WORLD FORUM ON ACADEMIC INNOVATION AND DIGITAL LITERACY

VODOROD ATOMINING KVANT-MEXANIK MODELI: TO‘LQIN FUNKSIYASI VA ENERGETIK SPEKTRLARNING NAZARIY TAHLILI

Yusufbekova Mavludaxon Umarbek qizi

Andijon Davlat universiteti

Fizika mutaxassisligi, 1-bosqich magistranti

Annotatsiya

Ushbu maqolada vodorod atomining kvant-mexanik tuzilishi Shryodinger tenglamasi asosida tahlil qilinadi. Klassik Bor modelining cheklangan jihatlari va kvant mexanikasining ehtimollik tabiatiga asoslangan yondashuvi o‘rtasidagi fundamental farqlar ko‘rsatib o‘tilgan. Maqolada elektronning vodorod atomidagi holatini belgilovchi kvant sonlari, radial va burchakli to‘lqin funksiyalarining fizik ma’nosi hamda energetik sathlarning kvantlanish qonuniyatlari tizimli ravishda yoritilgan.

Kalit so‘zlar: Shryodinger tenglamasi, vodorod atomi, kvant sonlari, to‘lqin funksiyasi, energetik sathlar, orbital, ehtimollik zichligi.

КВАНТОВО-МЕХАНИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ АТОМА ВОДОРОДА: ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ВОЛНОВОЙ ФУНКЦИИ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СПЕКТРОВ

Аннотация:

В данной статье на основе уравнения Шрёдингера анализируется квантово-механическая структура атома водорода. Указываются фундаментальные различия между ограниченными аспектами классической модели Бора и подходом квантовой механики, основанном на вероятностной природе. В статье систематически освещены квантовые числа, определяющие состояние электрона в атоме водорода, физический смысл радиальных и угловых волновых функций, а также закономерности квантования энергетических



уровней.

Ключевые слова: уравнение Шрёдингера, атом водорода, квантовые числа, волновая функция, энергетические уровни, орбиталь, плотность вероятности.

QUANTUM MECHANICAL MODEL OF THE HYDROGEN ATOM: THEORETICAL ANALYSIS OF THE WAVE FUNCTION AND ENERGY SPECTRA

Abstract:

This article analyzes the quantum mechanical structure of the hydrogen atom based on the Schrödinger equation. Fundamental differences between the limited aspects of the classical Bohr model and the probabilistic approach of quantum mechanics are highlighted. The article systematically describes the quantum numbers defining the state of the electron in the hydrogen atom, the physical significance of radial and angular wave functions, and the laws governing the quantization of energy levels.

Keywords: Schrodinger equation, hydrogen atom, quantum numbers, wave function, energy levels, orbital, probability density.

Kirish (Introduction)

Vodorod atomi tabiatdagi eng sodda atomar tizim bo‘lib, uning tuzilishini o‘rganish kvant mexanikasining fundamental qonuniyatlarini tushunishda markaziy o‘rin tutadi. XX asr boshlarida Nils Bor tomonidan taklif etilgan model atomning barqarorligini tushuntirib bergan bo‘lsa-da, u elektronning harakatini klassik traektoriya bilan bog‘lab, mikrodunyoning to‘lqin tabiatini hisobga olmagan edi. Zamonaviy kvant mexanikasi vodorod atomini elektron va protonning Kulon o‘zaro ta’siri natijasida yuzaga kelgan bog‘langan tizim deb qaraydi. Bu tizimni tavsiflashda elektronning aniq traektoriyasi tushunchasidan voz kechilib, uning fazodagi ehtimollik taqsimoti — to‘lqin funksiyasi (\(\psi \)) tushunchasi kiritiladi. Ushbu maqolaning

maqsadi vodorod atomining statsionar holatlarini matematik model yordamida asoslash va kvant sonlarining tizim energetikasidagi rolini tahlil qilishdir.

Metodlar (Methods)

Vodorod atomining modelini qurishda asosiy metod sifatida vaqtga bog‘liq bo‘lmagan statsionar Shryodinger tenglamasidan foydalaniladi: \(\^{H}\psi =E\psi \)Bu yerda \(\^{H}\) — Gamilton operatori bo‘lib, u kinetik va potensial energiya operatorlari yig‘indisidan iborat. Vodorod atomi uchun potensial energiya Kulon qonuniga ko‘ra \(V(r) = -e^2 / (4\pi\varepsilon_0 r)\) ko‘rinishida bo‘ladi. Tizim sferik simmetriyaga ega bo‘lgani uchun dekart koordinatalar tizimidan sferik koordinatalar tizimiga (\(r, \theta, \phi\)) o‘tish metodologik jihatdan eng samarali yo‘l hisoblanadi. Bunda to‘lqin funksiyasi uchta mustaqil o‘zgaruvchiga ajratiladi:

\(\psi (r,\theta ,\phi)=R(r)Y(\theta ,\phi)\)Bu yerda \(R(r)\) — radial qism, \(Y(\theta, \phi)\) — esa burchakli (sferik) qismdir.

Natijalar (Results)

Shryodinger tenglamasining sferik koordinatalar sistemasidagi yechimi vodorod atomidagi elektronning holati uchta bog‘liq bo‘lmagan funksiyalar ko‘paytmasidan iborat ekanligini ko‘rsatdi. Olingan asosiy natijalarni quyidagi tizimli bosqichlarga ajratish mumkin:

1. **Radial funksiya va ehtimollik zichligi:**

Radial Shryodinger tenglamasining yechimi sifatida Lagerrning umumlashgan ko‘phadlari (\(L_{n-l-1}^{2l+1}\)) olindi. Bu funksiyalar elektronning yadrodan turli masofalarda bo‘lish ehtimolligini belgilaydi. Hisoblashlar shuni ko‘rsatadiki, \(1s\)-holat (\(n=1, l=0\)) uchun radial ehtimollik zichligi \(P(r) = 4\pi r^2 |\psi|^2\) ko‘rinishida bo‘lib, u \(r = a_0\) (Bor radiusi, \(\approx 0.529 \text{ \AA}\)) nuqtada o‘zining maksimum qiymatiga erishadi. Biroq, klassik nazariyadan farqli

o‘laroq, elektronning ushbu radiusdan kichik va katta masofalarda ham topilish ehtimoli mavjudligi matematik isbotlandi.

2. **Burchakli funksiya va orbitallar shakli:**

Burchakli qism sferik garmonikalar (\(Y_l^m(\theta, \phi)\)) orqali ifodalandi. Natijalar elektron bulutining geometrik konfiguratsiyasini aniqlab berdi:

- **s-orbitallar (\(l=0\)):** To‘liq sferik simmetriyaga ega.
- **p-orbitallar (\(l=1\)):** Fazoda \(x, y, z\) o‘qlari bo‘ylab yo‘nalgan "gantel" shaklidagi zichlikka ega.
- **d- va f-orbitallar:** Murakkabroq fazoviy tuzilishga ega bo‘lib, elektronning burchak impulsi kvantlanganligini tasdiqlaydi.

3. **Energetik spektr va kvantlanish:**

Tizimning to‘liq energiyasi uchun quyidagi ifoda olindi: \(E_{n}=-\frac{m_{e}e^{4}}{8\varepsilon _{0}^{2}h^{2}n^{2}}\approx -\frac{13.6}{n^{2}}\text{\ eV}\)Bu natija vodorod atomi spektridagi Balmer, Pashen va boshqa seriyalarning eksperimental qiymatlari bilan \(10^{-4}\) gacha aniqlikda mos keldi. Bunda energiya sathlarining "ayniy" (degenerate) ekanligi, ya’ni bir xil energiyaga bir nechta kvant holatlari (turli \(l\) va \(m_{l}\)) mos kelishi aniqlandi.

Muhokama (Discussion)

Olingan natijalar vodorod atomining mikrofizik manzarasini tubdan qayta ko‘rib chiqishga majbur qiladi. Quyida natijalarning fundamental ahamiyati tahlil qilinadi:

1. **Klassik va kvant determinizmining to‘qnashuvi:**

Natijalarda ko‘ringan ehtimollik taqsimoti Bor modelidagi "orbita" tushunchasini butunlay inkor etadi. Bor modelida elektron aniq trayektoriya bo‘ylab harakatlansa, Shryodinger yechimlari elektronning "lokalizatsiyalashmagan" tabiatini ko‘rsatadi. \(r = a_0\) masofasi endi qat’iy yo‘l emas, balki eng yuqori statistik ehtimollik zonasi sifatida talqin qilinadi. Bu Geyzenbergning aniqsizlik prinsipi bilan to‘liq hamohangdir.



2. Degeneratsiya va simmetriya muammosi:

Energiya sathlarining faqat \(n\) bosh kvant soniga bog‘liqligi (Coulomb potensialining o‘ziga xos xususiyati) vodorod atomiga xos bo‘lgan yuqori darajadagi simmetriyadan dalolat beradi. Biroq, real sharoitlarda (tashqi magnit yoki elektr maydonlarida) bu degeneratsiya yo‘qoladi. Masalan, magnit kvant soni \(m_{l}\) ning mavjudligi Zeyeman effektini — spektral chiziqlarning magnit maydonida boillishini tushuntiradi. Bu vodorod atomi modelining nafaqat statik, balki tashqi ta’sirlarga nisbatan dinamik javob berish qobiliyatini ko‘rsatadi.

3. Elektron spini va to‘liqlik prinsipi:

Dastlabki Shryodinger tenglamasi elektron spinini hisobga olmagan edi. Natijalarning eksperiment bilan kichik tafovutlari (nozik tuzilish) Shtern-Gerlax tajribalari bilan birgalikda spin kvant sonini nazariyaga integratsiya qilish zarurligini ko‘rsatdi. Bu esa Pauli prinsipining asosi bo‘lib, vodorod atomi modelini ko‘p elektronli tizimlar (Geliydan to og‘ir elementlargacha) uchun universal "shablon"ga aylantirdi.

4. Kimyoviy ahamiyati:

Orbitallarning burchakli taqsimoti (s, p, d shakllari) atomlararo gibridlanish va kimyoviy bog‘lanishlarning yo‘naluvchanligini tushuntirishda fundamental rol o‘ynaydi. Vodorod atomining kvant modeli zamonaviy kvant kimyosining asosi hisoblanib, valentlik elektronlarining xatti-harakatini bashorat qilish imkonini beradi.

Xulosa (Conclusion)

Vodorod atomining kvant-mexanik modelini tadqiq etish shuni ko‘rsatadiki, ushbu tizim shunchaki elementar zarrachalar majmuasi emas, balki mikrodunyoning fundamental simmetriyalarini o‘zida mujassam etgan murakkab to‘lqin funksiyasidir. Olib borilgan tahlillar asosida quyidagi konseptual xulosalarga kelindi. Vodorod atomi modeli klassik fizikadagi deterministik qarashlarning (traektoriya, aniq koordinata) mikrodunyoda o‘rinli emasligini uzil-kesil isbotladi. Shryodinger tenglamasidan kelib

chiqqan ehtimollik zichligi tushunchasi materiyaning dualistik tabiatini (to‘lqin-zarracha) matematik tilda ifodalash imkonini berdi. Bu esa fizikaning fundamental asosi — kuzatuvchi va ob'ekt o‘rtasidagi munosabatni yangi bosqichga olib chiqdi. Tadqiqot natijasida aniqlangan to‘rtta kvant soni (\(n, l, m_l, m_s\)) shunchaki matematik indekslar emas, balki atomar tizimning saqlanish qonunlari (energiya, impuls momenti, spin) bilan bog‘liq bo‘lgan fundamental xarakteristikalaridir. Ushbu kvant sonlari tizimi orqali vodorod atomining barqarorligi va uning diskret energetik spektri tabiatini to‘liq izohlash mumkin. Bu esa atomning tashqi maydonlar bilan o‘zaro ta’sirini prognoz qilishning yagona ishonchli usuli hisoblanadi. Vodorod atomi modeli "ideal tizim" bo‘lsada, u murakkabroq ko‘p elektronli atomlar va molekulyar orbitallar nazariyasi uchun metodologik andoza vazifasini o‘taydi. Bor radiusi va bog‘lanish energiyasining kvant-mexanik hisoblari zamonaviy kvant kimyosi, materialshunoslik va nanotexnologiyalar rivojiga poydevor qo‘ydi. Masalan, vodorodsimon atomlarning to‘lqin funksiyalari (atom orbitallari) bugungi kunda murakkab moddalarning kristal panjarasini va elektron o‘tkazuvchanligini modellashtirishda asosiy asbob hisoblanadi.

Xulosa qilib aytganda, vodorod atomining kvant modeli insoniyatning materiya tuzilishi haqidagi bilimlarini sifat jihatidan yangi bosqichga ko‘tardi. Ushbu model tabiatning asosi tasodifiylik (ehtimollik) va qat’iy tartib (energetik kvantlanish) o‘rtasidagi dialektik bog‘liqlikdan iborat ekanligini tasdiqlaydi. Kelajakda ushbu nazariyaning relyativistik effektlar (Dirak tenglamasi) bilan integratsiyasi kvant elektrodinamikasi kabi yanada chuqurroq sohalarni rivojlantirishda kalit bo‘lib xizmat qiladi.

Foydalanilgan adabiyotlar (References)

1. **G. Ahmedova, O. Qosimov.** *Atom fizikasi.* — Toshkent: "O'zbekiston", 2013.

2. **L. Landau, E. Lifshits.** *Kvantovaya mexanika (Teoreticheskaya fizika, T. III).* — Moskva: "Nauka", 1989.

3. **Griffiths, D. J.** *Introduction to Quantum Mechanics.* — Cambridge University Press, 2018.

4. **Y.I. Frenkel.** *Kvant mexanikasi kurslari.* — Toshkent: "O‘qituvchi", 1975.