

**SHAROF RASHIDOV NOMIDAGI SAMARQAND DAVLAT
UNIVERSITETI HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR BERUVCHI
PhD.03/30.12.2019.K.02.05 RAQAMLI ILMIY KENGASH**

**SHAROF RASHIDOV NOMIDAGI SAMARQAND DAVLAT
UNIVERSITETI**

ZUFAROV ASLIDDIN MIRZABAYEVICH

**HAR XIL TURDAGI ANION STABILIZATORLAR BILAN
STABILLASHGAN CdS KVANT NUQTALARINING SINTEZI VA
ULARNING FOTOKATALITIK XOSSALARINI O'RGANISH**

02.00.04 – Fizik kimyo

**KIMYO FANLARI BO'YICHA FALSAFA DOKTORI (PhD) DISSERTATSIYASI
AVTOREFERATI**

Samarqand – 2025

Falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi avtoreferati mundarijasi

Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD)

Contents of dissertation abstract of doctor of philosophy (PhD)

Zufarov Asliddin Mirzabayevich

Har xil turdagi anion stabilizatorlar bilan stabillashgan CdS kvant nuqtalarining sintezi va ularning fotokatalitik xossalarini o‘rganish 3

Зуфаров Аслиддин Мирзабаевич

Синтез квантовых точек CdS, стабилизированных различными типами анионных стабилизаторов, и изучение их фотокаталитических свойств..... 21

Zufarov Asliddin Mirzabayevich

Synthesis of CdS quantum dots stabilized with various anion stabilizers and study of their photocatalytic properties..... 39

E‘lon qilingan ishlar ro‘yxati

Список опубликованных работ

List of published works 42

**SHAROF RASHIDOV NOMIDAGI SAMARQAND DAVLAT
UNIVERSITETI HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR BERUVCHI
PhD.03/30.12.2019.K.02.05 RAQAMLI ILMIY KENGASH**

**SHAROF RASHIDOV NOMIDAGI SAMARQAND DAVLAT
UNIVERSITETI**

ZUFAROV ASLIDDIN MIRZABAYEVICH

**HAR XIL TURDAGI ANION STABILIZATORLAR BILAN
STABILLASHGAN CdS KVANT NUQTALARINING SINTEZI VA
ULARNING FOTOKATALITIK XOSSALARINI O'RGANISH**

02.00.04 – Fizik kimyo

**KIMYO FANLARI BO'YICHA FALSAFA DOKTORI (PhD) DISSERTATSIYASI
AVTOREFERATI**

Samarqand – 2025

Falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi mavzusi O'zbekiston Respublikasi Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasida B2024.2.PhD/K763 raqam bilan ro'yxatga olingan.

Dissertatsiya Sharof Rashidov nomidagi Samarqand davlat universitetida bajarilgan.
Dissertatsiya avtoreferati uch tilda (o'zbek, rus, ingliz (rezyume)) Ilmiy kengash veb-sahifasida (www.samdu.uz) va «ZiyoNET» axborot-ta'lim portalida (www.ziynet.uz) joylashtirilgan.

Ilmiy rahbar: Muxamadiyev Nurali Qurbonaliyevich
kimyo fanlari doktori, professor

Rasmiy opponentlar: Bekchanov Davron Jumazarovich
kimyo fanlari doktori, professor
Xalilov Qadriddin Faxriddinovich
kimyo fanlari nomzodi, professor

Yetakchi tashkilot: O'zbekiston Respublikasi Fanlar Akademiyasi
Polimerlar kimyosi va fizikasi instituti

Dissertatsiya himoyasi Sharof Rashidov nomidagi Samarqand davlat universiteti huzuridagi ilmiy darajalar beruvchi PhD.03/30.12.2019.K.02.05 raqamli Ilmiy kengashning 2025-yil «29» may soat 10⁰⁰ dagi majlisida bo'lib o'tadi. (Manzil: 140104, Samarqand shahri, Universitet xiyoboni, 15-uy, Biokimyo instituti, Kimyo binosi, 220-xona. Tel.: (+99866) 239-11-40; faks: (+99866) 239-11-51; E-mail: devonxona@samdu.uz).

Dissertatsiya bilan Sharof Rashidov nomidagi Samarqand davlat universitetining Axborot-resurs markazida tanishish mumkin (42 raqami bilan ro'yxatga olingan). (Manzil: 140104, Samarqand shahri, Universitet xiyoboni, 15-uy, Axborot-resurs markazi. Tel.: (+99866) 239-11-51).

Dissertatsiya avtoreferati 2025-yil « 19 » may kuni tarqatildi.
(2025-yil « 19 » may dagi 2- raqamli reyestr bayonnomasi).



[Signature]
A.M. Nasimov
Ilmiy darajalar beruvchi Ilmiy
kengash raisi, t.f.d., professor

[Signature]
J.R. Uzokov
Ilmiy darajalar beruvchi Ilmiy
kengash kotibi, PhD

[Signature]
O.N. Ro'zimuradov
Ilmiy darajalar beruvchi Ilmiy
kengash qoshidagi ilmiy seminar
raisi, k.f.d., professor

KIRISH (falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi annotatsiyasi)

Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati. Dunyoda so‘nggi yigirma yillikda zamonaviy nanotexnologiyalar va kvant mexanikasining rivojlanishi bilan yarimo‘tkazgichli kvant nuqtalar sinteziga qiziqish ortib bormoqda. Kvant nuqtalar orasida CdS kvant nuqtalari va u asosida olinadigan nanomateriallar alohida ahamiyatli bo‘lib, o‘ziga xos tuzilishi va kvant o‘lchov effektlari bois turli sohalarda qo‘llanilmoqda. Jumladan, bu turdagi materiallar muqobil energiya ishlab chiqarishda, optoelektronikada yuqori intensivli lyuminessent va florosint materiallar olishda, yorug‘lik chiqaruvchi, fotodiodlar, lazerlar va fotodedektor qurilmalar ishlab chiqarishda, ekologik muammolarni hal etishda, gen muxandisligida genlarni ajratishda, biotibbiyotda biomarkerlar olish hamda dori vositalarini manzilli yetkazishda alohida ahamiyatga egaligi bilan dolzarbdir.

Jahonda hozirgi kunda yetakchi ilmiy tadqiqot markazlari tomonidan yangi turdagi yarimo‘tkazgichli CdS kvant nuqtalar sintezining samarali usullarini ishlab chiqilgan, ularning fizik-kimyoviy xossalarini o‘rganish borasida ilmiy natijalarga erishilgan. Bu borada, tarkibida CdS kvant nuqtalari tutgan nanozarrachalarni tuzilishi, hajmi, shakli va optik xossalarini boshqarish, ularning barqarorligini oshirishda turli stabilizatorlar tanlash bo‘yicha tadqiqotlar olib borilgan. Metallar xalkogenidlari asosidagi nanokristallar, xususan fotolyuminessensiya xossasiga ega bo‘lgan va yuqori fotokatalitik hamda kimyoviy barqarorlikni namoyon qiladigan CdS kvant nuqtalari atroflicha o‘rganilgan. Shu bilan bir qatorda CdS kvant nuqtalarning barqarorligi va fotokatalitik faolligini oshirish hamda gidrofil stabilizatorlar yordamida barqarorlashtirish muammolarini hal etish ilmiy jihatdan diqqatga sazovordir.

Respublikamizda ham CdS kvant nuqtalar va ularning turli xil stabilizatorlar bilan modifikatsiyalangan nanozarrachalarini olishning yangi usullarini ishlab chiqish hamda ularning fotokatalitik xarakteristikalarini tadqiq etish bo‘yicha muayyan ilmiy natijalarga erishilgan. O‘zbekiston Respublikasini yanada rivojlantirish bo‘yicha Harakatlar strategiyasida¹ «mahalliy xomashyo resurslarini chuqur qayta ishlash asosida yuqori qo‘shimcha qiymatli tayyor mahsulot ishlab chiqarish, prinsipial jihatdan yangi mahsulot va texnologiya turlarini o‘zlashtirish, shu asosda ichki va tashqi bozorlarda milliy tovarlarning raqobatbardoshligini ta‘minlash» bo‘yicha muhim vazifalar belgilab berilgan. Shuningdek bu borada 2022-2026-yillarga mo‘ljallangan Yangi O‘zbekiston taraqqiyot strategiyasining yettita ustuvor yo‘nalishiga muvofiq aholiga tibbiy xizmat ko‘rsatish darajasini yangi bosqichga ko‘tarishda “Kimyo va gaz-kimyosi sohalarini rivojlantirish va tabiiy gazni qayta ishlash darajasini 8 foizdan 20 foizga yetkazish.”² kabi vazifalar belgilangan. Shu bois, CdS kvant nuqtalar asosida fotokatalizatorlar sintezining zamonaviy usullarini yaratish, fotokatalitik xossalarini boshqarish, yadro sirtida

¹ O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2017-yil 7-fevraldagi PF4947-son “O‘zbekiston Respublikasini yanada rivojlantirish bo‘yicha Harakatlar strategiyasi to‘g‘risida”gi Farmoni

² O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-yil 28-yanvardagi PF-60 son «2022-2026-yillarga mo‘ljallangan Yangi O‘zbekiston taraqqiyot strategiyasito‘g‘risida»gi Farmoni.

qobiqlarning hosil qilinishi, gidrofil stabilizatorlar bilan modifikatsiyalash bo'yicha olib boriladigan tadqiqotlar muhim ahamiyat kasb etadi.

O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2017-yil 7-fevraldagi PF- 4947-son "O'zbekiston Respublikasini yanada rivojlantirish bo'yicha Harakatlar strategiyasi to'g'risida"gi Farmoni, 2017-yil 29-avgustdagi PQ- 3246-sonli "Kimyo sanoati tashkilotlarining eksport-import faoliyatini takomillashtirish chora-tadbirlari to'g'risida"gi, 2018-yil 17-yanvardagi PQ-3479-son "Mamlakat iqtisodiyoti tarmoqlarining talab yuqori bo'lgan mahsulot va xomashyo turlari bilan barqaror ta'minlash chora-tadbirlari to'g'risida"gi va 2019-yil 3-apreldagi PQ-4265-sonli "Kimyo sanoatini yanada isloh qilish va uning investitsiyaviy jozibadorligini oshirish chora- tadbirlari to'g'risida" gi hamda 2021-yil noyabrdagi qarorlari hamda boshqa me'yoriy-huquqiy hujjatlarda belgilangan vazifalarni amalga oshirishda ushbu dissertatsiya tadqiqoti natijalari muayyan darajada xizmat qiladi.

Tadqiqotning respublika fan va texnologiyalari rivojlanishi ustuvor yo'nalishlariga mosligi. Mazkur dissertatsiya ishi Respublika fan va texnologiyalar rivojlanishning VII «Kimyo, kimyoviy texnologiyalar va nanotexnologiyalar» ustuvor yo'nalishiga muvofiq bajarilgan.

Muammoning o'rganilganlik darajasi. CdS kvant nuqtalari (quantum dots) bo'yicha ilmiy izlanishlar so'nggi yillarda sezilarli darajada rivojlanmoqda. Tadqiqotlar asosan ularning yuqori kvant samaradorligi, fotokatalitik faoliyat va barqarorligini oshirishga qaratilgan. Ushbu sohada CdS kvant nuqtalari stabilizatorlar yordamida sintez qilinadi. Bu usullar kvant nuqtalarning fotokimyoviy xossalarni takomillashtirib, ularni organik ifloslantiruvchi moddalarni parchalaydigan hamda suvdan vodorod gazini olishda fotokatalizator sifatida foydalanishga imkon beradi. Shuningdek, ko'p tadqiqotlar bu materiallarning optik, elektron va fotokatalitik xossalarni o'rganishga qaratilgan.

CdS kvant nuqtalarning sintezi va fotokatalitik xossalari bo'yicha M. Bavendi, L. Bryus, A. Ekimov, P. Yang, Zh. Zhang, A. Samadi-Maybodi, J. Zhang, Zh. Xie, N. V. Hullavaradlar kabi olimlar nomlari bilan bog'liq. Bu borada K.Jain, S.Kishor, K. S.Singh, I.Josefesson, M.Odelius, L. M. Ramaniah, S.B. Brichkin, V.F. Razumov ham katta hissa qo'shdilar. Rossiyada D.O.Sagdeev, R.R. Shamilov, D.N. Chausov, V.V. Belyaev, Yu.G. Galyametdinov va boshqalarning xizmatlari salmoqli bo'lib, kvant nuqtalarni sintez qilish usullarini ishlab chiqish bilan bir qatorda yangi kompozit materiallarni yaratish, nanozarrachalarni boshqariladigan (nazorat qilinadigan) vositalar tizimiga kiritish kabi sohalarda ham ilmiy izlanishlar olib borishgan.

O'zbekistonda mazkur yo'nalish rivojiga hissa qo'shayotgan professorlar A. Sarimsakov, O.N. Ro'zimurodov, N.Q. Muxamadiev, Q.F. Xalilov va boshqalarni ta'kidlash mumkin. Kvant nuqtalar sintez usullarini o'rganish, fotokatalitik ko'rsatkichlarni tahlil qilish, turli qo'shimchalardan tozalash kabi muammolarni hal etishga qaratilgan ilmiy izlanishlarni o'zbek olimlari ham olib borishmoqda.

Shunga qaramasdan yuqori fotolyuminessent va kvant unumli barqaror CdS kvant nuqtalar asosida fotokatalizatorlarni sintez qilish, ular sirtini gidrofil guruhli

stabilizatorlar bilan modifikatsiyalash hamda samarali sintez usullarini ishlab chiqish borasida etarlicha tadqiqotlar bajarilmagan.

Dissertatsiya tadqiqotining dissertatsiya bajarilgan oliy ta'lim muassasasi ilmiy tadqiqot ishlari rejalari bilan bog'liqligi. Dissertatsiya tadqiqoti Samarqand davlat universiteti ilmiy tadqiqot ishlar rejasining "Tabiiy va sintetik materiallarni sintez qilish, tekshirish va qayta ishlashning yangi usullari" bandi doirasida bajarilgan.

Tadqiqotning maqsadi turli anion stabilizatorlari bilan barqarorlashtirilgan CdS kvant nuqtalari asosida fotokatalizatorlar sintezi, ularning barqarorligiga turli omillarning ta'sirini hamda fotokatalitik reaksiyaning borishini kinetik jihatdan baholashdan iborat.

Tadqiqotning vazifalari:

tiol guruhi saqlagan stabilizatorlar ishtirokida CdS kvant nuqtalari sintezini kvant-kimyoviy jihatdan asoslash;

tiol guruhi saqlagan stabilizatorlar ishtirokida CdS kvant nuqtalarini kolloid muhitda sintez qilishga turli omillarning ta'sirini baholash;

sintez qilingan CdS kvant nuqtalarining optik-o'lcham xossalarini aniqlash;

CdS kvant nuqtalari ishtirokidagi fotokatalitik reaksiyalarning kinetik qonuniyatlarini aniqlash.

Tadqiqotning ob'ekti. Kadmiy asetat, natriy sulfid asosida olingan CdS kvant nuqtalari hamda tiol guruhi saqlagan merkaptolanol, merkaptosirka kislota, merkaptopropion kislota va L-sistein stabilizatorlar olingan.

Tadqiqotning predmeti. CdS kvant nuqtalarining turli tiol guruhi saqlovchi stabilizatorlar ishtirokida sintez qilinishi, ularning struktura-optik xossalari, o'lchamga bog'liq fotofizik tavsiflari, fotokatalitik faolligi hamda ushbu materiallar asosida boradigan fotokatalitik reaksiyalarning kinetik qonuniyatlarini aniqlashdan iboratdir.

Tadqiqotning usullari. Dissertatsiyada spektrofotometriya, spektrofotometriya, IQ-spektroskopiya, X-ray rentgen diffraksiyasi (XRD), Energiya dispersiv rentgen spektroskopiyasi (EDS), transmission elektron mikroskopiya, kvant-kimyoviy, kinetik va statistik usullaridan foydalanilgan.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi quyidagilardan iborat:

tiol guruhi saqlagan stabilizatorlar ishtirokida CdS klasterlarining strukturaviy va elektron tabiati, barqarorligi, fotokatalitik samaradorligi kvant-kimyoviy jihatdan baholangan;

CdS kvant nuqtalar zarrachalarining barqarorligi va optik-o'lcham xossalariga eritma pH=12 ishqoriy muhitida, 85⁰C temperaturada hamda stabilizatorlar konsentratsiyasi 10⁻²÷10⁻³ mol/l, sintez davomiyligi 60÷90 daqiqa oralig'ida o'rganish asosida sintezning maqbul sharoitlari aniqlangan;

CdS kolloid kvant nuqtasi yadrosining shakllanishida gidrofil stabilizatorlarning ta'siri natijasida zarrachaning o'rtacha o'lchami 2,3 nm dan 10 nm gacha bo'lishi isbotlangan;

CdS kvant nuqtalarida stabilizator turiga qarab, yorug'lik nurini yutilish maksimumi 370÷480 nm, fotolyuminessensiya maksimumi 500÷650 nm, kvant unumi esa 20÷80% ekanligi aniqlangan;

CdS kvant nuqtalari ishtirokida organik bo'yoqlarning fotokatalitik parchalanish reaksiyalarining tezlik konstantalari hamda degradatsiya darajalari aniqlangan.

Tadqiqotning amaliy natijalari quyidagilardan iborat:

CdS kvant nuqtalari sintezini kvant-kimyoviy jihatdan baholashning metodikasi ishlab chiqilgan;

CdS kvant nuqtalarini sintez qilishning maqbul sharoitlari aniqlangan;

CdS asosidagi kvant nuqtalarini optik va fotokatalitik xossalarini tadqiq etish metodikasi ishlab chiqilgan;

CdS asosida olingan kvant nuqtalari fotokatalizator sifatida oqova suvlar tarkibidagi organik ifloslantiruvchilarni tozalashda qo'llanilgan.

Tadqiqot natijalarining ishonchliligi. Olingan ilmiy natijalar va xulosalar zamonaviy spektrofotometriya, spektrofluorimetriya, IQ-spektroskopiya, X-ray rentgen diffraksiyasi (XRD), Energiya dispersiv rentgen spektroskopiyasi (EDS), transmission elektron mikroskopiya, kinetik, kvant-kimyoviy hisoblash usullariga asoslangan.

Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati.

Tadqiqot natijalarining ilmiy ahamiyati shundan iboratki, CdS kvant nuqtalarini tiol guruhi saqlagan stabilizatorlar ishtirokida sintezning kvant-kimyoviy jihatdan asoslanishi, kolloid muhitda boradigan sintez jarayoniga turli omillarning ta'sirini kompleks o'rganilishi, sintez qilingan CdS kvant nuqtalarining optik va fotokatalitik xossalarini hamda ular ishtirokidagi reaksiyalarning kinetik qonuniyatlarini baholanganligi zamonaviy materiallar fizik-kimyosi va nanotexnologiya sohalaridagi ilmiy tadqiqotlarni boyitishga xizmat qiladi.

Tadqiqotning amaliy ahamiyati CdS kvant nuqtalarini sintez qilish jarayonini kvant-kimyoviy jihatdan baholash metodikasi ishlab chiqilganligi va sintezning maqbul sharoitlarini aniqlanganligi, ularining optik va fotokatalitik xossalarini o'rganish bo'yicha samarali metodikaning yaratilganligi hamda fotokatalizator sifatida oqova suvlarni organik ifloslantiruvchilardan tozalashda muvaffaqiyatli qo'llanilganligi bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining joriy qilinishi. Har xil turdagi anion stabilizatorlar bilan stabillashgan CdS kvant nuqtalarining sintezi va ularning fotokatalitik xossalarini o'rganish asosida:

L-sistein bilan stabillashgan CdS kvant nuqtalari fotokatalizator sifatida MCHJ "ATUSH MIHNAT TEXTILE" xorijiy korxonasi amaliyotga joriy etilgan ("ATUSH MIHNAT TEXTILE" xorijiy korxonasi 2025 yil 8 yanvardagi №08/01-01-sonli ma'lumotnomasi). Natijada chiqindi suvlardagi organik moddalarni 99,95 % unum bilan fotokatalitik tozalash imkonini bergan;

merkaptosirka kislotasi bilan stabillashgan CdS kvant nuqtalari fotokatalizator sifatida MCHJ "ATUSH MIHNAT TEXTILE" xorijiy korxonasi amaliyotga joriy etilgan (MCHJ "ATUSH MIHNAT TEXTILE" xorijiy korxonasi 2025 yil 8 yanvardagi 08/01-02-sonli ma'lumotnomasi). Natijada chiqindi suvlarni organik moddalardan 60 daqiqada 85,44 % unum bilan fotokatalitik tozalash imkonini bergan.

Tadqiqot natijalarining aprobatsiyasi. Mazkur tadqiqot natijalari 25 ta, jumladan, 10 ta xalqaro va 15 ta respublika ilmiy-amaliy anjumanlarida ma'ruza qilingan va muhokamadan o'tkazilgan.

Tadqiqot natijalarining e'lon qilinganligi. Dissertatsiya mavzusi bo'yicha jami 6 ta ilmiy ish chop etilgan, shulardan O'zbekiston Respublikasi Oliy attestatsiya komissiyasining falsafa doktori (PhD) dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan ilmiy nashrlarda 4 ta maqola respublikada, 2 ta maqola xorijiy jurnallarda jumladan 1 ta maqola scopus bazasida nashr etilgan.

Dissertatsiyaning tuzilishi va hajmi. Dissertatsiya tarkibi kirish, to'rtta bob, xulosa, foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati va ilovalardan iborat. Dissertatsiyaning hajmi 119 betni tashkil etib, 75 ta rasm va 8 ta jadvallardan iborat.

DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI

Kirish qismida tadqiqotlarning dolzarbligi va zarurati asoslangan, tadqiqotning maqsadi va vazifalari, obyekti va predmetlari tavsiflangan, Respublika fan va texnologiyalari rivojlanishining ustuvor yo'nalishlariga mosligi ko'rsatilgan, tadqiqotning ilmiy yangiligi va amaliy natijalari bayon qilingan, olingan natijalarning ilmiy va amaliy ahamiyati yoritilgan, natijalarni amaliyotga joriy qilish, nashr etilgan ilmiy ishlar va dissertatsiya tuzilishi bo'yicha ma'lumotlar keltirilgan.

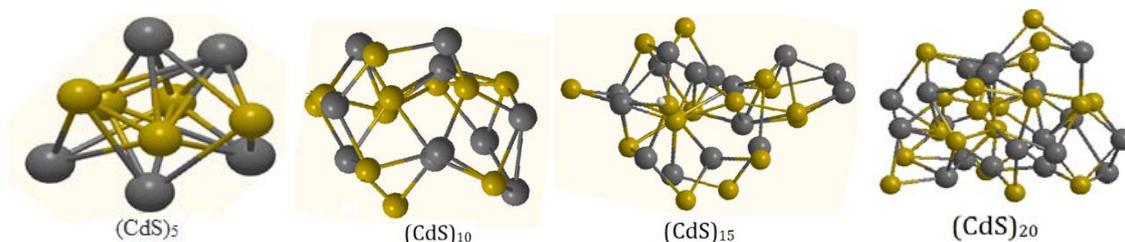
Dissertatsiyaning "**CdS kvant nuqtalari va fotokatalizning umumiy xossalari**" deb nomlangan I bobida turli xil anion saqlagan stabilizatorlar barqarorlashtirilgan CdS kvant nuqtalarni kolloid suvli usulda olish, organik erituvchilarda olish, CdS kvant nuqtalarni olish, gidrofob stabilizatorlarni gidrofil stabilizatorlarga almashtirish usulda olish, fotokatalizatorning tezlik kinetikasi va mexanizmiga doir ilmiy ma'lumotlar tahlil etilgan. Suvning parchalanishi uchun samarali fotokatalizatorlar sintez qilish va reaksiya mexanizmi hamda kinetikasini to'liq o'rganish dolzarb muammolardan biri ekanligi asoslangan.

Dissertatsiyaning II bobi "**Tadqiqot obyektlari va usullari**"ga bag'ishlangan bo'lib, unda har xil anion saqlagan stabilizatorlar bilan barqarorlashtirilgan CdS kvant nuqtalari asosida fotokatalizatorlar sintezi uchun zurrur bo'lgan reagentlarning xarakteristikalarini va sintez metodikalarini hamda tadqiqot usullari keltirilgan. Fotokatalizatorlar sirti va ularning g'ovaklik darajalarini tadqiq etish usullari sifatida rentgen difraktometriya (XRD), skanerlovchi elektron mikroskopiya, mikrorentgen tahlil, kimyoviy va fizik-kimyoviy tadqiqot usullari, yutilish spektrlari, fotolyuminesensiya spektrlarini o'rganish hamda nazariy hisob kitoblarni amalga oshirish uchun ba'zi statistik usullar haqidagi ma'lumotlar o'rin olgan.

Dissertatsiyaning III bobi "**CdS kvant nuqtalarini kvant-kimyoviy baholash**"ga bag'ishlangan bo'lib, $(\text{CdS})_n$ ($n=3\div 27$) nanoklasterlarining barqaror strukturasi bo'yicha kvant kimyoviy hisoblashlar amalga oshirildi.

Klasterlarda atomlar sonining ortishi bilan ularning barqarorligi ortib borishini yana bir bor tasdiqlaydi. $(\text{CdS})_n$ ($n=5, 10, 15, 20$) nanoklasterlarning kvant kimyoviy tahlili shuni ko'rsatadiki, strukturaviy va elektron xossalari klaster hajmiga qarab sezilarli darajada farqlanadi.

(CdS)_n (n=5, 10, 15, 20) klasterlarning optimallashtirilgan geometrik strukturalari 1-rasmda keltirilgan.



1-rasm. (CdS)_n (n=5, 10, 15, 20) klasterlar strukturalari

Shuningdek, (DFT) B3LYP/6-31G** asosida hisoblashlardan olingan klasterlarning barqaror strukturali izomerlarining turli geometrik parametrlari: bog‘lar uzunligi, dipol momenti, klasterlarning umumiy energiyasi kabi eng muhim fizik parametrlari qiymatlar 1-jadvalda keltirilgan.

1-jadval

(CdS)_n (n = 5 ÷ 20) klasterlarining ba’zi fizik-kimyoviy parametrlari

(CdS) _n	Umumiy energiya <i>E</i> , (kkal/mol)	Cd-S bog‘ uzunligi (Å°)	Elektrofillik indeksi (eV)	Dipol momenti (Debye)
5	1580,0215	2,36	3,45	1,35
10	5502,1022	2,38	3,78	4,72
15	8950,2053	2,24	4,13	5,16
20	11033,056	2,18	4,18	5,41

Reaksiya jarayonida Cd atomlari klasterning ichida, S atomlari esa tashqariga chiqishga harakat qiladi, Def2SVP – DFT va ab initio hisob-kitoblari uchun ishlatiladigan baza to‘plami, u CdS kvant nuqtalarining elektron tuzilishini va spektral xossalarini aniqlashda muhim rol o‘ynaydi (2-jadval).

2-jadval

(CdS)_n (n=3÷27) kondensatsiyalangan klasterlarning HOMO-LUMO sohalari orasidagi energiya farqlari

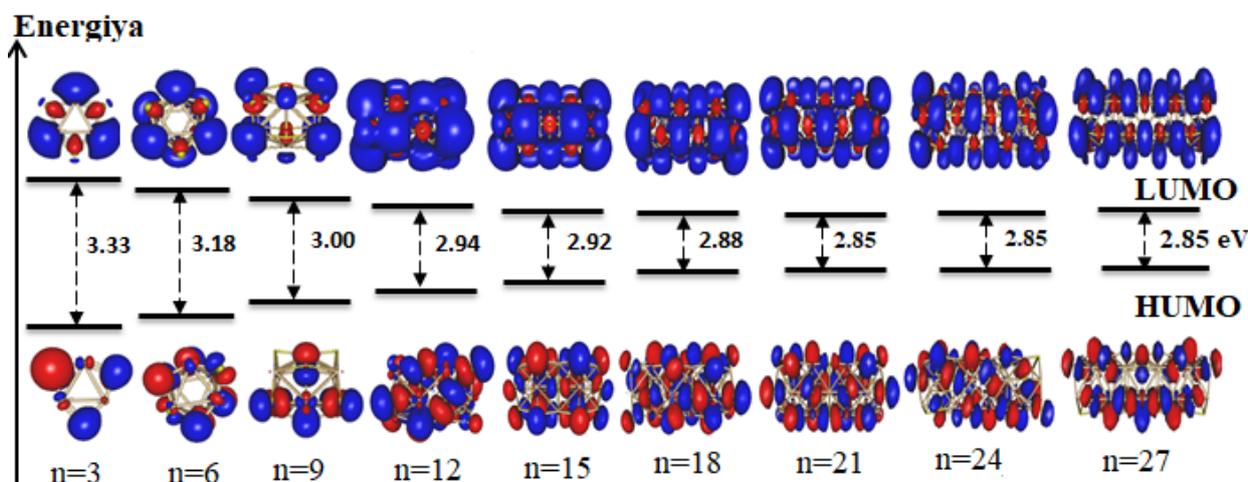
Strukturasi	H-L (eV) LANL2DZ	H-L (eV) Def2TZVPP	H-L (eV) Def2SVP
(CdS) ₅	3,18	3, 27	3,85
(CdS) ₁₀	2,92	2,97	3,55
(CdS) ₁₅	2,94	2,55	3,54
(CdS) ₂₀	2,87	2,86	3,45

Def2TZVPP – aniqroq va kengaytirilgan baza to‘plami bo‘lib, ayniqsa CdS kvant nuqtalari va boshqa yarim o‘tkazgich materiallar uchun eng yaxshi tanlovlardan biri hisoblanadi.

(CdS)_n (n = 3 ÷ 27) klasterlari qatorida atomlar soni ortib borishi bilan HOMO va LUMO energiyalari farqi, ya’ni klasterlarda taqiqlangan hudud o‘lchami kamayishi hisoblab topildi. Bu esa (CdS)₅ klasteriga nisbatan (CdS)₂₀ klasteri yuqori

fotokatalitik faollikni nomoyon qilishini anglatadi.

$(\text{CdS})_n$ ($n = 3 \div 27$) klasterlari uchun elektron holatlar HUMO va LUMO orbital energiyalari 2-rasmda keltirilgan.

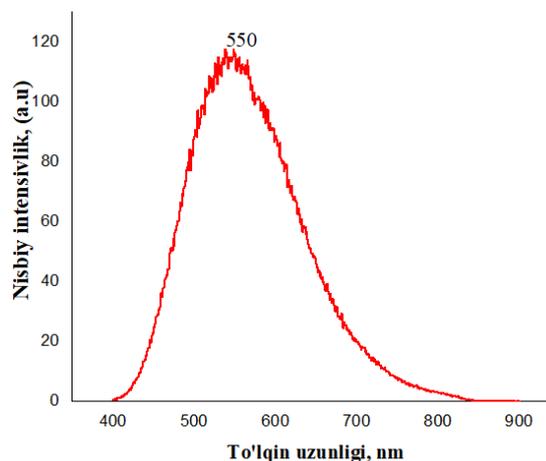
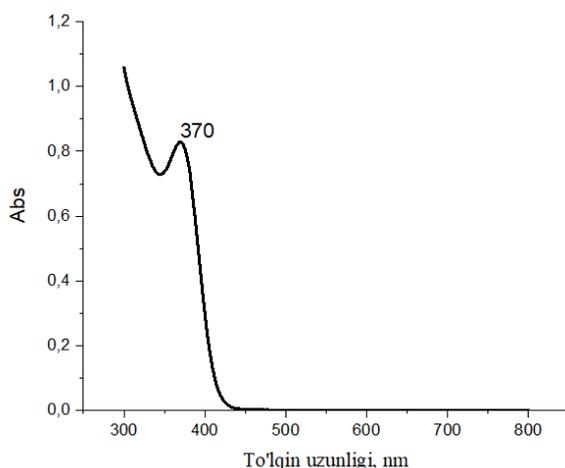


2-rasm. $(\text{CdS})_n$ klasterlarida LUMO hamda HUMO MO larining B3LYP/DZVP2 dasturi bo'yicha hisoblangan qiymatlari

Dissertatsiyaning “**Tiol guruhli stabilizatorlar bilan barqarorlashtirilgan CdS kvant nuqtalarining fotokatalitik faolligi**” deb nomlangan IV bobida har xil anion stabilizatorlar bilan stabillashgan CdS kvant nuqtalari asosida fotokatalizatorlar sintezi, ularning stabilizator turlariga, moddalar konsentratsiyasiga, eritma muhitiga (pH), haroratga, vaqtga, geometrik, sorbsion va katalitik kabi xarakteristikalariga bog'liqligini aniqlash hamda reaksiya borishini kinetik jihatdan baholashdan iborat.

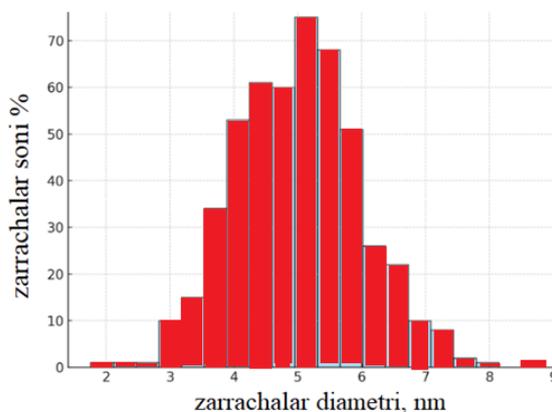
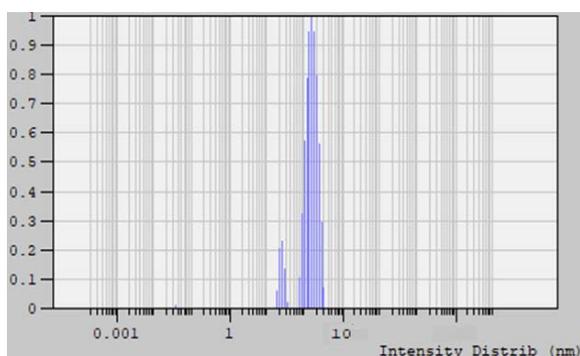
Sintez qilingan CdS kolloid KNlar turli gidrofil stabilizatorlar bilan II bobda keltirilgan usullar bilan qoplandi. Bunda organik birikmalar qoplovchilar sifatida qo'llanildi.

Turli xil anion guruhi saqlagan gidrofil stabilizator sifatida qo'llanilib, azot atmosferasida ishqoriy muhitida yuqori 20-100 °C -haroratda CdS KN lari sintez qilindi. Olingan CdS nanozarrachalarning lyuminessensiyasi spektrida nisbiy intensivlik diapazoni 460-600 nm to'liq uzunligiga to'g'ri keldi (3-rasm). CdS KN lar lyuminessensiya spektrning intensivlik diapazoni tor va simmetrik bo'lib, kolloid kvant nuqta nanokristallarida sirt defektlarining juda kamligidan dalolat bermoqda. 3-rasmdan ko'rinadiki CdS kvant nuqtalarining fotolyuminessensiya intensivligining maksimumi 540 nm diapazonda to'g'ri kelmoqda. Sintez qilingan CdS nanokristallarining kvant unumi kumarin usulida, rodamin 6G (96%li) hamda metil ko'ki indikatorining etanoldagi eritmasi qo'llanilib, aniqlandi. Jarayon uchun kvant unumining qiymati 23 % ni tashkil etdi. Jarayon davomida CdS KNlarning yutilish spektrlari ham olindi. Spektrda eksiton cho'qqisi 370 nm to'liq uzunligiga to'g'ri keldi (3-rasm). Ta'kidlash joizki, yutilish va lyuminessensiya spektrlari cho'qqilarining maksimum to'liq uzunliklari har xil qiymatga ega bo'ldi, ya'ni $\lambda = 370$ nm.



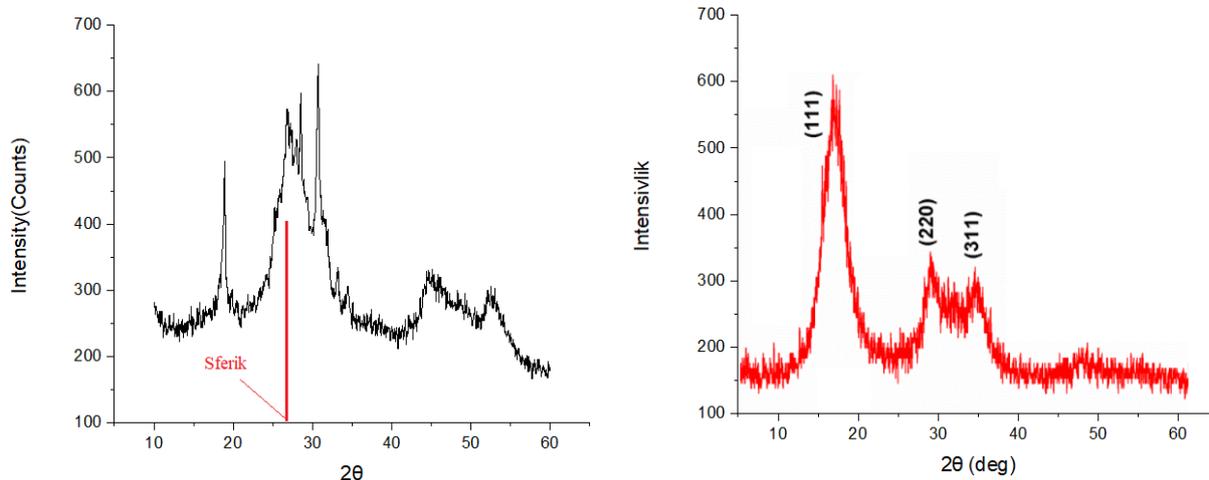
3-rasm. CdS KN larining yutilish va lyuminessensiya spektrlarii

Hisoblashlarga ko'ra CdS KN yadrosining o'lchami 5,49 nm tashkil etdi. CdS kvant nuqtalar zarrachalari o'rtacha gidrodinamik o'lchamining taqsimlanish gistogrammasi "Malvern Zetasizer Nano" hamda "Photocor complex" analizatorlarida aniqlandi. CdS zarralarining asosiy qismi o'rtacha 4-6 nanometr oralig'ida ekanligi ko'rinib turibdi. Eng baland nuqta taxminan o'rtacha 5,7 nm yaqinida joylashgan bo'lib, bu o'lchamdagi zarrachalarning eng yuqori chastotaga ega ekanligini 4-rasmda ko'rsatadi.



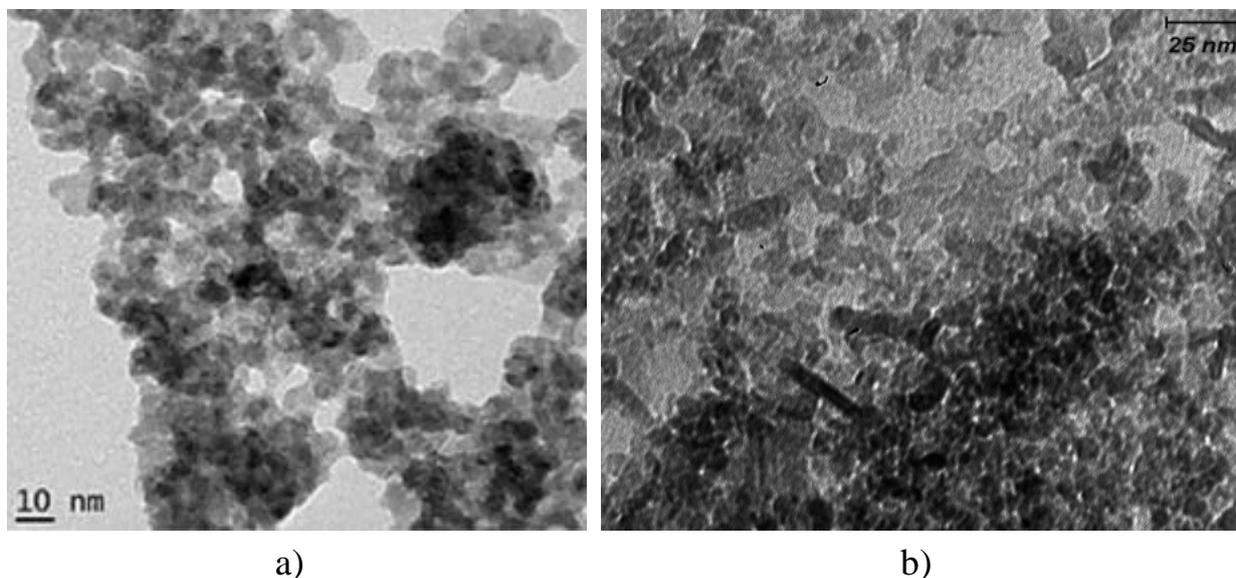
4-rasm. CdS KNlarning o'rtacha gidrodinamik o'lcham taqsimoti

Olingan CdS kvant nuqtalarining o'rtacha gidrodinamik o'lchami, stabilizator qobig'i stabilizatorlar bilan hisobga olganda, 5,4-7,9 nm ni tashkil mumkinligini aytish mumkin. Tadqiqotlar davomida rentgen diffraksiyasi usuli yordamida CdS kvant nuqtalarining CdS ning barcha namunalarning kristall strukturasi kubik ekanligi aniqlandi. Ko'zga ko'ringan cho'qqilar (111), (220) va (311) kubik tuzilishga indekslangan. CdS KN 10° dan 60° gacha bo'lgan 2θ oralig'ida diffraksion tepaliklar kuzatildi. Olingan analiz natijalarini JCPDS card (80-0019), (JCPDS (05-0566) va (80-0019) bazasiga solishtirildi. Bu diffraksion tepaliklar sintez qilingan materialning kristallografik ma'lumotlariga mos keladi (5-rasm).



5-rasm. CdS kvant nuqtasining rentgen difraktogrammasi

CdS zarrachalari kichik o'lchamlarga ega bo'lib, taxminan 3-6 nm diametrga ega ekanligini 6-rasmda ko'rish mumkin. MAA ning yuqori darajadagi stabilizatsiya xossasi CdS KN kukunida zarrachalar o'rtasida mahkam bog'lanish hosil qilmasdan, ularning bir xil tarqalishini sezilarli darajada yaxshilaydi. TEM bilan tekshirilganda, CdS zarrachalarining aniq chegara chiziqlari ko'zga yaqqol tashlanadi. Zarrachalarning bir xil o'lchamda shakllanishi olingan namuna monodispersligini ko'rsatadi. CdS kvant nuqtalarining o'lchamli taqsimoti va shaklini aniqlash transmission elektron mikroskopda (TEM) bajarildi (6-rasm).



6-rasm. CdS KN larining (a) 10 nm va (b) 25 nm o'lchamdagi TEM tasvirlari

CdS kvant nuqtalari sintez qilingandan so'ng, L-sistein yopishtiruvchi vosita sifatida kiritiladi. L-sistein - oltingugurtni o'z ichiga olgan aminokislota bo'lib, u CdS kvant nuqta yuzasi bilan muvofiqlasha oladi, barqarorlikni ta'minlaydi va ularning agregatsiyasini oldini oladi. L-sistein tarkibidagi tiol (-SH) guruhi CdS yuzasi bilan o'zaro ta'sir qilib, passivlashtiruvchi qatlam hosil qiladi. Ushbu sirt modifikatsiyasi kvant nuqtalarining turli erituvchilarda tarqalishini kuchaytiradi va ularning biologik mosligini yaxshilaydi.

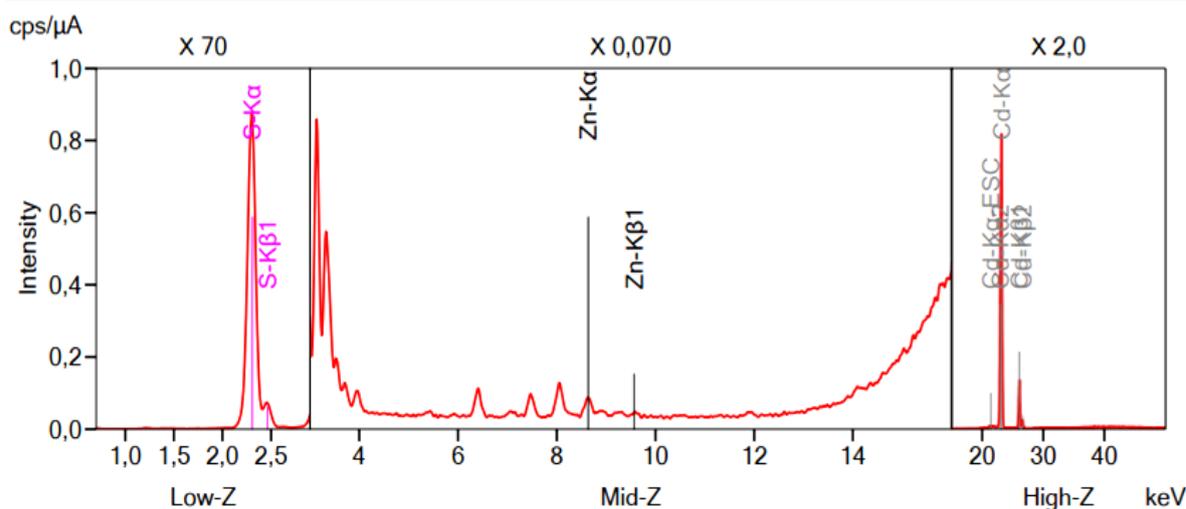
CdS kvant nuqtalarning elementar tarkibi 3-jadvalda keltirilgan. Jadvaldan ko‘rinadiki Na ioni ishqoriy muhitni hosil qilib eritmada qolganligi ko‘rish mumkin. Ushbu jadval asosida CdS kvant nuqtalarning EDX spektri olingan. CdS kvant nuqtalarning elementar konformatsiyasi energiya dispersiv rentgen spektroskopiyasi (EDS) yordamida kuzatildi. Kadmiy, oltingugurtlarni o‘z ichiga olgan CdS KNLarning EDX spektrini ko‘rsatadi (7-rasm).

3-jadval

CdS kvant nuqta namunalarning kimyoviy elementar tarkibi

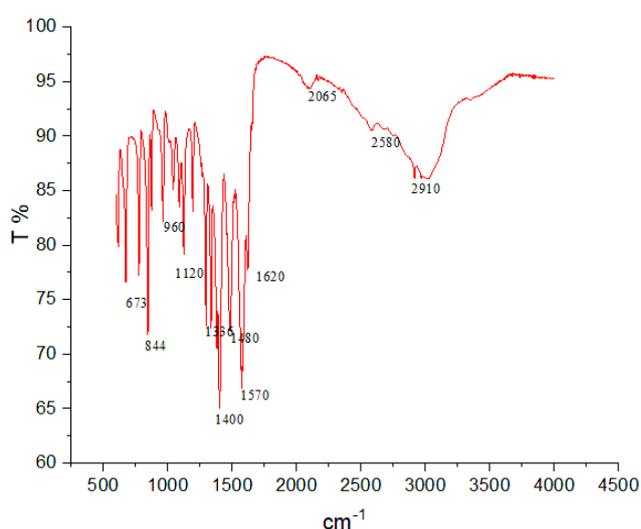
Element nomi	Elementning mass fraksiyasi (%)	Statistik xatolik	Quyida aniqlash chegarasi	Rentgen nurlanishi intensivligi (cps/ μ A)
Na	ND	-	-	-
S	57,69	0,0362	0,0056	156,31065
Zn	0,0058	0,0003	0,0005	0,042912
Cd	42, 3	0,0054	0,0005	130,89622

Spectrum

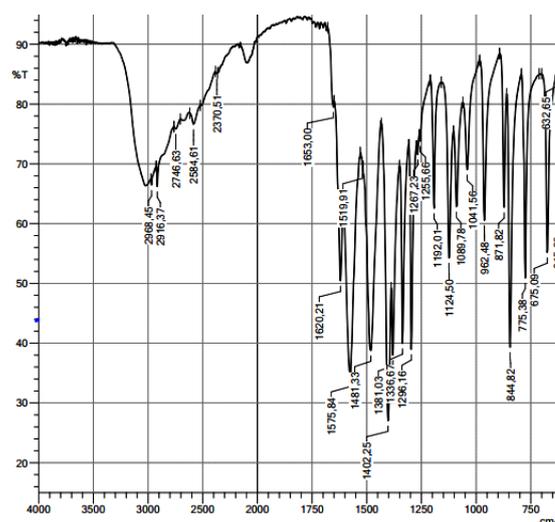


7-rasm. CdS kvant nuqtaning elementar tahlili

Stabilizatorlar asosan organik moddalardan tashkil topganligi uchun 8 rasmda ularning IR spektridan ko‘rish mumkin. Quyidagi spektrda 3261 cm^{-1} , 2922 cm^{-1} , 1637 cm^{-1} , 1544 cm^{-1} , 1070 cm^{-1} , 1012 cm^{-1} , $630\text{--}690\text{ cm}^{-1}$ sohalarida sezilarli darajada nur yutish signallari hosil bo‘lgan. Unga ko‘ra 3261 cm^{-1} va 1637 cm^{-1} sohalar $-\text{NH}_2$ va $-\text{NH}$ guruhga tegishli. Shuningdek, stabilizator sifatida foydanilgan saponinlar tarkibida $3200\text{--}3600\text{ cm}^{-1}$ soha $-\text{OH}$, $-\text{CH}_3$ guruhi 2960 va 2870 , $-\text{COOH}$ $1800\text{--}1740\text{ cm}^{-1}$, $-\text{CH}$ (alkan) $2850\text{--}2960\text{ cm}^{-1}$, $\text{C}=\text{O}$ (karbonil) $1700\text{--}1750\text{ cm}^{-1}$, $\text{C}-\text{O}$ (efirlar, spirtlar) $1050\text{--}1150\text{ cm}^{-1}$ ga ham tegishli bo‘lib, birikma tarkibida shu guruhlar mavjud ekanligi to‘g‘risida xulosa qilish mumkin (8 b-rasm).



a)



b)

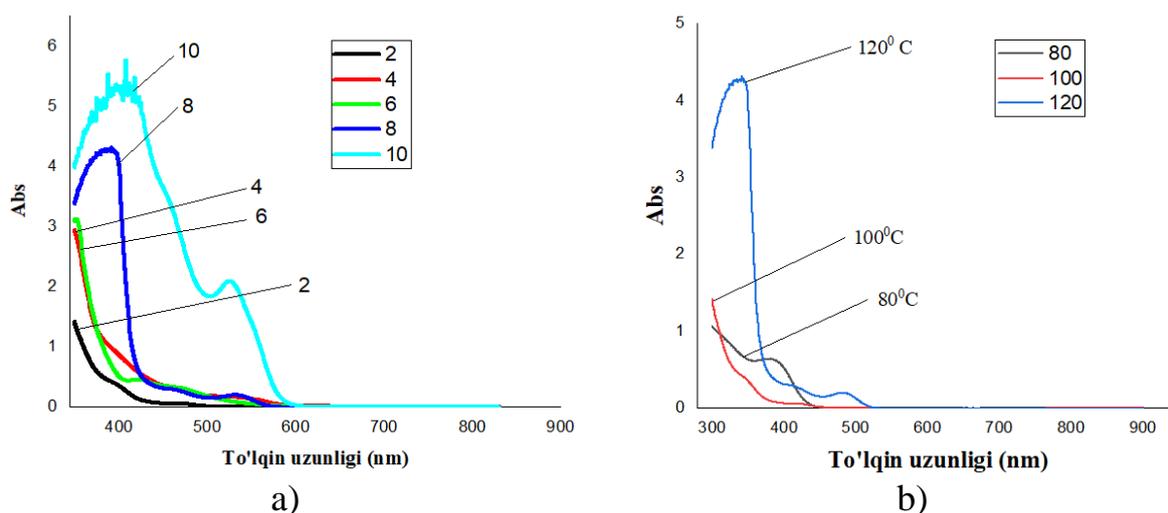
8-rasm. L-sistein (a) va merkaptosirka kislota(b) bilan barqarorlashtirilgan CdS kvant nuqtalarining IQ spektrlari

Stabilizator konsentratsiyasini tanlash. Optimal konsentratsiyani tanlash CdS kvant nuqtalarining fotoluminescent samaradorligini oshiradi, fotokatalitik xossalarini yaxshilaydi va zarrachalarning bir xilligi va barqarorligini ta'minlaydi. Sintez sharoitlariga qarab, har bir stabilizator uchun o'ziga xos optimal konsentratsiya mavjud, va bu konsentratsiya sintez jarayonini modifikatsiyalash va optimallashtirish uchun muhim rol o'ynaydi.

Stabilizatorlarning optimal konsentratsiyalari CdS kvant nuqtalarning turli fotokatalitik, optik va elektr xossalarini takomillashtirishga imkon beradi. Shu sababli, sintez jarayonlarida stabilizator konsentratsiyasini nazorat qilish CdS kvant nuqtalarning sifatli sintezini ta'minlash uchun zarurdir (9 a-rasm).

CdS kvant nuqtalarning sintez jarayonida harorat muhim rol o'ynaydi. Haroratning o'zgarishi CdS kvant nuqtalarning hosil bo'lish tezligi, o'lchami, dispersiyasi, va optik xossalariga sezilarli ta'sir ko'rsatadi. Yuqori harorat CdS kvant nuqtalarning kristallanish tezligini oshiradi va zarrachaning tezroq hosil bo'lishiga olib keladi. Yuqori haroratda Cd va S ionlarning tezroq birikishini, zarrachalarning tez o'sishini va yirik o'lchamdagi kvant nuqtalarning hosil bo'lishi kuzatiladi. Yirik zarrachalarning hosil bo'lishi fotoluminesensiya spektrining qizil tomonga siljishini ya'ni uzunroq to'lqin uzunligi tomon siljiydi.

Yuqori haroratda zarrachalarning o'lchamining bir xilligi pasayadi. Chunki yuqori haroratda zarrachalar tez o'sishi natijasida o'shish tezligini tartibga solish qiyin bo'ladi. Past harorat CdS kvant nuqtalarining yuzasidagi defektlar sonini kamaytirishga yordam beradi, natijada kvant nuqtalarning fotoluminescent intensivligi oshadi. Past haroratda Cd va S ionlarning harakati sekinlashadi va natijada kichik o'lchamdagi kvant nuqtalar hosil bo'ldi. Yutilish spektrlari ko'k tomonga siljiydi. CdS kvant nuqtalarini sintez qilish uchun optimal haroratni tanlash zarrachalar hajmining bir xilligini, fotoluminesensiya samaradorligini va kolloid barqarorlikni ta'minlaydi (9 b-rasm).



9-rasm. CdS kvant nuqtalari yutilish spektrining stabilizator konsentratsiyasiga (a) va haroratga (b) bog'liqligi

Turli xil anion guruhi saqlagan stabilizatorlar bilan qoplangan CdS kvant nuqtalarning yutilish, lyuminessensiya spektrlari hamda o'rtacha gidrodinamik diametrlari keltirilgan (4-jadval). Jadvaldagi keltirilgan stabilizatorlar CdS kvant nuqtalari yuzasini barqarorlashtirish, dispersiyani yaxshilash, aglomeratsiyadan saqlash va fotokatalitik xossalarini oshiradi. Kvant nuqtalarning o'rtacha gidrodinamik diametri (nm) stabilizator va sintez usuliga bog'liq. Taqiqlangan hudud energiyasini elektron-voltlarda (eV) ifodalanishi uchun quyidagi formula ishlatiladi: $E_g(eV) = \frac{1240}{\lambda(nm)}$

4-jadval

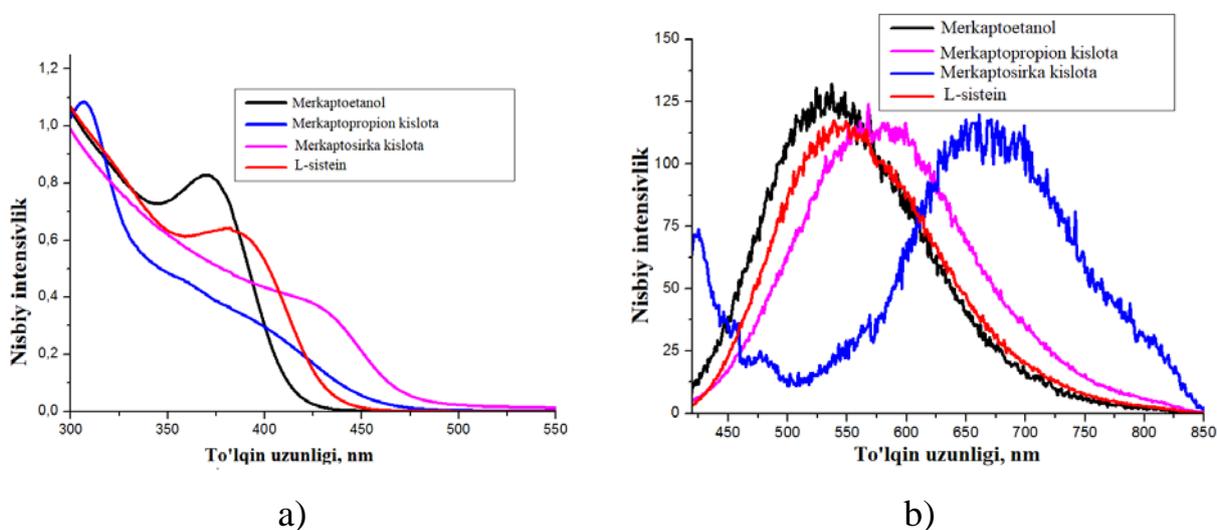
O'rganilayotgan CdS kvant nuqtalarining o'rtacha gidrodinamik o'lchami, yutilish va lyuminessensiya spektrlari

Stabilizatorlar	$\lambda_{yutilish}, nm$	λ_{lyum}, nm	D, nm	Taqiqlangan hudud energiyasi (E_g) eV
Merkaptoetanol	371	535	2,55	3,34
Merkaptosirka kislota	436	665	4,69	2,84
Merkaptopropion kislota	404	575	3,51	3,07
L-sistein	386	545	2,95	3,21

Ilmiy ishda 4 turdagi stabilizatorlar - merkaptosirka kislota, merkaptopropion kislota, merkaptoetanol va L sistein bilan qoplangan kvant nuqtalarning fotokatalitik xossalari o'rganildi. Bu stabilizatorlarning barchasi tiol tipidagi bo'lib, xalkogenid nanozarrachalariga -SH guruhi tomonidan biriktirilgan.

Biroq, bu moddalarning adsorbsion xossalari farqlanadi, bu stabilizatorlar va reaktivlarning ekvimolyar nisbati bilan turli o'lchamdagi nanozarrachalar hosil bo'lishiga olib keladi, bu esa tarmoqli bo'shliqning yutilish cho'qqilari holatida aks etadi (10 a -rasm). Grafik CdS kvant nuqtalarining stabilizator turiga qarab yutilish spektrlaridagi o'zgarishlarni ko'rsatmoqda. Stabilizatorlar turlarining yutilish spektrlari turlicha bo'lib, bu ularning kvant nuqtalari bilan turli xil bog'lanish xususiyatlariga ega ekanligini ko'rsatadi. Merkaptopropion va L-sistein

stabilizatorlari CdS kvant nuqtalari yutilish spektrida nisbatan kuchli barqarorlik va kengroq yutilish spektrini ta'minlaydi. Stabilizator turi nanozarrachalarning lyuminessensiya spektrlarining holatiga ham ta'sir qiladi. Kvant nuqtalari kristall panjarasidagi sirt nuqsonlari bo'lgan kristallarga xos bo'lgan keng lyuminessensiya diapazonlariga ega (10 b-rasm), bu suvli muhitda sintez qilingan nanozarralar uchun xosdir. Lyuminessensiya spektri holatiga stabilizator tabiatining ta'sirini o'rganish maqsadida ularning olingan turli stabilizatorlardagi spektrlari qiyosiy o'rganildi. Merkaptotanol bilan qoplangan CdS nanopartikullarining afzalliklari yuqori fotokatalitik faollik, barqarorlik, sintez qulayligi va moslashtirilgan sirt xossalarini o'z ichiga oladi. Merkaptotanol bilan qoplangan CdS nanopartikulining lyuminessensiya spektrining to'lqin uzunligi hududi 535 nm edi. Bu tiol guruhining qolgan qismi tomonidan saqlanadigan stabilizatorlarga nisbatan ko'rinadigan yorug'lik hududiga to'g'ri keladi.

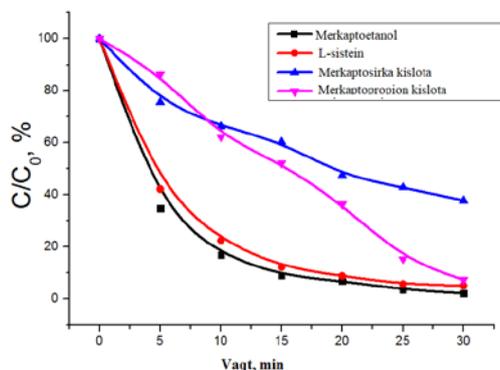


10-rasm. Turli stabilizatorlar bilan barqarorlashtirilgan CdS kvant nuqtalarining yutilish (a) va lyuminessensiya (b) spektrlari

Bundan tashqari, 10-rasmdan ko'rinib turibdiki, merkaptotanolning intensivligi boshqa tiol guruhlarini o'z ichiga olgan stabilizatorlarga qaraganda yaxshiroq. Ko'rinadigan yorug'lik maydoni taxminan 555 nm to'lqin uzunligida markazlashtirilgan, bu sariq-yashil rangga mos keladi. Bu rangning yorug'ligiga ko'zning sezgirligi eng yuqori. Merkaptosirka kislota bilan qoplangan CdS nanozarrachalari ko'rinadigan yorug'lik mintaqasining markazidan ancha kattaroq maydonda joylashgan.

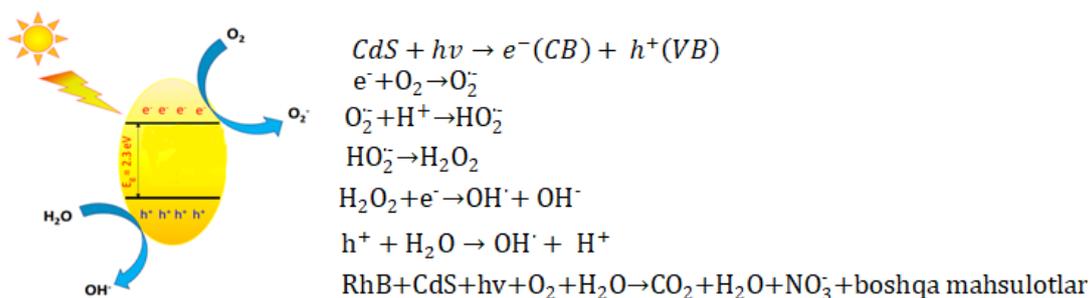
Turli stabilizatorlar bilan stabillashgan CdS kvant nuqtalarining fotokatalitik xossalari. Fotokimyoviy reaksiyalarning tezlik konstantalarini aniqlash uchun turli tajriba usullaridan foydalanish mumkin. Masalan, spektrofotometriya, lyuminessensiya spektroskopiya usullari vaqt o'tishi bilan reaksiyaning borishini kuzatish va reaksiya tezligining o'zgarishini aniqlash uchun ishlatilishi mumkin. Ushbu ma'lumotlardan foydalanib, eksperimental natijalar asosida tezlik konstantasini hisoblash mumkin. Fotokatalitik kimyoviy reaksiyalarning tezlik konstantasi - bu fotokatalizatorning (odatda yarim o'tkazgich materiali) faolligini va reaktivlarning konsentratsiyasini o'z ichiga olgan atama.

Fotokatalitik reaksiyalarning tezlik konstantasini odatda Arrenius tenglamasi, birinchi tartibli reaksiyaning kinetik tenglamasi hamda analitik usulda ifodalash mumkin. Ushbu tenglamalar harorat yoki konsentratsiya kabi o'zgaruvchilarga qarab reaksiya tezligi qanday o'zgarishini ko'rsatadi. Eksperimental ma'lumotlardan foydalanib, reaksiya tezligining ushbu o'zgarishlarini tahlil qilib, tezlik konstantasini hisoblashingiz mumkin. Eksperimental ma'lumotlarga ko'ra, merkaptotanol bilan barqarorlashtirilgan kvant nuqtalari, spektrning ko'rinadigan hududida past yutilish intensivligiga qaramay, ksenon chiroq bilan nurlanganda eng katta fotokatalitik faollikni namoyish etadi. Tiokarboksilik kislotalar bilan qoplangan kvant nuqtalar yordamida reaksiyalar, aksincha, ancha sekinroq, lekin ayni paytda birinchi tartibda boradi. Fotokatalitik parchalanish reaksiyalarining kinetik egri chiziqlari 11-rasmda keltirilgan.



11-rasm. CdS KN lari ishtirokida Rodamin B ning parchalanish reaksiyasining kinetik egri chiziqlari

Rodamin B ning parchalanishi CdS KN tomonidan yorug'lik yutilgandan so'ng boshlangan quyidagi fotokimyoviy reaksiyalar sodir bo'ladi. CdS KN yorug'lik nuri (UB yoki ko'rinadigan) ta'sirida qo'zg'aladi. Fotokatalizning boshlang'ich bosqichi. CdS kvant nuqtalarida hosil bo'lgan elektron va teshiklar reaktiv kislorod turlarini hosil qilishga olib keladi (12-rasm).



12-rasm. CdS kvant nuqtalarining fotokatalitik ta'sir mexanizmi

Rodamin B ning fotoparchalanishi reaksiyalarining yuqori tezligi, merkaptopetanol bilan qoplangan kvant nuqtalaridan foydalanilganda, bu nanozarrachalarning kichikroq o'lchamlari tufayli yuzaning kattaroq solishtirma maydoniga ega bo'lishi va ularning yuzasi kamroq nuqsonli ekanligi bilan bog'liq bo'lishi mumkin (5-jadval).

5-jadval

Rodamin B ning parchalanish tezligi konstantalari

Stabilizatorlar	k, min ⁻¹	t _{1/2}	Degradatsiya darajasi (%)
Merkaptoetanol	0,14601	4,75	99,98%
Merkaptosirka kislota	0,03203	21,64	85,44%
Merkaptopropion kislota	0,06421	16,8	97,89%
L-sistein	0,12581	5,5	99,95%

CdS kvant nuqtalarning fotokatalitik xossalari ko‘rinadigan yorug‘lik nur sohasining nurlanish ta‘sirida (to‘lqin uzunligi 450-550 nm cho‘qqi bilan) suvli eritmada rodamin B parchalanishining namunaviy reaksiyasi yordamida o‘rganildi. Bu jarayon 13-rasmda olingan namunalarda kuzatildi.



13-rasm. CdS kvant nuqta fotokatalizatori ta‘sirida rodamin B rangining vaqt bo‘yicha o‘zgarishi

Rodamin B molekularining degradatsiyasi kvant nuqtalar tomonidan qo‘zg‘atilgan OH⁻ radikallari bilan aloqa qilish natijasida sodir bo‘ladi.

XULOSALAR

1. CdS kolloid kvant nuqtalari sintezining maqbul sharoitlari qayd etildi hamda ularning fotokatalitik parametrlari o‘rnatildi. Sintezning optimal sharoitlarida KKNlarning optik va tekstur xarakteristikalari aniqlandi.

2. CdS kvant nuqtalarning gidrofil stabilizatorlar bilan barqarorlashtirilishi natijasida KKNlarning suvli muhitda eruvchanligi va barqarorligining oshishi, fotokatalitik xossalari ta‘siri hamda monodispers nanozarrachalar hosil bo‘lganligi qayd etildi.

3. CdS kvant nuqtalarni kvant unumi va fotokatalitik faolligi gidrofil guruhli stabilizatorlar tabiatiga bog‘liqligi qayd etildi. Merkaptosirka kislota bilan stabillashgan CdS kvant nuqtalar asosida olingan fotokatalizatorni ishlab chiqarish chiqindi suvlarini sintetik bo‘yoqlardan tozalash texnologiyasida kvant unumi 70 % dan L-sistein bilan stabillashgan CdS kvant nuqtalarida esa kvant unumi 75 % oshganligi qayd etildi.

4. CdS kolloid kvant nuqta yadrosining shakllanishida gidrofil stabilizatorlarning ta‘siri natijasida o‘rtacha o‘lchami 2,3 nm dan to 10 nm gacha va monodispers nanozarrachalar olinganligi va CdS kvant nuqtalarining barqarorligi va fotoaktivligi stabilizator turiga bog‘liqligi qayd etildi. Ularda lyuminessensiya intensivligi hamda fluoressensiya xossalari sezilarli darajada oshganligi kuzatildi.

5. Har xil turdagi anion stabilizatorlar bilan stabillashgan CdS kvant nuqtalar asosida olingan fotokatalizator kolloid eritma usuli bo‘yicha sintez qilingan bo‘lib,

uning o'lchami odatda 8,0 nm ga teng. Uning sorbtion sig'im 45 m²/g ga teng bo'lib, sirt yuzasi 25–250 m²/g, kvant unumi 80% ga, taqiqlangan hudud kengligi 2,56 eV ga, yutilish spektrlari 415 nm ga, lyuminessensiya spektri 525 nm ga teng. CdS kvant nuqtalarini organik bo'yoqlar uchun yaxshi fotokatalizator sifatida ishlatish imkonining borligi qayd etildi.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ РnD.03/30.12.2019.К.02.05 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ САМАРКАНДСКОМ
ГОСУДАРСТВЕННОМ УНИВЕРСИТЕТЕ ИМЕНИ Ш. РАШИДОВА**

**САМАРКАНДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ ШАРОФА РАШИДОВА**

ЗУФАРОВ АСЛИДДИН МИРЗАБАЕВИЧ

**СИНТЕЗ КВАНТОВЫХ ТОЧЕК CdS, СТАБИЛИЗИРОВАННЫХ
РАЗЛИЧНЫМИ АНИОННЫМИ СТАБИЛИЗАТОРАМИ, И
ИЗУЧЕНИЕ ИХ ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ**

02.00.04 – Физическая химия

**АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ
ДОКТОРА ФИЛОСОФИИ (РnD) ПО ХИМИЧЕСКИМ НАУКАМ**

Тема диссертации доктора философии (PhD) зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Министерстве высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан под номером B2024.2. PhD/K763.

Диссертация выполнена в Самаркандском государственном университете имени Ш.Рашидова.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекском, русском, английском (резюме)) размещен на веб-странице Ученого совета по адресу www.samdu.uz и информационно-образовательном портале «ZiyoNet» (www.ziyo.net).

Научный руководитель: Мухамадиев Нурали Курбоналиевич
доктор химических наук, профессор

Официальные оппоненты: Бекчанов Даврон Жумазарович
доктор химических наук, профессор
Халилов Кадриддин Фахриддинович
кандидат химических наук, профессор

Ведущая организация: Институт химии и физики полимеров Академии наук Республики Узбекистан

Защита диссертации состоится «29» май 2025 года в 10⁰⁰ часов на заседании Научного совета PhD.03/30.12.2019.K.02.05 при Самаркандском государственном университете имени Шарофа Рашидова. По адресу: 140104, г. Самарканд, Университетский бульвар, дом 15, Института Биохимии, Химический корпус, 220 кабинет. Тел.: (99866)239-11-40; Факс: (99866) 239-11-40. E-mail: devonxon@samdu.uz.

Диссертация зарегистрирована в Информационно-ресурсном центре Самаркандского государственного университета имени Шарофа Рашидова (зарегистрировано за № 42 Адрес: 140104, г. Самарканд, Университетский бульвар дом 15, ИРЦ. (Фундаментальная библиотека CaMГУ) Тел.: (99866)239-11-51.

Автореферат диссертации разослан «19» май 2025 года.
(реестр протокола рассылки № 2 от «19» май 2025 г).



А.М.Насимов
Председатель научного совета
по присуждению учёных степеней, д.т.н., профессор

Ж.Р.Узоков
Ученый секретарь научного совета по присуждению учёных степеней, PhD

О.Н.Рузимурадов
Председатель научного семинара при Научном совете по присуждению учёных степеней д.х.н., профессор

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и необходимость темы диссертации. В мире последние два десятилетия с развитием современных нанотехнологий и квантовой механики возрастает интерес к синтезу полупроводниковых квантовых точек. Среди квантовых точек особое значение имеют квантовые точки CdS и наноматериалы на их основе, которые используются в различных областях благодаря своей уникальной структуре и эффектам квантового измерения. В частности, материалы этого типа актуальны в связи с их особой значимостью в производстве альтернативной энергетики, производстве высокоинтенсивных люминесцентных и флуоресцентных материалов в оптоэлектронике, производстве светоизлучающих устройств, фотодиодов, лазеров и фотодетекторов, решении экологических проблем, геной инженерии, разделении генов, получении биомаркеров в биомедицине, адресной доставке лекарств.

В мире настоящее время ведущими научно-исследовательскими центрами мира разработаны эффективные методы синтеза новых типов полупроводниковых квантовых точек CdS, достигнуты научные результаты в изучении их физико-химических свойств. В связи с этим проводятся исследования по управлению структурой, размерами, формой и оптическими свойствами наночастиц, содержащих квантовые точки CdS, подбору различных стабилизаторов для повышения их стабильности. Детально изучены нанокристаллы на основе халькогенидов металлов, в частности квантовые точки CdS, обладающие фотолюминесцентными свойствами и проявляющие высокую фотокаталитическую и химическую стабильность. При этом научный интерес представляет решение задач повышения стабильности и фотокаталитической активности квантовых точек CdS, а также их стабилизации гидрофильными стабилизаторами.

В нашей республике достигнуты определенные научные результаты по разработке новых методов получения квантовых точек CdS и их наночастиц, модифицированных различными стабилизаторами, а также по исследованию их фотокаталитических характеристик. В Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан³ определены важные задачи «производства готовой продукции с высокой добавленной стоимостью на основе глубокой переработки местных сырьевых ресурсов, освоения принципиально новых видов продукции и технологий и на этой основе обеспечения конкурентоспособности национальных товаров на внутреннем и внешнем рынках». Также в этой связи, в соответствии с семью приоритетами стратегии развития Нового Узбекистана на 2022-2026 годы, поднятие уровня медицинского обслуживания населения на новый уровень «Развитие химической и газохимической промышленности и повышение уровня переработки природного газа с 8% до 20%». такие задачи определены. Поэтому большое значение имеют исследования по созданию современных

³ Указ Президента Республики Узбекистан от 7 февраля 2017 года № ПФ4947 «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан»

методов синтеза фотокатализаторов на основе квантовых точек CdS, управлению фотокаталитическими свойствами, формированию оболочек на поверхности ядра, модификации гидрофильными стабилизаторами.

Указы Президента Республики Узбекистан №ПФ4947 от 7 февраля 2017 года «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан», № ПК-3246 от 29 августа 2017 года «О мерах по совершенствованию экспортно-импортной деятельности» организаций химической промышленности», ПК-3479 от 17 января 2018 года «О мерах по обеспечению отраслей экономики страны продукцией и сырьем, пользующимися повышенным спросом» и ПК-4265 от 3 апреля 2019 года «Дальнейшее реформирование химической промышленности». «Результаты данного диссертационного исследования служат в определенной степени реализации задач, определенных в решениях от ноября 2021 года, и мерах по повышению его инвестиционной привлекательности.

Соответствие исследования приоритетных направлений развития науки и технологии в республике. Данное диссертационное исследование выполнено в соответствии с VII приоритетным направлением развития науки и техники республики «Химия, химическая технология и нанотехнологии».

Уровень изученности проблемы. Научные исследования квантовых точек CdS значительно развились в последние годы. Исследования в основном сосредоточены на улучшении их высокой квантовой эффективности, фотокаталитической активности и стабильности. В этой области квантовые точки CdS синтезируются с использованием стабилизаторов. Эти методы улучшают фотохимические свойства квантовых точек, позволяя использовать их в качестве фотокатализаторов для разложения органических загрязнителей и получения водорода из воды. Кроме того, многие исследования сосредоточены на изучении оптических, электронных и фотокаталитических свойств этих материалов.

О синтезе и фотокаталитических свойствах квантовых точек CdS М. Бавенди, Л. Брюс, А. Екимов, П. Янг, Ж. Чжан, А. Самади-Майбоди, Дж. Чжан, Ж. Се, Северо-запад. Связано с именами таких ученых, как Хуллаварадлар. По этому поводу К. Джайн, С. Кишор, К.С. Сингх, И. Джозефессон, М. Оделиус, Л.М. Рамания, С.Б. Бричкин, В.Ф. Разумов также внесли большой вклад. В России Д.О. Сагдеев, Р.Р. Шамилов, А.А. Нугаева, Д.Н. Чаусов, В.В. Беляев, Ю.Г. Заслуги Галяметдинова и других были значительны, и помимо разработки методов синтеза квантовых точек они также проводили научные исследования в таких областях, как создание новых композиционных материалов, внедрение наночастиц в систему управляемых (управляемых) устройств.

Можно отметить профессоров А. Саримсакова, О. Н. Розимуродова, Н. К. Мухамадиева, К. Ф. Халилова и других, внесших свой вклад в развитие этого направления в Узбекистане. Узбекские ученые также проводят научные исследования, направленные на решение таких проблем, как изучение методов синтеза квантовых точек, анализ фотокаталитических индикаторов, очистка от различных добавок.

На сегодняшний день недостаточно исследований по синтезу фотокатализаторов на основе стабильных квантовых точек CdS с высокой фотолюминесцентной квантовой эффективностью, модификации их поверхности сапонинами, полученными из местных растений, и поиску методов синтеза.

Связь диссертационного исследования с планами научных исследований вуза, в котором выполнена диссертация. Диссертационное исследование выполнено в рамках плана научно-исследовательских работ Самаркандского государственного университета «Новые методы синтеза, испытаний и переработки природных и синтетических материалов».

Цель исследования – синтез фотокатализаторов на основе квантовых точек CdS, стабилизированных различными стабилизаторами анионов, влияние различных факторов на их стабильность и кинетическая оценка течения фотокаталитической реакции.

Задачи исследования:

квантово-химическое обоснование синтеза квантовых точек CdS в присутствии стабилизаторов, сохраняющих тиоловые группы;

оценка влияния различных факторов на синтез квантовых точек CdS в коллоидной среде с наличием стабилизаторов, сохраняющих тиоловые группы;

определение оптически-размерных свойств синтезированных квантовых точек CdS;

Определение кинетических законов фотокаталитических реакций с участием квантовых точек CdS.

Объект исследования: квантовые точки CdS, полученные на основе ацетата кадмия, сульфида натрия и меркаптоэтанола с защищенными тиоловыми группами, меркаптоуксусной кислоты, меркаптопропионовой кислоты и стабилизаторов L-цистеина.

Предметом исследования: Определены синтез квантовых точек CdS в присутствии различных стабилизаторов, сохраняющих тиоловые группы, их структурно-оптические свойства, размерно-зависимые фотофизические характеристики, фотокаталитическая активность и кинетические закономерности фотокаталитических реакций на основе этих материалов.

Методы исследования. В диссертации использованы спектрофотометрия, спектрофлуориметрия, ИК-спектроскопия, рентгеновская дифракция (РФА), энергодисперсионная рентгеновская спектроскопия (ЭДС), просвечивающая электронная микроскопия, квантово-химические, кинетические и статистические методы.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

квантово-химически оценены структурная и электронная природа, стабильность, фотокаталитическая эффективность кластеров CdS в присутствии стабилизаторов, сохраняющих тиоловые группы;

Оптимальные условия синтеза были определены на основе изучения стабильности и оптико-размерных свойств частиц квантовых точек CdS в

щелочном растворе $pH=12$, при температуре $85^{\circ}C$, концентрации стабилизатора $10^{-2}\div 10^{-3}$ моль/л и продолжительности синтеза $60\div 90$ минут;

В результате влияния гидрофильных стабилизаторов на формирование ядра коллоидных квантовых точек CdS доказано, что средний размер частиц составляет от 2,3 нм до 10 нм;

В квантовых точках CdS в зависимости от типа стабилизатора максимум светопоглощения составляет $370\div 480$ нм, максимум фотолюминесценции - $500\div 650$ нм, квантовый выход - $20\div 80\%$;

Определены константы скорости и уровни деградации реакций фотокаталитического разложения органических красителей в присутствии квантовых точек CdS.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

Разработан метод квантово-химической оценки синтеза квантовых точек CdS;

Определены оптимальные условия синтеза квантовых точек CdS;

Разработан метод исследования оптических и фотокаталитических свойств квантовых точек на основе CdS;

Квантовые точки на основе CdS использовались в качестве фотокатализаторов при очистке органических загрязнителей в сточных водах.

Достоверность результатов исследования. Полученные научные результаты и выводы основаны на современных спектрофотометрии, спектрофлуориметрии, инфракрасной спектроскопии, рентгеноструктурном анализе (РФА), энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии (ЭДС), просвечивающей электронной микроскопии и методах квантово-химических расчетов.

Научная и практическая значимость результатов исследования:

Научная значимость результатов исследования заключается в том, что квантово-химическое обоснование синтеза квантовых точек CdS со стабилизаторами с сохраненными тиоловыми группами, комплексное изучение влияния различных факторов на процесс синтеза в коллоидной среде, оценка оптических и фотокаталитических свойств синтезированных квантовых точек CdS и кинетических закономерностей реакций с их участием служат обогащению научных исследований в области физической химии и нанотехнологии современных материалов.

Практическая значимость исследований объясняется тем, что разработан метод квантово-химической оценки синтеза квантовых точек CdS и определены оптимальные условия синтеза, создан эффективный метод исследования их оптических и фотокаталитических свойств, а также он успешно применяется в качестве фотокатализатора при очистке сточных вод от органических загрязнителей.

Внедрение результатов исследований: На основе синтеза квантовых точек CdS, стабилизированных различными типами анионных стабилизаторов и изучения их фотокаталитических свойств:

Квантовые точки CdS, стабилизированные L-цистеином, внедрены в практику в качестве фотокатализатора на иностранном предприятии ООО

«ATUSH MINNAT TEXTILE» (Справка иностранного предприятия «ATUSH MINNAT TEXTILE» № 08/01-01 от 08.01.2025 г.). В результате они позволили осуществить фотокаталитическую очистку органических веществ в сточных водах с выходом 99,95%;

Квантовые точки CdS, стабилизированные меркаптоуксусной кислотой, внедрены в практику в качестве фотокатализатора на иностранном предприятии ООО «ATUSH MINNAT TEXTILE» (справка иностранного предприятия ООО «ATUSH MINNAT TEXTILE» №08/01-02 от 08.01.2025 г.). В результате удалось осуществить фотокаталитическую очистку сточных вод от органических веществ с эффективностью 85,44% за 60 минут.

Апробация результатов исследования: Результаты исследований были представлены и обсуждены на 25 научно-практических конференциях, в том числе 10 международных и 15 республиканских.

Публикация результатов исследования: Всего по теме диссертации опубликовано 6 научных работ, из них 4 статьи опубликованы в республике, 2 статьи опубликованы в зарубежных журналах, в том числе 1 статья опубликована в базе данных Scopus в научных изданиях, рекомендованных к публикации основных научных результатов докторских диссертаций доктора философских наук (PhD) ВАК Республики Узбекистан.

Структура и объем диссертации: Содержание диссертации состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Объем диссертации составляет 120 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

В введении обосновывается актуальность и необходимость исследования, описываются цель и задачи, объект и предметы исследования, показывается совместимость с приоритетными направлениями развития науки и техники республики, описываются научная новизна и практические результаты исследования, подчеркивается научная и практическая значимость полученных результатов, внедрение результатов на практику, представлены опубликованные научные работы и структура диссертации.

В I главе диссертации «**Квантовые точки CdS и общие свойства фотокатализа**» анализируются научные данные о получении квантовых точек CdS, стабилизированных различными анионсодержащими стабилизаторами, коллоидно-водным методом, получении в органических растворителях, получении квантовых точек CdS, получении методом замены гидрофобных стабилизаторов гидрофильными стабилизаторами, скоростной кинетике и механизме фотокатализатора. Он основан на том, что синтез эффективных фотокатализаторов разложения воды и полное изучение механизма и кинетики реакций являются одной из актуальных задач.

II глава диссертации, посвященной «**Объектам и методам исследования**», в которой описаны реагенты и методы синтеза, а также методы исследования, необходимые для синтеза фотокатализаторов на основе квантовых точек CdS, стабилизированных различными анионсохраняющими

стабилизаторами. Методы исследования поверхности фотокатализаторов и их пористости включают рентгеновскую дифрактометрию (РФА), сканирующую электронную микроскопию, микрорентгеновский анализ, химические и физико-химические методы исследования, спектры поглощения, спектры фотолюминесценции, а также некоторые статистические методы теоретических расчетов.

III глава диссертации, посвященной «Квантово-химической оценке квантовых точек CdS», квантово-химические расчеты выполнены на стабильной структуре нанокластеров $(\text{CdS})_n$ ($n=3\div 27$).

Это подтверждает, что их стабильность возрастает с увеличением числа атомов в кластерах. Квантово-химический анализ нанокластеров $(\text{CdS})_n$ ($n=5, 10, 15, 20$) показывает, что структурные и электронные свойства существенно изменяются в зависимости от размера кластера.

Оптимизированные геометрические структуры кластеров $(\text{CdS})_n$ ($n=5, 10, 15, 20$) представлены на рис. 1.

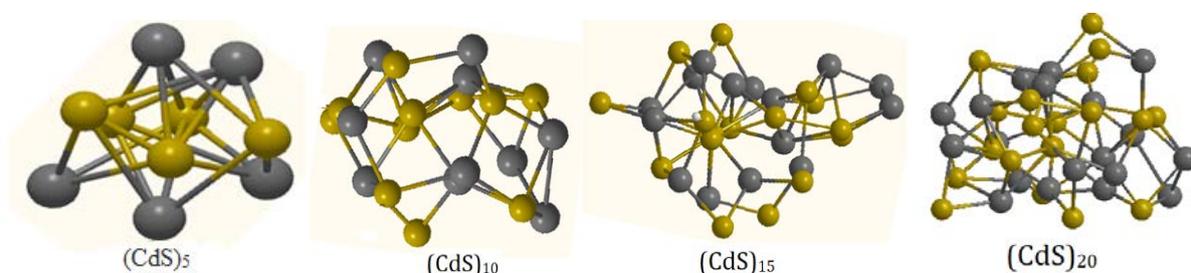


Рисунок 1. Структуры кластеров $(\text{CdS})_n$ ($n=5, 10, 15, 20$)

Также в таблице 1 представлены значения различных геометрических параметров стабильных структурных изомеров кластеров, полученные в результате расчетов на основе (DFT) B3LYP/6-31G** важнейшие физические параметры, такие как длина связи, дипольный момент, полная энергия кластеров.

Таблица 1
Физико-химические параметры кластеров $(\text{CdS})_n$ ($n = 5 \div 20$)

$(\text{CdS})_n$	Общая энергия E, (ккал/моль)	Длина связи Cd-S (Å°)	Электрофильный индекс (eV)	Дипольный момент (Дебай)
5	1580,0215	2,36	3,45	1,35
10	5502,1022	2,38	3,78	4,72
15	8950,2053	2,24	4,13	5,16
20	11033,056	2,18	4,18	5,41

В ходе реакции атомы Cd остаются внутри кластера, а атомы S пытаются выйти наружу. Def2SVP — это базисный набор, используемый для расчетов DFT и *ab initio*, который играет важную роль в определении электронной структуры и спектральных свойств квантовых точек CdS (Таблица 2).

Таблица 2

(CdS)_n (n=3÷27) разности энергий между ВЗМО-НСМО-сферами конденсированных кластеров

Структуры	H-L (eV) LANL2DZ	H-L (eV) Def2TZVPP	H-L (eV) Def2SVP
(CdS) ₅	3,18	3, 27	3,85
(CdS) ₁₀	2,92	2,97	3,55
(CdS) ₁₅	2,94	2,55	3,54
(CdS) ₂₀	2,87	2,86	3,45

Def2TZVPP — более точный и расширенный базисный набор, один из лучших вариантов, особенно для квантовых точек CdS и других полупроводниковых материалов.

Было рассчитано, что разница между энергиями HUMO и LUMO, т.е. размер запрещенной области в кластерах, уменьшается с увеличением числа атомов в кластерах (CdS)_n (n = 3 ÷ 27). Это означает, что кластер (CdS)₂₀ проявляет более высокую фотокаталитическую активность, чем кластер (CdS)₅.

Орбитальные энергии электронных состояний HUMO и LUMO для кластеров (CdS)_n (n = 3 ÷ 27) представлены на рисунке 2.

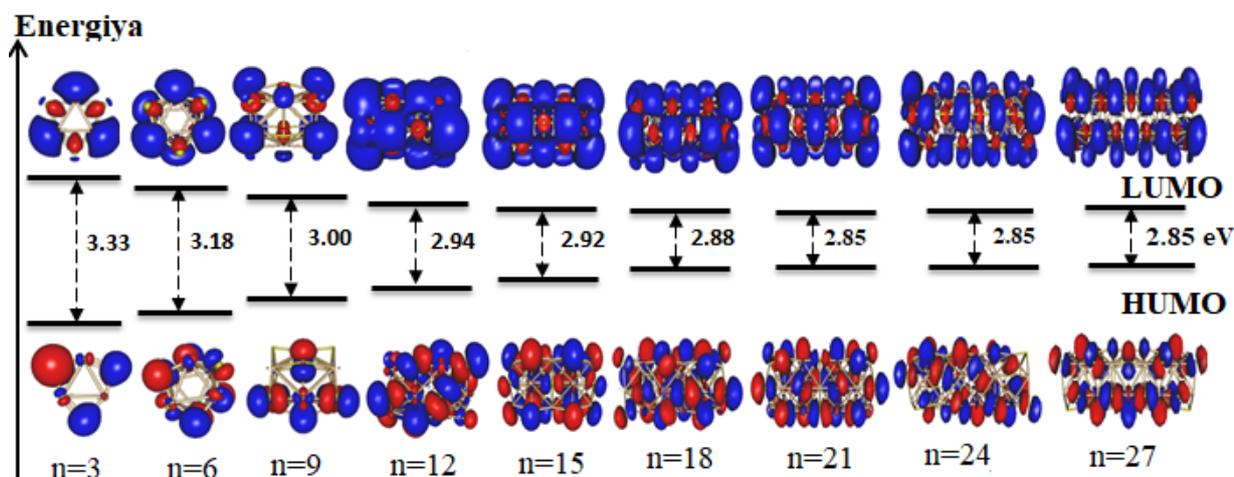


Рисунок 2. Значения LUMO и HUMO MO в кластерах (CdS)_n, рассчитанные по программе B3LYP/DZVP2

IV глава диссертации называется «Фотокаталитическая активность квантовых точек CdS, стабилизированных стабилизаторами тиоловых групп», в которой рассмотрен синтез фотокатализаторов на основе квантовых точек CdS, стабилизированных различными анионными стабилизаторами, определение их зависимости от типа стабилизатора, концентрации вещества, среды раствора (рН), температуры, времени, геометрических, сорбционных и каталитических характеристик, а также заключается в кинетической оценке хода реакции.

Синтезированные коллоидные квантовые точки CdS стабилизировали различными гидрофильными стабилизаторами методами, представленными в главе II. В качестве стабилизаторов использовали органические соединения.

Квантовые точки CdS были синтезированы с использованием различных анионных групп в качестве гидрофильных стабилизаторов и при высоких температурах 20-100 °С в щелочной среде в атмосфере азота. Относительный диапазон интенсивности в спектре люминесценции полученных наночастиц CdS соответствовал длине волны 460-600 нм (рисунок 3). Диапазон интенсивности спектра люминесценции КТ CdS узкий и симметричный, что свидетельствует о том, что коллоидные нанокристаллы квантовых точек имеют очень мало дефектов поверхности. Из рисунка 3 видно, что максимальная интенсивность фотолюминесценции квантовых точек CdS приходится на диапазон 540 нм. Квантовый выход синтезированных нанокристаллов CdS был определен кумариновым методом с использованием раствора родамина 6G (96%) и индикатора метилового синего в этаноле. Значение квантового выхода для процедуры составило 23%. В ходе процедуры также были получены спектры поглощения НК CdS. Пик экситона в спектре совпал с длиной волны 370 нм (рис. 3). Стоит отметить, что максимальные длины волн пиков спектров поглощения и люминесценции имели разные значения.

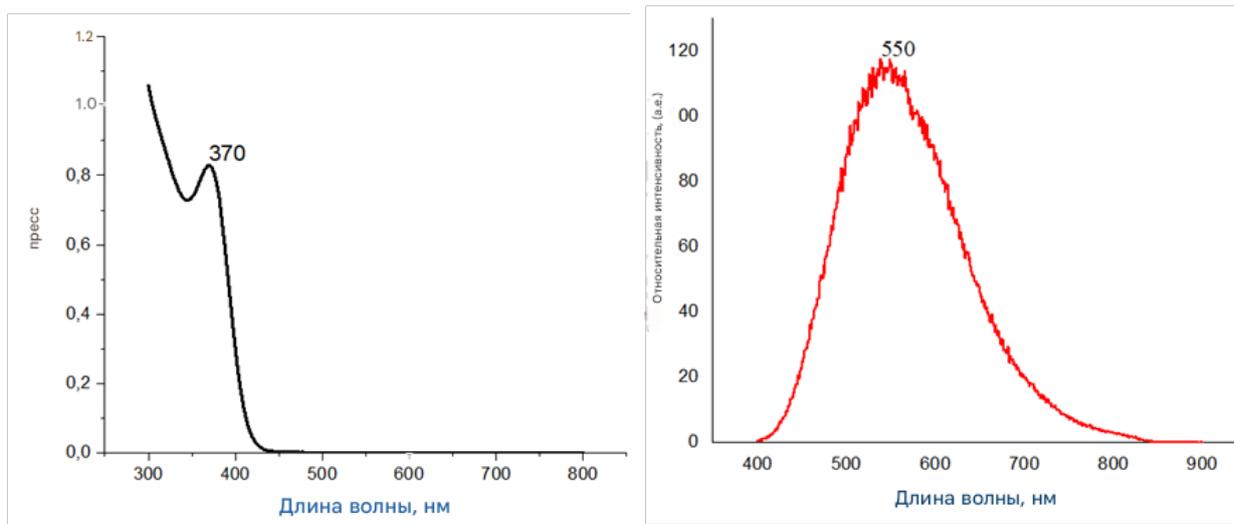


Рисунок 3. Спектры поглощения и люминесценции наночастиц CdS

Согласно расчетам, размер ядра квантовых точек CdS составил 5,49 нм. Гистограмма распределения усредненных гидродинамических размеров частиц квантовых точек CdS определялась на комплексных анализаторах “Malvern Zetasizer Nano” и “Photocor complex”. Видно, что основная часть частиц CdS находится в диапазоне 4-6 нанометров. Самый высокий пик расположен в среднем около 5,7 нм, что показывает на рисунке 4, что частицы этого размера имеют самую высокую частоту.

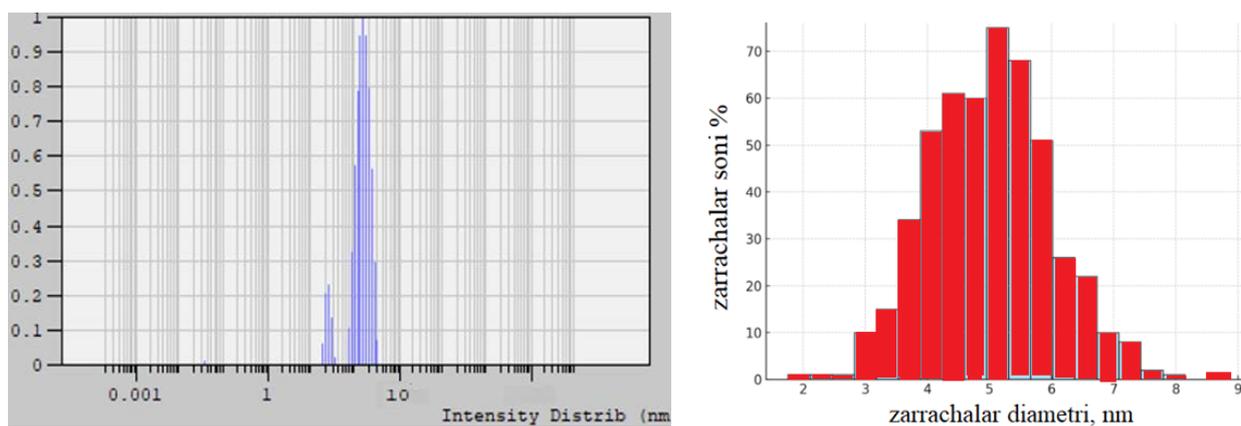


Рисунок 4. Среднее гидродинамическое распределение квантовых точек CdS по размерам

Средний гидродинамический размер полученных квантовых точек CdS увеличился с 5,4 нм до 7,9 нм при учете стабилизаторов оболочки оболочки. В ходе исследований методом рентгеновской дифракции было установлено, что кристаллическая структура CdS в квантовых точках CdS является кубической, а общая структура кластеров квантовых точек CdS - сферической. Выдающиеся пики соответствуют кубической структуре (111), (220) и (311). Дифракционные пики наблюдались в диапазоне 2θ CdS KN от 10° до 60° . Полученные результаты анализа представляют собой карту JCPDS (80-0019), (JCPDS (05-0566) и (80-0019) сравнивали с базой. Эти дифракционные пики соответствуют кристаллографическим данным синтезированного материала (рис. 5).

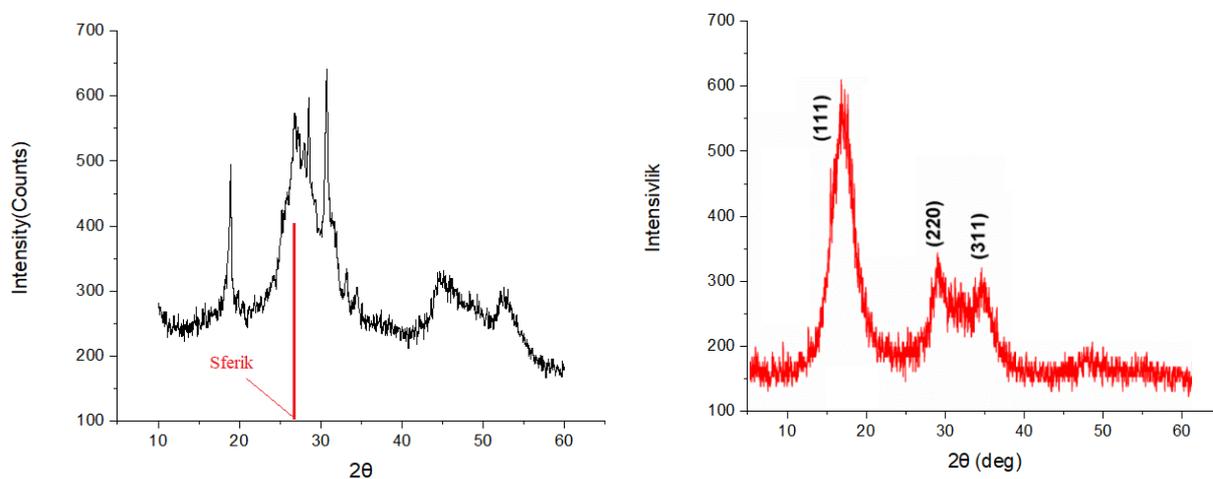


Рисунок 5. Рентгеновская дифрактограмма квантовой точки CdS

Частицы CdS имеют небольшой размер, приблизительно 3-6 нм в диаметре, как можно видеть на рисунке 6. Высокая стабилизирующая способность МАА значительно улучшает равномерное распределение квантовых точек CdS в порошке CdS QD без образования прочных связей между частицами. При исследовании с помощью ПЭМ четко видны четкие линии границ частиц CdS. Равномерное формирование частиц указывает на монодисперсность полученного образца. Распределение размеров и форма

квантовых точек CdS были определены с помощью просвечивающего электронного микроскопа (ПЭМ) (рисунок 6).

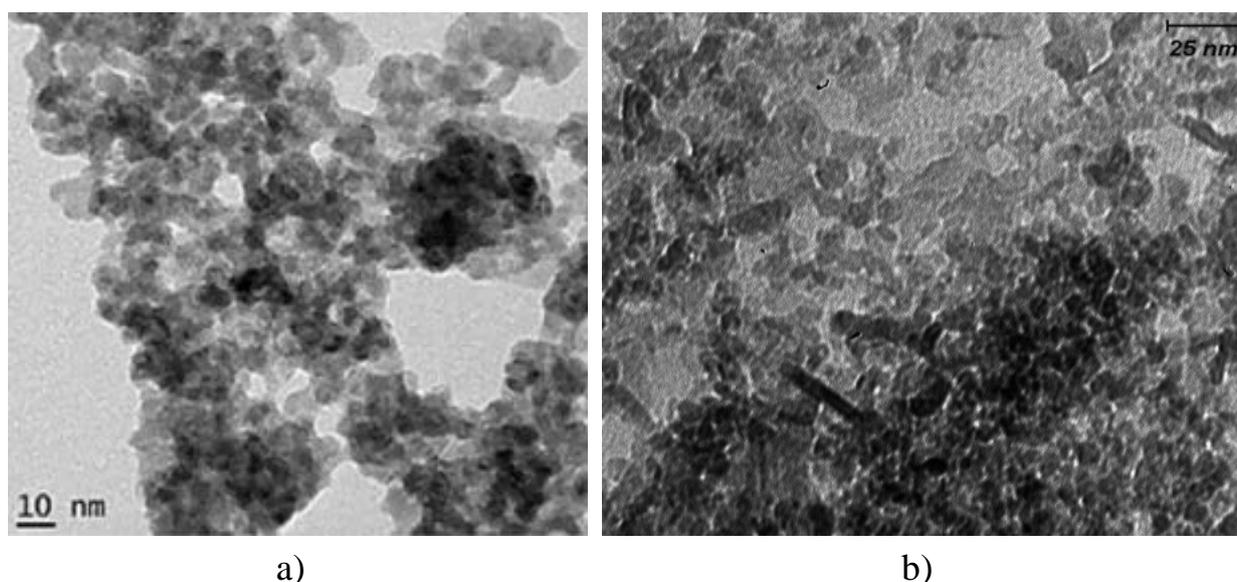


Рисунок 6. ПЭМ-изображения КТ CdS размером 10 нм (а) и 25 нм (б)

После синтеза квантовых точек CdS в качестве стабилизирующего агента вводится L-цистеин. L-цистеин — серосодержащая аминокислота, способная координировать свои действия с поверхностью квантовых точек CdS, обеспечивая стабильность и предотвращая их агрегацию. Тиоловая (-SH) группа в L-цистеине взаимодействует с поверхностью CdS и образует пассивирующий слой. Такая модификация поверхности улучшает дисперсию квантовых точек в различных растворителях и улучшает их биосовместимость.

Элементный состав квантовых точек CdS приведен в таблице 3. Из таблицы видно, что ионы Na остаются в растворе, образуя щелочную среду. На основе этой таблицы был получен спектр EDX квантовых точек CdS. Элементная конформация квантовых точек CdS наблюдалась с помощью энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии (EDS). Представлен спектр EDX квантовых точек CdS, содержащих кадмий и серу (рис.7).

Таблица 3

Химический элементный состав образцов квантовых точек CdS

Название элемента	Массовая доля элемента (%)	Статистическая ошибка	Нижний предел обнаружения	Интенсивность рентгеновского излучения (cps/ μ A)
Na	ND	-	-	-
S	57,69	0,0362	0,0056	156,31065
Zn	0,0058	0,0003	0,0005	0,042912
Cd	42,3	0,0054	0,0005	130,89622

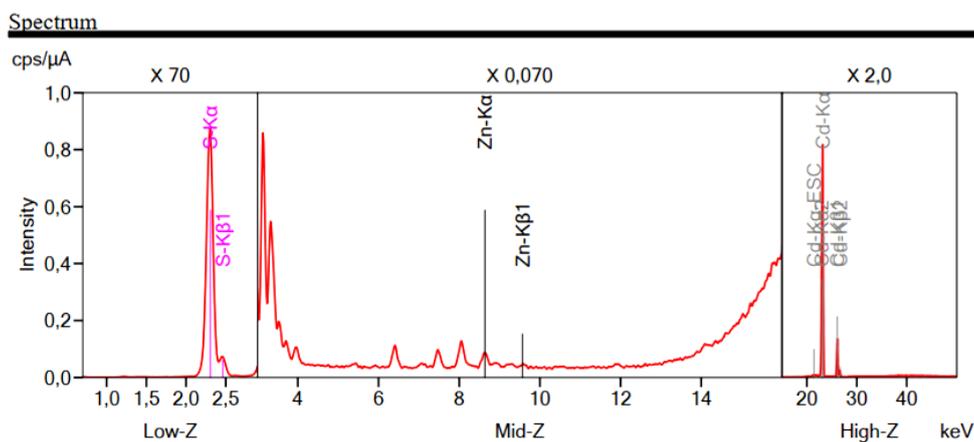
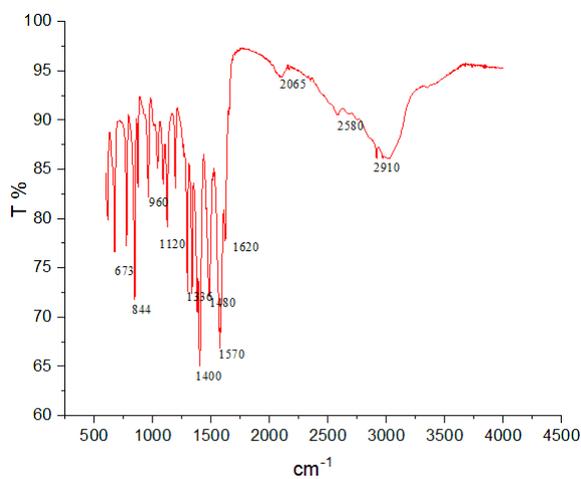
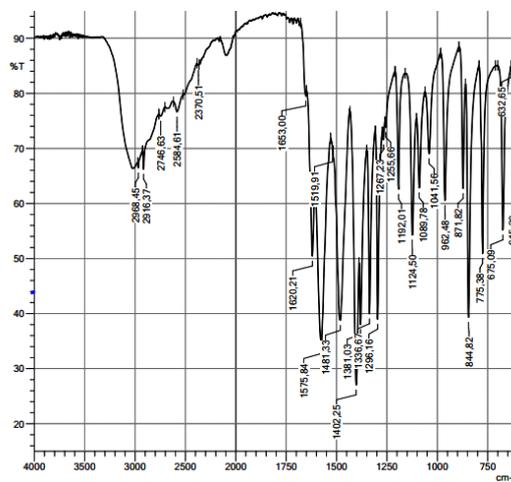


Рисунок 7. Элементный анализ квантовой точки CdS

Поскольку стабилизаторы в основном состоят из органических веществ, их ИК-спектр можно увидеть на рисунке 8а. В следующем спектре значимые сигналы поглощения были сформированы в областях 3261 см^{-1} , 2922 см^{-1} , 1637 см^{-1} , 1544 см^{-1} , 1070 см^{-1} , 1012 см^{-1} , $630\text{--}690\text{ см}^{-1}$. Соответственно, области 3261 см^{-1} и 1637 см^{-1} принадлежат группам -NH_2 и -NH . Кроме того, область $3200\text{--}3600\text{ см}^{-1}$ в сапонилах, используемых в качестве стабилизаторов, соответствует группам -OH , -CH_3 2960 и 2870 , -COOH $1800\text{--}1740\text{ см}^{-1}$, -CH (алкан) $2850\text{--}2960\text{ см}^{-1}$, C=O (карбонил) $1700\text{--}1750\text{ см}^{-1}$, C-O (эфир, спирты) $1050\text{--}1150\text{ см}^{-1}$, и можно сделать вывод о наличии этих групп в соединении (рисунок 8 б).



a)



b)

Рисунок 8. ИК-спектры квантовых точек CdS, стабилизированных L-цистеином (а) и меркаптоуксусной кислотой (б)

Выбор концентрации стабилизатора. Оптимальный выбор концентрации стабилизатора способствует повышению фотолюминесцентной эффективности квантовых точек CdS, улучшению их фотокаталитических свойств, а также обеспечению однородности и стабильности частиц. В зависимости от условий синтеза для каждого стабилизатора существует

специфическая оптимальная концентрация, которая играет ключевую роль в модификации и оптимизации процесса синтеза.

Оптимальные концентрации стабилизаторов позволяют улучшить различные фотокаталитические, оптические и электрические свойства квантовых точек CdS. Поэтому контроль концентрации стабилизатора в процессе синтеза имеет важное значение для обеспечения качественного синтеза квантовых точек CdS (рис. 9а).

Температура играет важную роль в синтезе квантовых точек CdS. Изменения температуры существенно влияют на скорость роста, размер, дисперсию и оптические свойства квантовых точек CdS. Более высокие температуры увеличивают скорость кристаллизации квантовых точек CdS и приводят к более быстрому росту частиц. При более высоких температурах наблюдается более быстрая агрегация ионов Cd и S, более быстрый рост частиц и образование более крупных квантовых точек. Образование более крупных частиц вызывает красное смещение спектра фотолюминесценции, т. е. сдвиг в сторону более длинных волн. При более высоких температурах однородность размера частиц снижается. Это связано с тем, что быстрый рост частиц при высоких температурах затрудняет контроль скорости роста. Низкая температура способствует уменьшению количества дефектов на поверхности квантовых точек CdS, что приводит к увеличению интенсивности фотолюминесценции квантовых точек. При низкой температуре движение ионов Cd и S замедляется, что приводит к образованию квантовых точек малого размера. Спектры поглощения смещаются в синюю сторону. Выбор оптимальной температуры синтеза квантовых точек CdS обеспечивает однородность размеров частиц, эффективность фотолюминесценции и коллоидную стабильность (рис. 9 б).

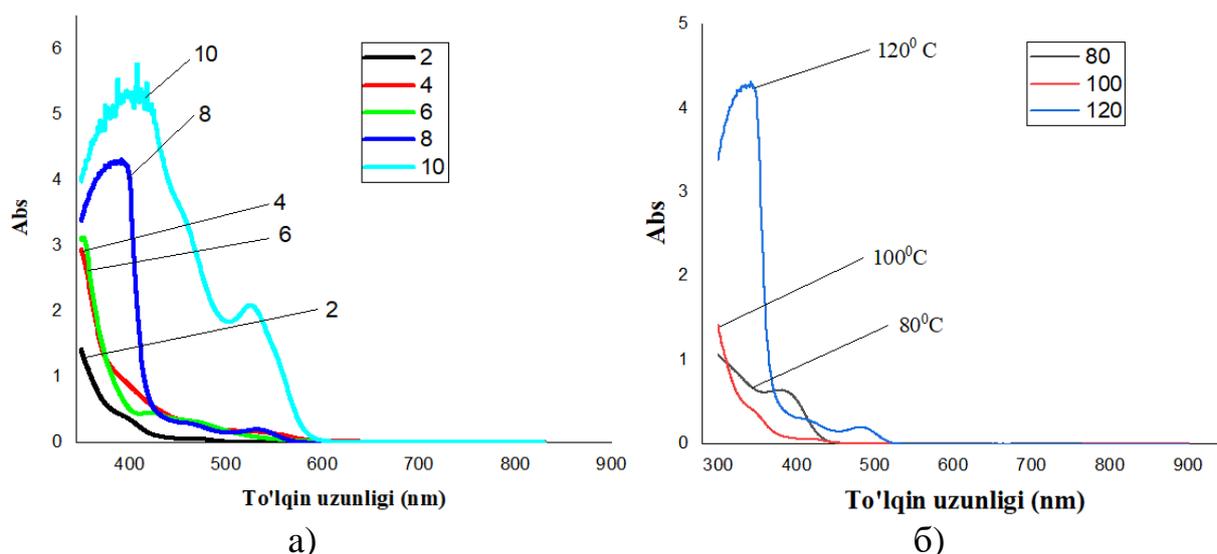


Рисунок 9. Зависимость спектра поглощения квантовых точек CdS от концентрации стабилизатора (а) и температуры (б)

Представлены спектры поглощения, люминесценции и средние гидродинамические диаметры квантовых точек CdS, покрытых стабилизаторами, содержащими различные анионные группы (табл. 4).

Таблица 4

Средний гидродинамический размер, спектры поглощения и люминесценции исследованных квантовых точек CdS

Стабилизаторы	$\lambda_{\text{лог}}$, нм	$\lambda_{\text{люм}}$, нм	D, нм	Энергия запрещенной зоны (E_g) эВ
Меркаптоэтанол	371	535	2,55	3,34
Меркаптоуксусная кислота	436	665	4,69	2,84
Меркаптопропионовая кислота	404	575	3,51	3,07
L-цистеин	386	545	2,95	3,21

Перечисленные в таблице стабилизаторы стабилизируют поверхность квантовых точек CdS, улучшают дисперсность, предотвращают агломерацию и повышают фотокаталитические свойства. Средний гидродинамический диаметр (нм) квантовых точек зависит от стабилизатора и метода синтеза. Для выражения ширины запрещенной зоны в электрон-вольтах (эВ) используется следующая формула: $E_g(eV) = \frac{1240}{\lambda(\text{нм})}$

В научной работе были изучены фотокаталитические свойства квантовых точек, покрытых 4 типами стабилизаторов - меркаптоуксусной кислотой, меркаптопропионовой кислотой, меркаптоэтанолом и L-цистеином. Все эти стабилизаторы относятся к тиоловому типу и присоединены к наночастицам халькогенидов посредством -SH-группы.

Однако адсорбционные свойства этих веществ различаются, что приводит к образованию наночастиц разного размера с эквимольным соотношением стабилизаторов и реагентов, что отражается на положении пиков поглощения запрещенной зоны (рис. 10 а). На графике показано изменение спектров поглощения квантовых точек CdS в зависимости от типа стабилизатора.

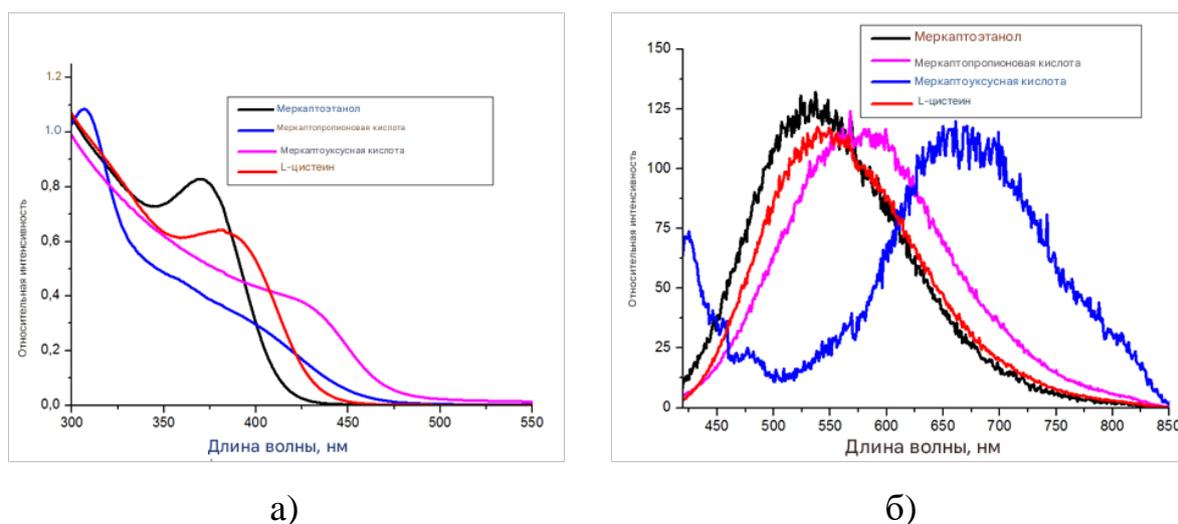


Рисунок 10. Спектры поглощения (а) и люминесценции (б) квантовых точек CdS, стабилизированных различными стабилизаторами

Стабилизаторы разных типов имеют разные спектры поглощения, что указывает на разные свойства связывания с квантовыми точками.

Стабилизаторы меркаптопропион и L-цистеин обеспечивают относительно сильную стабильность и более широкий спектр поглощения в спектре поглощения квантовых точек CdS. Тип стабилизатора также влияет на состояние спектров люминесценции наночастиц. Квантовые точки имеют широкие полосы люминесценции, характерные для кристаллов с поверхностными дефектами кристаллической решетки (рис. 10 б), что характерно для наночастиц, синтезированных в водных средах.

С целью изучения влияния природы стабилизатора на состояние спектра люминесценции было проведено сравнительное исследование их спектров, полученных с разными стабилизаторами. К преимуществам наночастиц CdS, покрытых меркаптоэтанолом, относятся высокая фотокаталитическая активность, стабильность, простота синтеза и индивидуальные свойства поверхности. Область длин волн спектра люминесценции наночастицы CdS, покрытой меркаптоэтанолом, составляла 535 нм. Это соответствует области видимого света относительно стабилизаторов, удерживаемых остальной частью тиоловой группы.

Кроме того, из рисунка 10 видно, что интенсивность меркаптоэтанола лучше, чем у стабилизаторов, содержащих другие тиоловые группы. Поле видимого света сосредоточено на длине волны около 555 нм, что соответствует желто-зеленому цвету. Чувствительность глаза к свету этого цвета самая высокая. Наночастицы CdS, покрытые меркаптоуксусной кислотой, расположены на гораздо большей площади, чем центр видимой световой области.

Фотокаталитические свойства квантовых точек CdS, стабилизированных различными стабилизаторами. Различные экспериментальные методы могут быть использованы для определения констант скорости фотохимических реакций. Например, спектрофотометрия и люминесцентная спектроскопия могут быть использованы для мониторинга хода реакции с течением времени и определения изменения скорости реакции. Константа скорости фотокаталитических химических реакций — это термин, который включает активность фотокатализатора (обычно полупроводникового материала) и концентрацию реагентов. Константа скорости фотокаталитических реакций обычно может быть выражена уравнением Аррениуса, кинетическим уравнением реакции первого порядка и аналитическими методами. Эти уравнения показывают, как скорость реакции изменяется в зависимости от таких переменных, как температура или концентрация. Используя экспериментальные данные, вы можете рассчитать константу скорости, проанализировав эти изменения скорости реакции. Согласно экспериментальным данным, квантовые точки, стабилизированные меркаптоэтанолом, несмотря на низкую интенсивность поглощения в видимой области спектра, проявляют наибольшую фотокаталитическую активность при облучении ксеноновой лампой. Реакции с использованием квантовых точек, покрытых тиокарбонными кислотами, напротив, протекают значительно медленнее, но все еще в первом порядке. Кинетические кривые реакций фотокаталитического разложения представлены на рисунке 11.

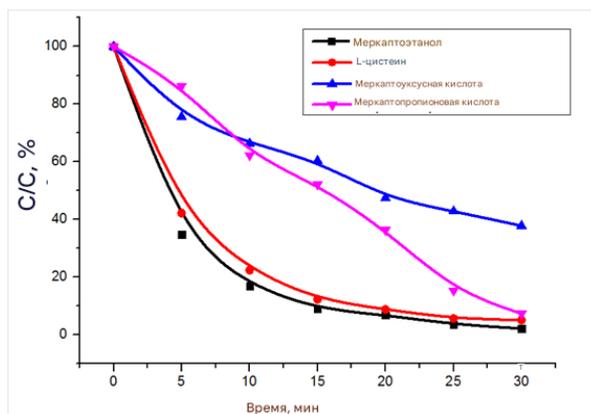


Рисунок 11. Кинетические кривые реакций разложения родамина Б в присутствии CdS КТ

Разложение родамина Б происходит в результате фотохимических реакций, инициируемых после поглощения света CdS КТ. CdS КТ возбуждается светом (УФ или видимым). Начальная стадия фотокатализа. Электроны и дырки, образующиеся в квантовых точках CdS, приводят к образованию активных форм кислорода (рис. 12).

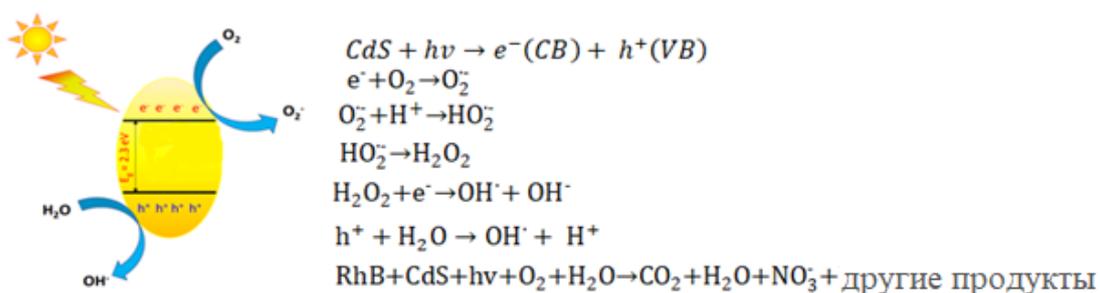


Рисунок 12. Фотокаталитический механизм действия КТ CdS

Более высокую скорость реакций фотодеградации родамина Б при использовании квантовых точек, покрытых меркаптоэтанолом, можно объяснить тем, что наночастицы имеют большую удельную поверхность за счет меньшего размера и менее дефектную поверхность (табл. 5).

Таблица 5

Константы скорости распада родамина Б

Стабилизаторы	k, мин ⁻¹	t _{1/2}	Степень деградации (%)
Меркаптоэтанол	0,14601	4,75	99,98%
Меркаптоуксусная кислота	0,03203	21,64	85,44%
Меркаптопропионовая кислота	0,06421	16,8	97,89%
L-цистеин	0,12581	5,5	99,95%



Фотокаталитические свойства квантовых точек CdS изучены с использованием модельной реакции разложения родамина В в водном растворе под действием излучения видимого света (с пиковой длиной волны 450-550 нм). Этот процесс наблюдался в образцах, представленных на рис 13.

Рисунок 13. Изменение цвета родамина В во времени под воздействием фотокатализатора на основе квантовых точек CdS

Деградация молекул родамина происходит в результате контакта с ОН-радикалами, индуцированными квантовыми точками.

ВЫВОДЫ

1. Определены оптимальные условия синтеза коллоидных квантовых точек CdS и определены их фотокаталитические параметры. Оптические и текстурные характеристики ККН определены в оптимальных условиях синтеза.

2. В результате стабилизации квантовых точек CdS гидрофильными стабилизаторами отмечено повышение растворимости и стабильности CdS в водной среде, влияние на фотокаталитические свойства и образование монодисперсных наночастиц.

3. Отмечено, что квантовый выход и фотокаталитическая активность квантовых точек CdS зависят от природы стабилизаторов с гидрофильными группами. Отмечено, что фотокатализатор, полученный на основе квантовых точек CdS, стабилизированных меркаптоуксусной кислотой, увеличил квантовый выход на 70%, а квантовый выход увеличился на 75% в квантовых точках CdS, стабилизированных L-цистеином, в технологии очистки сточных вод от синтетических красителей.

4. В результате влияния гидрофильных стабилизаторов на формирование ядра коллоидных квантовых точек CdS были получены монодисперсные наночастицы с размером от 2,3 нм до 10 нм. Установлена зависимость стабильности и фотоактивности квантовых точек CdS от типа стабилизатора, а также значительное увеличение интенсивности люминесценции и флуоресцентных свойств.

5. Фотокатализатор полученный на основе квантовых точек CdS, стабилизированных различными анионными стабилизаторами, синтезирован методом коллоидного раствора и имеет размер около 8,0 нм. Его сорбционная емкость составляет 45 м²/г, площадь поверхности - 25-250 м²/г, квантовый выход - 80 %, ширина запрещенной зоны - 2,56 эВ, длина волны поглощения - 415 нм, спектр люминесценции - 525 нм. Отмечено, что квантовые точки CdS могут быть использованы в качестве хороших фотокатализаторов органических красителей.

**SCIENTIFIC COUNCIL AWARDING SCIENTIFIC DEGREES
PhD.03/30.12.2019.K.02.05 AT SAMARKAND STATE UNIVERSITY
NAMED AFTER SHAROF RASHIDOV**

SAMARKAND STATE UNIVERSITY NAMED AFTER SH. RASHIDOV

ZUFAROV ASLIDDIN MIRZABAYEVICH

**SYNTHESIS OF CdS QUANTUM DOTS STABILIZED WITH VARIOUS
ANION STABILIZERS AND STUDY OF THEIR PHOTOCATALYTIC
PROPERTIES**

02.00.04 – Physical chemistry

**DISSERTATION ABSTRACT
OF DOCTOR OF PHILOSOPHY (PhD) IN CHEMICAL SCIENCES**

Samarkand – 2025

The topic of the Doctor of Philosophy (PhD) dissertation has been registered with the Higher Attestation Commission under the Ministry of Higher Education, Science and Innovation of the Republic of Uzbekistan under the number B2024.2.PhD/K763.

The dissertation research has been carried out at the Samarkand state university named after Sh.Rashidov.

The abstract of the dissertation in three languages (uzbek, russian, english (resume)) is available online at www.samdu.uz Scientific Council and on website of «ZiyoNet» information-education portal (www.ziynet.uz).

Scientific supervisor: Mukhamadiev Nurali Kurbanalievich
Doctor of Chemical sciences, professor

Official opponents: Bekchanov Davron Jumazarovich
Doctor of Chemical sciences, professor
Khalilov Kadriddin Fakhriddinovich
candidate of chemical sciences, professor

Leading organization: Institute of polymer chemistry and physics, Academy
of sciences of the Republic of Uzbekistan

The defense of the dissertation will take place on «29» may 2025 at «10⁰⁰» o'clock at the meeting of the Scientific Council awarding scientific degrees Ph.D.03/30.12.2019.K.02.05 at Samarkand state university (address: 140104, Samarkand city, university Blvd., 15, Institute of Biochemistry, Building of the Chemistry department, room 220. Ph: (99866) 239-11-40, fax; (99866) 239-11-40. e-mail: devonxona@samdu.uz).

The dissertation has been registered at the Information resource centre of Samarkand state university № 42. (Address; 140104, Samarkand city, university Blvd., 15, IRC, Ph: (99866) 239-11-51.

The abstract of the dissertation has been distributed on «19» may 2025 y.
Protocol at the register № 2 dated «19» may 2025 y.



A.M.Nasimov
Chairman of the Scientific Council
awarding scientific degrees, doctor
of technical sciences, professor

J.R.Uzokov
Scientific Secretary of the
Scientific Council awarding
scientific degrees, PhD

O.N.Ruzimuradov
Chairman of the Scientific
Seminar under Scientific Council
awarding scientific degrees, doctor
of chemical sciences, professor

INTRODUCTION (abstract of (PhD) dissertation)

The purpose of the research work is to synthesize photocatalysts based on CdS quantum dots stabilized with various anionic stabilizers, to assess the influence of various factors on their stability, and to kinetically evaluate the course of the photocatalytic reaction.

Research objectives: CdS quantum dots based on cadmium acetate and sodium sulfide, as well as thiol-containing mercaptoethanol, mercaptoacetic acid, mercaptopropionic acid, and L-cysteine as stabilizers.

The scientific novelty of the research work is as follows:

the structural and electronic nature, stability, and photocatalytic efficiency of CdS clusters in the presence of thiol-containing stabilizers were evaluated quantum-chemically;

the optimal synthesis conditions were determined based on a study of the stability and optical-dimensional properties of CdS quantum dot particles in an alkaline solution with pH=12, at a temperature of 85⁰C, a stabilizer concentration of 10⁻²÷10⁻³ mol/l and a synthesis duration of 60÷90 minutes;

it was proven that the average particle size as a result of the influence of hydrophilic stabilizers on the formation of the CdS colloidal quantum dot core is from 2.3 nm to 10 nm;

it was determined that the maximum light absorption of CdS quantum dots is 370÷480 nm, the maximum photoluminescence is 500÷650 nm, and the quantum yield is 20÷80%, depending on the type of stabilizer;

the rate constants and degradation levels of photocatalytic decomposition reactions of organic dyes in the presence of CdS quantum dots were determined.

Implementation of the research results. Based on the synthesis of CdS quantum dots stabilized with various types of anionic stabilizers and the study of their photocatalytic properties:

CdS quantum dots stabilized with L-cysteine were put into practice as a photocatalyst at the foreign enterprise LLC “ATUSH MIHNAT TEXTILE” (Reference No. 08/01-01 of the foreign enterprise “ATUSH MIHNAT TEXTILE” dated January 8, 2025). As a result, they allowed for photocatalytic purification of organic substances in wastewater with a yield of 99.95%;

CdS quantum dots stabilized with mercaptoacetic acid were put into practice as a photocatalyst at the foreign enterprise LLC “ATUSH MIHNAT TEXTILE” (Reference No. 08/01-02 of the foreign enterprise LLC “ATUSH MIHNAT TEXTILE” dated January 8, 2025). As a result, it was possible to photocatalytically purify wastewater from organic matter with an efficiency of 85.44% in 60 minutes.

The structure and volume of the thesis. The dissertation consists of an introduction, four chapters, a conclusion, a list of references and appendices. The volume of the dissertation is 120 pages.

E'LON QILINGAN ISHLAR RO'YXATI
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I bo'lim (I часть; part I)

1. Zufarov, A., Sagdeev, D., Mukhamadiev, N., Galyametdinov, Y. Synthesis of CdS stabilized with different anion stabilizers and its photocatalytic properties // AIP Conference Proceedings. – AIP Publishing, 2024. – V. 3244. – №. 1. –P. 50012-50023 (Scopus).

2. Зуфаров А. М. Синтез и фотокаталитические свойства наночастиц квантовых точек CdS, стабилизированных меркаптоэтанолам и меркаптоуксусной кислотой // Universum: химия и биология. – 2023. – №. 12-2 (114). – С. 50-54 (02.00.00, МДН № 1).

3. Сагдеев, Д. О., Зуфаров, А. М., Ишанкулов, А. Ф., Мухамадиев, Н. К., Галяметдинов, Ю. Г. (2023). Влияние стабилизатора на фотокаталитические свойства наночастиц CdS // Вестник технологического университета. – 2023. – Т. 26. – №. 7 (№ 016789 от 14.11.1997)

4. Zufarov A.M., Sagdeev D.O., Galyametdinov Yu.G., Mukhamadiev N.K. Photocatalytic Properties and Quantum Chemical Calculations of Cds Quantum Dots Modified with Hydrophilic Stabilizers // Central asian journal of medical and natural sciences -2024. –V.6. -№. 1, -P. 72-80.

5. Zufarov A.M., Sagdeev D.O., Galyametdinov Yu.G., Muxamadiyev N.K. Turli xil anion stabilizatorlar bilan stabillashgan CdS sintezi va uning fotokatalitik xossalari // SamDU ilmiy axborotnomasi. –2023. –T.5. –№(141)1. –С. 100-108 (02.00.00, № 09).

6. Zufarov A.M., Sagdeyev D.O., Galyametdinov Yu.G., Muxamadiyev N.K. Gidrofil guruhi saqlagan stabilizatorlar bilan modifikatsiyalangan CdS kvant nuqtalarining sintezi, fotokatalitik va spektral tadqiqotlari // SamDU ilmiy axborotnomasi. -2024, -T.5. –№(147)1. –С. 163-170 (02.00.00, № 09).

7. Zufarov A.M., Sagdeev D.O., Galyametdinov Yu.G., Muxamadiyev N.K. CdS va CdS/ ZnS gibridd kvant nuqtalar asosida fotokatalizatorlar sintezi va ularning fizik-kimyoviy xossalari // NamDU Ilmiy Axborotnomasi. -2024. –T.9. –С. 63-66 (02.00.00, № 18).

8. Zufarov A.M. Gidrofil stabilizatorlar bilan modifikatsiyalangan CdS kvant nuqtalarining sintezi va fizik-kimyoviy xossalari // Yosh olimlar axborotnomasi. - 2024. –V.3. -№.4. –P.64-70.

II bo'lim (II часть; part II)

9. Zufarov A.M., Sagdeev D.O., Galyametdinov Yu.G., Mukhamadiev N.K. Synthesis and physical-chemical properties of photocatalytic CdS quantum dots coated with stabilizers with hydrophilic groups // XXII Mendeleev Congress on General and Applied Chemistry, October 7-12, 2024, Federal Territory “Sirius”, Russia. Book of abstracts in 7 volumes. Volume 6. — M.: “Admiral Print” LLC, 2024. – 213 p.

10. Зуфаров А.М., Сагдеев Д.О., Галяметдинов Ю.Г., Мухамадиев Н.К. Синтез и физико-химические свойства фотокаталитических квантовых точек CdS, покрытых стабилизаторами с гидрофильными группами// XXII Менделеевский съезд по общей и прикладной химии, Сборник тезисов. Федеральная территория «Сириус», Россия. - 2024. –Т. 6. –С.134.

11. Зуфаров А.М., Сагдеев Д.О., Галяметдинов Ю.Г., Мухамадиев Н.К. Синтез и спектральный анализ квантовых точек CdS, стабилизированных меркаптоуксусной кислотой // Институт химии имени В.И. Никитина. XVIII Нумановские чтения «Развитие современной химии и её теоретические и практические аспекты» - 2023. –С.267-268.

12. Зуфаров А.М., Сагдеев Д.О., Галяметдинов Ю.Г., Мухамадиев Н.К. Кинетика фотокатализаторов на основе квантовых точек CdS, стабилизированных гидрофильными стабилизаторами// Институт химии имени В.И. Никитина, XIX Нумановские чтения «Развитие фундаментальной и прикладной химии и её вклад в индустриализацию страны» Душанбе. -2024. –С. 78-81.

13. Зуфаров А.М., Сагдеев Д.О., Галяметдинов Ю.Г., Мухамадиев Н.К. Синтез и спектральные исследования наночастиц CdS, покрытых меркаптоэтанолом. Наука и образование в контексте глобальной трансформации. Сборник статей XIII Международной научно-практической конференции, г. Петрозаводск Российская Федерация МЦНП «НОВАЯ НАУКА» -2024. –С. 187-191.

14. Zufarov A.M., Sagdeev D.O., Galyametdinov Yu.G., Muxamadiyev N.K. Suvning bo‘linishidan vodorod gazini olish uchun CdS kvant nuqtalari asosida fotokatalizatorlar sintezi va spektral tahlili // O‘zbekiston Respublikasi Fanlar Akademiyasi Toshkent iqtisodiyot va pedagogika instituti Uchinchi renessans yosh olimlari: zamonaviy vazifalar innovatsiya va istiqbol. -2024. –P. 82-84.

15. Zufarov A.M., Sagdeev D.O., Galyametdinov Yu.G., Muxamadiyev N.K. Merkaptoetanol bilan qoplangan CdS nanozarralarining sintezi va spektral tadqiqotlari // Zahiriddin Muhammad Bobur nomidagi Andijon davlat universitetlari. Tovarlar kimyosi hamda xalq tabobati muammolari va istiqbollari mavzusidagi X halqaro ilmiy-amaliy anjuman materiallari. -2023. -№. 5. –С.125-127.

16. Зуфаров А.М., Сагдеев Д.О., Галяметдинов Ю.Г., Мухамадиев Н.К. Синтез квантовых точек CdS, покрытых L-цистеином, и его спектральный анализ // Материалы. Международная научно-практической конференции «Теоретическая и экспериментальная химия и современные проблемы химической технологии» Карши. -2023. –С. 290-292.

17. Зуфаров А.М., Сагдеев Д.О., Галяметдинов Ю.Г., Мухамадиев Н.К. Синтез и фотокаталитические свойства наночастиц квантовых точек CdS, стабилизированных меркаптоэтанолом и меркаптоуксусной кислотой// Материалы 4-й международной научно-практической конференции по достижениям, проблемам и перспективам комплексного инновационного развития Зарафшанского оазиса. Навоийский государственный горно-технологический университет.-2023. –№.4. –С.244-248.

18. Зуфаров А.М., Сагдеев Д.О., Галяметдинов Ю.Г., Мухамадиев Н.К. Синтез и фотокаталитические свойства квантовых точек CdS, стабилизированных меркаптоэтанолом и L-цистеином// Министерство высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан Ферганский государственный университет. Материалы международной научно-практической конференции по теме «Актуальные проблемы химической науки и промышленности» - 2023. –С.138-140.

19. Зуфаров А.М., Сагдеев Д.О., Галяметдинов Ю.Г., Мухамадиев Н.К. синтез и спектральное исследование наночастиц CdS, покрытых меркаптоуксусной кислотой //Сборник статей Республиканской научно-практической конференции “Перспективы развития инновационных технологий производства неорганических веществ и материалов в условиях глобализации” Ташкентский химико-технологический институт, -2023. –С. 305-306.

20. Zufarov A.M., Sagdeev D.O., Galyametdinov Yu.G., Muxamadiyev N.K. Tiol guruhi saqlagan stabilizatorlar bilan qoplangan CdS kvant nuqtalarining sintezi va spektral tadqiqotlari// “Fizikaviy va kolloid kimyo fanlarining fundamental va amaliy muammolari hamda ularning innovatsion yechimlari” mavzusida xalqaro ilmiy-amaliy anjuman materiallari to‘plami. Namangan muhandislik-texnologiya instituti. -2024. –С.428-430.

21. Zufarov A.M., Sagdeyev D.O., Galyametdinov Yu.G., Muxamadiyev N.K., Tiol guruhi saqlagan stabilizatorlar bilan qoplangan CdS kvant nuqtalarining sintezi va spektral tadqiqotlari, Zarafshon vohasini kompleks innovatsion rivojlantirishi: yutuqlar, muammolar va istiqbollari V-xalqaro anjumani -2024. –С.333-335.

22. Zufarov A.M., Sagdeev D.O., Galyametdinov Yu.G., Muxamadiyev N.K. Gidrofil stabilizatorlarning CdS kvant nuqtalarining fotokatalitik xossalariga ta’siri // Tabiiy fanlar sohasidagi dolzarb muammolar va innovatsion texnologiyalar xalqaro ilmiy-amaliy konferensiya materiallar toplami. Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti. -2024. –С.40-43.

23. Зуфаров А.М., Сагдеев Д.О., Галяметдинов Ю.Г. , Мухамадиев Н.К. Синтез фотокатализаторов на основе квантовых точек CdS для водородной энергетики и их спектральный анализ. Роль интеллектуальной молодежи в развитии науки и техники. // Сборник докладов республиканской научно - практической конференции. Ташкент, ТашГТУ, -2024. –С. 518-520.

24. Zufarov A.M., Muxamadiyev N.K. L-sistein va merkaptotanol bilan modifikatsiyalangan CdS kvant nuqtalarning fotokatalitik xossalari// Kimyoning dolzarb muammolari» mavzusidagi respublika ilmiyamaliy anjuman materiallari. Urganch davlat universiteti. -2024. –С. 279-281.

25. Зуфаров А.М., Сагдеев Д. О., Мухамадиев Н. К., Галяметдинов Ю. Г Синтез квантовых точек cds с участием гидрофильных стабилизаторов и их фотокаталитические свойства. “Tovarlar kimyosi hamda xalq tabobati muammolari va istiqbollari” mavzusida XI xalqaro ilmiy-amaliy konferensiya - 2024.

Avtoreferat Sharof Rashidov nomidagi Samarqand davlat universitetining “Ilmiy axborotnoma”
jurnali tahririyatida tahrirdan o‘tkazilib, o‘zbek, rus va ingliz tillaridagi matnlari o‘zaro
muvofiqlashtirildi (27.02.2025)

Bosmaxona tasdiqnomasi:



4268

2025-yil 13-mayda bosishga ruxsat etildi:
Ofset bosma qog‘ozi. Qog‘oz bichimi 60x84_{1/16}.
“Times new roman” garniturasini. Ofset bosma usuli.
Hisob-nashriyot t.: 4,1. Shartli b.t. 4,2.
Adadi 100 nusxa. Buyurtma №10/05.

SamDCHTI tahrir-nashriyot bo‘limida chop etildi.
Manzil: 140104, Samarqand sh., Bo‘stonsaroy ko‘chasi, 93.