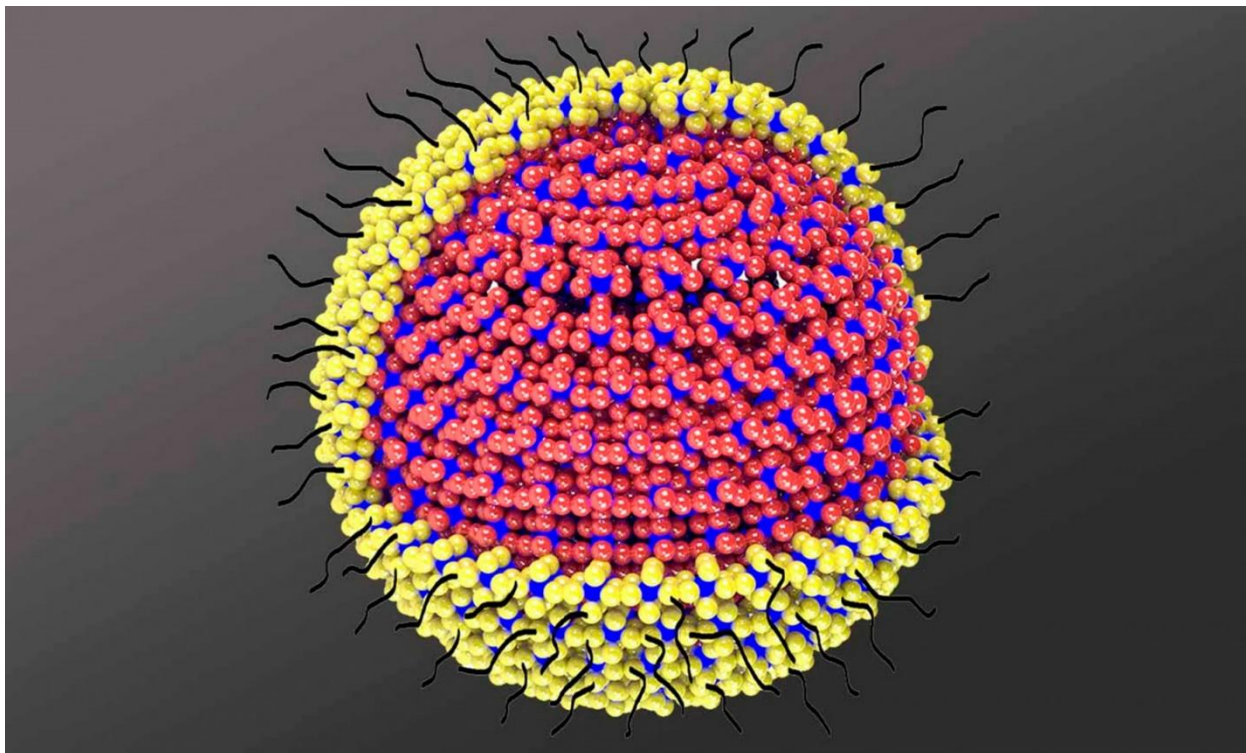


KVANT NUQTALAR

Atom fizikasi fanidan mustaqil ish

O'zbekiston Milliy Universiteti Fizika fakulteti F2203-guruh talabasi

Sojida Mannabova



2023-yilda kimyo bo'yicha Nobel mukofoti bitta kashfiyot uchun uchta olimga berildi. Mungi Bavendi, Lui Bryus va Aleksey Ekimovlar kvant nuqtalari – noyob optik va elektron xususiyatlarga ega yarimo'tkazgichli nanokristallarni kashf etgani va sintez qilgani uchun oliy ilmiy mukofotga sazovor bo'ldi.

Kvant nuqtalari turli sohalarda qo'llaniladi yoki tez orada qo'llaniladi: displey ishlab chiqarishdan quyosh energiyasi va biomeditsinagacha. Kvant dunyosi biz o'rganib qolgan makrodunyoga nisbatan o'z qonunlari bilan yashaydi. Makro dunyo uchun to'g'ri bo'lgan narsa kvant olamida ham ishlamaydi va aksincha. Atomlar makroskopik hajmlarda yig'ilganda, modda bizga tanish va intuitiv xususiyatlarni rivojlantiradi: og'irlik, zichlik, elektr o'tkazuvchanlik, aks ettirish va boshqalar. Biroq, agar biz bitta atom darajasiga tushsak va u erda bir xil xususiyatlarni qidirsak, bunday qidiruvda barcha ma'no yo'qoladi, chunki biz izlayotgan belgilar yo'qolib, boshqa mutlaqo tushunarsiz intuitiv xususiyatlarga ega bo'ladi.

Tizimning o'lchami bir necha nanometrdan oshmasa va oz sonli atomlardan tashkil topgan bo'lsa - biz kvant dunyosi haqida gapiramiz, atomlarning hajmi va soni sezilarli darajada oshishi bilanoq - kvant qonunlari makrodunyo qonunlari bilan almashtiriladi. Bizga fizika va kimyo darslaridan tanish. Agar makrokosmosda sodir bo'ladigan hamma narsani vizual tajriba orqali ko'rish va qo'llab-quvvatlash mumkin bo'lsa, u holda kvant mexanikasi haqida gap ketganda, tushunish faqat murakkab matematik hisoblar orqali mumkin.

Va shunga qaramay, ikki dunyo bir-biriga bog'langan. Makrokosmosdagi moddalar o'ziga xos xususiyatlarga ega bo'lib, fizika va kimyo qonunlariga bo'ysunadi, chunki kvant darajasida ularning atomlari maxsus kvant xususiyatlariga ega va maxsus kvant qonunlari to'plamiga bo'ysunadi. Nanotexnologiya sohasi atomlar xossalari kvant darajasida makrodarajada ilgari ko'rilmagan makro xarakteristikaga ega bo'lgan moddalar va materiallarni oladigan tarzda o'zgartirish bilan shug'ullanadi.

Va bu kvant nuqtalari bilan bog'liq: ular go'yo ikki dunyo chegarasida mavjud. Kvant nuqtalarining nanokristallari juda kichik bo'lsa ham (2 nanometrdan), deyarli makrofizika ob'ektlari hisoblanadi. Biroq ularning amaliy xossalari kvant olami qonunlari natijasida vujudga keladi. Bu zarralar qiziqarli, chunki ularning elektron xossalari kristallning o'lchami va shakliga

bog'liq. Kvant nuqtalarining o'lchami va shaklini o'zgartirib, siz ularning xususiyatlarini boshqarishingiz mumkin: rangini o'zgartiring va yorug'likni elektrga aylantirishga majbur qiling. Kvant nuqtalari nafaqat makro va kvant olamining xususiyatlarini o'zida mujassamlashtirgan, balki odamlarga bu xususiyatdan amalda foydalanish imkonini beradigan bir nechta ob'ektlardan biridir. Aynan shuning uchun olimlar uchligiga Nobel mukofoti berildi. Qizig'i shundaki, kvant nuqtalari saksoninchi yillarda ikki marta kashf etilgan, ammo ular ularni qanday sintez qilishni faqat o'n yildan keyin o'rgangan.

Asosiy g'oya

Kvant nuqtalari bu texnologik maqsadlarda foydalanish mumkin bo'lgan substrat, yoki, faol kvant xossalariga ega bo'lgan yuzaga joylashtiriladigan nanozarralardir.

Zamonaviy dunyoda nanoelektronika duch keladigan muammolardan biri- sxemaning ishlashiga halaqit beruvchi kvant effektlar. Masalan, o'tkazgichlar bir biriga juda yaqin joylashgan bo'lsa, elektronlar tunnel effekti orqali bir o'tkazgichdan boshqasiga o'tib ketishi mumkin. Bundan unumli foydalanish uchun kvant kimyosi olimlari tomonidan "kvant nuqtasi" deb nomlangan o'ta mitti nanozarralar ishlab chiqishdi.

Ushbu kvant nuqtalari kremniy, kadmiy selenidi, kadmiy sulfid, va indiy arsenidi singari, yarimo'tkazgich materiallardan tayyorlanadi. Mazkur favqulodda ixcham, o'ta mayda zarralarning o'lchami 2-10 nanometr atrofida bo'ladi. Ya'ni, bu degani, ushbu kvant nuqtalari atiga 5-10 ta atomning o'lchamiga teng demakdir. Shu sababli ham, kvant nuqtalari o'zini xuddi atomlar singari tutadi va ularda ham, alohida olingan atomning fizik xossalari namoyon bo'ladi. Shu tufayli, bunday kvant nuqtalarini olimlar shuningdek «sun'iy atomlar» ham deb yuritishadi. Kvant nuqtalarida elektronlar, Pauli tamoyiliga ko'ra, o'tkazuvchanlik hududida diskret kvant pog'onalarini egallay boshlaydi. Materialning o'zi yarimo'tkazgichdan tayyorlangani bois, unda, o'tkazuvchanlik hududi va ruxsat etilgan eng yuqori hudud orasida katta oraliq - ta'qiqlangan hudud yuzaga keladi. Fotonlar valent hududdagi elektronlarni qo'zg'atadi va ularni o'tkazuvchanlik hududiga o'tishga majburlaydi. Ushbu elektronlar o'tkazuvchanlik hududiga o'tishda o'zidan foton nurlatadi va darhol valent hududga qaytadi. Valent hudud va o'tkazuvchanlik hududi orasidagi energiya farqini boshqarish uchun esa, nanozarralarning o'lchamini o'zgartirish yetarli bo'ladi.



Kvant nuqtalarining o'ziga xos xususiyati ularning organik floroforlarga nisbatan eng yuqori fotostabilligidir. Ular bir necha soat yoki hatto kunlar davomida o'chmaydi, an'anaviy fosforlarning xarakterli fotooqartirish vaqti bir necha daqiqalar bilan cheklangan. Kvant

nuqtalarining asosiy jismoniy kamchiliklari floresansning miltillashidir. Miltillash - kvant nuqtasining zaryadlangan holatga vaqtincha o'tishi natijasida yuzaga keladigan stokastik jarayon va bitta kvant nuqtasi uchun floresansning yo'qligi davrlari bir necha soniyagacha yetishi mumkin. Miltillashni kvant nuqtalarini o'zgartirish orqali kamaytirish mumkin. Biroq, kvant nuqtalarining miltillashidan butunlay xalos bo'lishning imkoni yo'q. Kolloid kvant nuqtalarini an'anaviy yarimo'tkazgich materiallaridan ajratib turadigan yana bir asosiy xususiyat mavjud - eritmalar shaklida, aniqrog'i, zollar shaklida mavjud bo'lish imkoniyati. Bu xususiyat bunday ob'ektlarni manipulyatsiya qilish uchun keng imkoniyatlarni taqdim etadi va ularni texnologiya uchun jozibador qiladi.

Kashfiyot tarixi

1970-yillarning oxirida sovet olimi Aleksey Ekimov rangli shisha ishlab chiqarish bo'yicha tajriba o'tkazdi. U xuddi shu qo'shimchaning yumshatilgan materialning qanday qizdirilishi va sovutilishiga qarab oynani turli xil ranglarga aylantirishi mumkinligini aniqladi. Ekimov bu ta'sirga qiziqib, uning mexanizmini o'rganishga kirishdi. U mis xloriddan turli haroratlarda va isitish davrlarida shisha yasash uchun foydalangan va hosil bo'lgan oynada mis xlorid nanokristallarini topdi. Ular turli o'lchamlarga va spektral xususiyatlarga ega edi. Eng katta nanokristallar Ekimov ma'lum makroskopik mis xlorid kristallari bilan bir xil to'lqin uzunligidagi so'rilgan nurni oldi. Olim, shuningdek, nanokristal qanchalik kichik bo'lsa, u yutadigan to'lqinlar shunchalik qisqa ekanligini aniqladi.

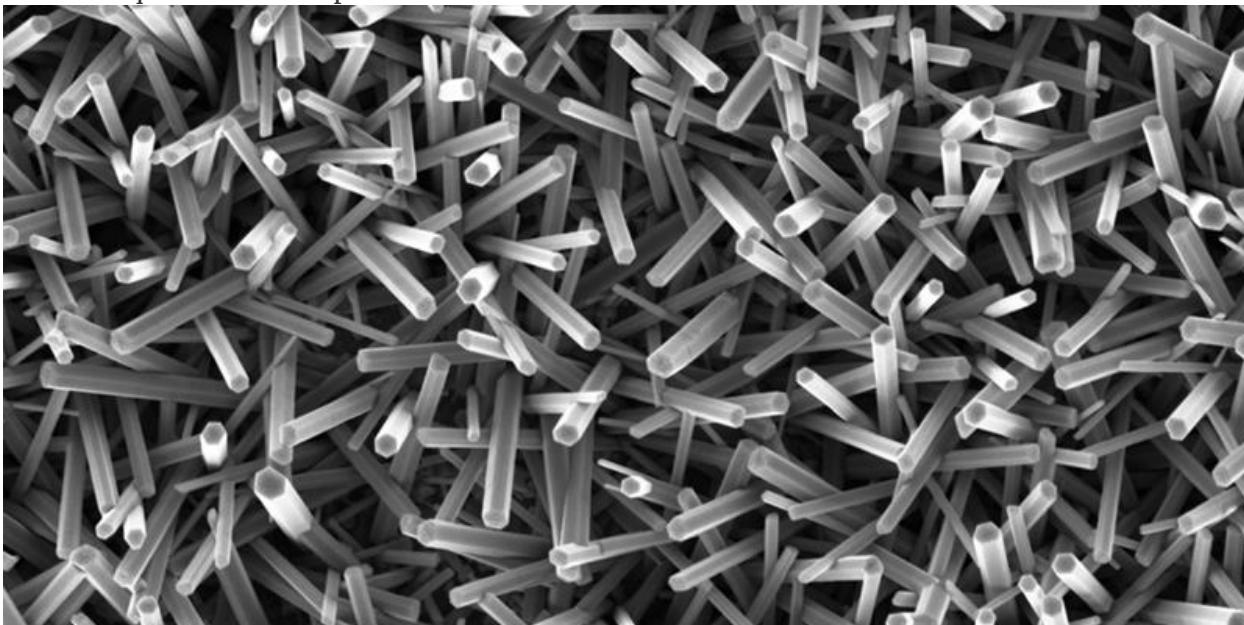


Hammasini boshlagan mis xlorid kristali

Ekimov zarrachalar kattaligi moddaning optik xususiyatlariga ta'sir qilishini payqab, bu zarralarni kvant nuqtalari deb atadi. U o'z natijalarini 1981 yilda Eksperimental va nazariy fizika jurnaliga maktublarda nashr etdi. Amerikalik olim Lui Bryus sovet jurnallarini o'qimagan va Ekimovning ishi haqida bilmagan. 1983 yilda u o'zining sovet hamkasbidan mustaqil ravishda kadmий sulfatning nanokristallarini qo'lga kiritib, hajmiga qarab rangini o'zgartirdi.

Biroq, amaliy qo'llash hali ham uzoq ekanligi ma'lum bo'ldi. Kvant nuqtalari o'lchamga bog'liq xususiyatlarga ega bo'lgani uchun biz ularni kerakli miqdorda va o'lchamda ishlab chiqarish yo'lini topishimiz va buni arzon qilishimiz kerak edi. Ekimov va Bryusning nanokristallarni ishlab chiqarish usullari faqat o'rtacha o'lchamlarni boshqarishga imkon berdi, ammo uning atrofida tarqalish juda katta edi. Faqat ma'lum bir rangni o'ziga singdiradigan kvant nuqtalarini yaratish uchun fiziklar tayyor nanozarralarni hajmi bo'yicha saralashlari kerak edi, bu qiyin va qimmat jarayon. Bundan tashqari, nanokristallarda ko'pincha nuqsonlar mavjud edi. Qisqasi, kvant nuqtalarining birinchi va ikkinchi ixtirochisi ham barqaror va boshqariladigan ommaviy

ishlab chiqarish usulini topa olmadi.



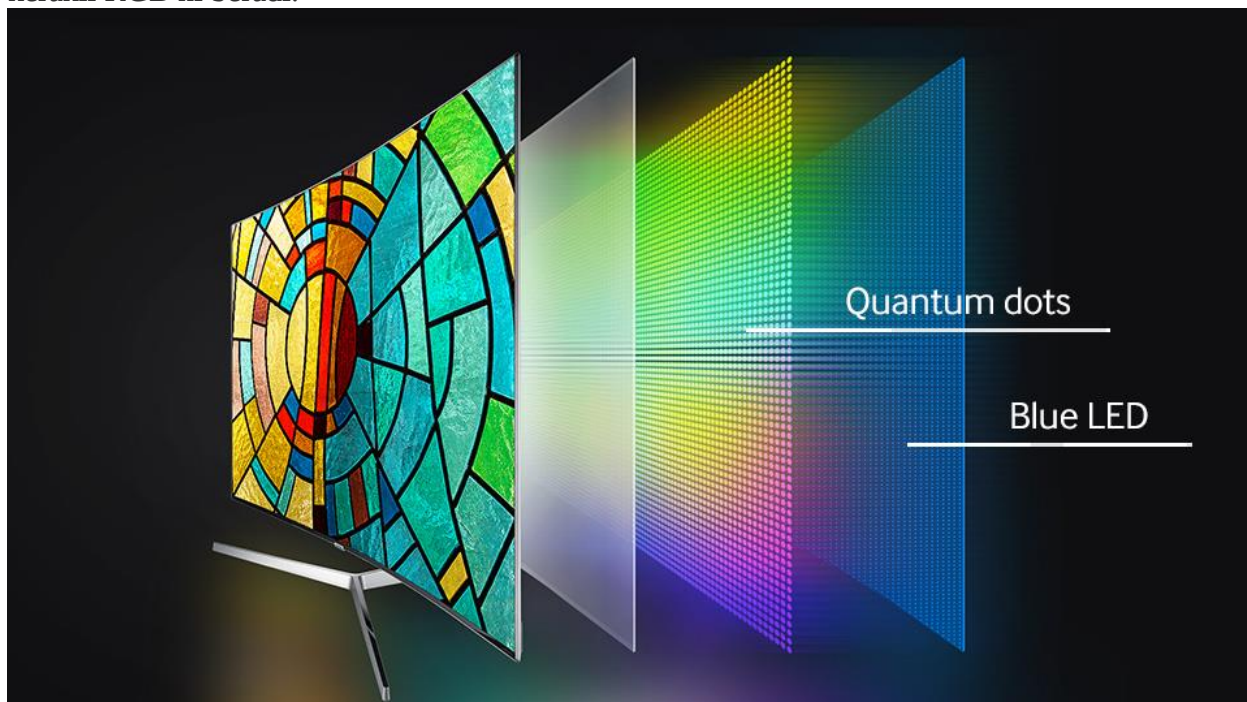
Nanokristall

Biroq, muammoni Lui Bryus Munga Bavendi shogirdi hal qildi, u 1993 yilda idealga yaqin nanokristallarni ishlab chiqarish texnologiyasini ixtiro qildi. U issiq erituvchida kadmiy selenid hosil qiluvchi reagentlardan foydalangan va ularni ingichka igna orqali eritma ichiga yuborgan. Natijada kadmiy selenid nanozarralari hosil bo'ldi, ularning o'lchamlarini eritma haroratini o'zgartirish orqali boshqarish mumkin edi. Bu usul nafaqat kadmiy selenid, balki boshqa moddalar uchun ham qulay va nisbatan arzon bo'lib chiqdi. Bavendi kashfiyoti tufayli kvant nuqtalari amaliy foydalanish uchun mavjud bo'ldi.

Amaliy qo'llanishi

Displaylar

Kvant nuqtalari optoelektronika, quyosh energiyasi, lyuminescent materiallar, biomeditsina va kvant kompyuterlari kabi sohalarda qo'llaniladi. Asosiy ilovalardan biri kvant LED va fotodiodlarni yaratishdir. Ushbu qurilmalarda kvant nuqtalari faol hudud sifatida ishlatiladi, ular ko'k yorug'likni qizil va yashil ranglarga "o'zgartiradi", bu chiqishda (ko'k bilan birga) bizga kerakli RGB ni beradi.



Displeylarda kvant nuqtalaridan foydalanish texnologiyani amaliy qo'llashning eng mashhur namunasidir. U erda ular qo'shimcha nanokristalli plyonka ko'rinishida mavjud bo'lib, tasvirni yanada aniqroq rang berish uchun javobgardir. Ko'pgina LCD displeylar inson ko'zi idrok etadigan ranglarning to'liq diapazonini namoyish eta olmaydi. Ba'zi hisob-kitoblarga ko'ra, LCD displeylar mumkin bo'lgan soyalarning to'rtidan bir qismini qamrab oladi. Kvant nuqta texnologiyasi nanokristallar chiqaradigan yorug'likning to'lqin uzunligini juda aniq belgilashga imkon berganligi sababli, ushbu texnologiyadan foydalanadigan displeylar ko'rsatiladigan ranglar diapazonini kamida 50% ga kengaytiradi. QLED displeylari LCD displeylariga qaraganda ancha yorqinroq va boyroq tasvirni ko'rsatishga qodir. Aslida, OLED displeylari hech bo'lmaganda "mutlaq qora" tufayli ular bilan raqobatlasha oladi, ammo ular bir nechta kamchiliklarga ega: yuqori narx, yonish va qisqaroq xizmat muddati.

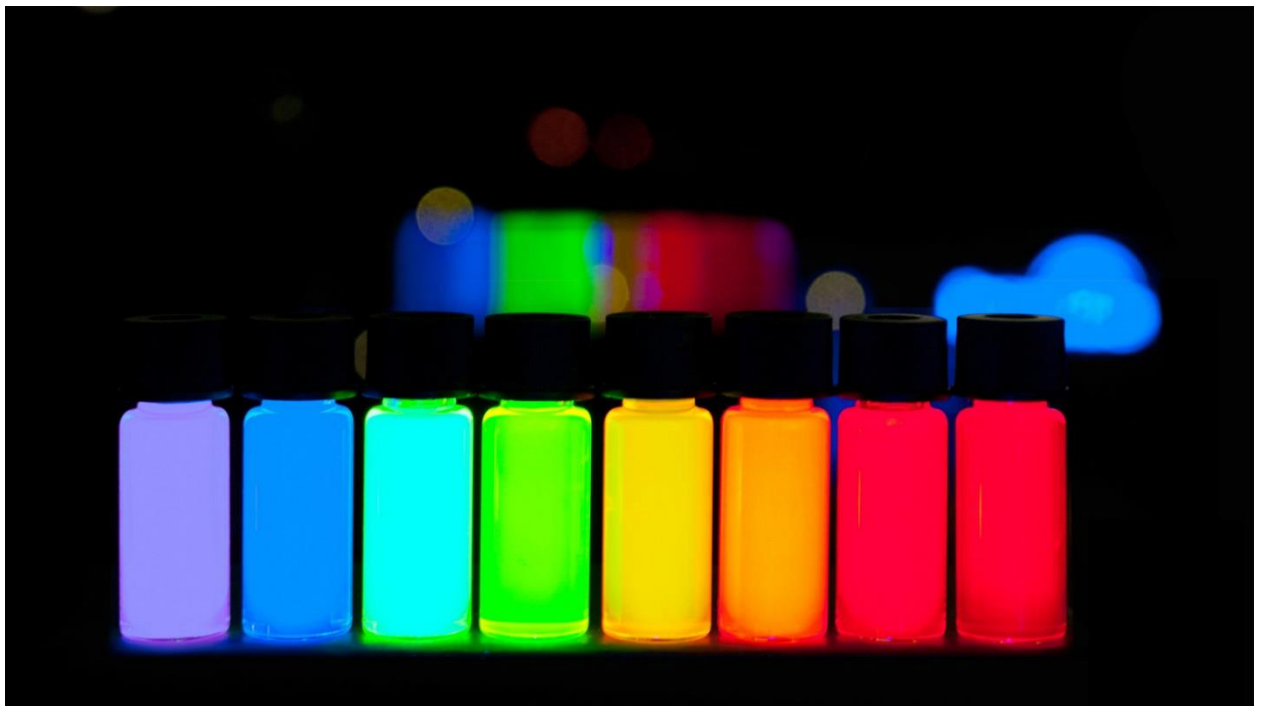
Quyosh energiyasi

Quyosh energiyasida kvant nuqtalari quyosh batareyalarining ish faoliyatini yaxshilash uchun ishlatiladi. Nanokristallar o'ziga xos optik xususiyatlarga ega bo'lib, ular an'anaviy kremniy asosidagi quyosh xujayrasi substratlariga qaraganda ko'proq yorug'likni o'zlashtiradi va uni elektr energiyasiga aylantiradi.

Oxirgi o'n yil ichida olimlar kvant nuqtalari asosida bir nechta prototip quyosh batareyalarini ishlab chiqdilar. Misol uchun, 2011 yilda Notr-Dam universiteti tadqiqotchilari har qanday ob'ektni quyosh batareyasiga aylantira oladigan titan dioksidi asosidagi quyosh bo'yog'ini ishlab chiqdilar. U juda past konversiya tezligiga ega - so'rilgan yorug'likning taxminan 1% energiyaga aylanadi - lekin uni ishlab chiqarish arzon va katta hajmlarda ishlab chiqarilishi mumkin. 2014 yilda Massachusetts texnologiya instituti olimlari kvant nuqtalarining ultra yupqa qatlamlaridan quyosh xujayralarini yasash usulini taqdim etdilar, ularning rivojlanishining konversiya samaradorligi allaqachon 9% ni tashkil etdi. 2022-yilda esa Koreyalik mutaxassislar 25,7% samaradorlikni ko'rsatuvchi kvant nuqtalari bo'lgan quyosh panellarini ishlab chiqdilar. Bu ta'sirga, boshqa narsalar qatori, kvant nuqtalarining quyosh nurlanishining deyarli butun spektrini o'zlashtirish qobiliyati tufayli erishildi. Bu boradagi tadqiqotlar davom etmoqda.

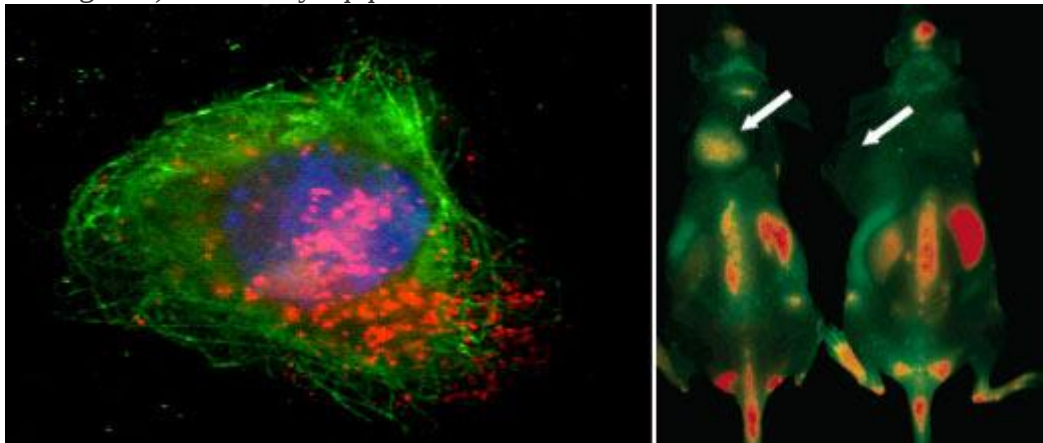
Luminescents va biotibbiyot

Kvant nuqtalarining yorug'lik to'lqinlari bilan ishlash usuli materiallarning lyuminescent xususiyatlari muhim bo'lgan sohalarda keng qo'llanilishini topdi. Shuning uchun ular poligrafiya sanoatida o'zlarining xarakteristikalarini bo'yicha an'anaviy fosforlardan ustun bo'lgan echimlarni yaratish uchun ishlatiladi. Ular bir necha yil davomida fotostabil bo'lib, yuqori pasayish qarshiligiga, rangning tozaligiga va kimyoviy buzilishlarga chidamliligiga ega. Kvant nuqtalarining bu xossalari tovarlar va hujjatlarni qalbakilashtirishdan himoya qilish uchun ulardan foydalanish imkonini beradi. Zargarlik, farmatsevtika va tasviriy san'at sanoati kvant nuqtalari asosida rang belgilaridan foydalanishi mumkin. Ular sertifikatlar, diplomlar, qimmatli qog'ozlar, tovar belgilari, banknotalar, sertifikatlar va boshqalar kabi hujjatlarni himoya qilish uchun ishlatilishi mumkin.



UVda kvant nuqta eritmasi

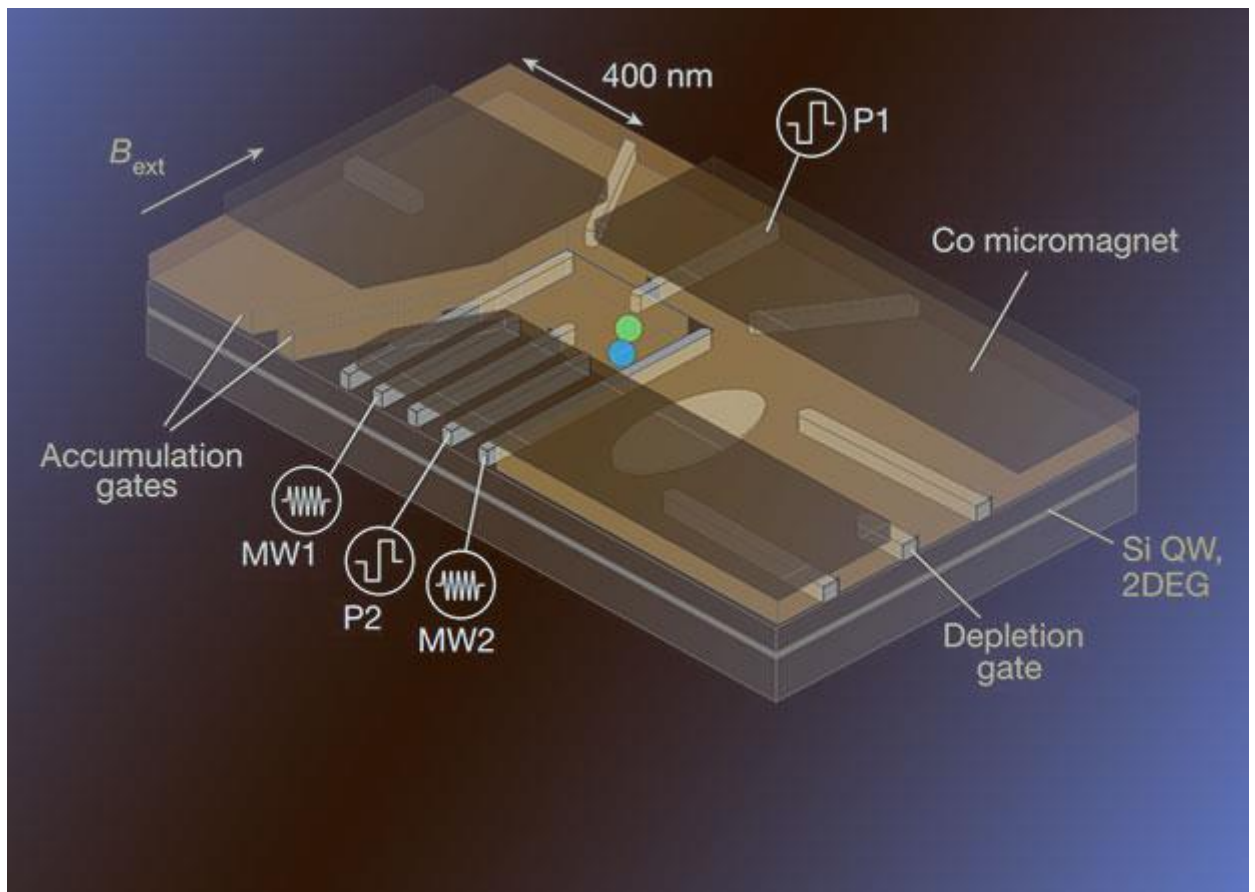
Kvant nuqtalarining bir xil lyuminesstent xususiyatlari ularni biotibbiyotda qo'llash imkonini beradi. U erda ular biomarker sifatida ishlatiladi: juda kichik o'lchamlari tufayli nuqtalar hujayralarga osongina kirib boradi va ularning turli qismlarini turli ranglarda bo'yaydi. Bu saraton kabi xavfli kasalliklarni tashxislash uchun foydalidir. Kvant nuqtalari yorug'likning o'ziga xos to'lqin uzunliklari yordamida turli kasalliklarni, shu jumladan saratonni davolash usuli bo'lgan fotodinamik terapiyada qo'llaniladi. Ushbu usulda nuqtalar yorug'likni yutish va uni energiyaga aylantirish uchun ishlatiladi, keyin esa (qo'shimcha vositalar bilan reaksiyaga kirishganda) o'simtani yo'q qilish uchun ishlatiladi.



Tibbiyotda kvant nuqtalari yordamida organlarni bo'yash

Kvant kompyuterlari va kriptografiya

Kvant kompyuterlari kvant nuqtalari o'z xususiyatlari tufayli bebaho bo'lishi mumkin bo'lgan yana bir sohadir. Nuqtalarning holati va xususiyatlarini nazorat qilish nisbatan oson bo'lganligi sababli, olimlar ularni [keyingi avlod](#) kompyuterlari uchun asosiy elementlardan biri bo'lgan kvant xotira xujayrasi roliga nomzod sifatida ko'rishadi .



Квант нуқталари асосидagi икки кубитли квант протсессор

Фотонларни узоқ масофаларга чиқарадиган квант нуқталарини yaratish qobiliyati texnologiyani квант кriptografiyasidagi ilovalar uchun mos qiladi. Aniqroq qilib aytganda, bu квант kalitlarini taqsimlash funksiyasini amalga oshirish uchun foydali bo'lishi mumkin - ochiq aloqa kanali orqali muloqot qilayotgan икки tomon faqat иккаlasiga ma'lum bo'lgan tasodifiy kalitni yaratishi va uni shifrlangan ma'lumotlar almashinuvi uchun ishlatishi mumkin. Bu erda, masalan, [T-12 квант shifrlash protokolini](#) ishlash diagrammasi :



Kvant dunyosida, agar uning biron bir ob'ekti kuzatishga urinishsa, bu ob'ektning holati darhol o'zgaradi. Shifrlashda bu xususiyat aloqa agentlariga kimdir xavfsiz aloqa kanali bilan o'zaro aloqada bo'lishga harakat qilayotganini tushunishga yordam beradi va ma'lumotlarni ushlab qolishning oldini oladi. Kalit bir tomondan ma'lum bir qutblanishning bitta fotonlarini ikkinchisiga uzatuvchi tomonidan taqsimlanadi. Barqaror ulanish uchun uzatuvchi tomon bir xil qutblanishning ko'p sonli bitta fotonlarini chiqarishi kerak.

Shu ma'noda kvant nuqtalari bunday emitentlarning roliga juda mos keladi. Kvant nuqtalariga asoslangan birinchi eksperimental tizimlar 2000-yillarning boshlarida paydo bo'lgan. 2021 yilda Los-Alamos milliy laboratoriyasi tadqiqotchilari sof yagona fotonlarni chiqarishga qodir kvant nuqtalarining yangi sinfini yaratdilar. Boshqa radiatsiya manbalaridan farqli o'laroq, yangi kvant nuqtalari oddiy atrof-muhit sharoitida - masalan, xona haroratida chiqarilishi mumkin, bu ularni ko'p qirrali qiladi va shuning uchun foydalanish uchun qulayroqdir.

Kvant nuqtalari rangli shisha bilan o'tkazilgan tajribalar natijasida kundalik hayotimizning ko'plab sohalariga faol kirib boradigan ilg'or texnologiyaga aylandi. Bu bizga tanish bo'lgan makrodunyoda kvant olamining "g'alati" xususiyatlaridan foydalanishning odatiy misolidir. Xarakterli, ammo yagona emas: ko'plab kompaniyalar hozirda istiqbolli kvant texnologiyalariga faol sarmoya kiritmoqda. Misol uchun, Gazprombank o'n yildan ortiq vaqtdan beri istiqbolli texnologiyalarga, jumladan kvantga sarmoya kiritmoqda. Biz birinchi bo'lib kvant kriptografiyasi vositalarini sinovdan o'tkazdik va post-kvant kriptografiyasini aloqa kanallariga kiritdik. Va endi biz kvant sun'iy yo'ldoshli aloqa tizimini rivojlantirishni moliyalashtirmoqdamiz.

Biotibbiyot sarmoyaning yana bir sohasidir. Biz dori-darmonlarni maqsadli yetkazib berish tizimini ishlab chiqadigan biotibbiyot markazini yaratmoqdamiz (dorilarni hujayraga aniqlik bilan etkazib bera oladigan nanokonteynerlarni yaratish). Bundan tashqari, Gazprombank miyani chuqur o'rganish uchun o'ta sezgir sensorlarni yaratishga sarmoya kiritmoqda - bu kvant texnologiyalariga asoslangan yana bir yangilik.

Kvant nuqtalari singari, bu texnologiyalar ham hali tadqiqotning dastlabki bosqichida, ammo kelajakda ular odamlar hayotini sezilarli darajada yaxshilaydi. Va kelajak birinchi qarashda ko'rinadigan darajada uzoq emas.

Adabiyotlar

1.K. J. Vahala, "Quantum Dot Lasers," *Physics Today*, 2003.

Kvant nuqtalar lazerlari va ularning optik xususiyatlari haqida umumiy ma'lumot beradi.

2.A. L. Efros, A. L. Efros, "Quantum size effect in semiconductor microcrystals," *Soviet Physics-Semiconductors*, 1982.

Kvant nuqtalarning o'lchamli effektlari va energiya spektrlari haqida birinchi tadqiqotlardan biri.

3.M. Grundmann, "The Physics of Semiconductors," Springer, 2010.

Yarimo'tkazgichlarning nazariy asoslarini, shu jumladan kvant nuqtalarni yoritadi.

4.Nanohub.org: <https://nanohub.org>