

# Олимпиада «Phystech.International» по физике

Декабрь 2017 года

Класс 11

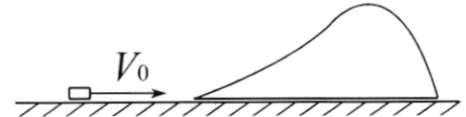
Шифр 7-007

(заполняется секретарём)

## Вариант 11-04

1. Небольшой шарик висит на легкой нити длиной 18 см. Какую минимальную горизонтальную скорость надо сообщить шарика, чтобы он, двигаясь по окружности, совершил полный оборот в вертикальной плоскости? Принять  $g=10 \text{ м/с}^2$ .

2. Небольшая монета массой  $m$  скользит по гладкому горизонтальному столу со скоростью  $v_0$  к неподвижной незакрепленной горке массой  $4m$  (см. рис.). Монета въезжает на горку, движется по ней без трения и отрыва и съезжает с горки в обратном направлении.



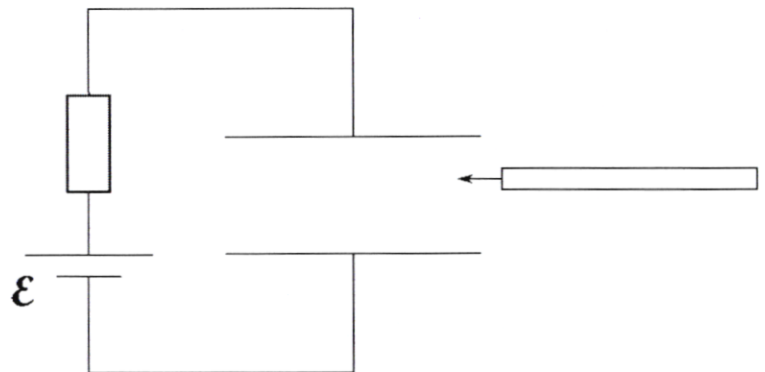
- 1) На какую максимальную высоту поднимается монета?
- 2) С какой скоростью монета съезжает с горки?

3. Теплоизолированный сосуд объемом  $V = 8,31 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$  разделен перегородкой на две части с различными объемами. В первой части находится гелий при температуре  $127 \text{ }^\circ\text{C}$  в количестве  $\nu_1 = 0,1$  моль. Во второй части находится гелий при температуре  $7 \text{ }^\circ\text{C}$  в количестве  $\nu_2 = 0,4$  моль.

Перегорodka прорывается.

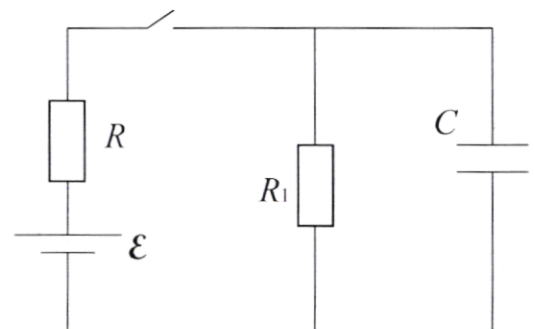
- 1) Какая температура (в градусах Цельсия) установится в сосуде после наступления термодинамического равновесия?
- 2) Найти конечное давление в сосуде.

4. Плоский воздушный конденсатор емкостью  $C_0$  подсоединен через резистор к источнику с ЭДС  $\mathcal{E}$  (см. рис.). В конденсатор вводят параллельно обкладкам незаряженную проводящую пластину и располагают ее напротив обкладок. Форма поверхности пластины совпадает с формой поверхности обкладок. Толщина пластины в 3 раза меньше расстояния между обкладками.



- 1) Найти емкость конденсатора с пластиной.
- 2) Какой заряд пройдет через резистор после начала введения пластины?

5. В цепи, схема которой показана на рисунке, ключ разомкнут. Параметры цепи указаны на схеме. Внутреннее сопротивление источника «содержится» в  $R$ ,  $R_1=4R$ . Ключ замыкают. После достижения в цепи установившегося режима ключ размыкают. Известными величинами считать  $C$ ,  $\mathcal{E}$ ,  $R$ .



- 1) Найти ток через источник сразу после замыкания ключа.
- 2) Найти установившееся напряжение на конденсаторе при замкнутом ключе.
- 3) Какое количество теплоты выделится в цепи после размыкания ключа?



## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Задача №3. Теплоизолированный сосуд объемом  $V = 8,31 \cdot 10^{-3}$  разделен перегородкой на две части с различными объемами. В первой части находится гелий при температуре  $127^\circ\text{C}$  в количестве  $\nu_1 = 0,1$  моль. Во второй части находится гелий при температуре  $7^\circ\text{C}$  в количестве  $\nu_2 = 0,4$  моль. Перегородка прорывается. Какая температура (в градусах Цельсия) установится в сосуде после наступления термодинамического равновесия? Найти конечное давление в сосуде.

Дано:

$V = 8,31 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$	СИ:
$t_1 = 127^\circ\text{C}$	$400^\circ\text{K}$
$\nu_1 = 0,1$ моль	
$t_2 = 7^\circ\text{C}$	$280^\circ\text{K}$
$\nu_2 = 0,4$ моль	
$t_0 = ?$	
$p = ?$	

Решение:  
1) Согласно первому закону термодинамики:

$$Q = \Delta U + A$$

Термодинамическое равновесие наступает при условии:

$$p_1 = p_2$$

$$\Delta U_1 + A = \Delta U_2 + A; \text{ т.к. работа равна нулю,}$$

объем сосуда не меняется.

$$\frac{3}{2} \nu_1 R (T_1 - T_0) = \frac{3}{2} \nu_2 R (T_0 - T_2)$$

$$\nu_1 \cdot T_1 - \nu_1 \cdot T_0 = \nu_2 \cdot T_0 - \nu_2 \cdot T_2$$

$$\nu_1 \cdot T_1 + \nu_2 \cdot T_2 = T_0 \cdot (\nu_1 + \nu_2)$$

$$T_0 = \frac{\nu_1 \cdot T_1 + \nu_2 \cdot T_2}{\nu_1 + \nu_2}; \quad (1)$$

Чтобы перевести из  $^\circ\text{K}$  нулю  $^\circ\text{C}$  отнять  $273$  и мо получим  $^\circ\text{C}$ .

$$t_0 = \frac{\nu_1 \cdot T_1 + \nu_2 \cdot T_2}{\nu_1 + \nu_2} - 273^\circ\text{K}; \quad [t_0] = \frac{\text{моль} \cdot \text{K}}{\text{моль}} - 273 = ^\circ\text{C}$$

$$t_0 = \frac{0,1 \cdot 400 + 0,4 \cdot 280}{0,1 + 0,4} - 273 = \frac{40 + 112}{0,5} - 273 = 304 - 273 = 31^\circ\text{C}$$

2) Согласно закону Дальтона: Можно было не переводить в  $^\circ\text{K}$ , ответ выходит.

$$p = p_1' + p_2'$$

а) Запишем общий газовый закон для первой части сосуда:

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_1' \cdot V}{T_0} \rightarrow p_1' = \frac{p_1 V_1 \cdot T_0}{T_1 \cdot V} = \frac{\nu_1 \cdot R \cdot T_1 \cdot T_0}{T_1 \cdot V} = \frac{\nu_1 \cdot R \cdot T_0}{V}$$

Согласно ур-ю Менделеева-Клапейрона:  $p_1 V_1 = \nu_1 R \cdot T_1$

б) Запишем общий газовый закон для второй части сосуда:

$$\frac{p_2 V_2}{T_2} = \frac{p_2' \cdot V}{T_0} \rightarrow p_2' = \frac{p_2 V_2 \cdot T_0}{T_2 \cdot V} = \frac{\nu_2 \cdot R \cdot T_2 \cdot T_0}{T_2 \cdot V} = \frac{\nu_2 \cdot R \cdot T_0}{V}$$

Согласно ур-ю Менделеева-Клапейрона:  $p_2 V_2 = \nu_2 R \cdot T_2$

Тот же самый закон Дальтона:

$$p = p_1' + p_2' = \frac{\nu_1 \cdot R \cdot T_0}{V} + \frac{\nu_2 \cdot R \cdot T_0}{V} = \frac{R \cdot T_0}{V} (\nu_1 + \nu_2); \quad (2)$$

Зная формулу (1), преобразуем выраж (2)

$$p = \frac{R \cdot (\nu_1 \cdot T_1 + \nu_2 \cdot T_2)}{V \cdot (\nu_1 + \nu_2)} \cdot (\nu_1 + \nu_2) = \frac{R \cdot (\nu_1 \cdot T_1 + \nu_2 \cdot T_2)}{V} =$$

$$= \frac{8,31 \cdot (0,1 \cdot 400 + 0,4 \cdot 280)}{8,31 \cdot 10^{-3}} = \frac{8,31 \cdot (40 + 112)}{8,31 \cdot 10^{-3}} = 152 \cdot 10^3 \text{ Па} = 152 \text{ кПа}$$

$$[p] = \frac{\frac{\text{Дж}}{\text{м}^3 \cdot \text{К}} (\text{моль} \cdot \text{К} + \text{моль} \cdot \text{К})}{\text{м}^3} = \text{Па}$$

Ответ: 1)  $31^\circ\text{C}$ ; 2)  $152 \text{ кПа}$ ;

Задача № 2. Небольшая монета массой  $m$  скользит по гладкому горизонтальному столу со скоростью  $v_0$  к неподвижной незакрепленной горке массой  $4m$ . Монета въезжает на горку, движется по ней без трения и отрыва и съезжает с горки в обратном направлении. На какую максимальную высоту поднимается монета? С какой скоростью монета съезжает с горки?

Дано:

$v_0$ ;

$m$ ;

$4m$ ;

$h_{\text{max}} - ?$

$u - ?$

Решение:

Запишем закон сохранения импульсов:

$$m \cdot v_0 + 4m \cdot 0 = m \cdot u + 4m \cdot u$$

$$m \cdot v_0 = 5m \cdot u$$

$$u = \frac{m \cdot v_0}{5m} = \frac{v_0}{5} \text{ [м/с]} = \frac{u}{5}$$

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Запишем закон сохранения энергии:

$$\frac{m \cdot v^2}{2} = mgh_{\max}; \text{ используем скорость } v, \text{ т.к. именно с такой скоростью шарики двигались по горке}$$

$$v^2 = 2gh_{\max}$$

$$h_{\max} = \frac{v^2}{2g} = \frac{v_0^2}{50g} \quad [h_{\max}] = \frac{m^2 \cdot s^{-2}}{2 \cdot m \cdot s^{-2}} = m$$

Ответ: 1)  $h_{\max} = \frac{v_0^2}{50g}$       2)  $v = \frac{v_0}{5}$

Задача 4. Плоский воздушный конденсатор емкостью  $C_0$  подсоединен через резистор к источнику с ЭДС  $\mathcal{E}$ . В конденсатор вводят параллельно обкладкам незаряженную проводящую пластину и располагают её напротив обкладок. Форма поверхности пластины совпадает с формой поверхности обкладок. Пластина находится в 3 раза меньше расстояния между обкладками. Найти емкость конденсатора с пластиной. Какой заряд пройдет через резистор после начала введения пластины?

Дано: Решение:

$\epsilon_f = 1$

$\epsilon_0$ ;

$\epsilon_f$ ;

$d_1 = \frac{d}{3}$

$C_0' = ?$

$q = ?$

1)  $C_0 = \frac{\epsilon_0 S}{d}$

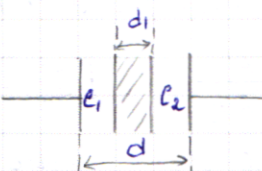
$C_1 = \frac{\epsilon_0 S}{d_1'}$

$C_2 = \frac{\epsilon_0 S}{d_2'}$

$d_1' = d_2' = \frac{d - d_1}{2} = \frac{2d}{3}$

$C_1 = \frac{3\epsilon_0 S}{d}$

$C_2 = \frac{3\epsilon_0 S}{d}$



Конденсаторы соединены последовательно, т.к. заряд течет по обкладкам последовательно.

$$C_0' = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2} = \frac{C_1^2}{2C_1} = \frac{C_1}{2} = \frac{3\epsilon_0 S}{2d} = \frac{3}{2} C_0 \quad [C_0'] = \text{Ф}$$

2) Заряд через резистор, равен заряду обкладки по модулю:

$$q = C_0' \cdot \mathcal{E} = \frac{3}{2} C_0 \cdot \mathcal{E} \quad [q] = \text{Ф} \cdot \text{В} = \text{Ф} \cdot \frac{\text{Ки}}{\text{Ф}} = \text{Ки}$$

Ответ: 2)  $q = \frac{3}{2} C_0 \cdot \epsilon_f = 1,5 \cdot C_0 \cdot \epsilon_f$  1)  $C_0' = 1,5 C_0$

Задача 15. В цепи, схема которой показана на рисунке, ключ разомкнут. Параметры цепи указаны на схеме. Внутреннее сопротивление источника "содержится" в  $R$ ,  $R_1 = 4R$ . Ключ замыкают. После достижения в цепи установившегося режима ключ размыкают. Известными величинами считать  $C$ ,  $\epsilon_f$ ,  $R$ . Найти ток через источник сразу после замыкания ключа. Найти установившееся напряжение на конденсаторе при замкнутом ключе. Какое количество теплоты выделится в цепи после размыкания ключа?

Дано:

- $\epsilon_f$ ;
- $C$ ;
- $R$ ;
- $R_1 = 4R$
- $I$  - ?
- $U$  - ?
- $Q$  - ?

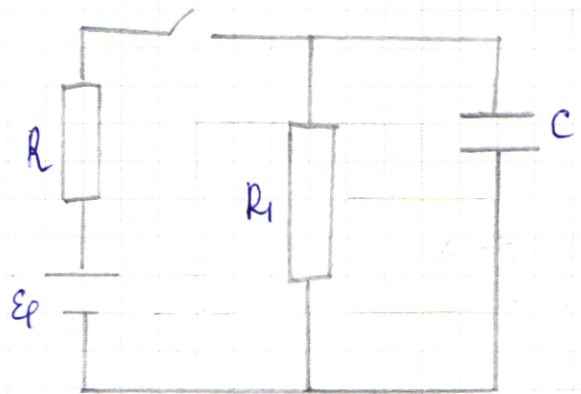
Решение:

1) Запишем закон Ома для цепи:

$$\epsilon_f = I \cdot R + I \cdot R_1$$

$$\epsilon_f = I \cdot (R + 4R) = I \cdot 5R$$

$$I = \frac{\epsilon_f}{5R} \quad [I] = \frac{B}{\Omega} = A$$



2) Рассмотрим участок цепи ( $R_1$  и  $C$ ), напряжение на сопротивлении  $R_1$  и на конденсаторе одинаково, т.к. соединены параллельно.

$$U = I \cdot R_1 = \frac{q}{C} \quad [U] = B$$

$$U = \frac{\epsilon_f}{5R} \cdot 4R = \frac{4}{5} \epsilon_f = 0,8 \epsilon_f$$

3) За то время пока ключ замкнут конденсатор заряжается, как только ключ разомкнут, то вся энергия конденсатора "пойдет" на нагревание.

$$Q = W = \frac{C \cdot U^2}{2} = \frac{C \cdot 16 \cdot \epsilon_f^2}{2 \cdot 25} = 0,32 C \epsilon_f^2$$

$$[Q] = \Phi \cdot B^2 = \text{Дж}$$

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Ответ: 1)  $J = \frac{E_f}{5R}$     2)  $\mu = 0,8 E_f$     3)  $Q = 0,32 C \cdot E_f^2$

Задача 1. Небольшой шарик висит на легкой нити длиной 18 см. Какую минимальную горизонтальную скорость надо сообщить шарiku, чтобы он, двигаясь по окружности, совершил полный оборот в вертикальной плоскости? Принять  $g = 10 \frac{м}{с^2}$ .

Дано:  $l = 18 \text{ см}$

СИ:  $0,18 \text{ м}$

$g = 10 \frac{м}{с^2}$

$v_0 = ?$

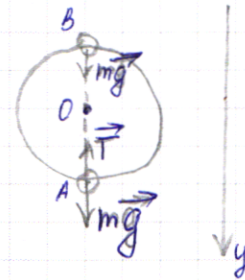
Решение:

$AO = OB = l$

Для точки А:

$$m\vec{g} + \vec{T} = m\vec{a}_{цс}$$

$$0y: mg - T = ma_{цс}$$



Для точки В:

$$m\vec{g} = m\vec{a}_{цс}$$

в точке В скорость будет меньше.

$$0y: mg = ma_{цс}$$

$$mg = \frac{mv^2}{l}$$

$$mv^2 = mgl \quad (1)$$

;  $a_{цс} = \frac{v^2}{l}$  (где  $l$  - радиус окружности, равной длине нити)

Запишем закон сохранения энергии:

$$E_{к1} = E_{р2} + E_{к2}$$

$$\frac{mv_0^2}{2} = \frac{mv^2}{2} + 2mgl = \frac{mgl}{2} + 2mgl = \frac{5mgl}{2}$$

Согласно (1) заменим  $mv^2$  на  $mgl$ ,  $E_{р2} = 2mgl$ , т.к. в т. В тело находится на высоте двух радиусов.

$$\frac{mv_0^2}{2} = \frac{5mgl}{2} \quad | \cdot 2$$

$$v_0^2 = 5gl$$

$$v_0 = \sqrt{5gl}$$

$$[v_0] = \sqrt{\frac{м}{с^2} \cdot м} = \frac{м}{с}$$

$$v_0 = \sqrt{5 \cdot 10 \cdot 10 \cdot 10^{-2}} = \sqrt{8 \cdot 10 \cdot 9 \cdot 2 \cdot 10^{-2}} = 3 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

ответ:  $v_0 = 3 \frac{\text{м}}{\text{с}}$



ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

1.

$\frac{mv^2}{R} = T - mg$   
 $T = 2m\sqrt{\frac{R}{g}}$   
 $v = \omega \cdot R$   
 $\frac{mv^2}{R} = mg$   
 $mv^2 = mgl$   
 $v = \sqrt{gl} = \sqrt{9 \cdot 10^2 \cdot 10^1} = \sqrt{9 \cdot 10^3} = 3\sqrt{10^3}$

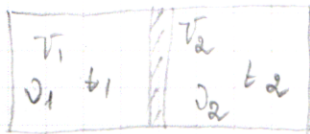
$R = \frac{l \cdot \pi}{180}$   
 $v = \frac{l}{t} = \frac{d\alpha R}{T}$   
 $\frac{mv_0^2}{2} = 2mgl = \frac{mv^2}{2} \cdot \frac{2\pi R}{2\pi \cdot l}$   
 $\frac{mv_0^2}{2} = \frac{mv^2}{2} \cdot \frac{R}{l}$   
 $v_0^2 = v^2 \cdot \frac{R}{l} = \frac{l \cdot \sin^2 \alpha \cdot \sqrt{g}}{l} = \sqrt{g} \cdot \sin^2 \alpha = \frac{\pi \sqrt{gl}}{180}$   
 $v_0 = \sqrt{5gl} = \sqrt{5 \cdot 10 \cdot 10^2} \cdot \sqrt{g} = 3 \frac{m}{s}$

2.

$m v_0 = 4m \cdot u + m \cdot u$   
 $m v_0 = 5m u$   
 $u = \frac{v_0}{5}$

$\frac{mv_0^2}{2} - \frac{mu^2}{2} = mgh$   
 $v_0^2 - u^2 = 2gh$   
 $v_0^2 - \frac{v_0^2}{25} = 2gh$   
 $h = \frac{24v_0^2}{100g} = 0,24 \frac{v_0^2}{g}$

3.



$$V = 8,31 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$$

$$D_1 = 0,1 \quad l_1 = 127$$

$$T_1 = 400$$

$$D_2 = 0,4 \text{ мм}$$

$$l_2 = 7 \quad T_2 = 280$$

$$15,5$$

$$80 + 92 = 172$$

$$\frac{280 \cdot 4}{10} = 112$$

$$\frac{280 \cdot 4}{1} = 1120$$

①

$$Q_1 = Q_2$$

$$\frac{3}{2} D_1 R (T_1 - T_0) = \frac{3}{2} D_2 R (T_0 - T_2)$$

$$D_1 \cdot l_1 = D_2 \cdot l_2 \Rightarrow D_1 \cdot l_1 = D_2 \cdot l_2$$

$$D_1 \cdot l_1 + D_2 \cdot l_2 = (D_1 + D_2) \cdot l_0$$

$$l_0 = \frac{D_1 \cdot l_1 + D_2 \cdot l_2}{D_1 + D_2}$$

$$[l_0] = \frac{\text{мм} \cdot \text{°C}}{\text{мм}} = \text{°C}$$

$$\frac{12,7 + 2,8}{0,5} = 31 \text{ °C}$$

$$l_0 = \frac{40 + 112}{0,5} = \frac{152}{0,5} = 304$$

$$3 \text{ °C}$$

② a)  $P = P_1' + P_2'$ 

$$b) P_1 V_1 = D_1 R T_1$$

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_1' V}{T_0} \Rightarrow P_1' = \frac{P_1 V_1 T_0}{T_1 V}$$

$$P_2 V_2 = D_2 R T_2$$

$$\frac{D_2 R V_2 T_0}{T_2 V} = \frac{D_2 R T_0}{V}$$

$$\Rightarrow P_2' = \frac{P_2 V_2 T_0}{T_2 V} = \frac{D_2 R V_2 T_0}{T_2 V} = \frac{D_2 R T_0}{V}$$

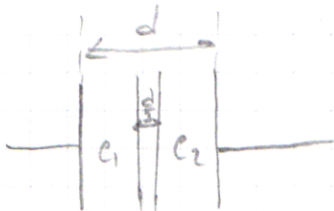
$$P = \frac{D_1 R T_0}{V} + \frac{D_2 R T_0}{V} = \frac{R}{V} (D_1 T_0 + D_2 T_0) = 280 \cdot$$

$$\Rightarrow \frac{R}{V} \cdot T_0 \cdot (D_1 + D_2) =$$

$$= \frac{R}{V} \cdot \frac{(D_1 \cdot T_1 + D_2 \cdot T_2)}{(D_1 + D_2)} \cdot (D_1 + D_2) =$$

$$= \frac{R \cdot (D_1 \cdot T_1 + D_2 \cdot T_2)}{V}$$

4.



это как 2 соединенных последовательно конденсатора

$$1) C_1 = \frac{3 \epsilon_0 \epsilon_r S}{d} = C_2$$

$$C_0' = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} = \frac{C_1}{2} = \frac{3 \epsilon_0 \epsilon_r S}{2 d} = \frac{3}{2} C_0$$

$$2) \epsilon_r = J R$$

$$\tau = R C - \text{время релаксации } q = q_0 \cdot e^{-\frac{t}{RC}}$$

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$Q_1 = C_0 \cdot \mathcal{E} \int$$

$$Q_2 = C_0 \cdot \mathcal{E} = \frac{2}{5} C_0 \cdot \mathcal{E}$$

5.  $R_1 = 4R$

Решение:

$C, \mathcal{E}, R$

$J = ?$ ,  $U = ?$

1)  $Q = ?$

$$\mathcal{E} = J \cdot R + J \cdot R_1$$

$$\mathcal{E} = J \cdot 5R$$

$$J = \frac{\mathcal{E}}{5R}$$

$$2) C = \frac{q}{U} \rightarrow U = \frac{q_0}{C}$$

$$U = J R_1 = \frac{q_0}{C}$$

$$C \cdot J \cdot 4R = q_0$$

$$Q = J^2 R_0 t = q \cdot J R_0 = q \mathcal{E} z$$

$$= q_0 e^{-\frac{t}{RC}} \cdot \mathcal{E} z$$

$$Q = \frac{q_0 \mathcal{E}}{B}$$

$$Q = A^2 \text{ или } C = k_1 B$$

$$z = \frac{q}{z} \quad q = J z$$

$$\frac{U}{z} = \frac{\mathcal{E} \cdot 4R}{5R} = \frac{4}{5} \mathcal{E}$$

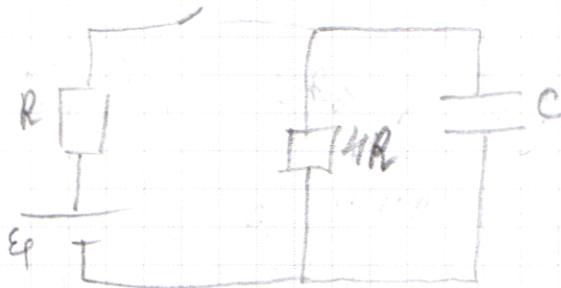
$$Q = A = \Delta W$$

$$Q = q \cdot \mathcal{E} = \frac{qU}{z}$$

$$= q \left( \mathcal{E} - \frac{U}{z} \right) = \frac{C \cdot 4R \cdot \mathcal{E}}{5R} = 0,6 \mathcal{E} q$$

$$= \frac{q}{5} \mathcal{E} = \frac{C \cdot 4R \cdot \mathcal{E}}{5R \cdot 5} \mathcal{E} = \frac{4}{25} C \mathcal{E}^2$$

$$3) Q = \frac{C U^2}{2} = \frac{C \cdot J^2 R_1^2}{2} = \frac{C \cdot \mathcal{E}^2 \cdot 16R^2}{2 \cdot 25R^2} = 0,16 C \cdot \mathcal{E}^2 \quad [Q] = \text{А}^2 \text{В}^2 \cdot \text{сек}$$





черновик     чистовик  
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №       
(Нумеровать только чистовики)