

Date: 7th October-2026

KVANT NUQTALARIDA ELEKTRON HOLATLARNING NAZARIY
TAHLILI

Muallif: Ibroximova Shaxlo Abduqodir qizi

Muassasa: Farg'ona davlat universiteti



Kvant nuqtasi elektron va teshiklarning harakati uch o'lchamda cheklangan yarimo'tkazgichli nanostrukturadir. Uning o'lchami nanometrlar tartibida bo'lib, tashuvchining de Broyl to'lqin uzunligi bilan qiyoslanadi. Hajmiy kristalda ruxsat etilgan energiyalar deyarli uzluksiz zonani hosil qilsa, kvant nuqtasida cheklovchi potensial tufayli diskret elektron sathlar yuzaga keladi. Shu xususiyat kvant nuqtasini atomlarga o'xshash, biroq parametrlarini texnologik yo'l bilan boshqarish mumkin bo'lgan "sun'iy atom" sifatida qarashga imkon beradi. Mavzuning dolzarbligi nanoelektronika va kvant fotonikasida elektron holatlarni maqsadli boshqarishga bo'lgan ehtiyoj bilan belgilanadi.

Elektron holatlarni tavsiflashning eng sodda modeli effektiv massa yaqinlashuvidir. Bu yondashuvda kristall panjaraning murakkab davriy potentsiali elektron yoki teshikning effektiv massasi orqali hisobga olinadi, kvant nuqta esa cheklovchi potentsialga ega sferik soha sifatida olinadi. Shredinger tenglamasining bunday geometriya uchun yechimlari radial va orbital kvant sonlari bilan tavsiflanadi. Eng quyi sath 1S, undan yuqori holatlar 1P, 1D va keyingi qobiqlar sifatida belgilanadi. Sferik ideal modelda bir xil orbital kvant sonli holatlar degeneratsiyalangan bo'lishi mumkin, biroq real nuqtadagi shakl nosimmetriyasi, strain yoki tashqi maydon bu degeneratsiyani buzadi.

Kvant-cheklanish elektron energiyasiga radiusning kvadratiga teskari proporsional musbat hissa kiritadi. Demak, radius kamaygan sari elektron sathlari orasidagi energiya masofasi kattalashadi. Bu qonuniyat elektron uchun ham, teshik uchun ham amal qiladi, lekin ularning effektiv massalari turlicha bo'lgani sababli siljish miqyosi ham bir xil emas. Yengil effektiv massali tashuvchi kuchliroq cheklanadi va energiya bo'yicha ko'proq siljiydi. Shu natija tarkibi bir xil, ammo o'lchamlari turlicha bo'lgan QNlarda elektron spektrning sezilarli farqlanishini tushuntiradi.

Elektron holatlarni faqat bir zarrachali model bilan cheklash yetarli emas. Optik uyg'onishda hosil bo'lgan elektron va teshik Coulomb tortishuvi orqali bog'langan eksiton holatini yaratadi. Eksiton bog'lanish energiyasi elektron-teshik to'lqin funksiyalarining qoplanishi va dielektrik ekranlanishiga bog'liq. Kichik QNlarda tashuvchilar fazoviy jihatdan yaqin joylashgani uchun ularning o'zaro ta'siri kuchayadi. Biroq cheklanish energiyasi radiusga teskari kvadrat, eksiton tuzatmasi esa radiusga teskari qonun bilan o'zgaradi. Shu bois kuchli cheklanish rejimida sathlar tuzilishini shakllantirishda kinetik hissa ustun turadi, eksiton esa energiyani pasaytiruvchi muhim korreksiya bo'lib qoladi.

Real QN elektron spektriga sirt holatlari katta ta'sir ko'rsatadi. Yadro sirtidagi to'yinmagan bog'lar, oksidlanish yoki kristall nuqsonlar taqiqlangan zona ichida lokal sathlarni paydo qilishi mumkin. Bu sathlar elektron yoki teshikni ushlab qolib, foydali band-chekka holatlar bilan raqobatlashadi. Natijada tashuvchining relaksatsiyasi, zaryadlanish ehtimoli va no-radiativ rekombinatsiya tezligi o'zgaradi. Katta taqiqlangan zonali qobiq

Date: 7th October-2026

bilan sirtni qoplash elektron holatlarning sofroq bo'lishini ta'minlaydi: tashuvchi to'liq funksiyasining sirtga chiqishi kamayadi va tuzoq sathlarining ta'siri susayadi.

Yadro-qobiq geterotuzilmalarida zonalar moslashuvi elektron holatlarni muhandislik yo'li bilan boshqarish imkonini beradi. I-tip tizimlarda elektron va teshik, odatda, kichik taqiqlangan zonali yadroda birga lokalizatsiyalanadi. Bu kuchli to'liq-funksiya qoplanishini va radiativ o'tish ehtimolini ta'minlaydi. II-tip tizimlarda esa tashuvchilar turli material qatlamlariga ajraladi; bunda elektron-teshik qoplanishi kamayadi, holatning umri uzayadi va o'tish energiyasi o'zgaradi. Demak, bir xil yadro radiusi ham qobiqning tarkibi va qalinligiga qarab turli elektron spektrga ega bo'lishi mumkin.

Elektron holatlarning nozik tuzilishini aniqlashda spin va almashinuv o'zaro ta'siri ham zarur. Elektron va teshik spinlarining kombinatsiyasi yorug' hamda qorong'i eksiton holatlarini hosil qiladi. Yorug' holatdan dipol o'tish ruxsat etilgan bo'lsa, qorong'i holatning nurlanishi spin yoki simmetriya cheklovi tufayli susaygan bo'ladi. Past temperaturalarda bu holatlar orasidagi kichik energiya farqi lyuminessensiya umriga kuchli ta'sir qiladi. Tashqi elektr va magnit maydonlar Zeeman hamda Stark siljishlarini yuzaga keltirib, elektron sathlar va tanlash qoidalarini boshqarish uchun qo'shimcha vosita bo'la oladi.

Kvant nuqta ansambllarida individual elektron spektri o'lcham va shakl bo'yicha dispersiya natijasida kengaygan holda kuzatiladi. Monodispers sintez sathlar oralig'ining bir jinsliligini oshiradi hamda spektral chiziqlarni toraytiradi. Alohida QNlarni past temperaturali spektroskopiya bilan o'rganish esa ansambl o'rtachalashidan yashiringan nozik qobiqlar, eksiton splittingi va zaryadlangan eksiton holatlarini ko'rsatadi. Shuning uchun nazariy modellarni baholashda alohida nuqta hamda ansambl tajribalarini farqlash muhim metodik shartdir.

Xulosa qilib aytganda, QN elektron holatlarining diskretlashuvi radius, effektiv massa, cheklovchi to'siq, dielektrik muhit va yadro-qobiq interfeysi tomonidan belgilanadi. Effektiv massa modeli o'lchamga bog'liq asosiy trendlarni ochib bersa, yuqori aniqlik uchun ko'p zonali k'p, tight-binding va atomistik pseudopotensial yondashuvlari zarur bo'ladi. Elektron sathlarni va sirt holatlarini nazorat qilish QN asosidagi lazer, detektor, kvant sensor hamda bir fotonli manbalarning energiya samaradorligi va funksional barqarorligini oshirishning nazariy asosini tashkil etadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

1. Brus, L. E. (1984). Electron–electron and electron–hole interactions in small semiconductor crystallites. The Journal of Chemical Physics, 80(9), 4403–4409. <https://doi.org/10.1063/1.447218>
2. Efros, A. L., & Efros, A. L. (1982). Interband absorption of light in a semiconductor sphere. Soviet Physics Semiconductors, 16, 772–775.
3. Harrison, P., & Valavanis, A. (2016). Quantum wells, wires and dots. Wiley.
4. Klimov, V. I. (2010). Nanocrystal quantum dots (2nd ed.). CRC Press.
5. Mittelstädt, A., Schliwa, A., & Klenovský, P. (2022). Modeling electronic and optical properties of III–V quantum dots. Light: Science & Applications, 11, 17. <https://doi.org/10.1038/s41377-021-00700-9>