $K_1 - K_2 = \cancel{m v_1^2 - m v_2^2} \quad q U (U_2 - U_1) = q U_1$
 $K_1 - K_2 = \cancel{m v_1^2} \quad q U$

③ Скорость частицы на бесконечном расстоянии ее скорости

посередине между пластинами ($1,5d$ от 1-й):

энергия

$$\frac{m v_1^2}{2} - \frac{m v_2^2}{2} = U q \quad (v_1 - \text{скорость при входе в м. 1, } v_2 - \text{при выходе из м. 2)}$$

~~$$\frac{m v_2^2}{2} = \frac{m v_1^2}{2} - U q$$~~

$$v_1 = \sqrt{\frac{2 U q}{m} + v_2^2}$$

~~$$m v_1^2 = m v_2^2 + 2 U q$$~~

$$\frac{m v_0^2}{2} = \frac{m v_2^2}{2} + \frac{3 U}{2 d} \cdot d \cdot q$$

$$v_2^2 = v_0^2 - \frac{3 U q}{m}$$

~~$$m v_1^2 = m v_0^2 - \frac{3 U q}{m}$$~~

~~$$v_1 = \sqrt{v_0^2 - \frac{U q}{m}}$$~~

$$\frac{m v^2}{2} = \frac{m v_1^2}{2} - \frac{U}{d} \cdot \frac{d}{3} \cdot q \quad (v - \text{скорость в г. А)}$$

~~$$v^2 = v_0^2 + \frac{U q}{m} - \frac{2 U q}{3 m}$$~~

$$v = \sqrt{v_0^2 - \frac{5 U q}{3 m}}$$

Ответ: ① $d = \frac{q U}{m v}$

② $K_1 - K_2 = U q$

③ ~~$$v_1 = \sqrt{v_0^2 - \frac{U q}{m}}$$~~

$$v = \sqrt{v_0^2 - \frac{5 U q}{3 m}}$$

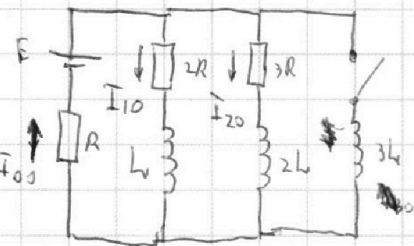
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

1 2 3 4 5 6 7



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

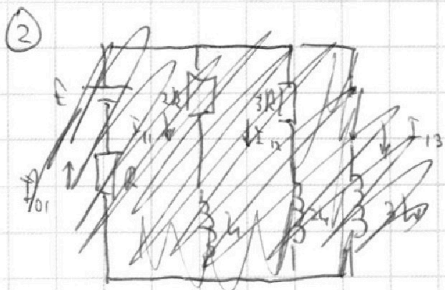


$$\textcircled{1} \begin{cases} I_{00} = I_{10} + I_{20} \\ I_{00}R + 2I_{10}R + 0 = E \\ I_{00}R + 3I_{20}R + 0 = E \end{cases}$$

Р.к. В уст. режиме ток максимален \Rightarrow

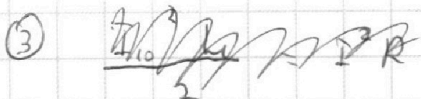
$$\Rightarrow \frac{dI}{dt} = 0 \Rightarrow \text{Ускорение} = 0$$

$$\begin{cases} I_{20} = \frac{2}{3} I_{10} \\ I_{00} = \frac{5}{3} I_{10} \\ R \cdot \left(2I_{10} + \frac{5}{3} I_{10} \right) = E \\ I_{10} = \frac{3E}{11R} ; I_{00} = \frac{5E}{11R} \end{cases}$$



$$I_{00}R + 3L \frac{dI}{dt} = E$$

$$\frac{dI}{dt} = \frac{E - I_{00}R}{3L} = \frac{6E}{33L}$$



- Дієві:
1. $\frac{5E}{11R}$
 2. $\frac{6E}{33L}$
 - 3.

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

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

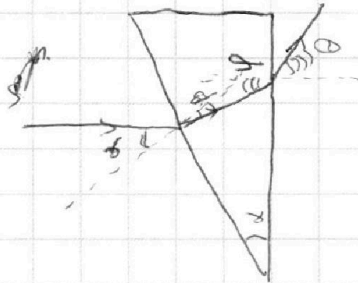
1	2	3	4	5	6	7
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

МФТИ

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



$$\textcircled{1} \quad n_1 \sin \alpha = n_2 \sin \beta \Rightarrow \sin \beta = \frac{n_1}{n_2} \sin \alpha \Rightarrow \beta = \frac{n_1}{n_2} \alpha$$



$$\varphi = \beta + \alpha$$

β

$$n_2 \varphi = n_1 \alpha$$

$$\alpha = \frac{n_2}{n_1} \varphi = \frac{n_2}{n_1} (\beta + \alpha) =$$

$$\cancel{\frac{n_2}{n_1} \alpha} + \frac{n_2}{n_1} \beta = \cancel{2 \beta} \alpha$$

На границе $n_2 = n_1$
нет преломления

$$= \alpha + \frac{n_2}{n_1} \alpha = 0,27 \text{ рад.}$$

Ответ: $\textcircled{1} 0,27 \text{ рад.}$

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!

№ 4

$$L \frac{dI_2}{dt} = E - I_1 R - 2I_2 R$$

справа поле уменьшается:

$$L I_1' + I_1 R = E$$

$$3L I_3' = E - I_1 R$$

$$L \frac{dI_3}{dt} = E - I_1 R - 3I_3 R \quad (E_1 + E_2 - E_3)d = 4U$$

$$I_2 + I_3 = I_1 \quad (E_3 + E_2 - E_1)2d = 3U$$

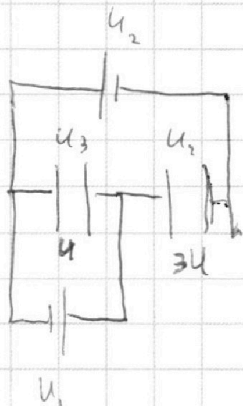
$$I_1 R + 2I_2 R + \dots = E$$

$$I_1 R + 3I_3 R + \dots = E$$

напряжения $I_2 = I_1$ $E_2 = E_3 + E_1$ $E_3 d = 3U$

Если процесс установился, то все поля максимальны и др. $L I_1' = 0$ $E_3 = \frac{3U}{4d}$

При уст. режиме на катушках нет энергии т.к. нет тока, (кроме катушки 3)



$$\varphi_3 - \varphi_1 = U_2$$

$$\varphi_3 - \varphi_2 = U_2 - U_1 \quad E_2 = \frac{5U}{4d}$$

$$\varphi_2 - \varphi_1 = U_1$$

$$U_{23} = C_{23} \cdot q_{23}$$

$$\varphi_3 = \dots$$

$$U_{12} = C_{12} \cdot q_{12}$$

$$C = \frac{\epsilon_0 S}{d}$$

$$\frac{\epsilon_0 S}{d} \cdot q = U_{12}$$

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

$$\frac{q_3}{2S\epsilon_0}$$

$$\frac{\epsilon_0 S}{2d} \cdot q = \dots$$

$$U_3 + U_4 = U_2$$

$$U + U_4 = 4U_2$$

$$\left(\frac{\epsilon_0 S}{d} - q_1 + q_2 - q_3 \right) = 0$$

$$U_3 = U_1 = U$$

$$U_4 = 3U$$

$$q_3 + q_1 = q_2$$

$$\left(\frac{q_1}{2S\epsilon_0} + \frac{q_2}{2S\epsilon_0} - \frac{q_3}{2S\epsilon_0} \right) \cdot d = U$$

$$\left(\frac{q_3}{2S\epsilon_0} + \frac{q_2}{2S\epsilon_0} - \frac{q_1}{2S\epsilon_0} \right) \cdot 2d = 3U$$

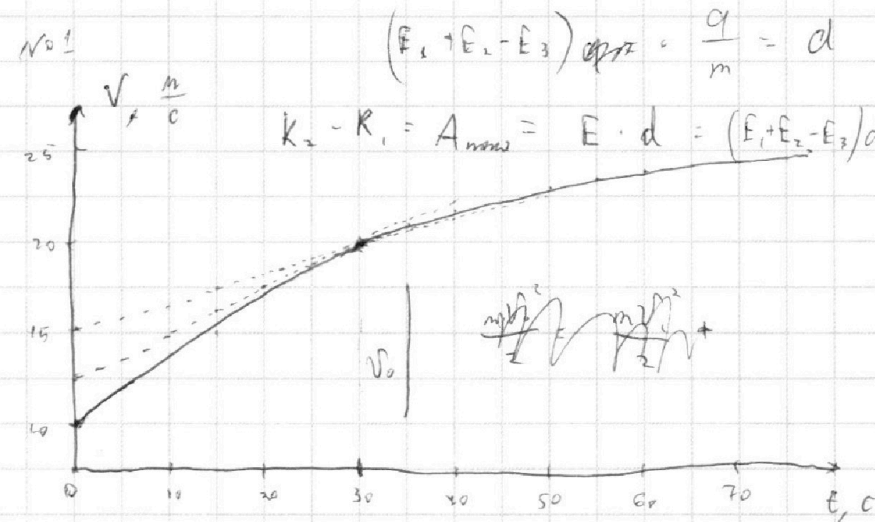
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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!



$$p_2 = \frac{2}{g} p_{atm}$$

$$\frac{11}{2} p_2 = p_2 + p_{atm}$$

$$\frac{9}{2} p_2 = p_{atm}$$

$$22 p_2 = 4 p_1$$

$$p_1 = \frac{11}{2} p_2$$

$$F_k = 500 \text{ Н} = F_{imp}$$

$$F_{imp} = k_4 v_2 \quad v_2 = 25 \text{ м/с}$$

$$k_c = \frac{v_2^2}{F_k} \quad k_{at} = 10$$

$$a_{\pm} = v'(t) \quad k_{at} + 10 = 20$$

$$k_{at} = 10$$

$$p_2 = \frac{11}{20} v = \sqrt{2} RT$$

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{p_1}{p_2} \cdot \frac{4}{11} = 2$$

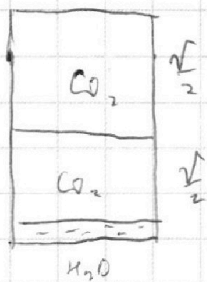
$$F_1 = k v_1 + m a_1$$

$$F_1 \cdot \frac{ds}{dt} = F_1 \cdot v_1$$

$$\frac{25}{10} = \frac{1}{2} = \alpha_1$$

$$\alpha_1 = 0,25 \text{ м/с}^2$$

$$k = \frac{1}{3}$$



$$p_1 \cdot \frac{v}{5} = \sqrt{2} RT$$

$$p_1 = p_2 + p_{atm}$$

(p_{atm} близко к нулю)

$$pV = \nu RT$$

$$\nu_1 = \frac{p_0 V_1}{RT_0}$$

$$= \frac{p_0 \cdot V}{2 RT_0}$$

$$\nu_2 = \frac{p_0 \cdot \left(\frac{V}{2} - \frac{V}{4}\right)}{RT_0} = \frac{p_0 V}{4 RT_0}$$

$$\frac{\nu_1}{\nu_2} = 2$$

$$p = \frac{1}{3} p_0 + p_2$$

$$\frac{4}{5} V - \text{объем воздуха}$$

$$\frac{4}{5} V - \frac{V}{4} = \frac{16 - 5}{20} V$$

$$= \frac{11}{20} V - \text{объем } CO_2$$

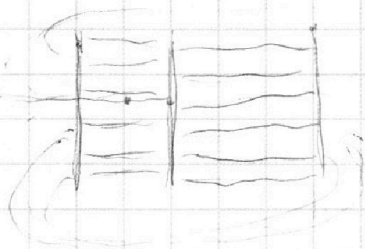
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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!

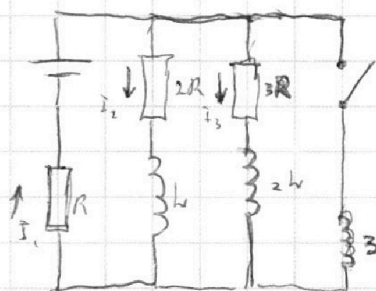


$$I_2 R + 3I_3 R + 2L I_2' = 0$$

$$I_1 R + 2I_2 R + L I_3' = 0$$

$$I_1 = I_2 + I_3 + I_4$$

$$I_1 R + 3L I_4' = 0$$



$$3I_2 I_3' + I_1 R = E$$

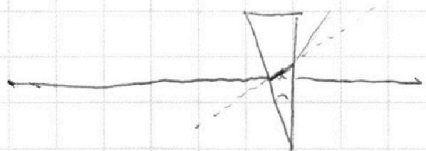
$$I_1 = \frac{R}{E} \quad 3I_1 R + 3I_3 R + 2I_2 R +$$

$$E - I_1 R$$

$$2I_2 R + L I_2' = 3I_3 R + L I_3'$$

ΔQ_2 зарядов протек через $2R$

ΔQ_3 зарядов протек через $3R$



$$\begin{array}{r} 10 \\ \times 26 \\ \hline 275 \\ 90 \\ \hline 105 \end{array}$$

5

$$\begin{array}{r} 25 \\ \times 11 \\ \hline 275 \\ 275 \\ \hline 275 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 4 \\ \times 12 \\ \hline 17 \\ 179 \\ \hline 17 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 1 \\ + 295 \\ \hline 72 \\ \hline 347 \end{array}$$

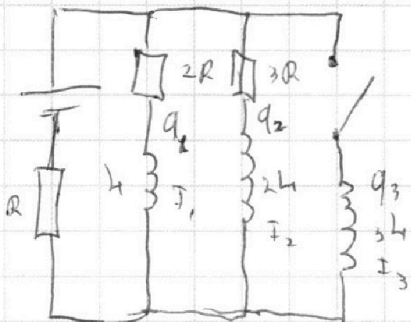
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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!



$$(q_1 + q_2 + q_3)E + \dots$$

$$(q_1 + q_2 + q_3)E + \dots = 2q_1 R + 3q_2 R + (q_1 + q_2 + q_3)R$$

$$q_1 R + 2q_2 R = \dots$$

$$UI t$$

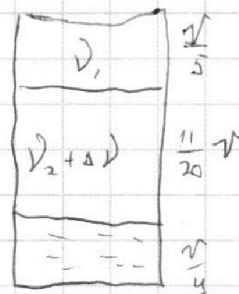
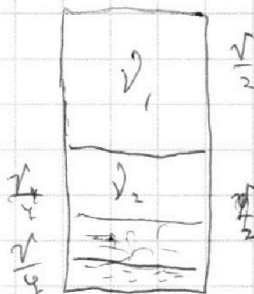
$$I^2 R t$$

$$\frac{q^2}{t} R t$$

$$U = IR$$

$$\frac{q^2}{t} R$$

$$\Delta V = k p_0 \cdot \frac{V}{4}$$



$$\frac{16 - 5}{20} = \frac{11}{20} V$$

$$p_0 \cdot \frac{V}{2} = V_1 R T_0$$

$$p_1 \cdot \frac{V}{5} = V_1 R T$$

$$p_0 \cdot \frac{V}{4} = V_2 R T_0$$

$$p_2 \cdot \frac{11}{20} V = (V_2 + k p_0 \cdot \frac{V}{4}) \cdot R T$$

$$V_2 = \frac{1}{2} V_1$$

$$p_1 = p_{atm} + p_2$$

$$p_1 = \frac{5 V_1 R T}{V} = \dots$$

$$V_1 = \frac{p_0 \cdot V}{2 R T_0}$$

$$T = \frac{5 T_0}{4}$$

$$4 T = 5 T_0$$

$$p_1 = \frac{5 p_0 T}{2 T_0} =$$

$$\frac{T}{T_0} = \frac{5}{4}$$

$$= \frac{25}{8} p_0$$

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

$$p_0 \cdot \frac{V T}{4 T_0} + p_0 \cdot \frac{k R T}{4}$$

$$p_0 \cdot \frac{V}{4} \cdot \left(\frac{1}{R T_0} + k \right) \cdot R T$$