
ФИЗИКА

Решение упражнений к учебнику

В. А. Касьянова



ГЛАВА 1. ПОСТОЯННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК

§ 2. Сила тока

1. Дано:

$$t = 1 \text{ мин} = 60 \text{ с};$$

$$I = 2 \text{ А}$$

$$q - ?$$

Решение:

$$I = \frac{q}{t}; q = It; q = 2 \text{ А} \cdot 60 \text{ с} = 120 \text{ Кл.}$$

Ответ: $q = 120 \text{ Кл.}$

2. Дано:

$$t = 1 \text{ с};$$

$$I = 1,6 \text{ А};$$

$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$$

$$N - ?$$

Решение:

$$N = \frac{q}{e}; q = It; N = \frac{It}{e}; N = \frac{1,6 \text{ А} \cdot 1 \text{ с}}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}} = 10^{19}.$$

Ответ: $N = 10^{19}.$

3. Дано:

$$t = 1 \text{ год};$$

$$I = 1 \text{ А};$$

$$\frac{e}{m} = 1,76 \cdot 10^{11} \text{ Кл/кг}$$

$$M - ?$$

Решение:

$$M = Nm; N = \frac{It}{e}; M = \frac{Itm}{e}; t = 365 \cdot 24 \cdot 3600 = 3,15 \cdot 10^7 \text{ с};$$

$$M = \frac{1 \text{ А} \cdot 3,15 \cdot 10^7 \text{ с}}{1,76 \cdot 10^{11} \text{ Кл/кг}} \cong 1,8 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cong 0,18 \text{ г.}$$

Ответ: $M \cong 0,18 \text{ г.}$

4. Дано:

$$S = 1 \text{ мм}^2;$$

$$I = 1,6 \text{ А};$$

$$n = 10^{28} \text{ м}^{-3};$$

$$t = 20^\circ \text{C}$$

$$v - ?$$

Решение:

$$I = enSv; v = \frac{I}{enS};$$

$$v = \frac{1,6 \text{ А}}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} \cdot 10^{28} \cdot 10^{-9} \text{ мм}^{-3} \cdot 1 \text{ мм}^2} = 1 \text{ мм/с};$$

$v_T \sim 100 \text{ км/с}$ — тепловая скорость электронов.

Ответ: $v = 1 \text{ мм/с.}$

5. Дано:

$$t = 4 \text{ с};$$

$$I_1 = 1 \text{ А};$$

$$I_2 = 5 \text{ А}$$

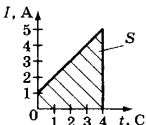
$$q - ?$$

Решение:

$$q = It; q = S; q = \frac{I_1 + I_2}{2} \cdot t;$$

$$q = \frac{1 \text{ А} + 5 \text{ А}}{2} \cdot 4 \text{ с} = 12 \text{ Кл.}$$

Ответ: $q = 12 \text{ Кл}$



§ 5. Закон Ома для участка цепи

1. Дано:

$R = 44 \text{ Ом};$

$U = 220 \text{ В}$

$I = ?$

Решение:

$$I = \frac{U}{R}; I = \frac{220 \text{ В}}{44 \text{ Ом}} = 5 \text{ А.}$$

Ответ: $I = 5 \text{ А.}$

2. Дано:

$U = 6 \text{ В};$

$I = 2 \text{ мкА} = 2 \cdot 10^{-6} \text{ А}$

$R = ?$

Решение:

$$R = \frac{U}{I}; R = \frac{6 \text{ В}}{2 \cdot 10^{-6} \text{ А}} = 3 \cdot 10^6 \text{ Ом} = 3 \text{ МОм.}$$

Ответ: $R = 3 \text{ МОм.}$

3. Дано:

$R = 5 \text{ Ом};$

$t = 1 \text{ мин} = 60 \text{ с};$

$q = 2,88 \text{ Кл}$

$U = ?$

Решение:

$$U = IR; I = \frac{q}{t}; U = \frac{qR}{t};$$

$$U = \frac{2,88 \cdot 10^3 \text{ Кл} \cdot 5 \text{ Ом}}{60 \text{ с}} = 240 \text{ В.}$$

Ответ: $U = 240 \text{ В.}$

4. Дано:

R, U, N, e

$t = ?$

Решение:

$$I = \frac{q}{t}; t = \frac{q}{I}; q = eN; I = \frac{U}{R}; t = \frac{eNR}{U}$$

$$\text{Ответ: } t = \frac{eNR}{U}$$

5. Дано:

$R_1 = 2 \text{ Ом};$

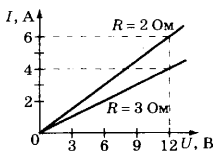
$R_2 = 3 \text{ Ом};$

$I = 1 \text{ А};$

$U = 12 \text{ В}$

$U_1, U_2, I_1, I_2 = ?$

Решение:



$U_1 = 2 \text{ В};$

$U_2 = 3 \text{ В};$

$I_1 = 6 \text{ А};$

$I_2 = 4 \text{ А.}$

Ответ: $U_1 = 2 \text{ В}; U_2 = 3 \text{ В}; I_1 = 6 \text{ А}; I_2 = 4 \text{ А.}$

§ 6. Сопротивление проводника

1. Дано:

$\rho = 1,7 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м};$

$l = 240 \text{ м};$

$S = 0,4 \text{ мм}^2 =$

$= 4 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2$

$R = ?$

Решение:

$$R = \rho \frac{l}{S}; R = \frac{1,7 \cdot 10^{-8} \cdot 240}{4 \cdot 10^{-7}} = 10,2 \text{ Ом.}$$

Ответ: $R = 10,2 \text{ Ом.}$

2. Дано:

$$l = 1 \text{ км} = 10^3 \text{ м};$$

$$R = 10 \text{ Ом};$$

$$\rho = 1,7 \cdot 10^{-8} \text{ Ом}\cdot\text{м};$$

$$\theta = 8,9 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$$

 $m - ?$

Решение:

$$m = \theta V = \theta l S; R = \rho \frac{l}{S}; S = \frac{\rho l}{R}; m = \frac{\theta \rho l^2}{R};$$

$$m = \frac{8,9 \cdot 10^3 \cdot 1,7 \cdot 10^{-8} \cdot 10^6}{10} \cong 15,1 \text{ кг.}$$

Ответ: $m = 15,1 \text{ кг.}$

3. Дано:

$$d = 1 \text{ мм} = 10^{-3} \text{ м};$$

$$R = 4 \text{ Ом};$$

$$\rho = 2,8 \cdot 10^{-8} \text{ Ом}\cdot\text{м}$$

 $l - ?$

Решение:

$$R = \rho \frac{l}{S}; l = \frac{RS}{\rho}; S = \frac{\pi d^2}{4}; l = \frac{\pi d^2 R}{4\rho};$$

$$l = \frac{3,14 \cdot 10^{-6} \cdot 4}{4 \cdot 2,8 \cdot 10^{-8}} \cong 112 \text{ м.}$$

Ответ: $l = 112 \text{ м.}$

4. Дано:

$$m = 270 \text{ г} = 0,27 \text{ кг};$$

$$\theta = 2,7 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3;$$

$$R = 2,8 \text{ Ом};$$

$$\rho = 2,8 \cdot 10^{-8} \text{ Ом}\cdot\text{м}$$

 $l, S - ?$

Решение:

$$\theta = \frac{m}{V}; V = \frac{m}{\theta}; V = lS; lS = \frac{m}{\theta}; R = \rho \frac{l}{S}; l = \frac{RS}{\rho};$$

$$\frac{RS^2}{\rho} = \frac{m}{\theta}; S = \sqrt{\frac{m\rho}{R\theta}};$$

$$S = \sqrt{\frac{0,27 \cdot 2,8 \cdot 10^{-8}}{2,8 \cdot 2,7 \cdot 10^3}} = 10^{-6} \text{ м}^2 = 1 \text{ мм}^2;$$

$$l = \frac{2,8 \cdot 10^{-6}}{2,8 \cdot 10^{-8}} = 10^2 \text{ м} = 100 \text{ м.}$$

Ответ: $l = 100 \text{ м}; S = 1 \text{ мм}^2.$

5. Дано:

$$m_1 = m_2;$$

$$l_1 = 10l_2;$$

$$\rho_1 = 1,7 \cdot 10^{-8} \text{ Ом}\cdot\text{м};$$

$$\rho_2 = 2,8 \cdot 10^{-8} \text{ Ом}\cdot\text{м};$$

$$\theta_1 = 8,9 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3;$$

$$\theta_2 = 2,7 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$$

 $\frac{R_1}{R_2} - ?$

Решение:

$$m_1 = \theta_1 V_1 = \theta_1 l_1 S_1; m_2 = \theta_2 V_2 = \theta_2 l_2 S_2; m_1 = m_2;$$

$$\theta_1 l_1 S_1 = \theta_2 l_2 S_2; \frac{l_1}{l_2} = \frac{\theta_2 S_2}{\theta_1 S_1}; R_1 = \rho_1 \frac{l_1}{S_1};$$

$$R_2 = \rho_2 \frac{l_2}{S_2}; \frac{R_1}{R_2} = \frac{\rho_1 l_1 S_2}{\rho_2 l_2 S_1}; \frac{l_1}{l_2} = 10; \frac{R_1}{R_2} = \frac{10\rho_1 S_2}{\rho_2 S_1};$$

$$\frac{\theta_2 S_2}{\theta_1 S_1} = 10; \frac{S_2}{S_1} = \frac{10\theta_1}{\theta_2}; \frac{R_1}{R_2} = \frac{100\rho_1 \theta_1}{\rho_2 \theta_2};$$

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{10^2 \cdot 1,7 \cdot 10^{-8} \cdot 8,9 \cdot 10^3}{2,8 \cdot 10^{-8} \cdot 2,7 \cdot 10^3} \cong 200.$$

Ответ: $\frac{R_1}{R_2} = 200.$

§ 7. Зависимость удельного сопротивления от температуры

1. Дано:

$$\begin{aligned} t_1 &= 0^\circ\text{C}; \\ R_1 &= 4\ \text{Ом}; \\ t_2 &= 50^\circ\text{C}; \\ \alpha &= 4,3 \cdot 10^{-3}\ \text{К}^{-1} \end{aligned}$$

$$R_2 = ?$$

Решение:

$$\begin{aligned} R_1 &= R_0(1 + \alpha\Delta t_1); \Delta t_1 = 0; R_0 = R_1; \\ R_2 &= R_0(1 + \alpha\Delta t_2) = R_1(1 + \alpha\Delta t_2) = R_1(1 + \alpha t_2); \\ R_2 &= 4 \cdot (1 + 4,3 \cdot 10^{-3} \cdot 50) \cong 4,90\ \text{Ом}. \end{aligned}$$

Ответ: $R_2 = 4,9\ \text{Ом}$.

2. Дано:

$$\begin{aligned} t_1 &= 20^\circ\text{C}; \\ R_1 &= 25\ \text{Ом}; \\ t_2 &= 35^\circ\text{C}; \\ R_2 &= 25,17\ \text{Ом} \end{aligned}$$

$$\alpha = ?$$

Решение:

$$R_1 = R_0(1 + \alpha\Delta t_1); R_2 = R_0(1 + \alpha\Delta t_2);$$

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{1 + \alpha\Delta t_1}{1 + \alpha\Delta t_2};$$

$$\alpha = \frac{R_2 - R_1}{R_1\Delta t_2 - R_2\Delta t_1};$$

$$\alpha = \frac{0,17}{25 \cdot 35 - 25,17 \cdot 20} = 4,5 \cdot 10^{-4}\ \text{К}^{-1}.$$

Ответ: $\alpha = 4,5 \cdot 10^{-4}\ \text{К}^{-1}$.

3. Дано:

$$\begin{aligned} t_1 &= 10^\circ\text{C}; \\ R_1 &= 10\ \text{Ом}; \\ R_2 &= 1,01R_1; \\ \alpha &= 6 \cdot 10^{-3}\ \text{К}^{-1} \end{aligned}$$

$$t_2 = ?$$

Решение:

$$R_1 = R_0(1 + \alpha\Delta t_1); R_2 = R_0(1 + \alpha\Delta t_2);$$

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{1 + \alpha\Delta t_2}{1 + \alpha\Delta t_1} = 1,01; \Delta t_2 = \frac{1,01\alpha\Delta t_1 + 0,01}{\alpha};$$

$$\Delta t_2 = t_2 = \frac{1,01 \cdot 6 \cdot 10^{-3} \cdot 10 + 0,01}{6 \cdot 10^{-3}} = 11,8^\circ\text{C}.$$

Ответ: $t_2 = 11,8^\circ\text{C}$.

4. Дано:

$$\begin{aligned} t_1 &= 20^\circ\text{C}; \\ R_1 &= 20\ \text{Ом}; \\ \alpha &= 4,6 \cdot 10^{-3}\ \text{К}^{-1}; \\ U &= 220\ \text{В}; \\ I &= 1\ \text{А} \end{aligned}$$

$$t_2 = ?$$

Решение:

$$R_2 = \frac{U}{I}; R_1 = R_0(1 + \alpha\Delta t_1); R_2 = R_0(1 + \alpha\Delta t_2);$$

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{1 + \alpha\Delta t_2}{1 + \alpha\Delta t_1} = \frac{1 + \alpha t_2}{1 + \alpha t_1};$$

$$t_2 = \frac{\frac{R_2}{R_1}(1 + \alpha t_1) - 1}{\alpha} = \frac{\frac{U}{IR_1}(1 + \alpha t_1) - 1}{\alpha};$$

$$t_2 = \frac{220}{1 \cdot 20} \cdot (1 + 4,6 \cdot 10^{-3} \cdot 20) - 1}{4,6 \cdot 10^{-3}} = 2607^\circ\text{C}.$$

Ответ: $t_2 = 2607^\circ\text{C}$.

5. Дано:

$$S, \Delta R, d, \rho, c, \alpha$$

$$\Delta W - ?$$

Решение:

$$\Delta W = cm\Delta t; m = dV = dSl; \Delta R = R_0\alpha\Delta t; \Delta t = \frac{\Delta R}{R_0\alpha};$$

$$R_0 = \rho \frac{l}{S}; \Delta t = \frac{\Delta RS}{\rho\alpha} \quad l = \frac{m}{dS}; \Delta t = \frac{\Delta RdS^2}{\rho\alpha};$$

$$\Delta W = \frac{c\Delta RdS^2}{\rho\alpha}.$$

$$\text{Ответ: } \Delta W = \frac{c\Delta RdS^2}{\rho\alpha}.$$

§ 9. Соединения проводников

1. Дано:

$$R_1 = 12 \text{ Ом};$$

$$R_2 = 20 \text{ Ом};$$

$$R_3 = 30 \text{ Ом}$$

$$R - ?$$

Решение:

$$\text{По рис. 23: } R_4 = \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3};$$

$$R = R_1 + R_4 = R_1 + \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3};$$

$$R = 12 + \frac{20 \cdot 30}{20 + 30} = 24 \text{ Ом.}$$

Ответ: $R = 24 \text{ Ом}$.

2. Дано:

$$R_1 = 12 \text{ Ом};$$

$$R_2 = 18 \text{ Ом};$$

$$R_3 = 5 \text{ Ом};$$

$$R_4 = 10 \text{ Ом}$$

$$R - ?$$

Решение:

$$\text{По рис. 24: } R_5 = R_1 + R_2; R_6 = R_3 + R_4;$$

$$R = \frac{R_5 R_6}{R_5 + R_6} = \frac{(R_1 + R_2)(R_3 + R_4)}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4};$$

$$R = \frac{(12+18) \cdot (5+10)}{12+18+5+10} = 10 \text{ Ом.}$$

Ответ: $R = 10 \text{ Ом}$.

3. Дано:

$$R_1 = 3 \text{ Ом};$$

$$R_2 = 2 \text{ Ом};$$

$$R_3 = 6 \text{ Ом};$$

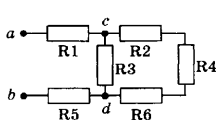
$$R_4 = 8 \text{ Ом};$$

$$R_5 = 3 \text{ Ом};$$

$$R_6 = 2 \text{ Ом}$$

$$R - ?$$

Решение:



$$R_7 = R_2 + R_4 + R_6;$$

$$R_8 = \frac{R_3 R_7}{R_3 + R_7} =$$

$$= \frac{R_3(R_2 + R_4 + R_6)}{R_3 + R_2 + R_4 + R_6};$$

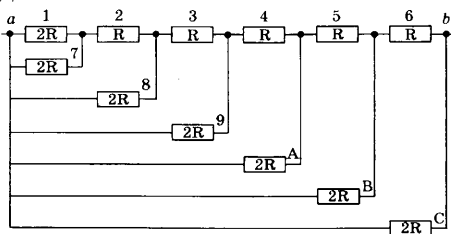
$$R = R_1 + R_5 + R_8 = R_1 + R_5 + \frac{R_3(R_2 + R_4 + R_6)}{R_3 + R_2 + R_4 + R_6};$$

$$R = 3 + 3 + \frac{6 \cdot (2 + 8 + 2)}{6 + 2 + 8 + 2} = 10 \text{ Ом.}$$

Ответ: $R = 10 \text{ Ом}$.

4. Дано:

Решение:



$R_{ab} = ?$

$$R_{17} = \frac{R_1 R_7}{R_1 + R_7}; \quad R_{172} = R_{17} + R_2 = \frac{R_1 R_7}{R_1 + R_7} + R_2;$$

$$R_{172} = R_{127} = \frac{2R \cdot 2R}{2R + 2R} + R = 2R;$$

$$R_{1278} = \frac{R_{127} R_8}{R_{127} + R_8} = \frac{2R \cdot 2R}{2R + 2R} = R; \quad R_{12378} = R_{12789} +$$

+ $R_3 = 2R$; и т.д.; $R_{123456789ABC} = R$, т.к. видно, что подсчет параллельных соединений дает R , а последовательных — $2R$; $R_{ab} = R$.

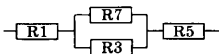
Ответ: $R_{ab} = R$.

5. Дано:

$$I_1 = 3 \text{ А}$$

$$I_3, U_3, I_4, U_4 = ?$$

Решение:



Эта электрическая цепь, эквивалентная заданной, построена на основе задачи 3. Используются обозначения задачи 3.

$$\left. \begin{aligned} I_1 &= I_7 + I_3 \\ \frac{I_7}{I_3} &= \frac{R_3}{R_7} \end{aligned} \right\} I_7 = I_3 \cdot \frac{R_3}{R_7}; \quad R_7 = R_2 + R_4 + R_6 = 2 + 8 + 2 = 12 \text{ Ом}; \quad I_7 = I_3 \cdot \frac{6}{12} = 0,5 I_3;$$

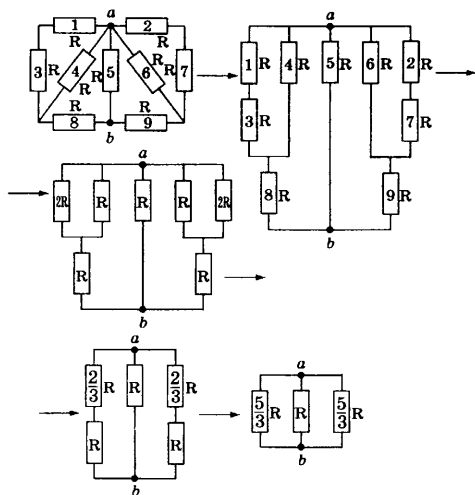
$$I_1 = I_3 + 0,5 I_3 = 1,5 I_3; \quad 1,5 I_3 = 3 \text{ А}; \quad I_3 = 2 \text{ А}; \quad I_7 = 1 \text{ А}; \quad U_3 = I_3 R_3; \quad U_3 = 2 \cdot 6 = 12 \text{ В}; \quad I_4 = I_7, \text{ т.к. через последовательно соединенные сопротивления } R_2, R_4, R_6 \text{ протекает одинаковый ток } I_7; \quad U_4 = I_4 R_4; \quad U_4 = 1 \cdot 8 = 8 \text{ В}.$$

Ответ: $I_3 = 2 \text{ А}; U_3 = 12 \text{ В}; I_4 = 1 \text{ А}; U_4 = 8 \text{ В}.$

§ 10. Расчет сопротивления электрических цепей

1. Для того, чтобы найти R_c — сопротивление цепи рис. 30, нужно преобразовать ее в эквивалентные цепи:

$$\frac{1}{R_c} = \frac{3}{5R} + \frac{3}{5R} + \frac{1}{R}; \quad R_c = \frac{5}{11} R.$$



Ответ: $R_c = \frac{5}{11} R$.

2. Дано:

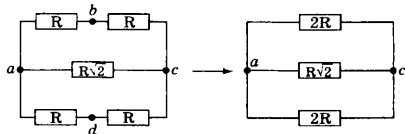
сопротивление стороны квадрата R

$R_{ac}, R_{ad}, R_{cd} - ?$

Эквивалентная электрическая схема:

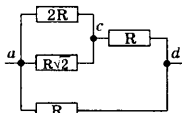
Решение:

Т.к. сопротивление проводника пропорционально его длине, сопротивление диагонали квадрата $R\sqrt{2}$.



$$\frac{1}{R_{ac}} = \frac{1}{2R} + \frac{1}{2R} + \frac{1}{R\sqrt{2}} = \frac{2+\sqrt{2}}{2R}; \quad R_{ac} = \frac{R\sqrt{2}}{1+\sqrt{2}}$$

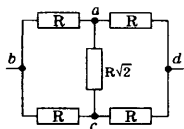
Для нахождения R_{ad} представим схему квадрата следующим образом:



$$\frac{1}{R_1} = \frac{1}{2R} + \frac{1}{R\sqrt{2}}; \quad R_1 = \frac{2R}{1+\sqrt{2}}; \quad R_2 = R + R_1 = \frac{R\sqrt{2}+3R}{1+\sqrt{2}}$$

$$\frac{1}{R_{ad}} = \frac{1}{R} + \frac{1}{R_2} = \frac{1}{R} + \frac{1+\sqrt{2}}{R(\sqrt{2}+3)}; R_{ad} = \frac{R(3+\sqrt{2})}{4+2\sqrt{2}}.$$

Для нахождения R_{bd} построим эквивалентную схему:



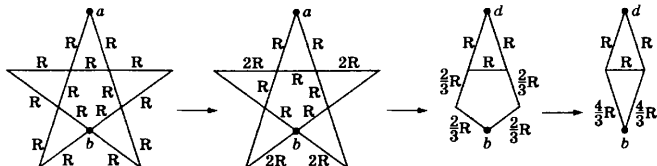
Эта схема представляет собой мостик, в котором ток через резистор $R\sqrt{2}$ не протекает, т.к. $R^2 = R^2$ на обоих плечах мостика. Следовательно, этот резистор можно не учитывать

$$\text{и } \frac{1}{R_{bd}} = \frac{1}{2R} + \frac{1}{2R} = \frac{1}{R}; R_{bd} = R.$$

Ответ: $R_{ac} = \frac{R\sqrt{2}}{1+\sqrt{2}}; R_{ad} = \frac{R(3+\sqrt{2})}{4+2\sqrt{2}}; R_{bd} = R.$

3. Дано:

Решение:



$R_{ab} = ?$

Последняя эквивалентная схема — мостик с симметричными плечами, через среднюю перемычку ток не проходит, это сопротивление можно не учитывать.

$$\frac{1}{R_{ab}} = \frac{2}{R + \frac{4}{3}R} = \frac{6}{7R}; R_{ab} = \frac{7R}{6}.$$

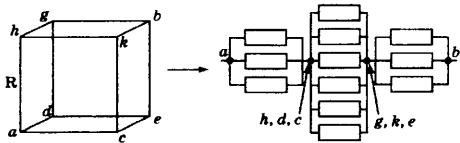
Ответ: $R_{ab} = \frac{7R}{6}.$

4. Дано:

сопротивление каждого ребра куба R

$R_{ab} = ?$

Решение:



Точки h, d, c имеют одинаковые потенциалы, аналогично для точек g, k, l . Поэтому куб можно заменить указанной эквивалентной схемой. По

схеме вычисляем $R_{ab} = \frac{1}{3}R + \frac{1}{6}R + \frac{1}{3}R = \frac{5}{6}R.$

Ответ: $R_{ab} = \frac{5}{6}R.$

5. Дано:

сопротивление каж-
дого резистора бес-
конечной цепи R

$$R_i - ?$$

Решение:

Т.к. цепь бесконечна, присоединение еще од-
ной ячейки не меняет сопротивление цепи:

$$R_i = 2R + \frac{R_i R}{R_i + R}; \quad R_i^2 - 2RR_i - 2R^2 = 0;$$

$$R_i = R(1 \pm \sqrt{3}); \quad R_i > 0; \quad R_i = R(1 + \sqrt{3}).$$

$$\text{Ответ: } R_i = R(1 + \sqrt{3}).$$

§ 11. Закон Ома для замкнутой цепи

1. Дано:

$$E = 12 \text{ В};$$

$$I = 2 \text{ А};$$

$$U = 10 \text{ В}$$

$$r, R - ?$$

Решение:

$$I = \frac{E}{R+r}; \quad R = \frac{U}{I}; \quad R+r = \frac{E}{I};$$

$$r = \frac{E}{I} - R = \frac{E}{I} - \frac{U}{I} = \frac{E-U}{I}; \quad R = \frac{10}{2} = 5 \text{ Ом};$$

$$r = \frac{12-10}{2} = 1 \text{ Ом}.$$

$$\text{Ответ: } r = 1 \text{ Ом}; \quad R = 5 \text{ Ом}$$

2. Дано:

$$R_1 = 10 \text{ Ом};$$

$$I_1 = 1 \text{ А};$$

$$R_2 = 4 \text{ Ом};$$

$$I_2 = 2 \text{ А}$$

$$E, r - ?$$

Решение:

$$\left. \begin{array}{l} I_1 = \frac{E}{R_1 + r} \\ I_2 = \frac{E}{R_2 + r} \end{array} \right\} \begin{array}{l} I_1 = \frac{R_2 + r}{R_1 + r}; \quad r = \frac{I_2 R_2 - I_1 R_1}{I_1 - I_2}; \\ I_2 = \frac{E}{R_2 + r} \end{array}$$

$$E = I_1(R_1 + r) = I_1 \left(R_1 + \frac{I_2 R_2 - I_1 R_1}{I_1 - I_2} \right) = \frac{I_1 I_2 (R_2 - R_1)}{I_1 - I_2};$$

$$r = \frac{2 \cdot 4 - 1 \cdot 10}{1 - 2} = 2 \text{ Ом}; \quad E = \frac{1 \cdot 2 \cdot (4 - 10)}{1 - 2} = 12 \text{ В}.$$

$$\text{Ответ: } E = 12 \text{ В}; \quad r = 2 \text{ Ом}.$$

3. Дано:

$$E = 6 \text{ В};$$

$$R = 9 \text{ Ом};$$

$$I = 0,6 \text{ А}$$

$$r, I_{\kappa} - ?$$

Решение:

$$I = \frac{E}{R+r}; \quad r = \frac{E-IR}{I}; \quad I_{\kappa} = \frac{E}{r};$$

$$r = \frac{6 - 0,6 \cdot 9}{0,6} = 1 \text{ Ом}; \quad I_{\kappa} = \frac{6}{1} = 6 \text{ А}.$$

$$\text{Ответ: } r = 1 \text{ Ом}; \quad I_{\kappa} = 6 \text{ А}.$$

4. Дано:

$$E_1 = 4,5 \text{ В};$$

$$E_2 = 6 \text{ В};$$

$$r_1 = 0,3 \text{ Ом};$$

$$r_2 = 0,2 \text{ Ом};$$

$$U = 0$$

$$R - ?$$

Решение:

$$E = E_1 + E_2; R_n = r_1 + r_2 + R; I = \frac{E_1 + E_2}{r_1 + r_2 + R};$$

$$U_1 = E_1 - I r_1 = E_1 - \frac{E_1 + E_2}{r_1 + r_2 + R} \cdot r_1 = 0;$$

$$R = \frac{E_2 r_1 - E_1 r_2}{E_1}; R = \frac{6 \cdot 0,3 - 4,5 \cdot 0,2}{4,5} = 0,2 \text{ Ом}.$$

Ответ: $R = 0,2 \text{ Ом}$.

5. Дано:

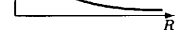
$$E, r, R$$

$$I(R), U(R) - ?$$

Решение:

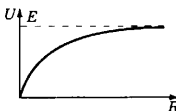
$$I = \frac{E}{R+r}; R=0; I = \frac{E}{r};$$

$$R \rightarrow \infty; I \rightarrow 0.$$



$$U = IR = \frac{ER}{R+r} = \frac{E}{1 + \frac{r}{R}}$$

$$R=0; U=0; R \rightarrow \infty; U \rightarrow E.$$



§12. Расчет силы тока и напряжения в электрических цепях

1. Дано:

$$R_1 = 1 \text{ Ом};$$

$$R_2 = 2 \text{ Ом};$$

$$R_3 = 22 \text{ Ом};$$

$$R_4 = 8 \text{ Ом};$$

$$R_5 = 4 \text{ Ом};$$

$$E = 27 \text{ В}$$

$$U_2, U_5 - ?$$

Решение:

$$R_{II} = R_1 + R_{CDEF};$$

$$\frac{1}{R_{CDEF}} = \frac{1}{R_{CD}} + \frac{1}{R_{EF}} =$$

$$= \frac{1}{R_2 + R_3} + \frac{1}{R_4 + R_5} = \frac{1}{8};$$

$$R_{CDEF} = 8 \text{ Ом}; R_{II} = 8 + 1 = 9 \text{ Ом};$$

$$I_{AB} = I_{CD} + I_{EF} = \frac{E}{R_{II}}; I_{AB} = \frac{27}{9} = 3 \text{ А};$$

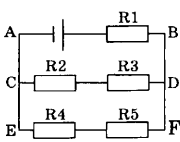
$$U_{CD} = 27 - 3 \cdot 1 = 24 \text{ В}; U_{CD} = I_{CD}(R_2 + R_3);$$

$$I_{CD} = \frac{U_{CD}}{R_2 + R_3}; I_{CD} = \frac{24}{2+22} = 1 \text{ А}; U_2 = I_{CD} R_2;$$

$$U_2 = 1 \cdot 2 = 2 \text{ В}; I_{EF} = I_{AB} - I_{CD}; I_{EF} = 3 - 1 = 2 \text{ А};$$

$$U_5 = I_{EF} R_5; U_5 = 2 \cdot 4 = 8 \text{ В}.$$

Ответ: $U_2 = 2 \text{ В}; U_5 = 8 \text{ В}$.



2. Дано:

$R_1 = 3 \text{ Ом};$

$R_2 = 5 \text{ Ом};$

$R_3 = 6 \text{ Ом}$

Найти все варианты

Решение:

1) Использование каждого резистора отдельно — решение очевидно.

2) Использование пар резисторов:

$$\begin{array}{|c|} \hline \text{R1} \\ \hline \end{array} \begin{array}{|c|} \hline \text{R2} \\ \hline \end{array} \quad R = R_1 + R_2 = 3 + 5 = 8 \text{ Ом};$$

$$\begin{array}{|c|} \hline \text{R1} \\ \hline \end{array} \begin{array}{|c|} \hline \text{R3} \\ \hline \end{array} \quad R = R_1 + R_3 = 3 + 6 = 9 \text{ Ом};$$

$$\begin{array}{|c|} \hline \text{R2} \\ \hline \end{array} \begin{array}{|c|} \hline \text{R3} \\ \hline \end{array} \quad R = R_2 + R_3 = 5 + 6 = 11 \text{ Ом};$$

$$\begin{array}{|c|} \hline \text{R1} \\ \hline \text{R2} \\ \hline \end{array} \quad R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{3 \cdot 5}{3 + 5} = 1,9 \text{ Ом};$$

$$\begin{array}{|c|} \hline \text{R1} \\ \hline \text{R3} \\ \hline \end{array} \quad R = \frac{R_1 R_3}{R_1 + R_3} = \frac{3 \cdot 6}{3 + 6} = 2 \text{ Ом};$$

$$\begin{array}{|c|} \hline \text{R2} \\ \hline \text{R3} \\ \hline \end{array} \quad R = \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} = \frac{5 \cdot 6}{5 + 6} = 2,7 \text{ Ом}.$$

3) Использование трех резисторов:

$$\begin{array}{|c|} \hline \text{R1} \\ \hline \end{array} \begin{array}{|c|} \hline \text{R2} \\ \hline \end{array} \begin{array}{|c|} \hline \text{R3} \\ \hline \end{array} \quad R = R_1 + R_2 + R_3 = 3 + 5 + 6 = 14 \text{ Ом};$$

$$\begin{array}{|c|} \hline \text{R1} \\ \hline \text{R2} \\ \hline \end{array} \begin{array}{|c|} \hline \text{R3} \\ \hline \end{array} \quad R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} + R_3 = 1,9 + 6 = 7,9 \text{ Ом};$$

$$\begin{array}{|c|} \hline \text{R1} \\ \hline \text{R3} \\ \hline \end{array} \begin{array}{|c|} \hline \text{R2} \\ \hline \end{array} \quad R = \frac{R_1 R_3}{R_1 + R_3} + R_2 = 2 + 5 = 7 \text{ Ом};$$

$$\begin{array}{|c|} \hline \text{R2} \\ \hline \text{R3} \\ \hline \end{array} \begin{array}{|c|} \hline \text{R1} \\ \hline \end{array} \quad R = \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} + R_1 = 2,7 + 3 = 5,7 \text{ Ом};$$

$$\begin{array}{|c|} \hline \text{R1} \\ \hline \text{R2} \\ \hline \text{R3} \\ \hline \end{array} \quad \frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{R_2 R_3 + R_1 R_3 + R_1 R_2}{R_1 R_2 R_3};$$

$$R = \frac{R_1 R_2 R_3}{R_2 R_3 + R_1 R_3 + R_1 R_2} = \frac{3 \cdot 5 \cdot 6}{3 \cdot 5 + 3 \cdot 6 + 5 \cdot 6} = 1,4 \text{ Ом};$$

$$\begin{array}{|c|} \hline \text{R1} \\ \hline \text{R2} \\ \hline \text{R3} \\ \hline \end{array} \quad R = \frac{(R_1 + R_2) R_3}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{8 \cdot 6}{3 + 5 + 6} = 3,4 \text{ Ом};$$

$$\begin{array}{|c|} \hline \text{R1} \\ \hline \text{R3} \\ \hline \text{R2} \\ \hline \end{array} \quad R = \frac{(R_1 + R_3) R_2}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{9 \cdot 5}{3 + 5 + 6} = 3,2 \text{ Ом};$$

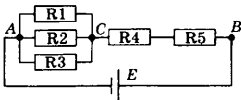
$$\begin{array}{|c|} \hline \text{R2} \\ \hline \text{R3} \\ \hline \text{R1} \\ \hline \end{array} \quad R = \frac{(R_2 + R_3) R_1}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{11 \cdot 3}{3 + 5 + 6} = 2,4 \text{ Ом}.$$

Ответ: 8 Ом; 9 Ом; 11 Ом; 1,9 Ом; 2 Ом; 2,7 Ом; 14 Ом; 7,9 Ом; 7 Ом; 5,7 Ом; 1,4 Ом; 3,4 Ом; 3,2 Ом; 2,4 Ом.

3. Дано:

$$\begin{aligned} R_1 &= 40 \text{ Ом}; \\ R_2 &= 60 \text{ Ом}; \\ R_3 &= 120 \text{ Ом}; \\ R_4 &= 15 \text{ Ом}; \\ R_5 &= 25 \text{ Ом}; \\ E &= 240 \text{ В} \end{aligned}$$

Решение:



$$I_5, U_{AC}, U_4, I_2, I_1 - ?$$

$$R_{AC} = \frac{R_1 R_2 R_3}{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_1 R_3} = \frac{40 \cdot 60 \cdot 120}{40 \cdot 60 + 60 \cdot 120 + 40 \cdot 120} = 20 \text{ Ом};$$

$$R = R_{AC} + R_4 + R_5 = 20 + 15 + 25 = 60 \text{ Ом}; I_{CB} = I_{AC} = \frac{E}{R} = \frac{240}{60} = 4 \text{ А}; I_5 = 4 \text{ А};$$

$$I_4 = 4 \text{ А}; U_{AC} = I_{AC} R_{AC} = 4 \cdot 20 = 80 \text{ В}; U_4 = I_4 R_4 = 4 \cdot 15 = 60 \text{ В};$$

$$I_1 R_1 = I_2 R_2 = I_3 R_3 = U_{AC}; I_1 = \frac{U_{AC}}{R_1} = \frac{80}{40} = 2 \text{ А}; I_2 = \frac{U_{AC}}{R_2} = \frac{80}{60} = \frac{4}{3} \text{ А}.$$

Ответ: $I_5 = 4 \text{ А}; U_{AB} = 80 \text{ В}; U_4 = 60 \text{ В}; I_2 = 1,33 \text{ А}; I_1 = 2 \text{ А}.$

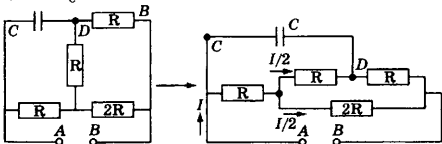
4. Дано:

$$U, R, C$$

$$q - ?$$

Решение:

$$q = CU_C;$$



Если построить схему, эквивалентную данной так, как показано на рисунке, можно определить эквивалентное сопротивление цепи R_l (без конденсатора):

$$R_l = R + \frac{2R \cdot 2R}{2R + 2R} = 2R; \text{ до разветвления по цепи проходит}$$

$$\text{ток } I = \frac{U}{R_l} = \frac{U}{2R}; \text{ а после разветвления по каждой ветви пройдет ток } \frac{I}{2}.$$

$$\text{Напряжение на конденсаторе } U_C = U_{CD} = IR + \frac{I}{2}R = \frac{3IR}{2} = \frac{3}{4}U; q = \frac{3}{4}CU.$$

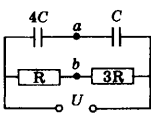
Ответ: $q = \frac{3}{4}CU.$

5. Дано:

$$R, C, U$$

$$U_{ab} - ?$$

Решение:



$$R_0 = R + 3R = 4R; U_b = I \cdot 3R = \frac{U}{R_0} \cdot 3R = 0,75U;$$

$$U_a = U \left(\frac{\frac{1}{C}}{\frac{1}{C} + \frac{1}{4C}} \right) = 0,8U; U_{ab} = U_a - U_b = 0,8U - 0,75U = 0,05U.$$

Ответ: $U_{ab} = 0,05U$.

§13. Измерение силы тока и напряжения

1. Дано:

$$I = 10 \text{ мА} = 0,01 \text{ А};$$

$$R = 9,9 \text{ Ом};$$

$$I_1 = 1 \text{ А}$$

$$r, n - ?$$

Решение:

$$\left. \begin{aligned} nI &= \frac{U}{R} + \frac{U}{r} \\ n &= \frac{I_1}{I} = 100; \\ I &= \frac{U}{R} \end{aligned} \right\} r = \frac{R}{n-1};$$

$$r = \frac{9,9}{99} = 0,1 \text{ Ом.}$$

Ответ: $r = 0,1 \text{ Ом}; n = 100$.

2. Дано:

$$I = 2 \text{ А};$$

$$I_1 = 50 \text{ А};$$

$$r = 0,05 \text{ Ом}$$

$$R - ?$$

Решение:

$$n = \frac{I_1}{I}; R = r(n-1) = r \left(\frac{I_1}{I} - 1 \right);$$

$$R = 0,05 \cdot \left(\frac{50}{2} - 1 \right) = 1,2 \text{ Ом.}$$

Ответ: $R = 1,2 \text{ Ом}$.

3. Дано:

$$r_1 = 10 \text{ Ом};$$

$$I_1 = 2 \text{ А};$$

$$I_2 = 10 \text{ А};$$

$$I_3 = 200 \text{ А}$$

$$R, r_2 - ?$$

Решение:

$$\begin{aligned} n_1 &= \frac{I_2}{I_1}; R = r_1(n_1 - 1) = r_1 \left(\frac{I_2}{I_1} - 1 \right); R = 10 \cdot (5 - 1) = \\ &= 40 \text{ Ом}; n_2 = \frac{I_3}{I_1}; r_2 = \frac{R}{n_2 - 1} = \frac{R}{\frac{I_3}{I_1} - 1}; \end{aligned}$$

$$r_2 = \frac{40}{\frac{200}{2} - 1} = 0,04 \text{ Ом.}$$

Ответ: $R = 40 \text{ Ом}; r_2 = 0,04 \text{ Ом}$.

4. Дано:

$$U_1 = 6 \text{ В};$$

$$R = 2 \text{ кОм};$$

$$U_2 = 240 \text{ В}$$

$$R_D, n - ?$$

Решение:

$$\begin{aligned} n &= \frac{U_2}{U_1} = \frac{240}{6} = 40; R_D = R(n-1); R_D = 2 \text{ кОм} \cdot 39 = \\ &= 78 \text{ кОм.} \end{aligned}$$

Ответ: $R_D = 78 \text{ кОм}; n = 40$.

5. Дано:

$$\begin{aligned} R &= 1 \text{ кОм}; \\ U &= 12 \text{ В}; \\ S &= 0,1 \text{ мм}^2 = 10^{-7} \text{ м}^2; \\ l &= 4500 \text{ м}; \\ \rho &= 2 \cdot 10^{-7} \text{ Ом} \cdot \text{м} \end{aligned}$$

$$U_1 - ?$$

Решение:

$$U_1 = nU; R_D = R(n-1); n = \frac{R_D}{R} + 1; R_D = \rho \frac{l}{S};$$

$$R_D = \frac{2 \cdot 10^{-7} \cdot 4500}{10^{-7}} = 9 \text{ кОм}; n = 9 + 1 = 10;$$

$$U_1 = 10 \cdot 12 = 120 \text{ В}.$$

Ответ: $U_1 = 120 \text{ В}$.

§14. Тепловое действие электрического тока.
Закон Джоуля — Ленца

1. Дано:

$$\begin{aligned} q &= 3 \text{ мкКл} = \\ &= 3 \cdot 10^{-6} \text{ Кл}; \\ U &= 220 \text{ В} \end{aligned}$$

$$A - ?$$

Решение:

$$A = qU; A = 3 \cdot 10^{-6} \cdot 220 = 0,66 \cdot 10^{-3} \text{ Дж} = \\ = 0,66 \text{ мДж}.$$

Ответ: $A = 0,66 \text{ мДж}$.

2. Дано:

$$\begin{aligned} R &= 20 \text{ Ом}; \\ I &= 15 \text{ А} \\ t &= 1 \text{ мин} = 60 \text{ с} \end{aligned}$$

$$Q - ?$$

Решение:

$$Q = I^2 R t; Q = 15^2 \cdot 20 \cdot 60 = 270 \text{ 000 Дж} = \\ = 270 \text{ кДж}.$$

Ответ: $Q = 270 \text{ кДж}$.

3. Дано:

$$\frac{r}{R - ?}$$

Решение:

$$R_{\text{пос}} = 2R; R_{\text{нар}} = \frac{R}{2}; P = I^2 R = \frac{E^2 R}{R+r};$$

$$P_{\text{пос}} = \frac{E^2 \cdot 2R}{(2R+r)^2}; P_{\text{нар}} = \frac{E^2}{\left(\frac{R}{2}+r\right)^2} \cdot \frac{R}{2}; P_{\text{пос}} = P_{\text{нар}};$$

$$\frac{2E^2 R}{(2R+r)^2} = \frac{1}{2} \cdot \frac{E^2 R}{\left(\frac{R}{2}+r\right)^2}; (2R+r)^2 = (R+2r)^2; 2R+r = R+2r; R = r.$$

Ответ: $R = r$.

4. Дано:

$$\begin{aligned} t_1 &= 10 \text{ мин}; \\ t_2 &= 15 \text{ мин} \end{aligned}$$

$$t_{\text{пос}}, t_{\text{нар}} - ?$$

Решение:

$$Q = I^2 R t; Q_1 = I^2 R_1 t_1; Q_2 = I^2 R_2 t_2; Q_1 = Q_2;$$

$$R_1 t_1 = R_2 t_2; R_2 = \frac{R_1 t_1}{t_2}; R_{\text{пос}} = R_1 + R_2;$$

$$R_{\text{нар}} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}; R_{\text{пос}} = R_1 \left(1 + \frac{t_1}{t_2} \right) = \frac{R_1 (t_1 + t_2)}{t_2};$$

$$R_{\text{пар}} = \frac{R_1^2 t_1}{R_1 \left(1 + \frac{t_1}{t_2}\right)} = \frac{R_1 t_1}{t_1 + t_2}; Q_{\text{пос}} = Q_{\text{пар}} = Q_1 = Q_2; Q_{\text{пос}} = I^2 R_{\text{пос}} t_{\text{пос}};$$

$$t_{\text{пос}} = \frac{I^2 R_1 t_1}{I^2 R_{\text{пос}}} = \frac{R_1 t_1 t_2}{R_1 (t_1 + t_2)} = \frac{t_1 t_2}{t_1 + t_2}; t_{\text{пар}} = \frac{I^2 R_1 t_1}{I^2 R_{\text{пар}}} = \frac{R_1 t_1 (t_1 + t_2)}{R_1 t_1} = t_1 + t_2;$$

$$t_{\text{пос}} = \frac{10 \cdot 15}{10 + 15} = 6 \text{ мин}; t_{\text{пар}} = 10 + 15 = 25 \text{ мин.}$$

Ответ: $t_{\text{пос}} = 6$ мин; $t_{\text{пар}} = 25$ мин.

5. Дано:

$$P_1 = 60 \text{ Вт};$$

$$P_2 = 40 \text{ Вт};$$

$$U_H = 110 \text{ В};$$

$$U = 220 \text{ В}$$

$$P'_1, P'_2 \text{ ?}$$

Решение:

$$\text{При } U = U_H: P_1 = \frac{U_H^2}{R_1}; R_1 = \frac{U_H^2}{P_1}; P_2 = \frac{U_H^2}{R_2};$$

$$R_2 = \frac{U_H^2}{P_2}.$$

При последовательном включении ламп в сеть с напряжением U :

$$R = R_1 + R_2 = \frac{U_H^2}{P_1} + \frac{U_H^2}{P_2} = \frac{U_H^2 (P_1 + P_2)}{P_1 P_2};$$

$$P'_1 = \left(\frac{U}{R}\right)^2 R_1 = \frac{U^2 P_1^2 P_2^2 R_1}{U_H^4 (P_1 + P_2)^2} = \frac{U^2 P_1 P_2^2}{U_H^2 (P_1 + P_2)^2};$$

$$P'_2 = \left(\frac{U}{R}\right)^2 R_2 = \frac{U^2 P_1^2 P_2^2 R_2}{U_H^4 (P_1 + P_2)^2} = \frac{U^2 P_2 P_1^2}{U_H^2 (P_1 + P_2)^2}; P'_1 = \left(\frac{220 \cdot 40}{110 \cdot 100}\right)^2 \cdot 60 = 38,4 \text{ Вт};$$

$$P'_2 = \left(\frac{220 \cdot 60}{110 \cdot 100}\right)^2 \cdot 40 = 57,6 \text{ Вт.}$$

Ответ: $P'_1 = 38,4$ Вт; $P'_2 = 57,6$ Вт.

§15. Передача мощности электрического тока от источника к потребителю

1. Дано:

$$P_H = 100 \text{ Вт};$$

$$U_H = 220 \text{ В};$$

$$U = 200 \text{ В}$$

$$P \text{ ?}$$

Решение:

$$P = \frac{U^2}{R}; P_H = \frac{U_H^2}{R}; R = \frac{U_H^2}{P_H}; P = \frac{U^2}{U_H^2} P_H;$$

$$P = \frac{200^2}{220^2} \cdot 100 = 82,6 \text{ Вт.}$$

Ответ: $P = 82,6$ Вт.

2. Дано:

$$\begin{array}{l} N, E, r \\ \hline P_n - ? \end{array}$$

Решение:

$$P_n = \frac{E^2}{r_n}; E_n = EN; r_n = rN; P_n = \frac{NE^2}{r}.$$

$$\text{Ответ: } P_n = \frac{NE^2}{r}.$$

3. Дано:

$$\begin{array}{l} I = 8 \text{ А}; \\ U = 150 \text{ В}; \\ m = 450 \text{ кг}; \\ v = 7 \text{ м/мин} \\ \hline \eta - ? \end{array}$$

Решение:

$$\eta = \frac{P_n}{P_3}; P_n = Fv = mgv; P_3 = UR; \eta = \frac{mgv}{UI};$$

$$\eta = \frac{450 \cdot 10 \cdot 7}{60 \cdot 150 \cdot 8} = 0,44.$$

$$\text{Ответ: } \eta = 0,44.$$

4. Дано:

$$\begin{array}{l} r = 0,2 \text{ Ом}; \\ P = 10 \text{ кВт}; \\ U = 250 \text{ В} \\ \hline \eta - ? \end{array}$$

Решение:

$$\eta = \frac{P_n}{P}; P_n = P - \frac{P^2 r}{U^2}; \eta = 1 - \frac{Pr}{U^2};$$

$$\eta = 1 - \frac{10000 \cdot 0,2}{250^2} = 0,9$$

$$\text{Ответ: } \eta = 0,97.$$

5. Дано:

$$\begin{array}{l} P_{\text{пот}} = 95 \text{ Вт}; \\ E = 12 \text{ В}; \\ It = 150 \text{ А} \cdot r \\ \hline \tau - ? \end{array}$$

Решение:

$$P = P_{\text{пот}} = IE; P\tau = ItE; \tau = \frac{ItE}{P};$$

$$\tau = \frac{150 \cdot 12}{95} = 18,9 \text{ ч.}$$

$$\text{Ответ: } \tau = 18,9 \text{ ч.}$$

§16. Электрический ток в растворах и расплавах электролитов

1. Дано:

$$\begin{array}{l} m = 5,6 \text{ г} = \\ = 0,0056 \text{ кг}; \\ \kappa = 1,12 \cdot 10^{-6} \text{ кг/Кл} \\ \hline q - ? \end{array}$$

Решение:

$$m = \kappa q; q = \frac{m}{\kappa}; q = \frac{5,6 \cdot 10^{-3}}{1,12 \cdot 10^{-6}} = 5 \cdot 10^3 \text{ Кл.}$$

$$\text{Ответ: } q = 5 \cdot 10^3 \text{ Кл.}$$

2. Дано:

$$\begin{array}{l} t = 1 \text{ ч} = 3600 \text{ с}; \\ m = 10 \text{ г} = 10^{-2} \text{ кг}; \\ k = 3,28 \cdot 10^{-7} \text{ кг/Кл} \\ \hline I - ? \end{array}$$

Решение:

$$I = \frac{q}{t}; m = \kappa q; q = \frac{m}{\kappa}; I = \frac{m}{\kappa t};$$

$$I = \frac{10^{-2}}{3,28 \cdot 10^{-7} \cdot 3,6 \cdot 10^3} = 8,5 \text{ А.}$$

$$\text{Ответ: } I = 8,5 \text{ А.}$$

3. Дано:

$$t = 8 \text{ ч} = 2,88 \cdot 10^4 \text{ с};$$

$$I = 10 \text{ А};$$

$$M = 27 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль};$$

$$n = 3$$

$$m = ?$$

Решение:

$$m = \frac{1}{F} \cdot \frac{M}{n} Q; \quad Q = It; \quad m = \frac{1}{F} \cdot \frac{M}{n} It;$$

$$m = \frac{27 \cdot 10^{-3} \cdot 10 \cdot 2,88 \cdot 10^4}{9,65 \cdot 10^4 \cdot 3} = 26,9 \text{ г.}$$

Ответ: $m = 26,9 \text{ г.}$

4. Дано:

$$S = 50 \text{ см}^2 \cdot 12 =$$

$$= 6 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2;$$

$$h = 50 \text{ мкм} =$$

$$= 5 \cdot 10^{-5} \text{ м};$$

$$I = 1,3 \text{ А};$$

$$M = 0,108 \text{ кг/моль};$$

$$n = 1;$$

$$\rho = 10,5 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$$

$$t = ?$$

Решение:

$$Q = It; \quad t = \frac{Q}{I}; \quad m = \frac{1}{F} \cdot \frac{M}{n} Q; \quad Q = \frac{mFn}{M}; \quad m = \rho Sh;$$

$$Q = \frac{\rho ShFn}{M}; \quad t = \frac{\rho ShFn}{MI};$$

$$t = \frac{10,5 \cdot 10^3 \cdot 6 \cdot 10^{-2} \cdot 5 \cdot 10^{-5} \cdot 9,65 \cdot 10^4}{0,108 \cdot 1,3} =$$

$$= 21650 \text{ с} = 6 \text{ ч.}$$

Ответ: $t = 6 \text{ ч.}$

5. Дано:

$$t = 1 \text{ ч} = 3600 \text{ с};$$

$$I = 5 \text{ А};$$

$$V = 1 \text{ л} = 10^{-3} \text{ м}^3;$$

$$P = 10^5 \text{ Па};$$

$$k = 8,29 \cdot 10^{-8} \text{ кг/Кл}$$

$$T = ?$$

Решение:

$$pV = \frac{m}{\mu} RT \text{ — закон Менделеева—Клапейро-}$$

$$\text{на; } T = \frac{PV\mu}{mR}; \quad \frac{m}{\mu} = \frac{Q}{Fn} \text{ — объединенный за-}$$

$$\text{кон Фарадея; } Q = It; \quad \frac{m}{\mu} = \frac{It}{Fn}; \quad T = \frac{PVFn}{ItR};$$

 $n = 2$ — валентность кислорода; $R = 8,3 \text{ Дж/(моль}\cdot\text{К)}$ — молекулярная газовая постоянная;

$$T = \frac{10^5 \cdot 10^{-3} \cdot 9,65 \cdot 10^4 \cdot 2}{5 \cdot 3,6 \cdot 10^3 \cdot 8,3} = 129 \text{ К.}$$

Ответ: $T = 129 \text{ К.}$

ГЛАВА 2. МАГНИТНОЕ ПОЛЕ

§20. Действие магнитного поля на проводник с током

1. Дано:

$$l = 15 \text{ см} = 0,15 \text{ м};$$

$$B = 0,4 \text{ Тл};$$

$$I = 6 \text{ А}$$

$$F_A = ?$$

Решение:

$$F_A = BIl \sin \alpha; \quad I \perp B; \quad \sin \alpha = 1; \quad F_A = BIl;$$

$$F_A = 0,4 \cdot 6 \cdot 0,15 = 0,36 \text{ Н.}$$

Ответ: $F_A = 0,36 \text{ Н.}$

2. Дано:

$$l = 20 \text{ см} = 0,2 \text{ м};$$

$$I = 1 \text{ А};$$

$$B = 0,1 \text{ Тл};$$

$$\alpha = 30^\circ$$

$$F_A = ?$$

Решение:

$$F_A = BIl \sin \alpha; F_A = 0,1 \cdot 1 \cdot 0,2 \cdot 0,5 = 0,01 \text{ Н.}$$

 Ответ: $F_A = 0,01 \text{ Н.}$

3. Дано:

$$l = 10 \text{ см} = 0,1 \text{ м};$$

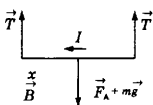
$$m = 10 \text{ г} = 0,01 \text{ кг};$$

$$I = 4,2 \text{ А};$$

$$B = 0,1 \text{ Тл}$$

$$T = ?$$

Решение:



$$F_A + mg = 2T; T = \frac{F_A + mg}{2};$$

$$F_A = BIl \sin 90^\circ = BIl;$$

$$T = \frac{BIl + mg}{2};$$

$$T = \frac{0,1 \cdot 4,2 \cdot 0,1 + 0,01 \cdot 9,8}{2} = 0,07 \text{ Н.}$$

 Ответ: $T = 0,07 \text{ Н.}$

4. Дано:

$$l = 10 \text{ см} = 0,1 \text{ м};$$

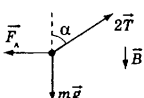
$$m = 10 \text{ г} = 0,01 \text{ кг};$$

$$B = 0,1 \text{ Тл};$$

$$I = 9,8 \text{ А}$$

$$\alpha = ?$$

Решение:



$$\left. \begin{aligned} F_A + mg + 2T &= 0; & F_A &= 2T \sin \alpha \\ mg &= 2T \cos \alpha \end{aligned} \right\}$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{F_A}{mg} = \frac{BIl}{mg}; \operatorname{tg} \alpha = \frac{0,1 \cdot 9,8 \cdot 0,1}{0,01 \cdot 9,8} = 1; \alpha = 45^\circ.$$

 Ответ: $\alpha = 45^\circ.$

5. Дано:

$$B = 0,1 \text{ Тл};$$

$$I = 0,5 \text{ А};$$

$$l_{1-2} = 20 \text{ см};$$

$$l_{2-3} = 15 \text{ см};$$

$$l_{3-4} = 12 \text{ см};$$

$$l_{4-5} = 15 \text{ см}$$

$$F_{1-2}, F_{2-3}, F_{3-4},$$

$$F_{4-5} = ?$$

Решение:

$$F = BIl \sin \alpha;$$

$$\text{уч. } 1-2 \text{ и } 4-5; B \parallel I; \sin \alpha = 0; F_{1-2} = F_{4-5} = 0;$$

$$\text{уч. } 2-3; B \perp I; \sin \alpha = 1; F_{2-3} = 0,1 \cdot 0,5 \cdot 0,15 \cdot 1 =$$

$$= 0,0075 \text{ Н} = 7,5 \text{ мН};$$

$$\text{уч. } 3-4; \alpha = 45^\circ; F_{3-4} = 0,1 \cdot 0,5 \cdot 0,7 \cdot 0,12 =$$

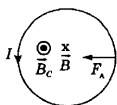
$$= 0,0042 \text{ Н} = 4,2 \text{ мН.}$$

 Ответ: $F_{1-2} = F_{4-5} = 0; F_{2-3} = 7,5 \text{ мН}; F_{3-4} =$

$$= 4,2 \text{ мН.}$$

§21. Рамка с током в однородном магнитном поле

1.



Собственная индукция витка \vec{B}_A действует в направлении, противоположном \vec{B} . По правилу левой руки на каждый элемент витка действует сила F_A , направленная по радиусу к центру витка. В заданной конфигурации момент сил не действует на виток. Состояние устойчивого равновесия — когда \vec{B}_A сонаправлен с \vec{B} .

2. Дано:

$$a = 10 \text{ см} = 0,1 \text{ м};$$

$$B = 0,1 \text{ Тл};$$

$$I = 5 \text{ А}$$

$$M - ?$$

Решение:



По правилу буравчика \vec{B}_A направлен перпендикулярно плоскости рамки. Угол α между \vec{B} и \vec{B}_C составляет 90° .

$$M = ISB \sin \alpha = Ia^2B; \quad M = 5 \cdot 0,01 \cdot 0,1 = 0,005 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Ответ: $M = 5 \text{ мН}\cdot\text{м}.$

3. Дано:

$$a = 4 \text{ см};$$

$$b = 5 \text{ см};$$

$$B = 0,2 \text{ Тл};$$

$$I = 5 \text{ А};$$

$$\alpha = 60^\circ$$

$$F_1, F_2, M - ?$$

Решение:

Силы, действующие на стороны длиной b , равны по величине и противоположны по направлению: $F_1 = B I b \sin 90^\circ = B I b$; аналогично для сил, действующих на стороны длиной a : $F_2 = B I a \sin (90^\circ - 60^\circ) = 0,5 B I a$;

Момент вращения: $M = B I S \sin \alpha = B I a b \sin \alpha$;
 $F_1 = 0,2 \cdot 5 \cdot 0,05 = 0,05 \text{ Н}$; $F_2 = 0,2 \cdot 5 \cdot 0,04 \cdot 0,5 = 0,02 \text{ Н}$; $M = 0,2 \cdot 5 \cdot 4 \cdot 5 \cdot 0,87 \cdot 10^{-4} = 1,73 \cdot 10^{-3} \text{ Н}\cdot\text{м} = 1,73 \text{ мН}\cdot\text{м}.$

Ответ: $F_1 = 0,05 \text{ Н}$; $F_2 = 0,02 \text{ Н}$; $M = 1,73 \text{ мН}\cdot\text{м}.$

4. Дано:

$$a = 5 \text{ см};$$

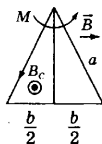
$$b = 6 \text{ см};$$

$$B = 0,2 \text{ Тл};$$

$$M = 0,24 \text{ мН}\cdot\text{м}$$

$$I - ?$$

Решение:



$$\frac{M}{B_C} \perp B; \sin \alpha = 1; M = B I S.$$

$$S = \frac{b}{2} \sqrt{a^2 - \frac{b^2}{4}} = \frac{b}{4} \sqrt{4a^2 - b^2};$$

$$M = B I \cdot \frac{b}{4} \sqrt{4a^2 - b^2};$$

$$I = \frac{4M}{Bb\sqrt{4a^2 - b^2}};$$

$$I = \frac{4 \cdot 0,24 \cdot 10^{-3}}{0,2 \cdot 0,06 \cdot \sqrt{4 \cdot 25 \cdot 10^{-4} - 36 \cdot 10^{-4}}} = 1 \text{ А}.$$

Ответ: $I = 1 \text{ А}.$

5. Дано:

$$M_{\max} = 5 \cdot 10^{-2} \text{ Н}\cdot\text{м};$$

$$S = 10 \text{ см}^2 = 10^{-3} \text{ м}^2;$$

$$I = 2 \text{ А};$$

$$n = 1000$$

$$B - ?$$

Решение:

$$M = B I S n \cdot \sin \alpha; \sin \alpha = 1; M = M_{\max};$$

$$M_{\max} = B I S n; \quad B = \frac{M_{\max}}{I S n};$$

$$B = \frac{5 \cdot 10^{-2}}{2 \cdot 10^{-3} \cdot 10^3} = 2,5 \cdot 10^{-2} \text{ Тл} = 25 \text{ мТл}.$$

Ответ: $B = 25 \text{ мТл}.$

§22. Действие магнитного поля на движущиеся заряженные частицы

1. Дано:

$$\begin{aligned} B &= 0,3 \text{ Тл}; \\ v &= 5 \cdot 10^6 \text{ м/с}; \\ e^- &= 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} \end{aligned}$$

$$F_{\perp} = ?$$

Решение:

$$\begin{aligned} F &= qvB \sin \alpha; \vec{v} \perp \vec{B}; \sin \alpha = 1; F_{\perp} = qvB; \\ F_{\perp} &= 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 5 \cdot 10^6 \cdot 0,3 = 2,4 \cdot 10^{-13} \text{ Н}; \\ F_{\perp} &\text{ направлена по оси } z \text{ (в отрицательном на-} \\ &\text{правлении)}. \end{aligned}$$

$$\text{Ответ: } F_{\perp} = 2,4 \cdot 10^{-13} \text{ Н.}$$

2. Дано:

$$m_p = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$$

$$r, T = ?$$

Решение:

$$\frac{mv^2}{r} = F_{\perp} = qvB; \quad r = \frac{mv}{qB}; \quad T = \frac{2\pi r}{v} = \frac{2\pi m}{qB};$$

$$r = \frac{1,67 \cdot 10^{-27} \cdot 5 \cdot 10^6}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 0,3} = 0,17 \text{ м};$$

$$T = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 1,67 \cdot 10^{-27}}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 0,3} = 0,22 \cdot 10^{-6} \text{ с} = 0,22 \text{ мкс.}$$

$$\text{Ответ: } r = 0,17 \text{ м}; T = 0,22 \text{ мкс.}$$

3. Дано:

$$m = 6,68 \cdot 10^{-27} \text{ кг};$$

$$q = +2e;$$

$$U = 1 \text{ кВ};$$

$$D = 6,4 \text{ см} = 0,064 \text{ м}$$

$$B = ?$$

Решение:

$$\text{Из задачи № 2: } R = \frac{mv}{qB} = \frac{D}{2}; \quad B = \frac{2mv}{qD};$$

$$qU = \frac{mv^2}{2}; \quad v = \sqrt{\frac{2qU}{m}}; \quad B = \frac{2m}{qD} \sqrt{\frac{2qU}{m}} = \frac{2}{D} \sqrt{\frac{2Um}{q}};$$

$$B = \frac{2}{0,064} \sqrt{\frac{2 \cdot 10^3 \cdot 6,68 \cdot 10^{-27}}{3,2 \cdot 10^{-19}}} = 0,2 \text{ Тл.}$$

$$\text{Ответ: } B = 0,2 \text{ Тл.}$$

4. Дано:

$$v = 5 \cdot 10^6 \text{ м/с};$$

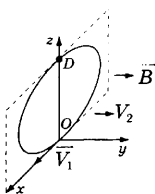
$$D = 8 \text{ см} = 0,08 \text{ м};$$

$$m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг};$$

$$e^- = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$$

$$B = ?$$

Решение:



Исходя из условия задачи, можно понять, что $\vec{B} \parallel O\vec{y}$; $OD = D$.

Из задачи № 2 следует, что

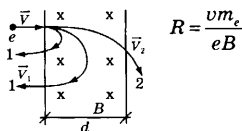
$$\frac{D}{2} = \frac{vm_e}{eB}; \quad B = \frac{2vm_e}{eD};$$

$$B = \frac{2 \cdot 5 \cdot 10^6 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31}}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 0,08} = 0,71 \cdot 10^{-3} \text{ Тл} = 0,71 \text{ мТл.}$$

$$\text{Ответ: } B = 0,71 \text{ мТл.}$$

5. Дано:
 d, B, e, m_e, v

Решение:



$$1) R \leq d; \frac{vm_e}{eB} \leq d; v \leq \frac{deB}{m_e};$$

при такой скорости электрон сделает полови-
 ну оборота и выйдет из поля со скоростью
 $v_1 = -v$.

2) $R > d; v > \frac{deB}{m_e}$; при такой скорости электрон пройдет в поле часть

полуокружности и выйдет из поля со скоростью $v_2 = v$ и направленной по касательной k траектории в точке выхода, далее электрон движется прямолинейно.

§27. Магнитный поток

1. Дано:

$B = 0,1$ Тл;
 $R = 10$ см = $0,1$ м;
 $\alpha_1 = 0$;
 $\alpha_2 = 60^\circ$

$\Phi_1, \Phi_2 = ?$

Решение:

$$\Phi = B\Delta S \cos \alpha = \frac{\pi R^2 B}{4} \cos \alpha; \alpha_1 = 0; \cos \alpha_1 = 1;$$

$$\Phi_1 = \frac{\pi R^2 B}{4}; \Phi_1 = \frac{\pi \cdot 0,01 \cdot 0,1}{4} = 0,785 \text{ мВб};$$

$$\alpha_2 = 60^\circ; \cos \alpha_2 = 0,5; \Phi_2 = \frac{\Phi_1}{2}; \Phi_2 = 0,392 \text{ мВб}.$$

Ответ: $\Phi_1 = 0,785$ мВб; $\Phi_2 = 0,392$ мВб.

2. Дано:

$a = 10$ см = $0,1$ м;
 $v = 3$ см/с = $0,03$ м/с;
 $B = 10^{-2}$ Тл;
 $t = 2$ с

$\Phi = ?$

Решение:

$$\Phi = B\Delta S; \Delta S = avt; \Phi = B avt;$$

$$\Phi = 10^{-2} \cdot 10^{-1} \cdot 3 \cdot 10^{-2} \cdot 2 = 6 \cdot 10^{-5} \text{ Вб}.$$

Ответ: $\Phi = 6 \cdot 10^{-5}$ Вб.

3. Дано:

R ;
 $\alpha_1 = 0$;
 $\alpha_2 = 180^\circ$;
 B .

$\Delta\Phi = ?$

Решение:

$$\Delta\Phi = \Phi_1 - \Phi_2; \Phi = B\Delta S \cos \alpha = \pi R^2 B \cos \alpha;$$

$$\alpha_1 = 0; \Phi_1 = \pi R^2 B; \alpha_2 = 180^\circ; \Phi_2 = -\pi R^2 B;$$

$$\Delta\Phi = 2\pi R^2 B.$$

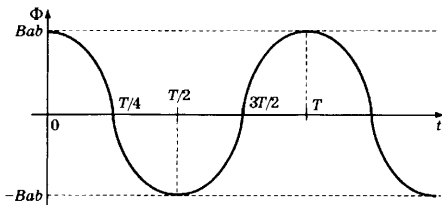
Ответ: $\Delta\Phi = 2\pi R^2 B$.

4. Дано:

$$t, a, b, \omega, B$$

$$\Phi(t) - ?$$

Решение:



$$\Phi = B\Delta S \cos \alpha; \alpha = \omega t; \Delta S = ab;$$

$$\Phi(t) = Bab \cos \omega t;$$

$$T = \frac{2\pi}{\omega}.$$

5. Дано:

$$B, R$$

$$\Phi - ?$$

Решение:

Магнитный поток через поверхность полусферы тот же, что и через диаметрально сечение этой полусферы: $\Phi = BS_D = \pi R^2 B$.

$$\text{Ответ: } \Phi = \pi R^2 B.$$

§ 28. Энергия магнитного поля тока

1. Направление тока в витке должно быть таким, чтобы возникающая в нем сила Ампера совпадала по направлению с внешней силой.

2. Дано:

$$l = 0,5 \text{ м};$$

$$d = 20 \text{ см} = 0,2 \text{ м};$$

$$I = 6 \text{ А};$$

$$A = 60 \text{ мДж}$$

$$B - ?$$

Решение:

$$A = BIl d; B = \frac{A}{Ild}; B = \frac{60 \cdot 10^{-3}}{6 \cdot 0,5 \cdot 0,2} = 0,1 \text{ Тл.}$$

$$\text{Ответ: } B = 0,1 \text{ Тл.}$$

3. Дано:

$$I = 2,5 \text{ А};$$

$$\Phi = 5 \text{ мВб}$$

$$L - ?$$

Решение:

$$\Phi = LI; L = \frac{\Phi}{I}; L = \frac{5 \cdot 10^{-3}}{2,5} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ Гн} = 2 \text{ мГн.}$$

$$\text{Ответ: } L = 2 \text{ мГн.}$$

4. Дано:

$$L = 0,5 \text{ Гн};$$

$$I = 6 \text{ А}$$

$$W - ?$$

Решение:

$$W = \frac{LI^2}{2}; W = \frac{0,5 \cdot 36}{2} = 9 \text{ Дж.}$$

$$\text{Ответ: } W = 9 \text{ Дж.}$$

5. Дано:

$$C = 0,2 \text{ мкФ};$$

$$U_0 = 100 \text{ В};$$

$$L = 1 \text{ мГн};$$

$$U = 50 \text{ В};$$

$$I = 1 \text{ А}$$

$$Q = ?$$

Решение:

$$\frac{CU_0^2}{2} = \frac{LI^2}{2} + \frac{CU^2}{2} + Q \text{ — закон сохранения}$$

энергии;

$$Q = 0,5[C(U_0^2 - U^2) - LI^2];$$

$$Q = 0,5[0,2 \cdot 10^{-6} \cdot (100^2 - 50^2) - 1 \cdot 10^{-3}] =$$
$$= 0,25 \cdot 10^{-3} \text{ Дж} = 0,25 \text{ мДж.}$$

$$\text{Ответ: } Q = 0,25 \text{ мДж.}$$

ГЛАВА 3. ЭЛЕКТРОМАГНИТИЗМ

§31. ЭДС в проводнике, движущемся в магнитном поле

1. Дано:

$$v = 1080 \text{ км/ч} =$$

$$= 300 \text{ м/с};$$

$$l = 30 \text{ м};$$

$$B = 5 \cdot 10^{-5} \text{ Тл}$$

$$U = ?$$

Решение:

$$U = vB_l; U = 300 \cdot 5 \cdot 10^{-5} \cdot 30 = 0,45 \text{ В.}$$

$$\text{Ответ: } U = 0,45 \text{ В.}$$

2. Дано:

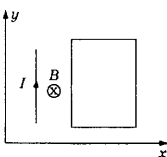
$$1) v_{1x} > 0; v_{1y} = 0;$$

$$2) v_{2x} < 0; v_{2y} = 0;$$

$$3) v_{3x} = 0; v_{3y} \neq 0$$

$$I_1, I_2, I_3 = ?$$

Решение:



Вектор магнитной индукции B прямого проводника с током имеет направление, показанное на рисунке.

1) При движении рамки вправо магнитный поток, пронизывающий рамку, уменьшается. В рамке возникает индукционный ток I_1 , направленный по часовой стрелке (правило буравчика);

2) при движении рамки влево — картина противоположная, ток I_2 направлен против часовой стрелки;

3) при движении рамки вдоль длинного провода, магнитный поток не изменяется, $I_3 = 0$.

3. Дано:

$$l = 0,2 \text{ м};$$

$$S = 0,017 \text{ мм}^2;$$

$$v = 3,2 \text{ м/с};$$

$$R = 0,3 \text{ Ом};$$

$$B = 0,1 \text{ Тл}$$

$$I = ?$$

Решение:

$$I = \frac{U}{R_0}; U = vB_l; R_0 = R + \rho \frac{l}{S};$$

$$R_0 = 0,3 + \frac{1,7 \cdot 10^{-8} \cdot 0,2}{1,7 \cdot 10^{-8}} = 0,5 \text{ Ом};$$

$$U = 3,2 \cdot 0,1 \cdot 0,2 = 0,064 \text{ В}; I = \frac{0,064}{0,5} = 0,13 \text{ А.}$$

$$\text{Ответ: } I = 0,13 \text{ А.}$$

4. Дано:

$$l = 0,2 \text{ м};$$

$$R = 2 \text{ Ом};$$

$$B = 0,2 \text{ Тл};$$

$$v = 5 \text{ м/с}$$

$F = ?$

Решение:

$$F = F_A = IB_{\perp}l; I = \frac{U}{R} = \frac{vB_{\perp}l}{R}; F = \frac{vB_{\perp}^2l^2}{R};$$

$$F = \frac{5 \cdot 0,2^2 \cdot 0,2^2}{2} = 0,004 \text{ Н} = 4 \text{ мН.}$$

Ответ: $F = 4 \text{ мН.}$

5. Дано:

$$l = 0,5 \text{ м};$$

$$v = 5 \text{ м/с};$$

$$E = 1,5 \text{ В};$$

$$r = 0,2 \text{ Ом};$$

$$B = 0,2 \text{ Тл}$$

$I = ?$

Решение:

В контуре возникает ток, направленный против часовой стрелки, поэтому

$$I = \frac{U}{r} = \frac{E - vB_{\perp}l}{r}; I = \frac{1,5 - 5 \cdot 0,2 \cdot 0,5}{0,2} = 5 \text{ А.}$$

Ответ: $I = 5 \text{ А}$

§32. Электромагнитная индукция

1. Дано:

$$a = 4 \text{ см} = 0,04 \text{ м};$$

$$R = 2 \text{ Ом};$$

$$B = 0,1 \text{ Тл};$$

$$v = 5 \text{ м/с}$$

$I = ?$

Решение:

$$I = \frac{E_i}{R}; E_i = vB_{\perp}a; I = \frac{vB_{\perp}a}{R};$$

$$I = \frac{5 \cdot 0,1 \cdot 0,04}{2} = 0,01 \text{ А} = 10 \text{ мА.}$$

По правилу Ленца этот ток направлен против часовой стрелки.

Ответ: $I = 10 \text{ мА.}$

2. Дано:

$$\Delta\Phi = -6 \text{ мВб};$$

$$\Delta t = 0,05 \text{ с}$$

$E_i = ?$

Решение:

$$E_i = -\Phi' = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}; E_i = \frac{6 \cdot 10^{-3}}{5 \cdot 10^{-2}} = 0,12 \text{ В.}$$

Ответ: $E_i = 0,12 \text{ В.}$

3. Дано:

$$S = 10 \text{ см}^2 = 10^{-3} \text{ м}^2;$$

$$\Delta B = 0,2 \text{ Тл};$$

$$\Delta t = 0,001 \text{ с};$$

$$U = 100 \text{ В}$$

$N = ?$

Решение:

$$U = N|E_i|; E_i = -\Phi' = -S\Delta B'; E_i = -\frac{S\Delta B}{\Delta t};$$

$$N = \frac{U}{|E_i|} = \frac{U\Delta t}{S\Delta B}; N = \frac{100 \cdot 10^{-3}}{10^{-3} \cdot 0,2} = 500.$$

Ответ: $N = 500.$

4. Дано:

$$\begin{aligned} a &= 0,1 \text{ м}; \\ R &= 0,2 \text{ Ом}; \\ B &= B_0 + \gamma t^2; \\ B_0 &= 0,02 \text{ Тл}; \\ \gamma &= 5 \cdot 10^{-3} \text{ Тл/с}^2; \\ t &= 2 \text{ с} \end{aligned}$$

$F - ?$

Решение:

$$F_A = BIa; I = \frac{|E_i|}{R}; E_i = -\dot{\Phi}' = -SB' = -2\gamma ta^2;$$

$$I = \frac{2\gamma ta^2}{R}; F_A = \frac{2Ba^3\gamma t}{R} = \frac{2(B_0 + \gamma t^2)a^3\gamma t}{R};$$

$$F_A = \frac{2 \cdot (0,02 + 5 \cdot 10^{-3} \cdot 4) \cdot 10^{-3} \cdot 5 \cdot 10^{-3} \cdot 2}{0,2} = 4 \cdot 10^{-6} \text{ Н} = 4 \text{ мкН}.$$

Ответ: $F_A = 4 \text{ мкН}$, F_A растягивают рамку.

5. Дано:

$$R, S, B, \rho$$

$q - ?$

Решение:

$$q = I\Delta t = \frac{E_i \Delta t}{R_k} = -\frac{\Delta \Phi}{R_k}; R_k = \rho \frac{l}{S} = \frac{2\pi R \rho}{S};$$

при повороте кольца в вертикальное положение $\Delta \Phi_1 = BS = B(0 - \pi R^2) = -B\pi R^2$; при повороте кольца снова в горизонтальное положение такое же изменение магнитного потока, т.к. $\Delta \Phi = 2\Delta \Phi' = -2B\pi R^2$;

$$q = \frac{2B\pi R^2 S}{2\pi R \rho} = \frac{BRS}{\rho}.$$

$$\text{Ответ: } q = \frac{2B\rho R^2 S}{2\pi R \rho} = \frac{BRS}{\rho}.$$

§36. Генерирование переменного электрического тока

1. Дано:

$$\begin{aligned} a &= 5 \text{ см}; \\ b &= 8 \text{ см}; \\ T &= 0,02 \text{ с}; \\ B &= 0,5 \text{ Тл} \end{aligned}$$

$E_{\max}, E(t) - ?$

Решение:

$$E_{\max} = \omega BS; S = ab; \omega = \frac{2\pi}{T}; E_{\max} = \frac{2\pi Bab}{T};$$

$$E(t) = E_{\max} \sin \omega t;$$

$$E_{\max} = \frac{2\pi \cdot 0,5 \cdot 0,05 \cdot 0,08}{0,02} = 0,63 \text{ В}.$$

Ответ: $E_{\max} = 0,63 \text{ В}$.

2. Дано:

$$\begin{aligned} N &= 20; \\ B &= 0,5 \text{ Тл}; \\ E_m &= 7,85 \text{ В}; \\ S &= 25 \text{ см}^2 = \\ &= 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2 \end{aligned}$$

$\nu - ?$

Решение:

$$E_{\max} = \omega BS \text{ — для одного витка};$$

$$E_m = NE_{\max} = N\omega BS \text{ — для } N \text{ витков};$$

$$\omega = \frac{E_m}{NBS}; \omega = \frac{7,85}{20 \cdot 0,5 \cdot 2,5 \cdot 10^{-3}} = 314 \text{ с}^{-1}; \nu = \frac{\omega}{2\pi};$$

$$\nu = \frac{314}{2\pi} = 50 \text{ с}^{-1} = 50 \text{ Гц}.$$

Ответ: $\nu = 50 \text{ Гц}$.

3. Дано:

$$N = 10;$$

$$S = 1200 \text{ см}^2 = 0,12 \text{ м}^2;$$

$$\nu = 50 \text{ Гц};$$

$$B = 0,58 \text{ Тл}$$

$$E_m = ?$$

Решение:

$$E_m = \omega BSN = 2\pi\nu BSN;$$

$$E_m = 2\pi \cdot 50 \cdot 0,58 \cdot 0,12 \cdot 10 \cong 220 \text{ В.}$$

Ответ: $E_m = 220 \text{ В.}$

4. Дано:

$$\alpha = 30^\circ;$$

$$R = 5 \text{ м};$$

$$\nu = 10 \text{ Гц};$$

$$B = 5 \cdot 10^{-4} \text{ Тл}$$

$$U = ?$$

Решение:

$$F_n = e\nu B \sin \alpha; \nu = \omega R = 2\pi\nu R; F_n = 2\pi\nu ReB \sin \alpha;$$

$$A = RF_n/2; A = Ue; Ue = \pi\nu R^2 eB \sin \alpha;$$

$$U = \pi\nu R^2 B \sin \alpha;$$

$$U = \pi \cdot 10 \cdot 25 \cdot 5 \cdot 10^{-4} \cdot 0,5 = 0,2 \text{ В.}$$

Ответ: $U = 0,2 \text{ В.}$

5. Дано:

$$S = 100 \text{ см}^2 = 10^{-2} \text{ м}^2;$$

$$N = 200;$$

$$T = 20 \text{ мс};$$

$$B = 0,2 \text{ Тл};$$

$$R = 100 \text{ Ом}$$

$$I(t), I_{\max} = ?$$

Решение:

$$U = NE_{\max} \sin \omega t = \omega BSN \sin \omega t; I = \frac{U}{R};$$

$$I(t) = \frac{\omega BSN \sin \omega t}{R} = \frac{2\pi BSN \sin \omega t}{TR}$$

$$= \frac{1}{TR} \cdot 2\pi BSN \sin\left(\frac{2\pi}{T}t\right);$$

$$I_{\max} = \frac{2\pi BSN}{TR}; I_{\max} = \frac{2\pi \cdot 0,2 \cdot 10^{-2} \cdot 200}{20 \cdot 10^{-3} \cdot 100} = 1,26 \text{ А.}$$

Ответ: $I_{\max} = 1,26 \text{ А.}$

§38. Векторные диаграммы для описания переменных токов и напряжений

1. Дано:

$$U = 10 \cos\left(\frac{2\pi}{T}\left(t + \frac{T}{6}\right)\right) \text{ В}$$

$$A, \omega, \varphi_0, U\left(\frac{T}{4}\right) = ?$$

Решение:

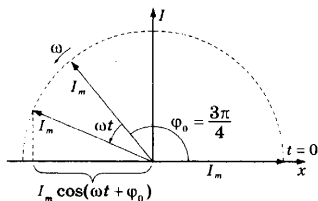
$$A = 10 \text{ В}; \omega = \frac{2\pi}{T}; U = 10 \cos\left(\omega t + \frac{\pi}{3}\right); \varphi_0 = \frac{\pi}{3};$$

$$t = \frac{T}{4}; U = 10 \cos\left(\frac{5\pi}{6}\right) = -10 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = -5\sqrt{3} \text{ В.}$$

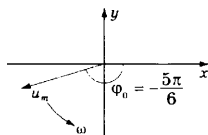
$$\text{Ответ: } A = 10 \text{ В}; \omega = \frac{2\pi}{T}; \varphi_0 = \frac{\pi}{3};$$

$$U\left(\frac{T}{4}\right) = -5\sqrt{3} \text{ В.}$$

$$2. I = 4 \cos\left(10t + \frac{3\pi}{4}\right) \text{ А}; I_m = 4; \omega = 10; \varphi_0 = \frac{3\pi}{4}.$$



3. $U = 6\sin\left(5t - \frac{\pi}{3}\right)$ В; $B = 6\cos\left(5t - \frac{5\pi}{6}\right)$ В; $A = 6$; $\omega = 5$; $\varphi_0 = -\frac{5\pi}{6}$.



4. Дано:

$$U_1 = 10\cos\left(\omega t + \frac{\pi}{4}\right)$$

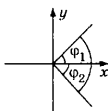
$$U_2 = 10\sin\left(\omega t + \frac{\pi}{4}\right)$$

$\Delta\varphi = ?$

Решение:

$$U_2 = 10\cos\left(\omega t - \frac{\pi}{4}\right); \quad \varphi_1 = \frac{\pi}{4}; \quad \varphi_2 = -\frac{\pi}{4}; \quad \Delta\varphi = \frac{\pi}{2}.$$

Второе колебание отстает по фазе



от первого на $\frac{\pi}{2}$.

5. Дано:

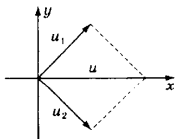
$$U_1 = 10\cos\left(\omega t + \frac{\pi}{4}\right)$$

$$U_2 = 10\sin\left(\omega t + \frac{\pi}{4}\right)$$

$U = U_1 + U_2 = ?$

Решение:

$$\begin{aligned} U_1 + U_2 &= 10\left[\cos\left(\omega t + \frac{\pi}{4}\right) + \cos\left(\omega t - \frac{\pi}{4}\right)\right] = \\ &= 20\cos\omega t \cdot \cos\frac{\pi}{4} = 10\sqrt{2}\cos\omega t. \end{aligned}$$



Ответ: $U = 10\sqrt{2}\cos\omega t$.

§40. Конденсатор в цепи переменного тока

1. Дано:

$$q = \alpha t - \beta t^2;$$

$$\alpha = 10 \text{ Кл/с};$$

$$\beta = 0,25 \text{ Кл/с}^2;$$

$$t = 2 \text{ с}$$

$$I - ?$$

Решение:

$$I = \frac{dq}{dt} = \alpha - 2\beta t; I = 10 - 2 \cdot 0,25 \cdot 2 = 9 \text{ А.}$$

Ответ: $I = 9 \text{ А.}$

2. Дано:

$$C = 0,5 \text{ мкФ} =$$

$$= 0,5 \cdot 10^{-6} \text{ Ф};$$

$$U = 10 \sin(100\pi t) \text{ В}$$

$$I(t) - ?$$

Решение:

$$I = q'; q = CU = 10C \sin(100\pi t);$$

$$I = 1000C \pi \cos(100\pi t);$$

$$I = 10^3 \cdot 0,5 \cdot 10^{-6} \cdot \pi \cdot \cos(100\pi t) \text{ А} =$$

$$= 1,57 \cos(100\pi t) \text{ мА.}$$

Ответ: $I = 1,57 \cos(100\pi t) \text{ мА.}$

3. Дано:

$$U = 10 \sin(100\pi t) \text{ В};$$

$$I = 1,57 \cdot$$

$$\cdot 10^{-3} \cos(100\pi t) \text{ А}$$

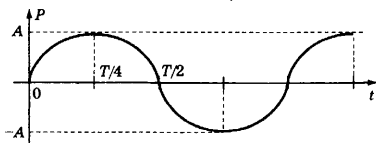
$$P - ?$$

Решение:

$$P = UI = 1,57 \cdot 10^{-2} \sin(100\pi t) \cdot \cos(100\pi t) =$$

$$= 0,78 \cdot 10^{-2} \cdot \sin(200\pi t); A = 0,78 \cdot 10^{-2}; 2\omega =$$

$$= 200\pi; \omega = 100\pi; T = \frac{2\pi}{\omega} = 0,02 \text{ с.}$$



4. Дано:

$$C = 1 \text{ мкФ} = 10^{-6} \text{ Ф};$$

$$x_c = 3,2 \text{ кОм}$$

$$\nu - ?$$

Решение:

$$x_c = \frac{1}{\omega C}; \omega = \frac{1}{Cx_c}; \nu = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{1}{2\pi Cx_c};$$

$$\nu = \frac{1}{2\pi \cdot 10^{-6} \cdot 3,2 \cdot 10^3} = 50 \text{ с}^{-1} = 50 \text{ Гц.}$$

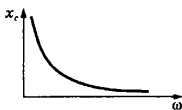
Ответ: $\nu = 50 \text{ Гц.}$

5. Дано:

$$\frac{\omega_2}{\omega_1} = 2,5$$

$$x_c(\omega), \frac{x_{c2}}{x_{c1}} ?$$

Решение:



$$\frac{x_{c2}}{x_{c1}} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = 0,4.$$

§41. Катушка индуктивности в цепи переменного тока

1. Дано:

$$L = 20 \text{ мГн} = 2 \cdot 10^{-2} \text{ Гн};$$

$$\nu = 50 \text{ Гц}$$

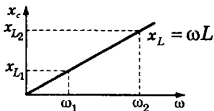
x_L — ?

Решение:

$$x_L = \omega L = 2\pi\nu L; x_L = 2\pi \cdot 50 \cdot 2 \cdot 10^{-2} = 6,28 \text{ Ом.}$$

Ответ: $x_L = 6,28 \text{ Ом.}$

2. x_{L_2}



$$x_L = \omega L; \frac{\omega_2}{\omega_1} = 3 \Rightarrow \frac{x_{L_2}}{x_{L_1}} = 3.$$

3. Дано:

$$L = 10 \text{ мГн} = 10^{-2} \text{ Гн};$$

$$R = 10 \text{ Ом};$$

$$x_L = 10R$$

ν — ?

Решение:

$$x_L = 2\pi\nu L; 2\pi\nu L = 10R; \nu = \frac{10R}{2\pi L};$$

$$\nu = \frac{10 \cdot 10}{2\pi \cdot 10^{-2}} = 1590 \text{ Гц.}$$

Ответ: $\nu = 1590 \text{ Гц.}$

4. Дано:

$$L = 0,35 \text{ Гн};$$

$$U_D = 220 \text{ В};$$

$$\nu = 50 \text{ Гц}$$

I_D — ?

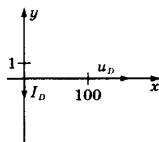
Решение:

$$I_m = \frac{U_m}{x_L}; x_L = 2\pi\nu L;$$

$$I_D = \frac{U_D}{2\pi\nu L};$$

$$I_D = \frac{220}{2\pi \cdot 50 \cdot 0,35} = 2 \text{ А.}$$

Ответ: $I_D = 2 \text{ А.}$



5. Дано:

$$U = 311\cos(100\pi t) \text{ В};$$

$$I_D = 7 \text{ А}$$

L — ?

Решение:

$$L = \frac{x_L}{\omega} = \frac{U_m}{\omega I_m}; I_D = \frac{I_m}{\sqrt{2}}; I_m = I_D \sqrt{2}; L = \frac{U_m}{\omega I_D \sqrt{2}};$$

$$L = \frac{311}{100\pi \cdot 7\sqrt{2}} = 0,1 \text{ Гн.}$$

Ответ: $L = 0,1 \text{ Гн.}$

§42. Свободные гармонические электромагнитные колебания в колебательном контуре

1. Дано:

$$C = 1 \text{ мкФ} = 10^{-6} \text{ Ф};$$

$$U = 225 \text{ В};$$

$$L = 10 \text{ мГн} = 10^{-2} \text{ Гн}$$

I_m — ?

Решение:

$$LI_m^2 = CU^2; I_m = U\sqrt{\frac{C}{L}}; I_m = 225\sqrt{\frac{10^{-6}}{10^{-2}}} = 2,25 \text{ А.}$$

Ответ: $I_m = 2,25 \text{ А.}$

2. Дано:

$$L = 4 \text{ мГн} = 4 \cdot 10^{-3} \text{ Гн};$$

$$S = 10 \text{ см}^2 = 10^{-3} \text{ м}^2;$$

$$d = 1 \text{ мм} = 10^{-3} \text{ м}$$

$T - ?$

Решение:

$$T = 2\pi\sqrt{LC}; \quad C = \frac{\epsilon\epsilon_0 S}{d};$$

$$C = \frac{8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 10^{-3}}{10^{-3}} = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф};$$

$$T = 2\pi\sqrt{4 \cdot 10^{-3} \cdot 8,85 \cdot 10^{-12}} = 1,18 \cdot 10^{-6} \text{ с} = 1,18 \text{ мкс.}$$

Ответ: $T = 1,18 \text{ мкс.}$

3. Дано:

$$L = 1 \text{ мГн} = 10^{-3} \text{ Гн};$$

$$C_1 = 40 \text{ пФ} =$$

$$= 4 \cdot 10^{-11} \text{ Ф};$$

$$C_2 = 90 \text{ пФ} =$$

$$= 9 \cdot 10^{-11} \text{ Ф}$$

$v_1, v_2 - ?$

Решение:

$$v = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}; \quad v_1 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_2}}; \quad v_2 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_1}};$$

$$v_1 = \frac{1}{2\pi\sqrt{9 \cdot 10^{-11} \cdot 10^{-3}}} = 530 \text{ кГц};$$

$$v_2 = \frac{1}{2\pi\sqrt{4 \cdot 10^{-11} \cdot 10^{-3}}} = 800 \text{ кГц.}$$

Ответ: $v_1 = 530 \text{ кГц}; v_2 = 800 \text{ кГц.}$

4. Дано:

$$T_1 = 50 \text{ мкс}$$

$T_2 - ?$

Решение:

$$T_1 = 2\pi\sqrt{LC_{\text{пос}}}; \quad \frac{1}{C_{\text{пос}}} = \frac{1}{C} + \frac{1}{C} = \frac{2}{C}; \quad C_{\text{пос}} = \frac{C}{2};$$

$$T_1 = 2\pi\sqrt{\frac{LC}{2}}; \quad T_2 = 2\pi\sqrt{LC_{\text{пар}}}; \quad C_{\text{пар}} = 2C;$$

$$T_2 = 2\pi\sqrt{2LC} = 2T_1; \quad T_2 = 100 \text{ мкс.}$$

Ответ: $T_2 = 100 \text{ мкс.}$

5. Дано:

$$C = 0,1 \text{ мкФ} = 10^{-7} \text{ Ф};$$

$$U = 200\cos(1000\pi t) \text{ В}$$

$L, I_m - ?$

Решение:

$$L = \frac{1}{\omega^2 C}; \quad I_m = U_m \sqrt{\frac{C}{L}}; \quad U_m = 200; \quad \omega = 10^3;$$

$$L = \frac{1}{10^6 \cdot 10^{-7}} = 10 \text{ Гн}; \quad I_m = 200 \sqrt{\frac{10^{-7}}{10}} = 0,02 \text{ А.}$$

Ответ: $L = 10 \text{ Гн}; I_m = 0,02 \text{ А.}$

§43. Колебательный контур в цепи переменного тока

1. Дано:

$$U_C = 100 \text{ В};$$

$$U_L = 60 \text{ В};$$

$$U_R = 30 \text{ В}$$

$U - ?$

Решение:

$$U = \sqrt{U_R^2 + (U_L - U_C)^2};$$

$$U = \sqrt{30^2 + (60 - 100)^2} = 50 \text{ В.}$$

Ответ: $U = 50 \text{ В.}$

2. Дано:

$$X_C = 2,5 \text{ кОм};$$

$$X_L = 2 \text{ кОм}$$

$$Z - ?$$

Решение:

$$Z = X_C - X_L; Z = 0,5 \text{ кОм.}$$

Ответ: $Z = 0,5 \text{ кОм.}$

3. Дано:

$$R = 5 \text{ Ом};$$

$$L = 5 \text{ Гн};$$

$$\omega = 1 \text{ кГц};$$

$$U = 220 \text{ В}$$

$$C, I - ?$$

Решение:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \omega; C = \frac{1}{\omega^2 L}; I = \frac{U}{Z};$$

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}; \omega C = \frac{1}{\omega L}; \frac{1}{\omega C} = \omega L;$$

$$Z = R; I = \frac{U}{R}; C = \frac{1}{10^6 \cdot 5} = 0,2 \cdot 10^{-6} \text{ Ф} = 0,2 \text{ мкФ};$$

$$I = \frac{220}{5} = 44 \text{ А.}$$

Ответ: $C = 0,2 \text{ мкФ}; I = 44 \text{ А.}$

4. Дано:

$$L = 0,2 \text{ Гн};$$

$$C = 0,1 \text{ мкФ};$$

$$R = 367 \text{ Ом};$$

$$\nu = 1 \text{ кГц}$$

$$X_L, X_C, Z - ?$$

Решение:

$$\omega = 2\pi\nu; X_L = \omega L; X_C = \frac{1}{\omega C}; Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2};$$

$$\omega = 2\pi \cdot 1 = 6,28 \text{ кГц}; X_L = 6,28 \cdot 0,2 = 1,26 \text{ кОм};$$

$$X_C = \frac{1}{6,28 \cdot 10^{-7} \cdot 10^3} = 1,6 \text{ кОм};$$

$$Z = \sqrt{367^2 + (1600 - 1260)^2} = 500 \text{ Ом.}$$

Ответ: $X_L = 1,26 \text{ кОм}; X_C = 1,6 \text{ кОм};$
 $Z = 0,5 \text{ кОм.}$

5. Дано:

$$\nu = 100 \text{ Гц};$$

$$L = 0,5 \text{ Гн};$$

$$C = 4 \text{ мкФ};$$

$$R = 54 \text{ Ом};$$

$$I = 0,5 \text{ А}$$

$$Z, U_m - ?$$

Решение:

$$\omega = 2\pi\nu; Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}; U_m = I_m Z;$$

$$I_m = I\sqrt{2}; \omega = 2\pi \cdot 100 = 628 \text{ Гц};$$

$$Z = \sqrt{54^2 + \left(314 - \frac{1}{628 \cdot 4 \cdot 10^{-6}}\right)^2} = 100 \text{ Ом};$$

$$U_m = 0,5 \cdot 1,4 \cdot 100 \cong 70 \text{ В.}$$

Ответ: $Z = 100 \text{ Ом}; U_m \cong 70 \text{ В.}$

ГЛАВА 4. ИЗЛУЧЕНИЕ И ПРИЕМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН РАДИО- И СВЧ-ДИАПАЗОНА

§48. Распространение электромагнитных волн

1. Дано:

$$\begin{aligned}v &= 100 \text{ МГц;} \\c &= 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}\end{aligned}$$

$$\lambda - ?$$

Решение:

$$\lambda = \frac{c}{\nu}; \lambda = \frac{3 \cdot 10^8}{10^8} = 3 \text{ м.}$$

Ответ: $\lambda = 3 \text{ м.}$

2. Дано:

$$\begin{aligned}\lambda &= 300 \text{ м;} \\L &= 100 \text{ мкГн} = \\&= 10^{-4} \text{ Гн}\end{aligned}$$

$$C - ?$$

Решение:

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}; C = \frac{1}{\omega^2 L}; \omega = \frac{2\pi c}{\lambda}; C = \frac{\lambda^2}{4\pi^2 c^2 L};$$

$$C = \frac{9 \cdot 10^4}{4\pi^2 \cdot 9 \cdot 10^{16} \cdot 10^{-4}} = 2,5 \cdot 10^{-10} \text{ Ф.}$$

Ответ: $C = 2,5 \cdot 10^{-10} \text{ Ф.}$

3. Дано:

$$\begin{aligned}L &= 1 \text{ мкГн} = 10^{-6} \text{ Гн;} \\C_1 &= 10^{-8} \text{ Ф;} \\C_2 &= 4 \cdot 10^{-8} \text{ Ф}\end{aligned}$$

$$\lambda_1, \lambda_2 - ?$$

Решение:

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \frac{2\pi c}{\lambda}; \lambda = 2\pi c \sqrt{LC}; \lambda_1 = 2\pi c \sqrt{LC_1};$$

$$\lambda_2 = 2\pi c \sqrt{LC_2};$$

$$\lambda_1 = 2\pi \cdot 3 \cdot 10^8 \sqrt{10^{-6} \cdot 10^{-8}} = 188,5 \text{ м;}$$

$$\lambda_2 = 2\lambda_1 = 377 \text{ м.}$$

Ответ: $\lambda_1 = 188,5 \text{ м; } \lambda_2 = 377 \text{ м}$

4. Дано:

$$\begin{aligned}E_0 &= 1 \text{ кВ/см} = \\&= 10^5 \text{ В/м;} \\v &= 600 \text{ ТГц} = \\&= 6 \cdot 10^{14} \text{ Гц}\end{aligned}$$

$$E - ?$$

Решение:

$$E = E_0 \sin \left(\omega \left(t - \frac{x}{c} \right) \right); \omega = 2\pi\nu; \omega = 2\pi \cdot 6 \cdot 10^{14} =$$

$$= 3,77 \cdot 10^{15} \text{ Гц;}$$

$$E = 10^5 \sin(3,77 \cdot 10^{15} t - 1,26 \cdot 10^7 x) \text{ В.}$$

Ответ: $E = 10^5 \sin(3,77 \cdot 10^{15} t - 1,26 \cdot 10^7 x) \text{ В/м.}$

5. Дано:

$$E = 100 \sin \pi (6 \cdot 10^{14} t +$$

$$+ 2 \cdot 10^6 x) \text{ В}$$

$$E_0, \nu, T, \lambda, v - ?$$

Решение:

$$E_0 = 100 \text{ В/м; } \omega = 6\pi \cdot 10^{14}; \nu = \frac{\omega}{2\pi} = 3 \cdot 10^{14} \text{ Гц;}$$

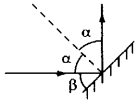
$$T = \frac{1}{\nu} = 3,3 \cdot 10^{-15} \text{ с; } v = c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с;}$$

направление \vec{v} противоположно направлению оси X ; $\lambda = vT = 3 \cdot 10^8 \cdot 3,3 \cdot 10^{-15} =$
 $= 10^{-6} \text{ м} = 1 \text{ мкм.}$

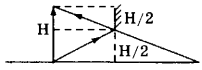
Ответ: $E_0 = 100 \text{ В/м; } \nu = 3 \cdot 10^{14} \text{ Гц; } T = 3,3 \cdot 10^{-15} \text{ с;}$
 $\lambda = 1 \text{ мкм; } v = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с.}$

ГЛАВА 5. ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИКА

§55. Отражение волн

1.  $2\alpha = 90^\circ; \alpha = 45^\circ; \beta = 90^\circ - \alpha = 45^\circ$. Зеркало необходимо расположить под углом 45° к горизонту.

2. Если зеркало повернулось на $\angle\beta$, его нормаль также повернулась на $\angle\beta$, угол падения луча на повернутое зеркало $\alpha + \beta$, угол отражения $\alpha + \beta$, отраженный луч повернулся на $\angle 2\beta$.

3.  Из построения видно, что зеркало должно висеть на стене на высоте $\frac{H}{2}$ и его минимальная высота $\frac{H}{2}$.

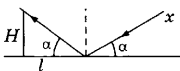
4. Дано:

$$H = 1,8 \text{ м};$$

$$\alpha = 30^\circ$$

$$l - ?$$

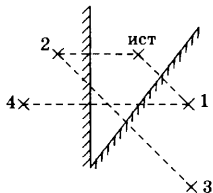
Решение:



$$l = H \operatorname{ctg} \alpha; l = 1,8\sqrt{3} = 3,1 \text{ м.}$$

Ответ: $l = 3,1 \text{ м.}$

- 5.



§56. Преломление волн

1. Дано:

$$n = 2,42$$

$$v - ?$$

Решение:

$$v = \frac{c}{n}; v = \frac{3 \cdot 10^8}{2,42} = 1,2 \cdot 10^8 \text{ м/с.}$$

Ответ: $v = 1,2 \cdot 10^8 \text{ м/с.}$

2. Дано:

$$\lambda = 540 \text{ нм}$$

$$\lambda_1 - ?$$

Решение:

$$\lambda_1 = \frac{v}{\nu} = \frac{c}{n\nu} = \frac{\lambda}{n}; \lambda_1 = \frac{540}{1,33} = 406 \text{ нм.}$$

Ответ: $\lambda_1 = 406 \text{ нм.}$

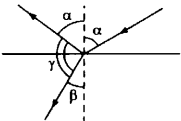
3. Дано:

$$\alpha = 60^\circ;$$

$$n = 1,33$$

$$\gamma = ?$$

Решение:



$$\beta = \arcsin \frac{\sin \alpha}{n} \cong 40^\circ;$$

$$\gamma = 180^\circ - \alpha - \beta \cong 80^\circ.$$

Ответ: $\gamma = 80^\circ$.

4. Дано:

$$n_1 = 1,33;$$

$$n_2 = 1,52;$$

$$\gamma = 90^\circ$$

$$\alpha = ?$$

Решение:

$$\gamma = 180^\circ - \alpha - \beta = 90^\circ; \alpha + \beta = 90^\circ; \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1};$$

$$\frac{\sin \alpha}{\sin(90^\circ - \alpha)} = \frac{n_2}{n_1}; \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = 1,14; \operatorname{tg} \alpha = 1,14;$$

$$\alpha = \operatorname{arctg} 1,14 = 48,4^\circ.$$

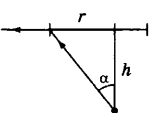
Ответ: $\alpha = 48,4^\circ$.

5. Дано:

$$h = 0,4 \text{ м}$$

$$r = ?$$

Решение:



Аист не увидит лягушку, если радиус листа такой, что при падении света на край листа свет испытывает полное внутреннее отражение:

$$\sin \alpha = \frac{1}{n}; r = h \operatorname{tg} \alpha = h \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = \frac{h}{\sqrt{n^2 - 1}};$$

$$r = \frac{0,4}{\sqrt{1,33^2 - 1}} = 0,46 \text{ м}.$$

Ответ: $r = 0,46 \text{ м}$.

§58. Построение изображений и хода лучей при преломлении света

1. Дано:

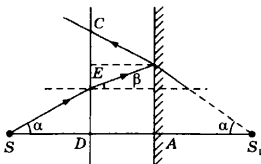
$$n = 1,5;$$

$$d = 1 \text{ см};$$

$$a = 50 \text{ см}$$

$$b = ?$$

Решение:



S — предмет; S_1 — его изображение; $SD = a$; $DA = d$; $DS_1 = b$; т.к. предмет находится на большом расстоянии от зеркала,

углы α и β — малые; $\operatorname{tg} \alpha \approx \sin \alpha$; $\operatorname{tg} \beta \approx \sin \beta$;

$$DS_1 = \frac{DC}{\operatorname{tg} \alpha} = \frac{DC}{\sin \alpha}; DC = DE + EC; DE = DS \cdot \operatorname{tg} \alpha = a \sin \alpha;$$

$$EC = 2d \operatorname{tg} \beta = 2d \sin \beta; \sin \beta = \frac{\sin \alpha}{n}; DC = a \sin \alpha + \frac{2d \sin \alpha}{n};$$

$$DS_1 = a + \frac{2d}{n}; \quad b = a + \frac{2d}{n}; \quad b = 50 + \frac{2}{1,5} = 51,3 \text{ см.}$$

Ответ: $b = 51,3$ см.

2. Дано:

$$n_1 = 1,33;$$

$$h_1 = 4 \text{ см};$$

$$n_2 = 1,5;$$

$$h_2 = 6 \text{ см}$$

$$H - ?$$

Решение:

Аналогично рис. 183: $H = \frac{h_1}{n_1} + \frac{h_2}{n_2};$

$$H = \frac{4}{1,33} + \frac{6}{1,5} = 7 \text{ см.}$$

Ответ: $H = 7$ см.

3. Дано:

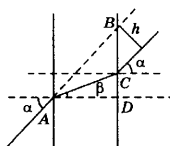
$$d = 10 \text{ см};$$

$$n = 1,5;$$

$$\alpha = 60^\circ$$

$$h - ?$$

Решение:



$$h = BC \cdot \cos \alpha;$$

$$BC = BD - CD;$$

$$BD = d \operatorname{tg} \alpha;$$

$$CD = d \operatorname{tg} \beta;$$

$$\sin \beta = \frac{\sin \alpha}{n}; \quad \cos \beta = \sqrt{1 - \frac{\sin^2 \alpha}{n^2}} = \frac{\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}}{n}; \quad CD = \frac{d \sin \alpha}{\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}};$$

$$h = d \left(\sin \alpha - \frac{\sin \alpha \cdot \cos \alpha}{\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}} \right) = d \sin \alpha \left(1 - \frac{\cos \alpha}{\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}} \right);$$

$$h = 0,866 \cdot 10 \cdot \left(1 - \frac{0,5}{\sqrt{1,5^2 - 0,866^2}} \right) = 5,1 \text{ см.}$$

Ответ: $h = 5,1$ см

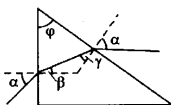
4. Дано:

$$\varphi = 60^\circ;$$

$$n = 1,5$$

$$\alpha - ?$$

Решение:



$$\beta + \gamma = 60^\circ; \quad \beta = \gamma = 30^\circ;$$

$$\sin \alpha = n \sin \beta;$$

$$\sin \alpha = 0,75; \quad \alpha = 48,6^\circ.$$

Ответ: $\alpha = 48,6^\circ$.

§60. Собирающие линзы

1. Дано:

$$R = 11,6 \text{ см};$$

$$n = 1,58$$

$$F, D - ?$$

Решение:

$$\frac{1}{F} = (n-1) \frac{1}{R}; \quad F = \frac{R}{n-1}; \quad D = \frac{1}{F};$$

$$F = \frac{11,6}{1,58-1} = 20 \text{ см}; \quad D = \frac{1}{0,2} = 5 \text{ дптр.}$$

Ответ: $F = 20$ см; $D = 5$ дптр.

2. Дано:

$$\begin{aligned} n &= 1,5; \\ d &= 4 \text{ см}; \\ H &= 2 \text{ мм} \end{aligned}$$

$$D - ?$$

Решение:

$$R^2 = (R - H)^2 + \left(\frac{d}{2}\right)^2 = (R - H)^2 + \frac{d^2}{4};$$

$$R = \frac{H^2 + \frac{d^2}{4}}{2H}; \quad D = \frac{n-1}{R}; \quad R = \frac{0,04 + 4}{0,4} = 10,1 \text{ см};$$

$$D = \frac{1,5 - 1}{0,101} = 4,95 \text{ дптр.}$$

 Ответ: $D = 4,95$ дптр.

3. Дано:

$$\begin{aligned} R &= 12 \text{ см}; \\ F &= 24 \text{ см} \end{aligned}$$

$$n - ?$$

Решение:

$$\frac{1}{F} = (n-1) \frac{1}{R}; \quad n-1 = \frac{R}{F}; \quad n = \frac{R}{F} + 1;$$

$$n = \frac{12}{24} + 1 = 1,5.$$

 Ответ: $n = 1,5$.

4. Дано:

$$\begin{aligned} n_1 &= 1,5; \\ n_2 &= 1,33; \\ R_1 = R_2 &= 0,2 \text{ м} \end{aligned}$$

$$D_1, D_2 - ?$$

Решение:

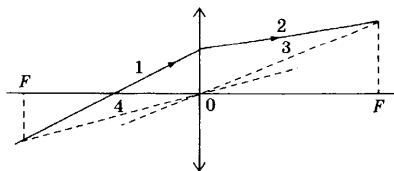
$$D_1 = \frac{1}{F_1} = (n_1 - 1) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right);$$

$$D_2 = \left(\frac{n_2}{n_2} - 1 \right) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right); \quad D_1 = 0,5 \cdot \frac{2}{0,2} = 5 \text{ дптр};$$

$$D_2 = 0,128 \cdot 10 = 1,28 \text{ дптр.}$$

 Ответ: $D_1 = 5$ дптр; $D_2 = 1,28$ дптр.

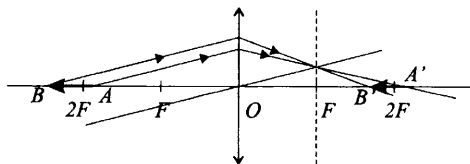
5.



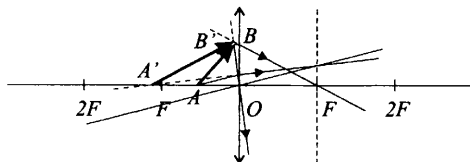
Луч 3 параллелен лучу 1 и проходит через центр линзы. Его пересечение с лучом 2 определяет положение фокуса справа. Аналогично луч 4 параллелен лучу 2, проходит через центр линзы. Его пересечение с лучом 1 определяет положение фокуса слева.

§61. Изображение предмета в собирающей линзе

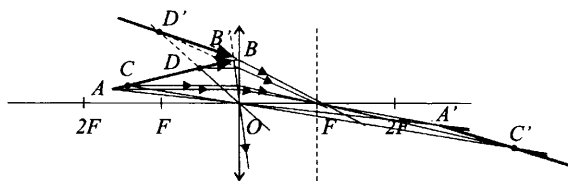
1.



2.

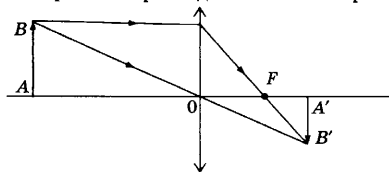


3.

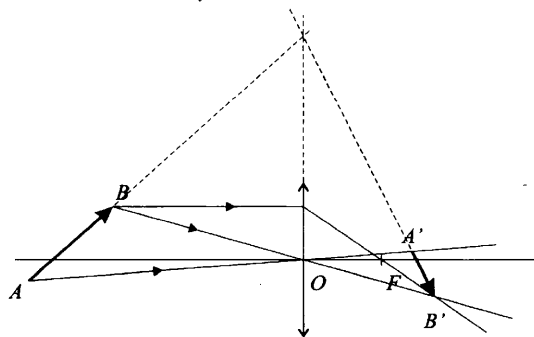


Изображение распадается на 2 изображения: мнимое и действительное.

4.



5.



§62. Формула тонкой собирающей линзы

1. Дано:

$$\begin{array}{l} d = 1 \text{ м;} \\ f = 0,25 \text{ м} \\ \hline F - ? \end{array}$$

Решение:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{f+d}{fd}; \quad F = \frac{fd}{f+d}; \quad F = \frac{0,25}{1+0,25} = 0,2 \text{ м.}$$

 Ответ: $F = 0,2 \text{ м.}$

2. Дано:

$$\begin{array}{l} d = 15 \text{ см} = 0,15 \text{ м;} \\ D = 10 \text{ дптр} \\ \hline f - ? \end{array}$$

Решение:

$$F = \frac{1}{D} = 0,1 \text{ м}; \quad f = \frac{Fd}{d-F}; \quad f = \frac{0,1 \cdot 0,15}{0,15 - 0,1} = 0,3 \text{ м.}$$

 Ответ: $f = 0,3 \text{ м.}$

3. Дано:

$$\begin{array}{l} f = 10 \text{ м;} \\ \Gamma = 100 \\ \hline D - ? \end{array}$$

Решение:

$$D = \frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}; \quad f > 0; \quad d > 0; \quad \frac{1}{d} = \frac{\Gamma}{f};$$

$$D = \frac{\Gamma}{f} + \frac{1}{f} = \frac{1}{f}(\Gamma + 1); \quad D = \frac{1}{10}(100 + 1) = 10,1 \text{ дптр.}$$

 Ответ: $D = 10,1 \text{ дптр.}$

4. Дано:

$$\begin{array}{l} d > F \\ \hline \min(d + f) - ? \end{array}$$

Решение:

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F}; \quad \frac{1}{f} = \frac{1}{F} - \frac{1}{d} = \frac{d-F}{dF}; \quad f = \frac{dF}{d-F};$$

$$f + d = d + \frac{dF}{d-F} = \frac{d^2}{d-F}; \quad (f+d)' = \frac{2d(d-F) - d^2}{(d-F)^2};$$

$$(f+d)' = 0; \quad d^2 - 2dF = 0; \quad d = 2F;$$

$$f + d = \frac{4F^2}{2F - F} = 4F.$$

 Ответ: $\min(d + f) = 4F.$

5. Дано:

$$\begin{array}{l} l = 40 \text{ см;} \\ F = 10 \text{ см;} \\ d_1 = f_2; \\ f_1 = d_2 \\ \hline d_1 - ? \end{array}$$

Решение:

$$d_1 + d_2 = l; \quad d_2 = l - d_1; \quad \frac{1}{d_1} + \frac{1}{f_1} = \frac{1}{F}; \quad f_1 = d_2 = l - d_1;$$

$$\frac{1}{d_1} + \frac{1}{l - d_1} = \frac{1}{F}; \quad \frac{l}{d_1(l - d_1)} = \frac{1}{F}; \quad F = \frac{d_1(l - d_1)}{l};$$

$$d_1^2 - d_1 l + Fl = 0; \quad \text{т. к. } F = \frac{l}{4}, \text{ то } d_1^2 - d_1 l + \frac{l^2}{4} =$$

$$= \left(d_1 - \frac{l}{2}\right)^2 = 0; \quad d_1 = \frac{l}{2}; \quad d_1 = 20 \text{ см.}$$

 Ответ: $d_1 = 20 \text{ см.}$

§63. Рассеивающие линзы

1. Дано:

$$R = 20 \text{ см} = 0,2 \text{ м};$$

$$n = 1,5$$

$$F, D - ?$$

Решение:

$$\frac{1}{F} = (n-1) \left(-\frac{1}{|R|} \right); \quad D = \frac{1}{F};$$

$$\frac{1}{F} = (1,5-1) \cdot \frac{-1}{0,2} = -2,5 \text{ дптр} = D; \quad F = -0,4 \text{ м}.$$

Ответ: $F = -0,4 \text{ м}; D = -2,5 \text{ дптр}.$

2. Дано:

$$d = 4 \text{ см};$$

$$H = 4 \text{ мм};$$

$$h = 2 \text{ мм}$$

$$D - ?$$

Решение:

$$\Delta H = H - h; \quad R^2 = \frac{d^2}{4} + (R - \Delta H)^2; \quad R = \frac{d^2}{8\Delta H} + \frac{\Delta H}{2};$$

$$D = \frac{1-n}{R}; \quad R = \frac{0,04^2}{8 \cdot 0,002} + \frac{0,002}{2} = 0,101 \text{ м};$$

$$D = \frac{1-1,5}{0,101} = -4,95 \text{ дптр}.$$

Ответ: $D = -4,95 \text{ дптр}.$

3. Дано:

$$R = 10 \text{ см};$$

$$F = -20 \text{ см}$$

$$n - ?$$

Решение:

$$\frac{1}{F} = \frac{1-n}{R}; \quad n = 1 - \frac{R}{F}; \quad n = 1 + \frac{10}{20} = 1,5.$$

Ответ: $n = 1,5.$

4. Дано:

$$n_1 = 1,5;$$

$$n_2 = 1,62;$$

$$R_1 = 20 \text{ см};$$

$$R_2 = -10 \text{ см}$$

$$D_1, D_2 - ?$$

Решение:

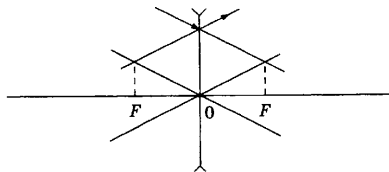
$$D_1 = (n_1 - 1) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right); \quad D_2 = \left(\frac{n_2}{n_1} - 1 \right) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right);$$

$$D_1 = (1,5 - 1)(5 - 10) = -2,5 \text{ дптр};$$

$$D_2 = \left(\frac{1,5}{1,62} - 1 \right) (5 - 10) = 0,37 \text{ дптр}.$$

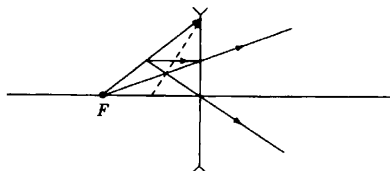
Ответ: $D_1 = -2,5 \text{ дптр}; D_2 = 0,37 \text{ дптр}.$

5.

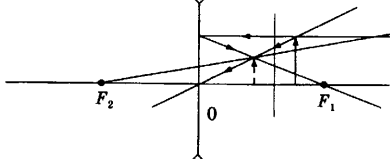


§64. Изображение предмета в рассеивающей линзе

1.



2.



3. Дано:

$$|F| = 10 \text{ см};$$

$$|d| = 10 \text{ см}$$

$$f - ?$$

Решение:

$$\frac{1}{|f|} = \frac{1}{d} + \frac{1}{|F|}; \quad \frac{1}{|f|} = \frac{1}{10} + \frac{1}{10} = 0,2; \quad |f| = 5 \text{ см}; \quad f = -5 \text{ см}.$$

 Ответ: $f = -5 \text{ см}.$

4. Дано:

$$F = 20 \text{ см};$$

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

$$d - ?$$

Решение:

$$\Gamma = \frac{|F|}{d + |F|}; \quad d = \frac{|F|(1 - \Gamma)}{\Gamma}; \quad d = \frac{20 \cdot \frac{2}{3}}{\frac{1}{3}} = 40 \text{ см}.$$

 Ответ: $d = 40 \text{ см}.$

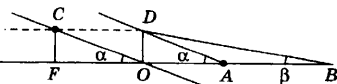
5. Дано:

$$a = 4 \text{ см};$$

$$b = 6 \text{ см}$$

$$F - ?$$

Решение:



$$OA = a; \quad OB = b; \quad CF = H; \quad OD = h; \quad OF = F;$$

$$H = (F + b) \operatorname{tg} \beta; \quad h = a \operatorname{tg} \alpha; \quad h = b \operatorname{tg} \beta; \quad H = F \operatorname{tg} \alpha;$$

$$\frac{H}{h} = \frac{F + b}{b} \quad (\text{из подобия } \triangle CBO \text{ и } \triangle DBO);$$

$$\frac{H}{h} = \frac{F}{a} \quad (\text{из подобия } \triangle CFO \text{ и } \triangle DOA);$$

$$\frac{F + b}{b} = \frac{F}{a}; \quad F = \frac{ab}{b - a}; \quad F = \frac{4 \cdot 6}{6 - 4} = 12 \text{ см}.$$

 Ответ: $F = 12 \text{ см}.$

§65. Фокусное расстояние и оптическая сила системы из двух линз

1. Линзы следует расположить на расстоянии $2F$ друг от друга.

2. Дано:

$$\begin{aligned} F_1 &= 20 \text{ см;} \\ F_2 &= 15 \text{ см;} \\ l &= 30 \text{ см} \end{aligned}$$

$$F - ?$$

Решение:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{F_1 - l} + \frac{1}{F_2} = \frac{F_2 + F_1 - l}{F_2(F_1 - l)}; \quad F = \frac{F_2(F_1 - l)}{F_2 + F_1 - l};$$

$$F = \frac{15 \cdot (20 - 30)}{15 + 20 - 30} = -\frac{150}{5} = -30 \text{ см.}$$

Ответ: $F = -30$ см.

3. Дано:

$$\begin{aligned} D_1 = D_2 &= 2 \text{ дптр;} \\ D &= 12 \text{ дптр} \end{aligned}$$

$$l - ?$$

Решение:

$$D = \frac{1}{F} = \frac{1}{F_1 - l} + \frac{1}{F_2}; \quad F_2 = F_1, \text{ т.к. } D_2 = D_1;$$

$$D = \frac{1}{F_1 - l} + \frac{1}{F_1} = \frac{2F_1 - l}{F_1(F_1 - l)}; \quad F_1 = 0,5 \text{ м;}$$

$$D = \frac{1 - l}{0,5(0,5 - l)} = \frac{1 - l}{0,25 - 0,5l}; \quad 1 - l = 0,25D - 0,5Dl;$$

$$l = \frac{1 - 0,25D}{1 - 0,5D}; \quad l = \frac{1 - 3}{1 - 6} = 0,4 \text{ м.}$$

Ответ: $l = 0,4$ м.

4. Дано:

$$\begin{aligned} D_1 &= 5 \text{ дптр;} \\ D_2 &= 6 \text{ дптр;} \\ l &= 60 \text{ см;} \end{aligned}$$

$$d_1 = 40 \text{ см}$$

$$f_2, \Gamma - ?$$

Решение:

$$\frac{1}{F_1} = \frac{1}{d_1} + \frac{1}{f_1} = D_1; \quad f_1 = \frac{d_1}{d_1 D_1 - 1};$$

$$f_1 = \frac{0,4}{0,4 \cdot 5 - 1} = 0,4 \text{ м; } \Gamma_1 = \frac{f_1}{d_1} = 1; \quad d_2 = l - f_1 =$$

$$= 0,6 - 0,4 = 0,2 \text{ м; } \frac{1}{f_2} = D_2 - \frac{1}{d_2}; \quad f_2 = \frac{d_2}{d_2 D_2 - 1};$$

$$f_2 = \frac{0,2}{0,2 \cdot 6 - 1} = 1 \text{ м; } \Gamma = \Gamma_2 = \frac{f_2}{d_2}; \quad \Gamma = 5.$$

Ответ: $\Gamma = 5; f = 1$ м.

§66. Человеческий глаз как оптическая система

1. Дано:

$$d = 100 \text{ м}$$

$$h - ?$$

Решение:

$$\frac{H_{\min}}{f} = \frac{h}{d}; \quad h = \frac{H_{\min} d}{f};$$

$$h = \frac{5 \cdot 10^{-6} \cdot 10^2}{17,1 \cdot 10^{-3}} = 2,9 \cdot 10^{-2} \text{ м} = 2,9 \text{ см.}$$

Ответ: $h = 2,9$ см.

2. Дано:

$$F_1 = 25 \text{ см};$$

$$F_2 = \infty$$

$$D_2 - D_1 = ?$$

Решение:

$$D_1 = \frac{1}{F_1}; \quad D_2 = \frac{1}{F_2}; \quad D_1 = \frac{1}{0,25 \text{ м}} = 4 \text{ дптр}; \quad D_2 = 0;$$

$$D_2 - D_1 = -4 \text{ дптр.}$$

Ответ: $D_2 - D_1 = -4$ дптр.

3. Дано:

$$d = 20 \text{ см};$$

$$d_H = 25 \text{ см}$$

$$\Delta D = ?$$

Решение:

Оптическая сила глаза без очков:

$$D = \frac{1}{d} + 58,5 \text{ дптр} = \frac{1}{0,2} + 58,5 = 63,5 \text{ дптр};$$

оптическая сила глаза в очках:

$$D_H = \frac{1}{d_H} + 58,5 \text{ дптр} = \frac{1}{0,25} + 58,5 = 62,5 \text{ дптр};$$

$$\Delta D = D_H - D = -1 \text{ дптр.}$$

Ответ: школьнику нужны очки для чтения с оптической силой -1 дптр.

4. Дано:

$$d = 2 \text{ м}$$

$$\Delta D = ?$$

Решение:

Из таблицы 10 находим D_{\max} при $d = 2 \text{ м}$; $D_{\max} = 59 \text{ дптр}$; на расстоянии наилучшего зрения $D = 62,5 \text{ дптр}$; $\Delta D = D - D_{\max} = 3,5 \text{ дптр}$.

Ответ: человеку следует носить очки с оптической силой $3,5$ дптр.

5. Дано:

$$D = -2,25 \text{ дптр};$$

$$d = 0,25 \text{ м}$$

$$d_H = ?$$

Решение:

$$D = \frac{1}{d} - \frac{1}{d_H}; \quad \frac{1}{d_H} = \frac{1}{d} - D;$$

$$\frac{1}{d_H} = \frac{1}{0,25} + 2,25 = 6,25 \text{ дптр};$$

$$d_H = \frac{1}{6,25} = 0,16 \text{ м} = 16 \text{ см.}$$

Ответ: $d_H = 16 \text{ см}$.

§67. Оптические приборы, увеличивающие угол зрения

1. Дано:

$$F = 5 \text{ см}$$

$$\Gamma_a = ?$$

Решение:

$$\Gamma_a = \frac{d_H}{F}; \quad \Gamma_a = \frac{25}{5} = 5.$$

Ответ: $\Gamma_a = 5$.

2. Дано:

$$\frac{\Gamma_\alpha = 8}{D - ?}$$

Решение:

$$\Gamma_\alpha = d_H D; D = \frac{\Gamma_\alpha}{d_H}; D = \frac{8}{0,25} = 32 \text{ дптр.}$$

Ответ: $D = 32$ дптр.

3. Дано:

$$\begin{aligned} F_1 &= 1 \text{ см;} \\ F_2 &= 2 \text{ см;} \\ l &= 19 \text{ см} \end{aligned}$$

$$\frac{\Gamma_\alpha - ?}{}$$

Решение:

$$\text{Из формулы (200) следует: } \Gamma_\alpha = \frac{d_H L}{F_1 F_2};$$

$$L = l - F_1 - F_2; \Gamma_\alpha = \frac{d_H (l - F_1 - F_2)}{F_1 F_2};$$

$$\Gamma_\alpha = \frac{25 \cdot (19 - 1 - 2)}{1 \cdot 2} = 200.$$

Ответ: $\Gamma_\alpha = 200$.

4. Дано:

$$\begin{aligned} d_1 &= 27 \text{ мм;} \\ D_1 &= D_2 = 40 \text{ дптр} \end{aligned}$$

$$\frac{l, \Gamma - ?}{}$$

Решение:

$$D_1 = \frac{1}{d_1} + \frac{1}{f_1}; \frac{1}{f_1} = D_1 - \frac{1}{d_1} = 40 - \frac{1}{0,027} = 3 \text{ м}^{-1};$$

$$\begin{aligned} f_1 &= 0,33 \text{ м}; l = f_1 + F_2 = 33 + 2,5 = 35,5 \text{ см} - \\ &\text{расстояние между объективом и окуляром;} \\ L &= f_1 - F_1 = 33 - 2,5 = 30,5 \text{ см}; \Gamma = D_1 D_2 d_H L = \\ &= 40 \cdot 40 \cdot 0,25 \cdot 0,305 = 122. \end{aligned}$$

Ответ: $l = 35,5$ см; $\Gamma = 122$.

5. Дано:

$$\begin{aligned} D_1 &= 0,5 \text{ дптр;} \\ D_2 &= 60 \text{ дптр;} \\ S &= 385\,000 \text{ км;} \\ D &= 3480 \text{ км} \end{aligned}$$

$$\frac{\alpha - ?}{}$$

Решение:

Из формулы тонкой линзы следует: величина изображения Луны в объективе телескопа

$$H = D \cdot \frac{F_1}{S} = \frac{D}{D_1 S} = \frac{3480}{0,5 \cdot 385\,000} = 0,018 \text{ м};$$

$$\alpha = \frac{H}{2F_2} = \frac{H \cdot D_2}{2} = \frac{0,018 \cdot 60}{2} = \frac{1,08}{2} \text{ рад} \approx 31^\circ.$$

Ответ: $\alpha = 62^\circ$.

ГЛАВА 6. ВОЛНОВАЯ ОПТИКА

§69. Взаимное усиление и ослабление воли в пространстве

1. Дано:

$$\begin{aligned} v &= 40 \text{ Гц;} \\ l &= 550 \text{ м;} \\ v_1 &= 1500 \text{ м/с;} \\ v_2 &= 340 \text{ м/с} \end{aligned}$$

Усиление или ослабление?

Решение:

$$t_1 = \frac{l}{v_1}; t_1 = \frac{550}{1500} = 0,37 \text{ с}; t_2 = \frac{l}{v_2};$$

$$t_2 = \frac{550}{340} = 1,62 \text{ с}; \Delta t = t_2 - t_1 = 1,62 - 0,37 = 1,25 \text{ с};$$

$T = \frac{1}{\nu} = 0,025 \text{ с}; \frac{\Delta t}{T} = \frac{1,25}{0,025} = 50 = 2m$ — сигналы будут усиливать друг друга.

2. Дано:

$$n = 1,5;$$

$$d = 6 \text{ см}$$

$$\Delta t = ?$$

Решение:

$$v = \frac{c}{n}; \Delta t = \frac{d}{v} - \frac{d}{c} = \frac{d}{c}(n-1);$$

$$\Delta t = \frac{0,06 \cdot 0,5}{3 \cdot 10^8} = 0,1 \cdot 10^{-9} \text{ с} = 0,1 \text{ нс.}$$

Ответ: $\Delta t = 0,1 \text{ нс.}$

3. Дано:

$$\Delta_1 = 6 \text{ мкм};$$

$$n_{\text{воды}} = \frac{4}{3}$$

$$\Delta_2 = ?$$

Решение:

$$S = \text{const}; \text{оптическая разность хода } \Delta_1 = S n_{\text{воздуха}} = S \cdot 1 = S; \Delta_2 = S n_{\text{воды}} = \Delta_1 n_{\text{воды}};$$

$$\Delta_2 = \frac{6 \cdot 4}{3} = 8 \text{ мкм.}$$

Ответ: $\Delta_2 = 8 \text{ мкм.}$

4. Дано:

$$\lambda = 400 \text{ нм};$$

$$\Delta = 1,2 \text{ мкм}$$

Усиление или ослабление?

Решение:

$$\Delta = \frac{\lambda}{2} \cdot k; k \text{ — четное — усиление;}$$

k — нечетное — ослабление. В данном случае $\Delta = 1,2 \text{ мкм} = 1,2 \cdot 10^{-6} \text{ м}; \lambda = 400 \text{ нм} = 0,4 \cdot 10^{-6} \text{ м}; \Delta = 3\lambda$, т.е. произойдет усиление волн.

5. Дано:

$$\lambda = 694 \text{ нм};$$

$$\Delta = 3,47 \text{ мкм};$$

$$I = 1 \text{ Вт/м}^2$$

$$I_A = ?$$

Решение:

$$\Delta = 3,47 \text{ мкм} = 3,47 \cdot 10^{-6} \text{ м}; \lambda = 694 \text{ нм} = 0,694 \cdot 10^{-6} \text{ м}; \Delta = 5\lambda \text{ — в т. А интерференционный максимум; } I_A = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} = 4I;$$

$$I_A = 4 \text{ Вт/м}^2.$$

Ответ: $I_A = 4 \text{ Вт/м}^2.$

§72. Дифракционная решетка

1. Дано:

$$a = 10 \text{ мкм};$$

$$\lambda = 589 \text{ нм}$$

$$\alpha_0, \alpha_3 = ?$$

Решение:

$$a \sin \alpha_i = i \cdot \lambda \text{ — условие максимума; } i = 0; \sin \alpha_0 = 0; \alpha_0 = 0; i = 3;$$

$$\sin \alpha_3 = \frac{3\lambda}{a} = \frac{3 \cdot 589 \cdot 10^{-9}}{10 \cdot 10^{-6}} = 0,177; \alpha_3 = 10^\circ 10'.$$

Ответ: $\alpha_0 = 0; \alpha_3 = 10^\circ 10'.$

2. Дано:

$$a = 10 \text{ мкм};$$

$$l = 1 \text{ м};$$

$$y_1 = 6 \text{ см}$$

$$\lambda = ?$$

Решение:

$$a \sin \alpha = \lambda \text{ — условие 1-го минимума;}$$

$$\sin \alpha \approx \text{tg} \alpha = \frac{y_1}{l}; \lambda = \frac{a y_1}{l};$$

$$\lambda = \frac{10^{-5} \cdot 6 \cdot 10^{-2}}{1} = 6 \cdot 10^{-7} \text{ м} = 600 \text{ нм.}$$

Ответ: $\lambda = 600 \text{ нм, цвет желтый.}$

3. Дано:

$$\lambda = 500 \text{ нм};$$

$$d = \frac{1}{200} \text{ мм} = 5 \text{ мкм}$$

$\alpha_1 - ?$

Решение:

$$\sin \alpha_1 = \frac{\lambda}{d} \text{ — условие 1-го максимума};$$

$$\alpha_1 = \arcsin \frac{\lambda}{d} = \arcsin \frac{5 \cdot 10^{-7}}{5 \cdot 10^{-6}} = \arcsin 0,1 = 5^\circ 44'.$$

Ответ: $\alpha_1 = 5^\circ 44'$.

4. Дано:

$$d = 2,5 \text{ мкм};$$

$$\lambda = 600 \text{ нм}$$

$N - ?$

Решение:

$$\sin \alpha_m = \frac{m\lambda}{d}; \sin \alpha_m = 1;$$

$$m_{\max} = \frac{d}{\lambda} = \frac{2,5 \cdot 10^{-6}}{6 \cdot 10^{-7}} = 4,17; N = 2m_{\max} + 1; N = 9.$$

Ответ: $N = 9$.

5. Дано:

$$d = 10 \text{ мкм};$$

$$N = 500;$$

$$\lambda_1 = 589 \text{ нм};$$

$$\lambda_2 = 589,6 \text{ нм}$$

$m - ?$

Решение:

$$A = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} = Nm; m = \frac{A}{N} = \frac{\lambda_1}{N(\lambda_2 - \lambda_1)};$$

$$m = \frac{589}{0,6 \cdot 500} = 1,96 \approx 2.$$

Ответ: со второго порядка.

ГЛАВА 7. КВАНТОВАЯ ТЕОРИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ И ВЕЩЕСТВА

§74. Фотоэффект

1. Дано:

$$\lambda = 400 \text{ нм};$$

$$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж}\cdot\text{с}$$

$E - ?$

Решение:

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda};$$

$$E = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{4 \cdot 10^{-7}} = 5 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} = 3 \text{ эВ}.$$

Ответ: $E = 3 \text{ эВ}$.

2. Дано:

$$\lambda = 400 \text{ нм};$$

$$A_{\text{вых}} = 2,28 \text{ эВ}$$

$E_k - ?$

Решение:

$$E_k = h\nu - A_{\text{вых}} = \frac{hc}{\lambda} - A_{\text{вых}};$$

$$E_k = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{4 \cdot 10^{-7}} - 2,28 = 0,82 \text{ эВ}.$$

Ответ: $E_k = 0,82 \text{ эВ}$.

3. Дано:

$$\frac{A_{\text{вых}} = 2,28 \text{ эВ}}{v_{\text{min}} - ?}$$

Решение:

$$v_{\text{min}} = \frac{A_{\text{вых}}}{h};$$

$$v_{\text{min}} = \frac{2,28 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}}{6,63 \cdot 10^{-34}} = 550 \cdot 10^{12} \text{ Гц} = 550 \text{ ТГц.}$$

Ответ: $v_{\text{min}} = 550 \text{ ТГц.}$

4. Дано:

$$\frac{\lambda = 400 \text{ нм}}{U - ?}$$

Решение:

$$E_{\text{к}} = eU; U = \frac{E_{\text{к}}}{e} \text{ из результатов задачи 2 } E_{\text{к}} = 0,82 \text{ эВ}; U = 0,82 \text{ В.}$$

Ответ: $U = 0,82 \text{ В.}$

5. Дано:

$$\frac{d, N, \lambda, A_{\text{вых}}}{t - ?}$$

Решение:

За время t на обкладках конденсатора соберется заряд $q = eNt$, который создаст разность потенциалов $U = \frac{q}{C} = \frac{eNt}{C} = \frac{eNFtd}{\epsilon_0}$;

$$U = \frac{q}{C} = \frac{eNt}{C} = \frac{eNFtd}{\epsilon_0};$$

фототок прекратится при $Ue = \frac{hc}{\lambda} - A_{\text{вых}};$

$$\frac{e^2 Ntd}{\epsilon_0} = \frac{hc}{\lambda} - A_{\text{вых}}; t = \frac{\epsilon_0 \left(\frac{hc}{\lambda} - A_{\text{вых}} \right)}{e^2 Nd}.$$

$$\text{Ответ: } t = \frac{\epsilon_0 \left(\frac{hc}{\lambda} - A_{\text{вых}} \right)}{e^2 Nd}.$$

§79. Поглощение и излучение света атомами

1. Дано:

$$\frac{E_1 = -13,6 \text{ эВ}}{\lambda_{\text{max}} - ?}$$

Решение:

$$\lambda_{\text{max}} = \frac{ch}{|E_1|};$$

$$\lambda_{\text{max}} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{13,6 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}} = 0,91 \cdot 10^{-7} \text{ м} = 91 \text{ нм.}$$

Ответ: $\lambda_{\text{max}} = 91 \text{ нм.}$

2. Дано:

$$\frac{k = 4; \\ n = 2 \\ \lambda - ?}{\lambda - ?}$$

Решение:

$$\lambda = \frac{ch}{\Delta E};$$

$$\Delta E = E_4 - E_2 = 3,4 - 0,85 = 2,55 \text{ эВ (из рис. 2546);}$$

$$\lambda = \frac{3 \cdot 10^8 \cdot 6,63 \cdot 10^{-34}}{2,55 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}} = 488 \cdot 10^{-9} \text{ м} = 488 \text{ нм.}$$

Ответ: $\lambda = 488 \text{ нм}$, голубой.

3. Дано:

$$\begin{array}{l} k = 1; \\ n = 2 \\ \hline \lambda - ? \end{array}$$

Решение:

$$\lambda = \frac{ch}{\Delta E}; \Delta E = E_2 - E_1 = 13,6 - 3,4 = 10,2 \text{ эВ};$$

$$\lambda = \frac{3 \cdot 10^8 \cdot 6,63 \cdot 10^{-34}}{10,2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}} = 121 \cdot 10^{-9} \text{ м} = 121 \text{ нм.}$$

Ответ: $\lambda = 121 \text{ нм}$.

4. Дано:

$$\begin{array}{l} n = 2 \\ \hline \lambda_{\min} - ? \end{array}$$

Решение:

$$\lambda_{\min} = \frac{ch}{E_2};$$

$$\lambda_{\min} = \frac{3 \cdot 10^8 \cdot 6,63 \cdot 10^{-34}}{3,4 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}} = 365 \cdot 10^{-9} \text{ м} = 365 \text{ нм.}$$

Ответ: $\lambda_{\min} = 365 \text{ нм}$.

5. Дано:

$$\begin{array}{l} Z = 3e; \\ n = 1 \\ \hline I, \lambda - ? \end{array}$$

Решение:

$$I = |E_1|; \text{ для водородоподобного иона } \text{Li}^{2+} \\ E_{1\text{Li}} = Z^2 E_{1\text{H}} = 9 \cdot 13,6 = 122 \text{ эВ}; I = 122 \text{ эВ};$$

$$\lambda = \frac{ch}{|E_{1\text{Li}}|} = \frac{ch}{|E_{1\text{H}}| \cdot Z^2} = \frac{ch}{13,6 \cdot 9} = \frac{91}{9} = 10 \text{ нм.}$$

Ответ: $I = 122 \text{ эВ}$; $\lambda = 10 \text{ нм}$.

ГЛАВА 8. ФИЗИКА АТОМНОГО ЯДРА

§81. Состав атомного ядра

1. Дано:

$$\begin{array}{l} {}^{15}_7\text{N} \\ \hline n_p, n_n - ? \end{array}$$

Решение:

$$n_p = 7; n_n = A - n_p = 15 - 7 = 8.$$

Ответ: $n_p = 7$; $n_n = 8$.

2. Дано:

$$\begin{array}{l} {}^{15}_8\text{O} \\ \hline n_n - ? \end{array}$$

Решение:

$$Z = 8; n_p = 8; n_n = A - n_p = 15 - 8 = 7.$$

Ответ: $n_n = 7$.

3. Дано:

$$\begin{array}{l} {}^{210}_{87}\text{X}; \\ {}^{202}_{82}\text{Y}; \quad {}^{105}_{47}\text{Z} \\ \hline X, Y, Z - ? \end{array}$$

Решение:

Изотопы идентифицируем с помощью таблицы Менделеева по заряду ядра: ${}^{210}_{87}\text{X} = {}^{210}_{87}\text{Fr}$;
 ${}^{202}_{82}\text{Y} = {}^{202}_{82}\text{Pb}$; ${}^{105}_{47}\text{Z} = {}^{105}_{47}\text{Ag}$.

Ответ: Fr, Pb, Ag.

4. Дано:

$$\begin{array}{l} {}^{108}_{47}\text{Ag}; \\ r_0 = 1,2 \text{ фм} \\ \hline R - ? \end{array}$$

Решение:

$$R = r_0 \cdot A^{\frac{1}{3}}; A = 108; R = 1,2 \cdot 108^{\frac{1}{3}} = 5,7 \text{ фм.}$$

 Ответ: $R = 5,7 \text{ фм}$

5. Дано:

$$\begin{array}{l} {}^{238}_{92}\text{U}; {}^{16}_8\text{O} \\ \hline \frac{R_2}{R_1} ? \end{array}$$

Решение:

$$\frac{R_2}{R_1} = \left(\frac{238}{16} \right)^{\frac{1}{3}} = 2,46.$$

 Ответ: $\frac{R_2}{R_1} = 2,46.$

§82. Энергия связи нуклонов в ядре

1. Дано:

Решение:

$$\begin{array}{l} m_1 = 15,994915 \text{ а.е.м.}; \\ m_2 = 15,003076 \text{ а.е.м.} \\ \hline E_{\text{св}} - ? \end{array}$$

$$E_{\text{св}} = (m_2 + m_n - m_1) \cdot 931,5 = (15,003076 + 1,008665 - 15,994915) \cdot 931,5 = 15,7 \text{ МэВ.}$$

 Ответ: $E_{\text{св}} = 15,7 \text{ МэВ.}$

2. Дано:

$$\begin{array}{l} {}^{14}_7\text{N}; \\ m_a = 14,003242 \text{ а.е.м.} \\ \hline E_{\text{св}} - ? \end{array}$$

Решение:

$$\begin{array}{l} \text{В атоме N содержится } 7p, 7n, 7e; E_{\text{св}} = \\ = (m_a - 7(m_p + m_n)) \cdot 931,5 = (m_a - 7(m_p + m_n + \\ + m_e)) \cdot 931,5 = (14,003242 - 7 \cdot (1,007276 + \\ + 1,008665 + 0,000549)) \cdot 931,5 = 104,6 \text{ МэВ.} \end{array}$$

 Ответ: $E_{\text{св}} = 104,6 \text{ МэВ.}$

3. Дано:

$$\begin{array}{l} {}^7_3\text{Li}; \\ m_a = 7,017601 \text{ а.е.м.}; \\ A = 7 \\ \hline \frac{E_{\text{св}}}{A} ? \end{array}$$

Решение:

$$\begin{array}{l} \text{В атоме Li содержится: } 3p, 4n, 3e; E_{\text{св}} = (m_a - \\ - 3m_p - 4m_n - 3m_e) \cdot 931,5 \text{ МэВ} = (7,017601 - \\ - 3 \cdot 1,007276 - 4 \cdot 1,008665 - 3 \cdot 0,000549) \cdot \\ \cdot 931,5 = 37,75 \text{ МэВ. } \frac{E_{\text{св}}}{A} = \frac{37,75}{7} = 5,6 \text{ МэВ.} \end{array}$$

 Ответ: $\frac{E_{\text{св}}}{A} = 5,6 \text{ МэВ.}$

4. Дано:

$$\begin{array}{l} m^2_1\text{H} = 2,0141 \text{ а.е.м.}; \\ m^3_1\text{H} = 3,01605 \text{ а.е.м.}; \\ m^4_2\text{He} = 4,0026 \text{ а.е.м.} \\ \hline E - ? \end{array}$$

Решение:

$$\begin{array}{l} E = (m^2_1\text{H} + m^3_1\text{H} + m^4_2\text{He} + m^1_0n) \cdot 931,5 = \\ = (2,0141 + 3,01605 - 4,0026 - 1,008665) \cdot 931,5 = \\ = 17,6 \text{ МэВ.} \end{array}$$

 Ответ: $E = 17,6 \text{ МэВ.}$

§84. Закон радиоактивного распада

1. Дано:

$${}_{92}^{238}\text{U} \rightarrow {}_{82}^{206}\text{Pb};$$

$$T_{\frac{1}{2}} = 4,5 \cdot 10^9 \text{ лет}$$

$$t - ?$$

Решение:

Из условия задачи следует, что распалась половина атомов U. Это происходит за $t = T_{\frac{1}{2}} = 4,5 \cdot 10^9$ лет.

Ответ: $t = 4,5 \cdot 10^9$ лет.

2. Дано:

$${}_{91}^{234}\text{Pa};$$

$$T_{\frac{1}{2}} = 1,18 \text{ мин};$$

$$t = 60 \text{ мин}$$

$$\frac{N}{N_0} \quad ?$$

Решение:

За время t нераспавшимися остаются

$$N = N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T_{\frac{1}{2}}}};$$

$$\frac{N}{N_0} = 2^{-\frac{t}{T_{\frac{1}{2}}}} = 2^{-\frac{60}{1,18}} = 2^{-50,85} = 4,97 \cdot 10^{-16}.$$

Ответ: $\frac{N}{N_0} = 4,97 \cdot 10^{-16}$.

3. Дано:

$${}_{15}^{32}\text{P};$$

$$T_{\frac{1}{2}} = 14,3 \text{ дня};$$

$$N = 5 \cdot 10^{16}$$

$$A - ?$$

Решение:

$$A = \frac{N}{1,44 \cdot T_{\frac{1}{2}}} = \frac{5 \cdot 10^{16}}{1,44 \cdot 14,3 \cdot 24 \cdot 3600} = 2,8 \cdot 10^{10} \text{ Бк.}$$

Ответ: $A = 2,8 \cdot 10^{10}$ Бк.

4. Дано:

$${}_{88}^{222}\text{Ra};$$

$$T_{\frac{1}{2}} = 3,82 \text{ дня}$$

$$t - ?$$

Решение:

$$t = 1,44 T_{\frac{1}{2}} = 1,44 \cdot 3,82 = 5,5 \text{ дня.}$$

Ответ: $t = 5,5$ дня.

5. Дано:

$${}_{92}^{238}\text{U}$$

$$N_{\alpha}, N_{\beta} - ?$$

Решение:

Из рис. 268: $N_{\alpha} = 9$; $N_{\beta} = 6$.

Ответ: $N_{\alpha} = 9$; $N_{\beta} = 6$.