

ФОРМУВАННЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНИХ ФІЗИЧНИХ ПОНЯТЬ У СТУДЕНТІВ У ПРОЦЕСІ ВИВЧЕННЯ АТОМА ВОДНЮ У КВАНТОВІЙ МЕХАНІЦІ

Енергетичні рівні атома водню, згідно теорії Бора, знаходять на основі правил квантування координат та імпульсу електрона: $E = -\frac{m_e e^4 Z^2}{2\hbar^2 n^2}$, (1)

де $\frac{m_e e^4}{2\hbar^3} = R$ – стала Рідберга, \hbar – стала Планка, m_e – маса електрона, e – заряд електрона, Z – порядковий номер атома, $n = 1, 2, 3, \dots$ – головне квантове число. З точки зору квантової механіки розглядаємо систему, що складається з нерухомого ядра із зарядом $Z|e|$ (Z – ціле число) і електрона, що рухається навколо нього.

Потенціальна енергія електрона у полі ядра дорівнює: $U = -\frac{e^2 Z}{r}$, (2)

де r – відстань електрона від ядра. Рівняння Шредінгера матиме вигляд:

$$\Delta\psi + \frac{2m_e}{\hbar^2} \left(E + \frac{e^2 Z}{r} \right) \psi = 0. \quad (3)$$

Підставимо у (3) вираз оператора Лапласа у сферичних координатах, отримаємо:

$$\frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial \psi}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2 \sin^2 \vartheta} \frac{\partial}{\partial \vartheta} \left(\sin^2 \vartheta \frac{\partial \psi}{\partial \vartheta} \right) + \frac{1}{r^2 \sin^2 \vartheta} \frac{\partial^2 \psi}{\partial \varphi^2} + \frac{2m_e}{\hbar^2} \left(E + \frac{e^2 Z}{r} \right) \psi = 0. \quad (4)$$

Рівняння (4) розв'язуємо шляхом розділення змінних:

$$\frac{1}{R} \frac{d}{dr} \left(r^2 \frac{dR}{dr} \right) + \frac{2m_e r^2}{\hbar^2} \left(E + \frac{e^2 Z}{r} \right) = \lambda, \quad (5); \quad \frac{1}{Y \sin^2 \vartheta} \frac{\partial}{\partial \vartheta} \left(\sin^2 \vartheta \frac{\partial Y}{\partial \vartheta} \right) + \frac{1}{Y \sin^2 \vartheta} \frac{\partial^2 Y}{\partial \varphi^2} = -\lambda. \quad (6)$$

Рівняння (5) та (6) мають скінченні, однозначні і неперервні розв'язки при визначених значеннях параметрів E та λ . Рівняння (6) розв'язується з допомогою сферичних функцій l -го порядку $Y_{lm}(\vartheta, \varphi)$ при умові, що $\lambda = l(l+1)$, де $l = 0, 1, 2, \dots$ (7)

$$\text{Рівняння (5) при } \lambda = l(l+1): \frac{d}{dr} \left(r^2 \frac{dR}{dr} \right) + \frac{2m_e r^2}{\hbar^2} \left(E + \frac{e^2 Z}{r} - \frac{l(l+1)\hbar^2}{2m_e r^2} \right) R = 0. \quad (5a)$$

При $E < 0$ останнє рівняння має скінченні розв'язки при $r \rightarrow \infty$ тільки тоді, коли E приймає значення: $E_n = -\frac{m_e e^4 Z^2}{2\hbar^2 (n'+l+1)^2}$, (8)

де n' – ціле число. Отже, із рівняння Шредінгера випливає, що атом водню та подібні до нього іони можуть знаходитися лише у ряді дискретних енергетичних станів із значеннями енергії, які виражаються формулою (1).

Застосування запропонованого підходу із детальним аналізом фізичної природи хвильової функції для водневоподібних атомів сприяє не лише формуванню фундаментальних фізичних понять *електромагнітне поле, електромагнітна взаємодія та спин електрона* у відповідності до їх розуміння у сучасній фізичній науці, але й створює передумови для якісного засвоєння студентами технічних спеціальностей вузів змісту цих понять.