

Information on the Emergence of Quantum Physics and Quantum-Dimensional Heterostructures

Tursunbayeva Durdonakhan Adkhamjon qizi

Master's Student, 1 st Year, Department of Physics, Faculty of Physics and Mathematics, Namangan State University, Tel: +998950069742 E-mail:

tursunboyevad09@gmail.com

Scientific supervisor: Erkabayev Ulug`bek

Annotation: This article provides a comprehensive overview of the main concepts and scientific terms of modern quantum theory for students and researchers interested in the field of quantum physics. During the study, quantum-scale states, quantum-scale heterostructures, and some relevant scientific works in this area were analyzed. In particular, the meanings of fundamental terms such as “qubit,” “quantum dots,” and “quantum well” were explained, highlighting their role in quantum technologies. The methodologies and results of two promising scientific studies were compared using an analytical approach. Finally, the current trends in research on quantum physics were summarized in the conclusions.

Keywords: Quantum dot, macroscopic system, discrete, cubic, quantum well (QW), epitaxial, atomistic, valley splitting (VS), random alloy, FCC (face-centered cubic) crystal, strain, quantum dot qubit.

KVANT FIZIKASI PAYDO BO`LISHI HAQIDA MA`LUMOTLAR VA KVANT O`LCHAMLI GETEROSTRUKTURALAR

Tursunbayeva Durdonaxon Adxamjon qizi

Namangan Davlat Unversiteti Fizika-matematika fakulteti fizika yo`nalishi 1-bosqich magistranti, Tel: +998950069742 E-mail: tursunboyevad09@gmail.com

Ilmiy rahbar: Erkabayev Ulug`bek

Annotatsiya. Ushbu maqolada kvant fizikasi sohasiga qiziquvchi o'quvchi va tadqiqotchilar uchun zamonaviy kvant nazariyasining asosiy tushunchalari va ilmiy atamalari keng yoritiladi. Tadqiqot davomida kvant o'lchamli holatlar, kvant o'lchamli geterostrukturalar hamda ushbu yo'nalishda olib borilgan ayrim ilmiy ishlanmalar tahlil qilindi. Xususan, "qubit", "kvant nuqtalar", "quantum well" kabi fundamental terminlarning mazmuni sharhlanib, ularning kvant texnologiyalaridagi o'rni ochib berildi. Mazkur maqolada ikkita istiqbolli ilmiy ishning metodologiyasi va natijalari tahliliy yondashuv asosida solishtirildi. Yakunda kvant fizikasi bo'yicha olib borilayotgan tadqiqotlarning hozirgi rivojlanish tendensiyalari xulosalarda umumlashtirildi.

Kalit so'zlar: Kvan dot, makroolam, diskret, qubik, quantum well(QW), epitaksial, atomistic, Valley splitting(VS), tasodifiy alloy, FCC (face-centered cubic) kristall, deformatsiya, Kvant dot kyuib.

Kirish. Kvant fizikasi haqida XX asrlarda yorug'likni nafaqat to'lqin balki, zarra xususiyatini ham tushuntiraolish orqali va bu jarayonni tushunishda klassik fizika ya'ni Makroolam (10^{-6} m dan 10^6 m gacha oraliq) qonunlari o'z tastiqlini yo'qotishi o'sha davrning mashxur olimlari: Maks Plank, Albert Eynshteyn, Nils Bor, Verner Geyzenberg, Ervin Shryodinger, Pol Dirak va boshqalar bajargan tajribalari ba fanga kiritgan nazaryalari tasdiqlab berdi. Kelayotgan yorug'lik nurlari po'rsiyalangan energiya kvantlari ya'ni fotonlar sifatida kelishi va moddalar atomlari sathlaridagi elektronlarga yutilishi va chiqarilishi diskret (aniq) qiymatdagi energiyani bo'lishini anglatadi. Chunki atom sathlaridagi elektronlar faqatgina ikki sath orasidagi energiyalar farqiga teng qiymat berilgandagina sathdan sathga o'tishi yoki atom sirtiga chiqishi mumkin bo'ladi.

Jismlarning issiqlik nurlanishi qonuniyatlarini nazariy tomondan tushunitish XIX asrning oxiri XX asrning boshlariga kelib klassik fizikada eng muhim muammoga

aylangan edi. Elektromagnit nurlanishning intensivligi va spektrlar ustida olib borilgan izlanishlarda klassik fizika birinchi bor jiddiy mag`lubiyatga uchraydi[1.-B.15].

Adabiyotlar

Kvant fizika va kvant o`lchamli geterostrukturalar haqida ish olib borgan olimlardan quyidagilarni keltiriladi: Paul Davies 2025-yilda kvant fizikasi tarixidan boshlab, to bugungacha bo`lgan rivojlanish va kvant texnologiyalaridagi inqilobni ochib bergan Quantum 2.0 nomli kitobini yozgan. Kitobni o`qish davomida izlanuvchilar kvant fizikasi haqida ko`p ma`lumotlarni bilib olishi maqsad qilingan deyishligimiz xato bo`lmaydi.

Gilad Gour 2024-yilda Resources of the Quantum World deb nomlangan kitob yozadi va kvant resurs nazariyasiga ya`ni kvant holatlaridan qay tarzda resurs sifatida foydalanaolish haqida tushuncha beradi. Ushbu kitob kvant axborot falsafasini va uni tushuntiradigan ilmiy asoslarni umumiy o`z ichiga oladi.

Tommaso Favalli ismli olim ham 2025-yilda o`zining On the Emergence of Time and Space in Closed Quantum Systems nomli maqolasida asosiy mavzular sifatida makon, vaqt va o`zaro bog`lanishlar kuzatib chiqiladi. Maqola mavzusining tarjimasi: Yopiq kvant tizimlarida vaqt va makon paydo bo`lishi. Yuqoridagilar ya`ni vaqt, makon va o`zaro bog`lanishlarning orasidagi bo`g`lanishni va ular uzviy bog`liqligini muallif tadqiq qiladi. Ular orasidagi bog`lanish fizika sohasida muhim ahamiyat kasb etayotganligini aytib o`tiladi.

Tadqiqot metodologiyasi

SiGe quantum wells with oscillating Geconcentrations for quantum dot qubits nomli maqola McJunkin va boshqalar (2025) tomonidan amalga oshirilgan tadqiqotni o`z ichiga oladi. Maqola mavzusi tarjimasi: Kvant dot kyuiblari uchun Ge konsentratsiyasi o`zgarib turuvchi SiGe kvant chuqurliklari.

Bu yerda Kvant dot – kvant nuqta bo`lib nanometer(10^{-9} m) o`lchamdagi yarimo`tkazgich material hisoblanadi va u elektronlar va teshiklarni uch o`lchamda o`z ichiga oladi. Buning natijasida elektronlarning energiya darajalari diskret yani aniq kvantlangan qiymatda bo`ladi. Kyubit – Qubit deb tarjima qilinib kvant hisoblashlardagi eng kichik bo`lgan axborot birligi hisoblanadi.

Maqolada yoziladiki: Ushbu ishda biz “Wiggle Well” deb nomlangan yangi turdagi geterostrukturani taklif qilamiz va tajribaviy namoyish qilamiz. Uning asosiy xususiyati — kvant quduq ichida Ge konsentratsiyasining tebranishlari (osillyatsiyalari). Eksperimentlar shuni ko`rsatadiki, kvant quduq ichiga Germaniy kiritilishi yakka elektronli kvant nuqtalarini hosil qilish va boshqarish qobiliyatiga sezilarli ta`sir ko`rsatmaydi[2].

Valley splitting depending on the size and location of a silicon quantum dot nomli maqola ham juda dolzarb ilmiy mavzuda bo`lib mualliflar Jonas R. F. Lima va Guido Burkard ismli tadqiqotchilar bo`lib maqola mavzusining tarjimasini quyidagicha: Silitsiy kvant dotining o`lchami va joylashishi vodiy holatlarining energiya farqlariga ta`sir qiladi. Ya`ni Silitsiy deb nomlangan kvant nuqtasini o`lchami va joylashishini yarimo`tkazgich materiallaridagi elektronlarning energiya darajalari farqlariga ta`siri tadqiq qilinadi. Maqolada yoziladiki: Kvant nuqtaning o`lchami va VSga ta`siri Bizning hisob-kitoblarimiz ko`rsatadiki, kvant nuqtaning gorizontol o`lchami kichraygan sari VS kattalashadi. Sababi, kichik kvant nuqta elektron to`lqin funksiyasini interfeys qadamlariga nisbatan yanada “qattiqroq” cheklaydi, natijada vodiylar o`rtasidagi energiya farqi ortadi[3].

Practical Strategies for Enhancing the Valley Splitting in Si/SiGe Quantum Wells deb nomlangan maqola Merritt P. Losert va boshqalar tomonidan yozilgan. Maqolada **Si/SiGe kvant yasalgan qatlamlaridagi (quantum wells) vodiy holatlari (valley) energiya farqlanishini (valley splitting) oshirish bo`yicha amaliy strategiyalarni**

nazariy tahlil qiladi. Maqolada qilingan ishlar bo'yicha quyidagicha ma'lumot berilgan: Silicon/Silicon-Germanium geterostrukturalari spin kubitlarni joylashtirish uchun ko'plab muhim afzalliklarga ega. Shu bilan birga, vodiy holatlari farqlanishini (ikkinchi darajadagi eng past konduksiya vodiylaridagi energiya farqi) boshqarish — kubitning ishonchliligini ta'minlashda hal qiluvchi muammo bo'lib qolmoqda. Kvant nuqtalar bir xil chipda hosil bo'lganda ham, vodiy holatlari farqlanishining keng tarqalgan taqsimotlari uchrab turadi. Ushbu ishda biz nazariy jihatdan vodiy holatlari farqlanishini pasaytiradigan va o'zgaruvchanlikka sabab bo'ladigan kvant quduqlaridagi noideal interfeyslar (masalan, kengaygan interfeyslar va interfeysdagi atom qadamlar) bilan germanium kontsentratsiyasidagi o'zgarishlarning o'zaro ta'sirini izchil hisobga olgan holda o'rganamiz[4].

Tahlil va natijalar. Yuqoridagi ikkita maqolada bajarilgan ishlarni, olingan natija va xulosalarni tahlil qilsak. 1-maqolaning mavzu tarjimasini Kvant dot kyuiblari uchun Ge kontsentratsiyasi o'zgarib turuvchi SiGe kvant chuqurliklari. Ushbu maqola bugungi kunda kvant fizikasi sohasida muhim ahamiyatga ega. Bajarilgan ish quyidagicha yoziladiki: Biz Si/SiGe quantum well (QW) tizimini atomistik darajada modellashtirdik. Modellar quyidagi xususiyatlarga ega:

Si qatlam qalinligi: 5–15 nm

Ge tarkibidagi SiGe qatlamlari: 0–30%

Qatlamlar epitaksial tarzda joylashtirilgan, burchak va deformatsiyalar aniqlangan.

Atomlar FCC (face-centered cubic) kristall tuzilishi bo'yicha joylashtirilgan va Vegard qoidasi yordamida qiyosiy SiGe aralashmasi hisoblangan[1]. Tadqiqotda bir nechta modelar sinab ko'rilgan va natijalar solishtirilgan. Barcha modellardan olingan natijalarni jadval ko'rinishida ko'rsatilgan:

Model	Qulaylik	Aniqlik	Natija trendlari
-------	----------	---------	------------------

DFT	Yuqori hisoblash yuklari	Eng aniq	Atomistik detallarni to'liq beradi
TB	Katta tizimlar uchun tez	Yuqori	Tasodifiy alloyni hisobga oladi
EM+2k ₀	Eng tez	Trend asosida	Valley splittingning asosiy mexanizmini ko'rsatadi

DFT, TB va EM modellari solishtiruv[1].

Endi ushbu maqoladagi ayrim fizik atamalarni tahlil qilsak: quantum well(QW), kvark, epitaksial, atomistic, Valley splitting(VS), tasodifiy alloy, FCC (face-centered cubic) kristall), deformatsiya, Kvant dot kyuib.

Quantum well – tarjimasida kvant quduq(o'ra) bo'lib, u nanometer o'lchamdagi tuzilma va zaryad tashuvchilar(elektronlar yoki kvarklar) quduqni ichida faqatgina bitta fazoviy yo'nalishdagina cheklangan va qolgan ikki yo'nalishda erkin harakatlana oladi.

Kvark – fundamental ya'ni elementar zarracha bo'lib, bu moddaning asosiy tarkibiy qisimlaridan biri hisoblanadi. Kvarklardan proton va neytronlar hosil bo'lishi bilan bu zarrachalar atom yadrosini tashkil qiladi.

Epitaksial – bu atama kristall o'sish jarayonini anglatadi va yupqa kristall qatlami Kristal modda ustida o'stiriladi va bundan hosil bo'lgan modda oldingi moddaning kristall tuzilishi bilan birga bunga bog'liq yo'nalishga mos holda shakllanadi.

Atomistic – bu o'lcham bo'lib atom oralig'idagi ma'nosini anglatadi.

Valley splitting(VS) - yarimo'tkazgich materiallaridagi elektronlarning energiya darajalaridir.

Tasodifiy alloy - ushbu atamani tarjimasida tasodifiy aralashma degan ma'noni beradi.

FCC (face-centered cubic) kristall) – ma’nosi quyidagicha; yuzasi markazlashgan kubik shakldagi kristall.

Deformatsiya – moddalarga tashqi tomondan ta’sir qiladigan turli xil mexanik ta’sirlar. Misol uchun: bukilish, cho`zilish va boshqalar.

Kvant dot kyuib – Kyubit bu Qubit deb tarjima qilinib kvant hisoblashlardagi eng kichik bo`lgan axborot birligi hisoblanadi bundan kelib chiqib kvant dot kyuib esa kvant nuqta kubi degan ma’no keltirish mumkin. Ilmiy ma’nosi: yarimo`tkazgichli kvant nuqtada fazoviy cheklangan zaryad tashuvchining spini yoki energetik holatlari asosida axborotni saqlovchi hamda qayta ishlovchi ikki darajali kvant tizimdir.

Ikkinchi maqola mavzusi: Valley splitting depending on the size and location of a silicon quantum dot. Mavzuning tarjimasi quyidagicha: Silitsiy kvant dotining o`lchami va joylashishi vodiylar holatlarining energiya farqlariga ta’sir qiladi. Ya’ni Silitsiy deb nomlangan kvant nuqtasini o`lchami va joylashishini yarimo`tkazgich materiallaridagi elektronlarning energiya darajalari farqlariga ta’siri tadqiq qilinadi. Maqolada yozilishicha: Bizning hisob-kitoblarimiz ko`rsatadiki, kvant nuqtaning gorizontall o`lchami kichraygan sari VS kattalashadi. Sababi, kichik kvant nuqta elektron to`lqin funksiyasini interfeys qadamlariga nisbatan yanada “qattiqroq” cheklaydi, natijada vodiylar o`rtasidagi energiya farqi ortadi. Izoh: Elektron kichik kvant nuqtada yanada “siqilgan” bo`ladi, shuning uchun interfeysdagi qadamlar bilan to`lqinning faza farqi kuchayadi va VS ortadi[2]. Tadqiqotda bajarilgan ishlar orqali yarimo`tkazgich materiallaridagi elektronlarning energiya darajalari orasidagi farq o`zgarishi tekshiriladi. Bu maqola ham kvant fizikasi sohasida bugungi kunda dolzarb bo`lib umumiy xulosa sifatida quyidagicha yozilgan: Umumiy xulosa: VSni oshirish va barqaror qilish uchun: kvant nuqtaning kichik va silliq interfeysga ega bo`lishi, shuningdek elektrostatik boshqaruv orqali siljishni nazorat qilish muhimdir. Bu natijalar kvant bitlar (qubits) yaratishda muhim ahamiyatga ega.

Xulosa. Bugungi rivojlanayotgan davrda kvant fizikasida olib borilayotgan tadqiqotlar o'zining dolzarbligi va fundamental ahamiyati bilan zamonaviy ilm-fan taraqqiyotida alohida o'rin tutadi.. Ushbu soha klassik fizika doirasida tushuntirib bo'lmaydigan hodisalarni izohlash bilan birga, ilm-fanda yangi yondashuvlar, konsepsiyalar va texnologik yechimlarning shakllanishiga mustahkam asos bo'lib xizmat qilmoqda. Ushbu manbalarni tahlil qilish jarayonida biz uchun dastlab noma'lum bo'lgan tushuncha va atamalar nafaqat lug'aviy ma'noda, balki ilmiy-nazariy jihatdan ham to'liq anglanadi. Bu esa tadqiqotchining ilmiy dunyoqarashini kengaytirib, murakkab fizik hodisalarni to'g'ri talqin qilishga yordam beradi. Ayniqsa, kvant o'lchamli geterostrukturalar sohasida olib borilayotgan tadqiqotlar hali to'liq o'rganilmagan bo'lib, bu yo'nalishda kelgusida bajarilishi lozim bo'lgan ilmiy izlanishlar salmog'i juda katta. Bunday tuzilmalar nanometr miqyosida yaratilgani sababli, ularning fizik xossalarini bevosita tajribaviy usullar bilan tadqiq etish ko'plab texnik murakkabliklarni keltirib chiqaradi. Shu sababli, zamonaviy kvant tadqiqotlarida hisoblash va modellashtirish usullari alohida ahamiyat kasb etadi. Modellashtirish orqali olingan natijalar nafaqat jarayonlarning fizik mohiyatini chuqurroq tushunishga xizmat qiladi, balki kvant qurilmalarini loyihalash va ularning samaradorligini oshirish uchun ham muhim asos bo'lib xizmat qiladi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. M.M. Musaxanov, A.S. Rahmatov, "Kvant mexanikasi", - Toshkent: "Tafakkur bo'stoni" nashriyoti, 2011. -352 b.
2. <https://arxiv.org/pdf/2112.09765.pdf>
3. <https://scispace.com/pdf/valley-splitting-depending-on-the-size-and-location-of-a-4ew2ifp0mm.pdf>
4. <https://arxiv.org/abs/2303.02499>