

6. Определите в Периодической системе элементов порядковый номер элемента, у которого в основном состоянии заполнены K -, L -, M -оболочки, а также $4s$ -подоболочка.

7. Электронная конфигурация некоторого элемента $1s^2 2s^2 3s^2 3p$. Определите, что это за элемент.

8. Сколько s -, p - и d -электронов находится в атоме на первом, втором и третьем энергетических уровнях?

9. Основное состояние атома цезия обозначается символически следующим образом: $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^6 4d^{10} 5s^2 5p^6 6s$. Определить число слоев и оболочек, количество электронов в каждом слое и оболочке и общее число электронов.

Занятие № 13

Тема: **Центральное симметричное силовое поле. Атом водорода**

Краткая теория

По теории Бора электрон в атоме водорода и водородоподобных систем движется по круговой орбите радиуса r , на которой его удерживает кулоновская сила притяжения электрона к ядру, играющая роль центростремительной силы. Энергия электрона в атоме водорода складывается из кинетической энергии и потенциальной энергии в центральном симметричном силовом поле ядра.

Согласно первому постулату Бора, движение электрона вокруг ядра возможно только по определенным орбитам, радиусы которых удовлетворяют соотношению

$$m v_k r_k = k \frac{h}{2\pi},$$

где m – масса электрона, v_k – его скорость на k -ой орбите, r_k – радиус этой орбиты, h – постоянная Планка, k – любое целое число (квантовое число).

Согласно второму постулату Бора, частота излучения, соответствующая переходу электрона с одной орбиты на другую, определяется формулой

$$h\nu = E_n - E_k,$$

где k и n – номера соответствующих орбит ($n > k$), E_k и E_n – значения энергии электрона на соответствующих орбитах.

Частота или длина волны λ , соответствующие линиям водородного спектра:

$$\nu = \frac{c}{\lambda} = Rc \left(\frac{1}{k^2} - \frac{1}{n^2} \right),$$

где k и n – номера орбит, c – скорость света в вакууме, R – постоянная Ридберга, равная

$$R = \frac{e^4 m}{8 \epsilon_0^2 h^3 c} = 1,097 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1},$$

где e – заряд электрона, m – его масса, ϵ_0 – электрическая постоянная.

Частота ν или длина волны для водородоподобных ионов:

$$\nu = \frac{c}{\lambda} = Rcz^2 \left(\frac{1}{k^2} - \frac{1}{n^2} \right),$$

где z – порядковый номер элемента в таблице Менделеева.

Радиус n -ой стационарной орбиты:

$$r_n = n^2 \frac{\hbar^2 4\pi\epsilon_0}{m_e z e^2},$$

где $n = 1, 2, 3, \dots$, $\hbar = \frac{h}{2\pi}$.

Полная энергия электрона в водородоподобной системе

$$E = \frac{m_e v^2}{2} - \frac{ze^2}{4\pi\epsilon_0 r} = -\frac{1}{2} \frac{ze^2}{4\pi\epsilon_0 r}.$$

Энергия электрона может принимать только следующие дозволённые дискретные значения:

$$E_n = -\frac{1}{n^2} \frac{z^2 m_e e^4}{8 \hbar^2 \epsilon_0^2}, \quad (n = 1, 2, 3, \dots).$$

Примеры решения задач

Задача 13.1. Определить первый боровский радиус орбиты в атоме водорода и скорость движения электрона по этой орбите.

Решение

$z = 1$ $n = 1$ $r_1, v - ?$	Радиус n -ой орбиты в водородоподобном атоме, заряд которого равен z_e , определяется по формуле
------------------------------------	--

$$r_n = \frac{\hbar^2 4\pi\epsilon_0}{mze^2} n^2 = \frac{h^2 \epsilon_0}{\pi mze^2} n^2,$$

где n – номер орбиты, m – масса электрона.

При $n = 1$ и $z = 1$

$$r_1 = \frac{h^2 \epsilon_0}{\pi m e^2} = \frac{6,63^2 \cdot 10^{-68} \cdot 8,85 \cdot 10^{-12}}{3,14 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 1,6 \cdot 10^{-38}} = 0,53 \cdot 10^{-10} \text{ м.}$$

По второму постулату Бора момент импульса на n -ой орбите равен

$$mvr_n = n \frac{h}{2\pi},$$

тогда

$$v = \frac{nh}{2\pi m r_n} = \frac{1 \cdot 6,63 \cdot 10^{-34}}{2 \cdot 3,14 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 0,53 \cdot 10^{-10}} = 2,2 \cdot 10^6 \text{ м/с.}$$

Ответ: $r_1 = 0,53 \cdot 10^{-10}$ м, $v = 2,2 \cdot 10^6$ м/с.

Задача 13.2. Определить длину волны спектральной линии, соответствующей переходу электрона в атоме водорода с шестой орбиты на вторую.

Решение

$m = 2$ $n = 6$ $R = 1,097 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}$ $\lambda - ?$	Длина волны фотона, испускаемого при переходе электрона в атоме водорода, определяется по обобщенной формуле Бальмера
--	---

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right).$$

Отсюда

$$\lambda = \frac{1}{R \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right)} = \frac{1}{1,097 \cdot 10^7 \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{36} \right)} = 4,1 \cdot 10^{-7} \text{ м.}$$

Ответ: $\lambda = 4,1 \cdot 10^{-7}$ м.

Задача 13.3. Сколько линий спектра атома водорода попадает в видимую область ($\lambda = 0,4 \div 0,76$ мкм)? Вычислить длины волн этих линий. Каким цветам они соответствуют?

Решение

$0,4 \leq \lambda \leq 0,76 \text{ мкм}$ $R = 1,097 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}$ $\lambda - ?$	Длины волн спектра атома водорода определяются по формуле:
--	--

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right),$$

где $n = 1, 2, 3, \dots, m = n + 1, n + 2, \dots$

В видимой области спектра находятся первые четыре линии Бальмера ($n = 2, m = 3, 4, 5, 6$). Длины волн этих линий будут равны

$$\lambda_1 = \frac{1}{R_1 \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{3^2} \right)} = \frac{1}{1,097 \cdot 10^7 \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{9} \right)} = 6,56 \cdot 10^{-7} \text{ м} - \text{красная линия,}$$

$$\lambda_2 = \frac{1}{1,097 \cdot 10^7 \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{4^2} \right)} = 4,86 \cdot 10^{-7} \text{ м} - \text{голубая линия,}$$

$$\lambda_3 = \frac{1}{1,097 \cdot 10^7 \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{5^2} \right)} = 4,34 \cdot 10^{-7} \text{ м} - \text{фиолетовая линия,}$$

$$\lambda_4 = \frac{1}{1,097 \cdot 10^7 \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{6^2} \right)} = 4,1 \cdot 10^{-7} \text{ м} - \text{фиолетовая линия.}$$

Задачи для самостоятельного решения

1. Атом водорода испустил фотон с длиной волны $4,86 \cdot 10^{-7}$ м. На сколько изменилась энергия электрона в атоме?

Ответ: $\Delta E = 2,56$ эВ.

2. Найти кинетическую, потенциальную и полную энергии электрона на первой боровской орбите.

Ответ: $E_k = 13,6$ эВ, $E_{\text{п}} = -27,2$ эВ, $E = -13,6$ эВ.

3. Вычислить энергию фотона, испускаемого при переходе электрона в атоме водорода с третьего энергетического уровня на первый.

Ответ: $E = 12,1$ эВ.

4. Найти потенциал ионизации U_i атома водорода.

Ответ: $U_i = 13,6$ В.

5. Определить скорость электрона на третьей орбите атома водорода.

Ответ: $v = 0,73 \cdot 10^6$ м/с.

6. Определить частоту вращения электрона по третьей орбите атома водорода в теории Бора.

Ответ: $\nu = 2,42 \cdot 10^{14}$ Гц.

7. Вычислить длину волны, которую испускает ион гелия He^+ при переходе со второго энергетического уровня на первый.

Ответ: $\lambda = 3,03 \cdot 10^{-8}$ м.

8. Найти энергию E_i и потенциал U_i ионизации ионов He^+ и Li^{2+} .

Ответ: гелий: $E_i = 54$ эВ, $U_i = 54$ В; литий: $E_i = 122$ эВ, $U_i = 122$ В.

9. Найти радиус r_1 первой боровской электронной орбиты для однократно ионизированного гелия и скорость v_1 электрона на ней.

Ответ: $r_1 = 26,6$ пм, $v_1 = 4,37 \cdot 10^6$ м/с.

10. Найти длину волны фотона, соответствующего переходу электрона со второй боровской орбиты на первую в однократно ионизованном атоме гелия.

Ответ: $\lambda = 30,4$ нм.