

KO'P ELEKTRONLI ATOM HOLATLARI VA HARTREE NAZARIYASI O'RGANISHNING INTERAKTIV USULI

Shunqorova Dilobar

Sayfullayeva Marjona

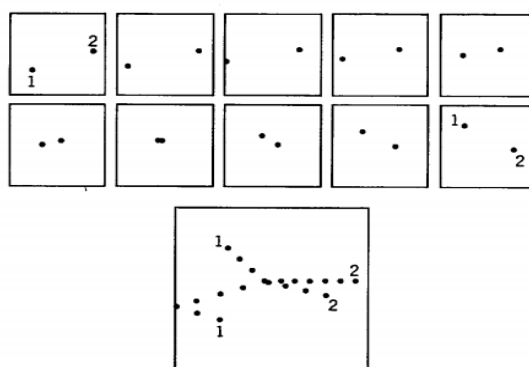
Annotatsiya. Mazkur mavzuda ko'p elektronli atomlarning kvant holatlarini o'rganishda muammoni soddalashtirish uchun ingliz fizigi Duglas Hartree tomonidan taklif etilgan Hartree nazariyasi asos qilib olinadi.

Kalit so'zlar: muammoli masalalar, mantiqiy fikr, ko'p elektronli atomlar, Hartree nazariyasi, Hartree nazariyasi natijalari, effektiv potensial

Ko'p elektronli atomlarni o'rganishdan oldin, kvant mexanikasining bir elektronli atomlar nazariyasiga kirmaydigan muhim mavzusini muhokama qilishimiz kerak. Bu elektronlar kabi ikki yoki undan ortiq bir xil zarralarni o'z ichiga olgan tizimning aniq kvant mexanik tavsifini qanday berish kerakligi haqidagi savolga taalluqlidir. Bu masalani muhokama qilish klassik o'xshashi mutlaqo bo'lmagan kvant mexanik hodisalarga olib keladi. Darhaqiqat, muhokamalar klassik va kvant mexanikasi o'rtasidagi eng yorqin farqlarni ochib beradi. Masalaning mohiyatini aniq bir misol bilan tushuntirish mumkin. Ikkita elektroni bor qutini ko'rib chiqaylik. Bu ikkita bir xil zarracha qutida aylanib yurib, devorlardan sakraydi va vaqti-vaqti bilan bir-biridan sochiladi. Ushbu tizimning klassik tavsifida elektronlar aniq belgilangan trayektoriyalarda harakatlanadi, shuning uchun tizimni doimiy ravishda kuzatish bizga ikkita elektronni, garchi ular bir xil zarralar bo'lsa ham, farqlash imkonini beradi. Masalan, klassik fizikada biz sistemaning rivojlanishini, uni bezovta qilmasdan, sistemaning kinotasvirini olish orqali kuzatishimiz mumkin. Agar biz plyonkaning ma'lum bir kadrida 1 elektronning tasvirini belgilasak va boshqa 2 elektronning tasvirini belgilasak, biz keyingi kadrlar orqali elektronlarning harakatini kuzatishimiz va har doim qaysi elektron 1 va qaysi elektron 2 ekanligini aytishimiz mumkin.

Biroq, kvant mexanikasida bunday farqlash mumkin emas. Elektronlar bir xil zarralar bo'lganligi sababli, ularni ajratib bo'lmaydi. Agar biz tizimni kuzatsak, elektronlar o'zgarmaydigan tarzda, bir-biridan ajralmas holatda bo'ladi. Bu esa, kvant mexanikasining

o'ziga xos xususiyatidir va klassik fizika bilan farq qiladi. Jarayon 1-rasmda ko'rsatilgan. Albatta, biz elektronlarning birini qizil, ikkinchisini yashil rangga bo'yaganimizdek, ularning o'zini ham belgilay olmaymiz. Shunga qaramay, klassik fizikada bir xil zarralarni ularning xatti-harakatlariga ta'sir qilmaydigan protseduralar bilan bir-biridan ajratish mumkin va shuning uchun zarralarga yorliqlar berish mumkin. Klassik tizimda zarralar o'z trayektoriyalarida aniq harakatlanadi, shuning uchun biz har bir elektronni alohida kuzatib, ularni farqlay olamiz. Biroq, kvant mexanikasida bunday farqlash mumkin emas, chunki elektronlar bir xil xususiyatlarga ega va ularni ajratishning imkoni yo'q. Shuning uchun, kvant tizimida zarralarga yorliq berish yoki farqlashning o'zi mantiqan noto'g'ri bo'ladi, chunki ularning o'zaro o'zgarishlarida hech qanday farq yo'q. Kvant mexanikasida buni amalga oshirib bo'lmaydi, chunki **noaniqlik prinsipi** elektronlarning harakatini ularning o'zgarishsiz doimiy ravishda kuzatish imkonini bermaydi. Heisenbergning noaniqlik prinsipi shuni ta'kidlaydiki, bir vaqtning o'zida elektronning aniqlangan pozitsiyasini va impulsini to'liq aniqlash imkonsizdir. Agar biz elektronlarning harakatini kuzatishga harakat qilsak, uning holatini o'zgartirib yuborishimiz mumkin, shuning uchun elektronlar bir-biridan ajralmas va farqlashning iloji yo'q. Kvant tizimida, elektronlar kabi identik zarralar bir xil xususiyatlarga ega bo'lib, ular o'rtasida farqlash qilish mumkin emas. Bu kvant mexanikasining o'ziga xos xususiyati bo'lib, klassik fizikadagi farqlash tushunchasidan mutlaqo boshqacha.



1-rasm. Yuqorida klassik fizikaga ko'ra, qutida harakatlanayotgan ikkita elektron tasviridan o'nta kadr ketma-ketligi. Agar birinchi kadrda tasvirlarga belgilar qo'yilsa, garchi kattalashtirish va "sekin harakat"dan foydalanish zarur bo'lsa-da, har qanday keyingi kadrda tasvirlarga bir xil belgilarni qo'yishda noaniqlik bo'lmaydi. Bu shuni

anglatadiki, klassik fizikada biz elektronlarning harakatini aniq kuzatish va ularni farqlashimiz mumkin, chunki har bir elektronning trayektoriyasi aniq belgilangan va ular bir-biridan ajratish mumkin. Bu bo‘limda biz ko‘p elektronli atomlarning kvant mexanikasi asosida o‘rganilishini boshlaymiz. Ushbu mavzu ushbu va keyingi bob davomida muhokama qilinadi. Ko‘p elektronli atomlar oddiy bir o‘lchamli modellar yoki hatto bitta elektronli atomlarga qaraganda ancha murakkabdir. Biroq, bir qator yaqinlashish (approksimatsiya) usullaridan foydalangan holda ularni maqbul tarzda tahlil qilish mumkin.

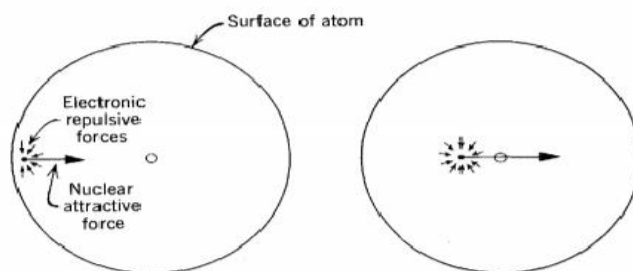
Yondashuv quyidagicha:

1. Dastlabki yaqinlashishda, atom elektronlari ta’sir qiladigan eng muhim o‘zaro ta’sirlar hisobga olinadi.
2. Keyingi bosqichlarda, kamroq ahamiyatli o‘zaro ta’sirlar kiritilib, model yanada aniqroq qilinadi.
3. Shu tarzda, masala bosqichma-bosqich yechiladi va hech bir bosqich juda murakkab bo‘lib ketmaydi.

Bu yondashuv juda foydalidir, chunki: Moddani tashkil etuvchi atomlarning tuzilishini batafsil tushunish imkonini beradi. Ilmiy va muhandislik muammolarini hal qilishda ishlatiladigan yondashuvlarni o‘rganish imkonini beradi. Ko‘pgina darsliklardagi sun’iy soddalashtirilgan masalalardan farqli o‘laroq, haqiqiy ilmiy va texnik muammolar qanday hal qilinishini tushunish uchun muhimdir. Ko‘p elektronli atomlarning birinchi yaqinlashish modeli. Ko‘p elektronli atomni modellashtirishning birinchi bosqichida, atom raqami bo‘lgan atom quyidagicha tahlil qilinadi:

1. Har bir elektronning yadrosi bilan Koulon ta’siri hisobga olinadi. Elektronning zaryadi, yadro zaryadi esa. Yadroning kuchli musbat zaryadi tufayli, bu o‘zaro ta’sir har bir elektron uchun eng kuchli kuch bo‘lib hisoblanadi.
2. Shuningdek, har bir elektronning boshqa elektronlar bilan o‘zaro ta’siri ham inobatga olinishi kerak. Bu ta’sir alohida har bir elektron uchun yadroning ta’siridan kuchsizroq. Biroq, geliy atomining misolida ko‘rib chiqqanimizdek, bu ta’sirni e’tiborsiz qoldirib bo‘lmaydi.

3. Ko'p elektronli atomlar uchun, har bir elektron boshqa barcha elektronlar bilan o'zaro ta'sir qiladi. Elektron yadroga juda yaqin bo'lsa, u holda boshqa elektronlarning ta'siri nisbatan kuchsiz bo'ladi. Agar elektron yadroning tashqi qismida joylashgan bo'lsa, u holda boshqa elektronlarning umumiy ta'siri juda kuchli bo'ladi. Bu hodisa 2-rasmda tasvirlangan.



2-rasm.

Chap tomonda: Yadro tomonidan atomning tashqi qismida joylashgan elektronlarga qo'llaniladigan kuchli tortish kuchi va boshqa elektronlar tomonidan qo'llaniladigan nisbatan zaif itarish kuchlari tasvirlangan. Boshqa elektronlarning umumiy itarish ta'siri muhim rol o'ynaydi, chunki bu kuchlar bir-birini kuchaytirishga moyildir.

O'ng tomonda: Atom markaziga yaqin joylashgan elektronlarga nisbatan yadro tomonidan qo'llaniladigan juda kuchli tortish kuchi va boshqa elektronlar tomonidan qo'llaniladigan nisbatan zaif itarish kuchlari ko'rsatilgan. Bu holatda elektronlarning o'zaro itarish kuchlari bir-birini kompensatsiya qilishga moyildir. Birinchi yaqinlashishda Schrödinger tenglamasi haddan tashqari murakkab bo'lib ketmasligi lozim, aks holda uni hal qilish imkonsiz bo'lib qoladi. Amalda bu shuni anglatadiki, atom elektronlarini mustaqil harakatlanayotgan deb hisoblash kerak, ya'ni, har bir elektronning harakati boshqa elektronlarning harakatiga bog'liq bo'lmazligi lozim. Bunday taxminning afzalligi shundaki, bu holda umumiy vaqtga bog'liq bo'lmagan Shredinger tenglamasini har bir elektron uchun alohida tenglamalarga ajratish mumkin. Ushbu tenglamalar nisbatan sodda bo'lib, ularni yechish qiyin emas, chunki har bir tenglama faqat bitta elektron koordinatalariga bog'liq bo'ladi. Xuddi shu usuldan ikki mustaqil zarra uchun Shredinger tenglamasini yechishda foydalanilgan edi. Biroq, bu yondashuvda muayyan muammo mavjud: Birinchi yaqinlashishda elektronlararo Koulon o'zaro ta'siri hisobga olinishi kerak. Ammo elektronlar mustaqil harakatlanayotgan deb qaralishi lozim. Bu ikki talab

o‘zaro zid. Shu sababli, murosa yondashuvi qo‘llaniladi: Har bir elektron mustaqil harakatlanayotgandek tasvirlanadi, lekin u sferik simmetrik effektiv potensial ta’sirida bo‘ladi. Bu potensial ikkita asosiy komponentdan iborat:

1. Yadro tomonidan hosil qilinadigan sferik simmetrik tortish kuchi (Koulon potentsiali).
2. Boshqa elektronlarning ta’siri natijasida hosil bo‘ladigan itarish kuchi, bu ham sferik simmetrik deb qabul qilinadi.

Bu model 2-rasmda tasvirlangan: Atom markaziga yaqin joylashgan elektronlarga yadroning tortish kuchi $+Ze$ kabi ta’sir qiladi, chunki bu mintaqada boshqa elektronlarning itarish ta’siri deyarli kompensatsiyalanadi. Atom tashqarisidagi elektronlarga esa yadro $+Ze$ zaryadiga ega bo‘lsa ham, boshqa elektronlar ushbu zaryadni qisman ekranlab, natijada yakuniy potensial $+e$ ga yaqin bo‘lib qoladi.

ko‘p elektronli atom uchun Sheridinger tenglamasi va o‘z-o‘zini moslashtirish printsipli. Elektronning harakatini tasvirlash uchun vaqtga bog‘liq bo‘lmagan Shiridinger tenglamasi quyidagicha yoziladi:

$$-\frac{h^2}{2m}\nabla\varphi(r,\varphi)+V(r)\varphi=E\varphi(r,\varphi)$$

- elektronning sferik koordinatalari;
- Laplas operatori (sferik koordinatalardagi formula asosida belgilanadi);
- elektronning umumiy energiyasi;
- elektron uchun effektiv potensial;
- elektronning o‘ziga xos funksiyasi (eigenfunksiya).

Atomning umumiy energiyasi har bir elektronning energiyalar yig‘indisiga teng. Shuningdek, atomning umumiy to‘lqin funksiyasi har bir elektronning to‘lqin funksiyalarining ko‘paytmasi sifatida ifodalanadi. Boshida, elektron tomonidan seziladigan aniq effektiv potensial noma’lum bo‘ladi. Uni topish uchun iteratsion (qadam-baqadam takroriy) usul qo‘llaniladi:

1. Dastlabki taxminiy potensial tanlanadi.
2. Ushbu potensial asosida Schrödinger tenglamasi yechiladi, elektronlarning to‘lqin funksiyalari va zaryad taqsimoti aniqlanadi.

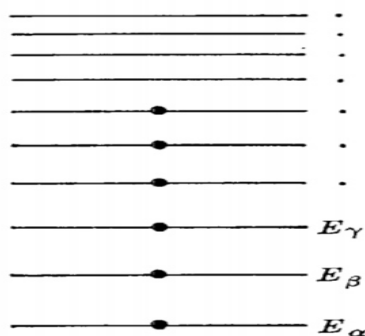
3. Elektronlarning yangi hisoblangan zaryad taqsimotidan foydalanib, yangi effektiv potensial qayta hisoblanadi.

4. Agar yangi hosil bo'lgan potensial avvalgi potensial bilan mos kelmasa, jarayon yana takrorlanadi.

5. O'z-o'zini moslashtirish sharti bajarilganda (ya'ni, takrorlash natijasida potensial o'zgarmay qolsa), to'g'ri effektiv potensial topilgan hisoblanadi.

$$V(r) = -\frac{\frac{ze^2}{4\pi\epsilon r}}{\frac{ze^2}{4\pi\epsilon r}}$$

Ushbu usul Hartree usuli deb ataladi va ko'p elektronli atomlarning energiya holatlarini aniqlashda ishlatiladi. Effektiv potensialni yaxshilash va o'z-o'zini moslashtirish usuli: effektiv potensialni aniqlash iteratsion (qadam-baqadam takroriy) usulda amalga oshiriladi. Bu usul quyidagi bosqichlardan iborat:



3-rasm. Dastlabki taxminiy potensial tanlanadi.

Elektron yadroga yaqin bo'lsa, u to'liq Coulomb tortish kuchini (+Ze) sezadi. Elektron yadrodan uzoq bo'lsa, yadroning zaryadi boshqa elektronlar tomonidan ekranlangan bo'ladi va faqat +e kattaligidagi to'rtta zaryad ta'sir qiladi. Ushbu chegara holatlarga asoslangan holda, oraliq r qiymatlari uchun potensialning dastlabki taxminiy ifodasi tanlanadi.

2. Atomning asosiy (eng past energiyali) holati aniqlanadi. Elektronlar energiya minimal bo'lishi sharti bilan joylashadi. Ko'p elektronli atomlarning to'g'ri tasvirini olish uchun Hartree usulida o'z-o'zini moslashtirish yondashuvi qo'llaniladi. Ushbu jarayon

quyidagi bosqichlardan iborat: Elektronning zaryad taqsimotini hisoblash Elektron to‘lqin funksiyasi atomning turli joylarida elektron topilish ehtimolini aniqlaydi. $Z - 1$ elektronning taqsimoti hisoblanadi va yadroning nuqtaviy $+Ze$ zaryadi bilan qo‘shilib, umumiy zaryad taqsimoti hosil qilinadi. Umumiy elektr maydonni hisoblash. Gauss qonuni asosida zaryad taqsimoti tomonidan hosil qilingan elektr maydon aniqlanadi. Ushbu maydonni integrallash orqali elektronlar sezadigan yangi effektiv potensial hisoblanadi. Iteratsion yondashuv: Agar yangi hisoblangan oldingi taxminiy potensialdan sezilarli farq qilsa, jarayon qaytadan boshlanadi. Shu tariqa,

$$2 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 5 \rightarrow 2 \rightarrow \dots$$

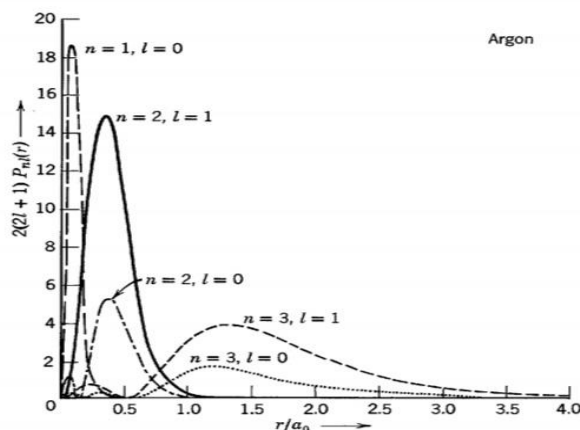
shaklida davom etadi. Natijada o‘z-o‘ziga mos keluvchi potensial hosil bo‘ladi. Pauli taqiqlash printsipli va simmetriya masalasi bosqichda har bir kvant holatiga faqat bitta elektron joylashtirilishi bilan Pauli taqiqlash printsipli qisman bajariladi. Ammo antisimmetrik to‘liq to‘lqin funksiyalar ishlatilmagani sababli, bu yondashuv to‘liq simmetriya talablariga javob bermaydi. Hisoblar shuni ko‘rsatdiki, antisimetriya faqat ba’zi elektronlar juftliklari orasidagi masofani biroz o‘zgartiradi, lekin elektronlarning umumiy taqsimotiga deyarli ta’sir qilmaydi. Kompyuter hisob-kitoblari va tarixiy ahamiyati. Hartree usulining murakkabligi sababli, ilk raqamli kompyuterlar aynan shu hisob-kitoblarni bajarish uchun ishlatilgan. Avvalgi kompyuterlar tranzistor o‘rniga rele sxemalarini ishlatgan. 1960-yillarda Herman va Skillman zamonaviy kompyuterlar yordamida ko‘p elektronli atomlarning energiya darajalarini aniq hisoblab chiqishdi.

Ko‘p elektronli atomdagi elektron uchun sferik simmetrik to‘r potensialda Hartree nazariyasi yordamida topilgan o‘ziga xos funksiyalar (eigenfunctions), 7-bobda bir elektronli atom uchun ko‘rib chiqilgan o‘ziga xos funksiyalar bilan yaqin bog‘liqdir. Aslida, ular bir-biriga juda o‘xshashdir. Hartree nazariyasidagi o‘ziga xos funksiyalar quyidagicha yozilishi mumkin:

$$\psi_{nlm_{l m_s}}(r, \theta, \varphi) = R(r) \Theta_{lm_l}(\theta) \Phi_{m_l}(\varphi) (m_s)$$

Bu yerda o‘ziga xos funksiyalar bir elektronli atomdagi singari n, l, m_l, m_s kvant sonlari bilan belgilanadi va bu kvant sonlari o‘zaro ilgari qanday bog‘langan bo‘lsa, bu yerda ham shunday bog‘langan. Elektronning spiniga mos keluvchi o‘ziga xos funksiya — bu yerda sxematik tarzda bilan ifodalangan — bir elektronli atomdagi kabi aynan o‘sha

ko‘rinishdadir. Burchak yo‘nalishiga bog‘liq bo‘lgan funksiyalar, ya’ni φ ga bog‘liq sferik garmoniyalar ham bir elektronli atomdagidek bo‘ladi. Buning sababi shundaki, sferik simmetrik to‘r potensialda elektron uchun yozilgan vaqtga bog‘liq bo‘lmagan Shredinger tenglamasi shakli jihatidan, burchak koordinatalar bo‘yicha, sferik simmetrik Kulon potensialdagi elektron uchun yozilgan tenglama bilan aynan bir xil. Shunday ekan, to‘g‘ridan-to‘g‘ri ularning yechimlari va sferik garmoniyalardir. Hartree usulining 4-qadamida foydalaniladigan zaryad taqsimoti esa to‘liq sferik simmetrik deb qabul qilinadi; ya’ni, bu amalda olingan taqsimotga maksimal darajada yaqin sferik simmetrik taqsimotdir. Biroq, ko‘p elektronli atomda elektron uchun o‘ziga xos funksiyaning r ga bog‘liqligi bir elektronli atomdagidek emas. Bunga sabab shuki, $R_{nl}(r)$ funksiyalarini aniqlovchi differensial tenglamaga kiruvchi $V(r)$ potensial bir elektronli atomdagi Kulon potentsiali kabi r ga bog‘liq emas. Ko‘p elektronli atomdagi r bo‘yicha radial funksiyalarning xatti-harakatlari 9-10-rasmda ko‘rsatilgan. Bu rasmda argon ($Z = 18$) atomi uchun Hartree hisoblashlari asosida $2(2l + 1) \cdot 4\pi r^2 R_{nl}(r) = 2(2l + 1) \cdot P_{nl}(r)$ ko‘rinishidagi kattalik chizilgan. Bu yerda $P_{nl}(r)$ n va l kvant sonlariga ega bo‘lgan elektronning r radius atrofida joylashish ehtimoli bo‘yicha radial ehtimollik zichligi. Har bir l qiymati uchun $(2l + 1)$ ta m_l holati, va har bir m_l uchun 2 ta m_s qiymati bo‘lishi mumkin. Shuning uchun $2(2l + 1) \cdot P_{nl}(r)$ — bu holatlarga eksklyuziya prinsipi asosida joylashishi mumkin bo‘lgan elektronlar soni bilan ko‘paytirilgan ehtimollik zichligidir. Argon atomining asosiy holatida quyidagi holatlar to‘liq to‘ldirilgan bo‘ladi: $n = 1, l = 0$ uchun 2 ta elektron, $n = 2, l = 0$ uchun 2 ta elektron, $n = 2, l = 1$ uchun 6 ta elektron, $n = 3, l = 0$ uchun 2 ta elektron, $n = 3, l = 1$ uchun 6 ta elektron. Bu holatlar eng past energiyali bo‘lgani uchun argon atomining asosiy holatida to‘ldirilgan bo‘ladi. 9-11-rasmda esa argon atomi uchun umumiy radial ehtimollik zichligi $P(r)$ tasvirlangan. Bu — atomda mavjud bo‘lgan barcha n va l qiymatlaridagi holatlar bo‘yicha radial ehtimollik zichliklarining, elektronlar soni bilan ko‘paytirilgan holda, yig‘indisidir. Demak, bu — elektronning r radiusga yaqin joylashgan bo‘lish ehtimolini ifodalaydi. Shu bilan birga, bu rasmda Hartree hisoblashlariga asosan argon atomidagi har bir elektron harakatlanayotgan umumiy potentsialning r bo‘yicha o‘zgarishi ham ko‘rsatilgan.



4-rasm. Hartree nazariyasi bo'yicha argon atomining to'ldirilgan kvant holatlari uchun radial ehtimollik zichliklari, bu yerda r/a_0 – vodorod atomi birinchi Bor orbitasi radiusi a_0 birliklaridagi radial koordinata sifatida ifodalangan. Har bir n uchun ehtimollik zichligi r/a_0 ning cheklangan oraliqlarida jamlangan bo'lib, bu oraliq qobiqlar deb ataladi. Tashqi qobiq ($n = 3$) uchun radius r/a_0 qiymati 1.0 dan biroz kattaroq, ichki qobiq ($n = 1$) uchun r/a_0 qiymati 1.0 dan ancha kichik. Ya'ni, argonning eng tashqi qobig'i vodorod atomining yagona qobig'i radiusi a_0 dan biroz kattaroq, argonning eng ichki qobig'i esa vodorod qobig'idan ancha kichik radiusga ega.

Ko'p elektronli atomlarda har bir elektron yadroviy kuchdan tashqari boshqa elektronlar bilan ham o'zaro ta'sir qiladi. Bu o'zaro ta'sirlar sababli ularning kvant holatlarini aniq aniqlash juda murakkab. Hartree nazariyasi bu muammoni soddalashtirish uchun ishlab chiqilgan bo'lib, unda har bir elektron qolgan elektronlarning ta'sirini “o'rtacha potensial maydon” sifatida hisobga oladi. Buning natijasida har bir elektron uchun alohida Shredinger tenglamasi yechiladi. Hartree nazariyasi atomlarning elektron konfiguratsiyasi va energiya darajalarini taxminiy aniqlashda foydalidir. Biroq, u elektronlarning to'liq o'zaro ta'sirini (ayniqsa, almashinish effektlarini) hisobga olmaydi, shuning uchun ko'proq aniqlik kerak bo'lsa, Hartree–Fock yondashuvi qo'llaniladi. Xulosa qilib aytganda, Hartree nazariyasi — ko'p elektronli atomlarning energetik holatlarini hisoblashda oddiy, ammo foydali yondashuv bo'lib, elektronlararo o'zaro ta'sirlarni o'rtacha maydon orqali hisobga oladi. Bu nazariya kvant kimyo va atom fizikasi asoslarini tushunishda muhim ro'l o'ynaydi.

Foydalanilgan adabiyotlar:

1. Ashirov Shamshiddin, Mamatov Abdurayim, Boymirov Sherzod, Sattarkulov Komil, Daminov Rahim. [Development of problem technology of teaching in physics](#). - European Journal of Research and Reflection in Educational Sciences, 2019.
2. Sherzod Boymirov, Shamshiddin Ashirov, Alijon O'rozboqov, Abduraim Mamatov, Islom Shermatov. [The effect of using interactive methods in teaching physics](#). ACADEMICIA: An International Multidisciplinary Research Journal. 2021. 11 (3), p-962-971.
3. Sherzod Boymirov, Shamshiddin Ashirov, Alijon Urozbokov, Abduraim Mamatov, Olimjon Xolturayev. [Increase the creativity of students by creating problem situations when teaching the physics mechanics section](#). Asian Journal of Multidimensional Research (AJMR). 2021. 10 (3), p-247-253.
4. Boymirov Sherzod Tuxtaevich, Gayibnazarov Rozimurod Bakhtiyorovich, Axmedova Manzura Gulomjonovna, Berdikulova Shakhsanam Umaralievna, Saparova Gulmira Bakhtiyarovna. [Principles of selection of materials on the problem method of teaching physics in secondary schools](#). Texas Journal of Multidisciplinary Studies. 2022. P-283-288.
5. Makhmudov Yusup Ganievich, Boymirov Sherzod Tuxtaevich. [Types of Positive Communication in the Problematic Teaching of Physics in Secondary Schools](#). Academicia Globe: Inderscience Research. 2022. P-241-243.
6. Boymirov Sherzod Tuxtaevich, Gayibnazarov Rozimurod Bakhtiyorovich, Axmedova Manzura Gulomjonovna, Berdikulova Shakhsanam Umaralievna, Muminjonov Sadiqbek Ikromjonovich. [The Role of Problematic Types of Physics Questions in Directing the Reader to Creative Activity](#). The Peerian Journal. 2022. P-54-58.
7. Makhmudov Yusup Ganievich, Boymirov Sherzod Tuxtaevich. [Step-By-Step Processes of Creative Activity of Students in ProblemBased Teaching of the Department of Physics "Electrodynamics" in Secondary Schools](#). Eurasian Journal of Learning and Academic Teaching. 2022. P-132-135.

8. Boymirov Sherzod Tuxtayevich, PRINCIPLES OF MATERIAL SELECTION IN PROBLEM TEACHING OF ELECTRODYNAMICS. Scientific Bulletin of Namangan State University. 2020. P-362-368.

9. Ashirov Shamshidin Axnazarovich, Boymirov Sherzod Tuxtayevich, Shermatov Islam Nuriddinovich, Khulturaev Olimjon Abduvalievich. METHODS OF FORMATION OF EXPERIMENTA. World scientific research journal. 2022. P-14-21.

10. Ashirov Shamshidin Axnazarovich, Boymirov Sherzod Tuxtayevich, Khulturaev Olimjon Abduvalievich, Shermatov Islam Nuriddinovich. DESIGN LABORATORY ASSIGNMENTS AIMED AT THE FORMATION OF EXPERIMENTAL SKILLS. World scientific research journal. 2022. P-8-13.

11. Боймиров Ш.Т. [УЗЛУКСИЗ ТАЪЛИМ ТИЗИМИДА “ЭЛАСТИКЛИК КУЧИ” МАВЗУСИНИ ЎҚИТИШ УЗВИЙЛИГИ](#). Science and innovation 3 (Special Issue 29), 350-352-b

12. Боймиров Шерзод Тухтаевич, Қурбонов Бехруз Бахтиёр Ўғли. ҚУЁШ СИСТЕМАСИДАГИ МАЙДА ПЛАНЕТАЛАРНИНГ ФИЗИК ТАБИАТИ МАВЗУСИНИ ЎҚИТИШ МЕТОДИКАСИ. Science and innovation. 2024, 353-355

13. Боймиров Шерзод Тухтаевич. УМУМТАЪЛИМ МАКТАБЛАРИДА МЕХАНИКА БЎЛИМИГА ОИД ФИЗИК ТУШУНЧАЛАР МАЗМУНИ ЎРГАНИШНИ ТАКОМИЛЛАШТИРИШ МЕТОДИКАСИ. Science and innovation. 2024. 309-312-b.

14. Boymirov Sherzod Tuxtayevich, Eshonqulova Oyjamol Nomoz Qizi. IXTISOSLASHGAN MAKTABLARDA “TERMODINAMIKANING BIRINCHI QONUNI” MAVZUSINI O‘QITISH METODIKASI. Science and innovation. 2024. 306-308-b.

15. Boymirov Sh T, Dursoatov A Ch, Tursunov Sh T. METHODOLOGY OF ORGANIZING AND ITS CONDUCT OF STUDY PRACTICE FOR PHYSICS IN HIGHER EDUCATION WITH PROBLEM CONTENT. International journal of conference series on education and social sciences (Online), 2023.

16. Boymirov Sherzod Tuxtaevich, Akbarov Abdulaziz Axrorovich. The Second General Law Of Thermodynamics Teaching Method. Czech Journal of Multidisciplinary Innovations. 2022. P-13-18.

17. Резник Ю.А., Ландау А.И. Атомная физика. — М.: Высшая школа, 1985.

18. Griffiths, D. J. Introduction to Quantum Mechanics. — 2nd Edition, Pearson Prentice Hall, 2005.