KVANT MEXANIKASIDA VODOROD ATOMINING TUZILISHI VA MODELI

Tayyorladi: Yusufbekova Mavludaxon Umarbek qizi
ADU, fizika mutaxassisligi 1-bosqich magistranti
Ilmiy rahbar: Abduraximov Abdulatif
m.f.f.n dotsent

Kirish (Introduction). Klassik fizika qonuniyatlari mikrodunyo, xususan, atomlar ichida sodir bo'ladigan jarayonlarni to'liq tushuntirib bera olmadi. Ernest Rezerford tomonidan taklif etilgan atomning planetar modeli klassik elektrodinamika qonunlariga ko'ra ziddiyatli edi. Chunki yadro atrofida aylanayotgan elektron uzluksiz energiya nurlatishi va energiya yo'qotishi natijasida yadroga qulab tushishi kerak edi. Mazkur muammoni hal qilish maqsadida Niels Bor o'zining mashhur postulatlarini kiritdi. Bor modeli vodorod atomining spektral chiziqlarini tushuntirishda muvaffaqiyat qozongan bo'lsa-da, bu model yarim klassik xarakterga ega edi va nima uchun elektron faqat malum orbitalarda nurlanmasdan harakat qilishi mumkinligini chuqur nazariy jihatdan asoslab bera olmadi [2].

Mavzuning dolzarbligi. Vodorod atomining kvant-mexanik modelini o'rganish bugungi kunda bir necha fundamental va amaliy sabablarga ko'ra favqulodda dolzarb hisoblanadi:

- **Kvant texnologiyalari va hisoblash poydevori:** Zamonaviy ilm-fan superkompyuterlar davridan kvant kompyuterlari asriga o'tmoqda. Kvant hisoblashlarining asosiy elementi bo'lgan kubitlarni (qubits) yaratish, boshqarish va superpozitsiya holatlarini barqaror saqlash to'g'ridan-to'g'ri vodorodsimon atomlarning energetik sathlari hamda elektron spinlari tabiati bilan bog'liqdir.
- **Nanotexnologiyalar va yangi materiallar muhandisligi:** Grafen, kvant nuqtalari va ikki o'lchamli nano-tuzilmalarni sintez qilishda elektronlarning

energetik qobiqlardagi xatti-harakati boshlang'ich nuqta hisoblanadi. Mikrodunyoni boshqarish uchun avvalo vodorod atomi modeli beradigan fundamental saboqlarni tushunish shart.

- **Zamonaviy spektroskopiya va astrofizika:** Koinotni o'rganish, uzoq galaktikalardagi yulduzlar va sayyoralarning kimyoviy tarkibini aniqlash vodorod atomining spektral chiziqlarini tahlil qilish orqali amalga oshiriladi. Vodorod olamda eng ko'p tarqalgan element bo'lgani uchun, uning modelini mukammal bilish kosmik tadqiqotlarning aniqligini ta'minlaydi.
- **Pedagogik va konseptual ahamiyati:** Ko'p elektronli murakkab atomlar va molekulalarning kimyoviy bog'lanishlarini matematik aniqlikda hisoblash deyarli imkonsizdir. Vodorod atomi mikrodunyoda analitik va aniq yechimga ega bo'lgan yagona fundamental model bo'lib, u barcha murakkab tizimlarni yaqinlashib hisoblash (approksimatsiya) metodlari uchun yagona etalon poydevor vazifasini o'taydi.

Kvant mexanikasining vujudga kelishi atom tuzilishi haqidagi tasavvurlarni tubdan o'zgartirdi [5]. Ervin Shredinger tomonidan taklif etilgan to'lqin mexanikasi mikrozarrachalarning dualistik, ya'ni ham to'lqin, ham zarracha tabiatini yagona nazariy tizimga keltirdi. Vodorod atomi bitta proton va bitta elektrondan iborat eng sodda tizim bo'lgani uchun kvant mexanikasining fundamental qonuniyatlarini sinash, tahlil qilish va isbotlash uchun asosiy model hisoblanadi [1]. Mazkur ishning maqsadi vodorod atomining kvant-mexanik modelini hamda uning ko'p elektronli tizimlarga o'tish prinsiplarini formulalarsiz, sof nazariy, mantiqiy va konseptual jihatdan atroflicha tushuntirib berishdan iborat.

Metodlar (Methods). Vodorod atomining kvant-mexanik modelini qurishda asosiy metodologik poydevor sifatida Shredingerning statsionar to'lqin tenglamasi tahlilidan foydalanildi. Tizim vaqt o'tishi bilan o'zgarmas bo'lgani uchun vaqtga bog'liq

bo'lmagan holatlar ko'rib chiqiladi [1]. Bu modelda elektron mexanik zarracha sifatida emas, balki fazoda taqsimlangan o'ziga xos to'lqin funksiyasi orqali ifodalanadi [4].

Tizimdagi o'zaro ta'sirlarni to'g'ri baholash uchun elektron va yadro (proton) o'rtasidagi Kulon tortishish kuchi hisobga olinadi. Vodorod atomi sferik simmetriyaga ega bo'lgani uchun, tadqiqot usuli sifatida oddiy to'g'ri burchakli koordinatalar tizimidan sferik koordinatalar tizimiga o'tiladi. Bu metod masalani mantiqiy jihatdan ikkita mustaqil qismga ajratish imkonini beradi:

- **Radial qism:** Elektronning yadrodan uzoqlashishi bilan bog'liq holatlarini o'rganadi.
- **Burchakli qism:** Elektronning yadro atrofidagi fazoviy yo'nalishlarini va orbital shakllarini tahlil qiladi [5].

Ushbu o'zgaruvchilarni ajratish metodi orqali yagona to'lqin funksiyasi ikki xil funksiyaning ko'paytmasi ko'rinishida talqin qilinadi. Ko'p elektronli tizimlarga o'tishda esa ushbu metodologiya elektronlararo itarilish kuchlari va spin ta'sirlarini hisobga oluvchi qo'shimcha nazariy prinsiplar bilan kengaytiriladi [3].

Natijalar (Results). Shredinger tenglamasini sferik koordinatalar tizimida nazariy yechish mikrodunyoning eng fundamental xossasi — kvantlanish qonuniyatini yuzaga chiqardi [1]. Tizimning jismoniy jihatdan real va barqaror yechimlari faqatgina malum bir diskret (uzlukli) holatlardagina mavjud bo'lishi aniqlandi. Bu esa tabiatda kvant sonlarining kelib chiqishiga sabab bo'ldi.

1. **Kvant sonlarining tizimli kelib chiqishi**

   Kvant sonlari va orbitallar taqsimoti jadvali

Bosh kvant soni (\(n\))	Orbital kvant soni (\(l\))	Orbital nomi	Magnit kvant soni (\(m_{l}\))	Orbitallar soni	Maksimal elektronlar soni (Pauli prinsipiga ko'ra)
1 (K-qobiq)	0	\(1s\)	0	1	2

2 (L-qobiq)	0 1	\(2s\) \(2p\)	0 -1, 0, +1	1 3	2 6 (Jami: 8)
3 (M-qobiq)	0 1 2	\(3s\) \(3p\) \(3d\)	0 -1, 0, +1 -2, -1, 0, +1, +2	1 3 5	2 6 10 (Jami: 18)

Nazariy tahlillar natijasida elektronning holatini to'liq tavsiflovchi uchta asosiy kvant soni aniqlandi [2]:

- **Bosh kvant soni:** Radial tenglamaning yechimidan kelib chiqadi. U elektronning umumiy energiya darajasini va elektron bulutining o'lchamini (yadrodan o'rtacha uzoqligini) belgilaydi.
- **Orbital (burchak) kvant soni:** Burchak harakati tenglamasidan kelib chiqadi. U elektron orbitalining geometrik shaklini aniqlaydi va uning harakat miqdori momentini kvantlaydi. Fizika va kimyoda bular harfli belgilar bilan guruhlanadi.
- **Magnit kvant soni:** Elektron orbitalining tashqi magnit maydoniga nisbatan fazoda qanuday yo'nalishlarda joylasha olishini ko'rsatadi [5].

Keyinchalik elektronning o'z xususiy impuls momenti, ya'ni spini borligi sababli modelga to'rtinchi kvant soni (spin kvant soni) ham kiritildi va model mukammal ko'rinishga keltirildi [3].

2. Energiya sathlarining tabiati va ko'p elektronli tizimlarga o'tish qonuniyatlari

Kvant-mexanik tahlil vodorod atomidagi elektronning ruxsat etilgan energiya qiymatlari faqat va faqat bosh kvant soniga bog'liq ekanligini ko'rsatdi [4]. Biroq tizimda elektronlar soni ortishi bilan vaziyat tubdan o'zgaradi. Vodorod atomi modelidan ko'p elektronli murakkab atomlar modeliga o'tishda quyidagi fundamental prinsiplar natija sifatida namoyon bo'ladi:

- **Pauli taqiqlash prinsipi:** Bir atomda to'rttala kvant sonining qiymatlari bir xil bo'lgan ikkita elektron bo'lishi mumkin emas [6]. Bu prinsip har bir energetik

qobiq va orbitalda cheklangan miqdordagi elektronlar joylasha olishini belgilaydi. Masalan, bitta orbitalda spini qarama-qarshi bo'lgan ko'pi bilan ikkita elektron joylashishi mumkin.

- **Xund qoidasi:** Berilgan energetik qobiqcha doirasidagi orbitallar elektronlar bilan to'lishida umumiy spin qiymati maksimal bo'lishiga harakat qiladi [7]. Ya'ni elektronlar orbitallarga dastlab bittadan va bir xil yo'nalishdagi spinlar bilan joylashadi, shundan so'nggina juftlashish jarayoni boshlanadi.
- **Klechkovskiy prinsipi (Minimal energiya prinsipi):** Elektronlar atom qobiqlarini to'ldirishda doimo eng kam energiyaga ega bo'lgan sath va ostsathlardan boshlab joylashadi [2].

Muhokama (Discussion). Vodorod atomining kvant-mexanik modeli insoniyatning modda tuzilishi haqidagi tasavvurlarida tub burilish yasadi. U klassik fizikaning barcha deterministik qarashlarini mikrodunyoda inkor etdi [6].

Klassik mexanikadagi aniq chizilgan orbita tushunchasi to'liq barham topdi. Maks Born tomonidan berilgan fizik talqinga ko'ra, elektronning to'lqin funksiyasi uning fazoning ma'lum bir nuqtasida topilish ehtimolligini belgilaydi [4]. Elektron yadro atrofida juda tez va to'lqin tabiatiga xos harakat qilgani uchun u fazoda o'ziga xos "elektron buluti"ni hosil qiladi. Tahlillar shuni ko'rsatadiki, atomning asosiy holatida elektronni yadrodan topish ehtimoli eng yuqori bo'lgan masofa aynan Bor radiusi bilan ustma-ust tushadi [2]. Biroq, bu elektron faqat shu radiusda aylanadi degani emas, balki uning o'sha masofada bo'lishi ehtimoli eng kattadir.

Orbitallarning geometrik shakllari va ko'p elektronli effektlar. Burchakli to'lqin funksiyalari elektron bulutlarining fazoviy ko'rinishini belgilaydi [5]:

- **S-orbital:** Mutloq sferik shaklga ega. Bu holatda elektronni topish ehtimoli yadro atrofida barcha yo'nalishlarda bir xil taqsimlangan bo'ladi.
- **P-orbital:** Gumbazsimon yoki gaddak (gantel) shakliga ega. U fazoning uchta o'zaro perpendikulyar yo'nalishi bo'ylab joylashishi mumkin.

Vodorod atomida bitta elektron bo'lgani uchun energiya faqat bosh kvant soniga bog'liq (ayni bitta sathdagi s va p orbitallarning energiyasi teng). Ammo ko'p elektronli atomlarda elektronlarning o'zaro Kulon itarishishi va yadroni ekranlashi (to'sishi) natijasida orbitallarning energiyalari bir-biridan farq qila boshlaydi [3]. Bu yerda **Pauli prinsipi** va **Xund qoidasi** amaliy ahamiyat kasb etadi. Pauli prinsipi atomning ichki tuzilishiga mustahkamlik beradi — agar bu cheklov bo'lmaganida, barcha elektronlar eng quyi sathga to'planib, moddaning xilma-xilligini yo'qotgan bo'lar edi [6]. Xund qoidasi esa elektronlarning o'zaro itarilish energiyasini minimallashtirish strategiyasini ko'rsatib, atomning magnit xossalarini (paramaqnitizm va diamagnitizm) belgilaydi [7].

Xulosa (Conclusion). Kvant mexanikasida vodorod atomining modeli moddiy dunyoni anglashda inqilobiy qadam bo'ldi. Ushbu model elektronni aniq traektoriya bo'ylab harakatlanuvchi mexanik zarracha sifatida emas, balki ehtimollik qonuniyatlariga bo'ysunuvchi to'lqin sifatida tasvirlaydi. To'lqin tenglamasining izchil tahlili orqali kvant sonlarining tabiiy ravishda yuzaga chiqishi, energiya sathlarining uzlukli tabiati va elektron orbitallarining murakkab fazoviy shakllari to'liq nazariy asoslab berildi [1].

Vodorod modelining eng buyuk muvaffaqiyati shundaki, uning negizida shakllangan Pauli taqiqlash prinsipi, Xund qoidasi va Klechkovskiy prinsiplari ko'p elektronli murakkab atomlar tizimini mukammal tushuntirish imkonini berdi. Aynan ushbu kvant qonuniyatlari D.I. Mendeleyev kimyoviy elementlar davriy tizimining fizik mohiyatini to'liq ochib berdi [2]. Vodorod atomining kvant-mexanik modeli nafaqat fizika va kimyoning, balki zamonaviy qattiq jismlar elektronikasi, lazer texnikasi va bugungi kunda rivojlanayotgan kvant texnologiyalarining fundamental poydevorini tashkil etadi [3].

Foydalanilgan adabiyotlar (References)

1. G'ofurov, G'. (2004). *Kvant mexanikasi*. O'zbekiston Milliy Universiteti nashriyoti.

2. Olimov, Q., & Bozorov, E. (2012). *Atom fizikasi*. Toshkent: "O'qituvchi" nashriyoti.
3. Mo'minov, M. M. (2018). *Kvant mexanikasi va statistik fizika*. Farg'ona: "Klassik" nashriyoti.
4. Landau, L. D., & Lifshitz, E. M. (1977). *Quantum Mechanics: Non-Relativistic Theory* (Vol. 3). Pergamon Press.
5. Griffiths, D. J., & Schroeter, D. F. (2018). *Introduction to Quantum Mechanics*. Cambridge University Press.
6. Feynman, R. P., Leighton, R. B., & Sands, M. (1965). *The Feynman Lectures on Physics: Quantum Mechanics* (Vol. 3). Addison-Wesley.
7. Shankar, R. (2012). *Principles of Quantum Mechanics*. Springer Science & Business Media.