

**TERMIZ DAVLAT UNIVERSITETI HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR
BERUVCHI DSc.03/31.01.2023.K/T.78.01 RAQAMLI ILMIY KENGASH
QOSHIDAGI BIR MARTALIK ILMIY KENGASH**

SAMARQAND DAVLAT UNIVERSITETI

ISHANKULOV ALISHER FARMONOVICH

**NEFT KIMYOSI VA BIOTIBBIYOT UCHUN GIBRID KVANT
NUQTALARI ASOSIDA LYUMINESTSENT NANOMARKERLAR
SINTEZI HAMDA TADQIQI**

02.00.04 – Fizik kimyo

02.00.12 – Nanokimyo, nanofizika va nanotexnologiya

**KIMYO FANLARI DOKTORI (DSc) DISSERTATSIYASI
AVTOREFERATI**

Termiz – 2025

UO‘K: 547.562.821:546.62.82:541.12.14.

Fan doktori (DSc) dissertatsiyasi avtoreferati mundarijasi

Оглавление автореферата диссертации доктора наук (DSc)

Content of the abstract dissertation of doctor of science (DSc)

Ishankulov Alisher Farmonovich

Neft kimyosi va biotibbiyot uchun gibridd kvant nuqtalari asosida lyuminescent nanomarkerlar sintezi hamda tadqiqi 3

Ишанкулов Алишер Фармонович

Синтез и исследование флуоресцентных наномаркеров на основе гибридных квантовых точек для нефтехимии и биомедицины 29

Ishankulov Alisher Farmonovich

Synthesis and study of fluorescent nanomarkers based on hybrid quantum dots for petrochemicals and biomedicine 57

E‘lon qilingan ishlar ro‘uxati

Список опубликованных работ
List of published works 61

**TERMIZ DAVLAT UNIVERSITETI HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR
BERUVCHI DSc.03/31.01.2023.K/T.78.01 RAQAMLI ILMIY KENGASH
QOSHIDAGI BIR MARTALIK ILMIY KENGASH**

SAMARQAND DAVLAT UNIVERSITETI

ISHANKULOV ALISHER FARMONOVICH

**NEFT KIMYOSI VA BIOTIBBIYOT UCHUN GIBRID KVANT
NUQTALARI ASOSIDA LYUMINESTSENT NANOMARKERLAR
SINTEZI HAMDA TADQIQI**

02.00.04 – Fizik kimyo

02.00.12 – Nanokimyo, nanofizika va nanotexnologiya

**KIMYO FANLARI DOKTORI (DSc) DISSERTATSIYASI
AVTOREFERATI**

Termiz – 2025

Fan doktori (DSc) dissertatsiyasi mavzusi O'zbekiston Respublikasi Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar vazirligi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasida B2023.4.DSc/K175 raqam bilan ro'yxatga olingan.

Doktorlik dissertatsiyasi Samarqand davlat universitetida bajarilgan.
Dissertatsiya avtoreferati uch tilda (o'zbek, rus, ingliz (rezyume)) Ilmiy kengash veb-sahifasida www.tersu.uz va «Ziyonet» Axborot ta'lim portalida (www.ziyonet.uz) joylashtirilgan.

Ilmiy maslahatchilar:

Galyametdinov Yuriy Genadiyevich
kimyo fanlari doktori, professor

Muhamadiyev Nurali Qurbonaliyevich
kimyo fanlari doktori, professor

Rasmiy opponentlar:

Ruzimuradov Olim Narbekovich
kimyo fanlari doktori, professor

Akbarov Hamdam Ikramovich
kimyo fanlari doktori, professor

Ataxanov Abdumutalib Abdupattoyevich
kimyo fanlari doktori, professor

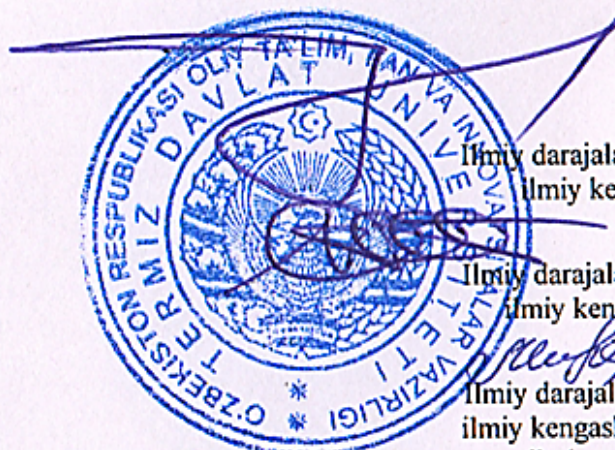
Yetakchi tashkilot:

Umumiy va noorganik kimyo instituti

Dissertatsiya himoyasi Termiz davlat universiteti huzuridagi Ilmiy darajalar beruvchi DSc.03/31.01.2023.K/T.78.01 raqamli Ilmiy kengash qoshidagi bir martalik Ilmiy kengashning 2025-yil « 2 » oktabr soat 10:00 dagi majlisida bo'lib o'tadi. (Manzil: 100174, Termiz shahri, Barkamol avlod ko'chasi, 43-uy. Tel.: (99876) 221-74-55, faks: (+99876) 221-71-17;. e-mail: termizdu@gmail.uz

Dissertatsiya bilan Termiz davlat universitetining Axborot-resurs markazida tanishish mumkin (46 raqam bilan ro'yxatga olingan). (Manzil) Tel.: (99876) 221-74-55, faks: (+99876) 221-71-17;. e-mail: termizdu@gmail.uz

Dissertatsiya avtoreferati 2025 yil « 10 » IX kuni tarqatildi.
(2025 - yil « 10 » IX dagi 1 -raqamli reyestr bayonnomasi).



LA.Umbarov
Ilmiy darajalar beruvchi bir martalik
ilmiy kengash raisi, k.f.d., prof.

Sh.A.Kasimov
Ilmiy darajalar beruvchi bir martalik
ilmiy kengash kotibi, k.f.d., prof.

G.J.Muqumova
Ilmiy darajalar beruvchi bir martalik
ilmiy kengash qoshidagi bir martalik
ilmiy seminar raisi, k.f.d., prof.

KIRISH (fan doktori (DSc) dissertatsiyasi annotatsiyasi)

Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati. Dunyoda ilm-fan va nanotexnologiyalar rivoji davrida kvant nuqta (KN) larining fizik-kimyoviy xossalarni chuqur o'rganish va ularni amaliy sohalarida, xususan, neft kimyosi hamda biotibbiyotda qo'llash imkoniyatlari tobora kengayib bormoqda. Kvant nuqtalarining o'lchamga bog'liq optik va lyuminescent xossalari, nanozarracha sirtini modifikatsiya qilish orqali selektivlik va biomoslashuvchanlikni ta'minlash imkoniyati ularni samarali nanomarkerlarga aylantirmoqda. Ayniqsa, gibrid va triplet kvant nuqtalari biotibbiyot sohasida nanomarkerlardan biologik to'qimalarni markerlash, onkologik kasalliklarni erta tashxislash hamda dorivor moddalarning yetkazilishini monitoring qilish muhim masalalardan biridir. Shu bilan birga, neft kimyosida ularning selektiv sorbent yoki datchik sifatidagi roli muhim bo'lib, kompozit materiallarning tarkibiy qismlarini aniqlash, reaksiya muhitidagi ionlarni kuzatish yoki neft mahsulotlari tarkibini tahlil qilishda signal kuchaytiruvchi vosita sifatida muhim ahamiyat kasb etadi.

Jahonda neft sanoatida nanoo'lchamdagi sezgir datchiklar uchun sensorlar yaratish va biotibbiyotda dorivor moddalarni to'qimalarga manzilli yetkazilishini nazorat qilish uchun kvant nuqtalar olish bo'yicha ilmiy izlanishlar olib borilmoqda. Bu borada, kvant nuqtalarning noyob kvant-o'lcham effektlari, yuqori yorqinlikdagi lyuminescent xossalari va fotostabilligini aniqlash, ularning optik qurilmalar, biotibbiy diagnostika va atrof-muhit monitoringida qo'llanilish imkoniyatlarini baholash, ular yordamida biotibbiyotda aniq hujayralarni markerlash, nanoo'lchamdagi sezgir datchiklar uchun sensorlar yaratish va dorivor moddalarni to'qimalarga manzilli yetkazilishini nazorat qilish imkoniyatlarini aniqlash, shuningdek, neft sanoati uchun mo'ljallangan tadqiqotlarda KNlar asosidagi sensorlar yordamida ionlar va organik komponentlarning sifat va miqdoriy aniqlanishi, katalitik jarayonlarni maqbullashtirish alohida ahamiyatga ega.

Respublikamizda kimyo sanoati sohasini rivojlantirish maqsadida zamonaviy talablarga javob bera oladigan yangi turdagi kvant nuqtalari asosidagi sensorlar yordamida aralashmalarni aniqlash bo'yicha ma'lum ilmiy va amaliy natijalarga erishilmoqda. Mazkur yo'nalishda amalga oshirilgan dasturiy chora-tadbirlar asosida muayyan natijalarga erishilgan, ayniqsa, yangicha yondashuvlarga asoslangan, gibrid kvant nuqtalari asosida yaratilgan lyuminescent nanomarkerlar olingan. Shu bois ichki bozorni import o'rnini bosuvchi mahalliy mahsulotlar bilan ta'minlash sohasida keng ko'lamli tadbirlar amalga oshirilmoqda. "Yangi O'zbekistonning 2022-2026-yillardagi taraqqiyot strategiyasi"¹da iqtisodiyotni rivojlantirishning ustuvor yo'nalishlari belgilangan hamda mahalliy xomashyo resurslarini chuqur qayta ishlash asosida neft va biotibbiyot sohalarida kompleks foydalanish uchun gibrid va triplet kvant nuqtalari asosida yaratilgan lyuminescent nanomarkerlar olish muhim ahamiyat kasb etadi.

O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2019-yil 3-apreldagi PQ-4265-sonli "Kimyo sanoatini yanada isloh qilish va uning investitsiyaviy jozibadorligini

¹O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-yil 28-yanvardagi PF-60-sonli "2022-2026 yillarga mo'ljallangan Yangi O'zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to'g'risida"gi Farmoni

o'shish chora-tadbirlari to'g'risida"gi, 2021-yil 13-fevraldagi PQ-4992-sonli "Kimyo sanoati korxonalarini yanada isloh qilish va moliyaviy sog'lomlashtirish, yuqori qiymatli qo'shilgan kimyoviy mahsulotlar ishlab chiqarishni rivojlantirish chora-tadbirlari to'g'risida"gi Qarorlari, 2022-yil 10-oktabrdagi "Kimyo va gaz-kimyo sanoatini strategik rivojlantirishning maqsadli dasturini tasdiqlash to'g'risida"gi va 2022-yil 28-yanvardagi "2022-2026 yillarga mo'ljallangan Yangi O'zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to'g'risida" gi PF 60-sonli Farmoni hamda mazkur faoliyatga tegishli 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 tadqiqot respublika fan va texnologiyalar rivojlanishining VII «Kimyo, kimyoviy texnologiyalar va nanotexnologiyalar» ustuvor yo'nalishiga muvofiq bajarilgan.

Dissertatsiya mavzusi bo'yicha xorijiy ilmiy-tadqiqotlar sharhi². So'nggi yillarda kvant nuqtalar asosidagi lyuminescent nanomateriallar olishga yo'naltirilgan ilmiy izlanishlar jahonning yetakchi ilmiy markazlari va oliy ta'lim muassasalarida, jumladan, Lehigh University (AQSh), University of Houston (AQSh), Lappeenranta University of Technology (Finlyandiya), Xitoy fanlar akademiyasi (Xitoy) hamda Toyota Technological Institute (Yaponiya), M.V.Lomonosov nomidagi Moskva davlat universiteti (Rossiya), Toshkent shahridagi Turin politexnika universiteti, Mirzo Ulig'bek nomidagi O'zbekiston Milliy universiteti, Sh.Rashidov nomidagi Samarqand davlat universitetlarida (O'zbekiston) olib borilmoqda.

Kvant nuqtalar asosida yaratilgan gibril nanomateriallarning biomarker sifatidagi samaradorligi, ayniqsa, oqsil va DNK bilan o'zaro ta'siri, sirt modifikatsiyasi, kolloid barqarorligi va lyuminescent xossalari bo'yicha o'tkazilgan tadqiqotlar davomida quyidagi bir qator natijalar olingan, jumladan, turli polimerlar asosida kvant nuqtalari sintez qilingan (Qozon milliy tadqiqotlar texnologiya universiteti, Rossiya), KNlarni nano-kapsula yoki ob'ekt shaklida foydalanish imkonini kengaytirilgan (Hebrew University of Jerusalem, University of Chicago, Cardiff University, Angliya), yadro/qobiq strukturali kvant nuqtalarining fluorestsentsiya so'nishi kinetikasi va termodinamik kattaliklari aniqlangan (Heidelberg University, Germaniya), kvant nuqtalarning oqsil va polielektrolitlar bilan o'zaro ta'siri spektroskopik va fizik-kimyoviy usullar yordamida asoslangan (Indian Institute of Technology Ropar, Hindiston).

Dunyoda polimerlar asosidagi KNlarni biomuhitda barqarorlashtirish, toksikligini kamaytirish va maqsadli manzilga yetkazish bo'yicha, jumladan quyidagi ustuvor yo'nalishlarda tadqiqotlar olib borilmoqda: turli polimerlar asosida kvant nuqtalar sintez qilish; KNlarni nano-kapsula yoki ob'ekt shaklida foydalanish

²Dissertatsiya mavzusi bo'yicha chet el ilmiy tadqiqotlari tavsifi: <https://doi.org/10.1039/D5NR00440C>;
<https://www.mdpi.com/1424-8247/15/7/880>;
<https://doi.org/10.1016/j.nxnano.2025.100172>;
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780443155185000045>;
<https://doi.org/10.3390/ijms231810763> <https://doi.org/10.1016/b978-0-443-15518-5.00004-5> va boshqa havolalar.

imkonini kengaytirish; CdSe/ZnS va InP/ZnS kabi yadro/qobiq strukturali kvant nuqtalarining fluorestsentsiya soʻnishi kinetikasi va termodinamikasi (termodinamik funktsiyalar ΔG , ΔH , ΔS) boʻyicha tadqiqotlar olib borish; polimerlar asosida nanokompozitlar olish; tizimlarning spontan va elektrostatik bogʻlanishga asoslangan barqaror sistemalar hosil qilish.

Muammoning oʻrganilganlik darajasi. Bugungi kunda dunyoning koʻpgina mamlakatlarida yarim oʻtkazgichlar asosida nanotizimli materiallar olish va ularning fizik-kimyoviy xossalarini tadqiq etish boʻyicha ilmiy nazariy va amaliy tadqiqotlar olib borilmoqda. Kvant nuqtalari boʻyicha ilmiy izlanishlar 1980-yillardan rivojlana boshlangan. Ilk marotaba kvant nuqtalar fiziklar tomonidan olingan boʻlib, ularning noyob optik xususiyatlari aniqlangan (Yekimov, Brus, 1981–1993). Hozirgi paytda kvant nuqtalar turli yoʻnalishlar boʻyicha keng qamrovli oʻrganib kelinmoqda. Biosensorli diagnostikada kvant nuqtalarining uzoq muddatli barqarorligi va yuqori kvant unumdorligi ularni biomarker sifatida ishlatish imkoniyatini ochdi. Murray, Norris va Bavendilar tomonidan kvant nuqtalarni olishning oddiy va juda samarali kimyoviy usuli taklif etilgan. Bu usul yuqori temperaturali kolloid sintez usuli nomini olgan. Bu borada Gak V. Y., Brichkin S. B., Razumov V. F., Chen O. Zhao, J., Chauhan, V.P., Cui, J., Wong, C., Harris, D.K Chausov D. N., Belyaev V.V., Ozchilik S.S., Galyametdinov Yu.G., Shamilov R.R. Nugaeva A.A. va boshqalarning xizmatlari salmoqli boʻlib, kvant nuqtalarning sintez qilish usullarini ishlab chiqish bilan bir qatorda yangi kompozit materiallarni ham yaratish, nanozarrachalarni boshqariladigan vositalar tizimiga kiritish orqali muhim uslubiy qoʻllanmalar ishlab chiqilgan.

Oʻzbekistonda ham mazkur yoʻnalish rivojiga O.N.Roʻzimurodov, H.I.Akbarov, A.A.Ataxanov, N.Kattayev, N.Q.Muxamadiyev, Q.F.Xalilov va boshqalar kvant nuqtalarning sintez usullarini oʻrganish, optik-oʻlcham parametrlarini boshqarish, turli qoʻshimchalardan tozalash kabi muammolarni bartaraf etishga qaratilgan izlanishlari bilan muayyan hissa qoʻshib kelmoqdalar.

Bugungi kunda monodispersli, yuqori lyuminesstent kvant unumli barqaror kvant nuqtalarni sintez qilishni takomillashtirish hamda yangi sintez usullarini izlab topish, nanozarrachalar sirt yuzasini modifikatsiyalash hamda kvant nuqtalarini oʻz ichiga olgan matritsalar (polimetilmetakrilat (PMMA)) asosidagi polimer nanokompozitlarni ishlab chiqarish kabi masalalar dolzarb vazifa boʻlib qolmoqda.

Dissertatsiya tadqiqotining dissertatsiya bajarilgan oliy taʼlim muassasasining ilmiy tadqiqot ishlari rejalari bilan bogʻliqligi. Dissertatsiya tadqiqoti Samarqand davlat universiteti va Rossiya Federatsiyasi Qozon milliy tadqiqotlar texnologiya universiteti ilmiy-tadqiqot ishlari rejasiga muvofiq ALM-202310062531 “Tabiiy va sintetik materiallarni sintez qilish, tekshirish va qayta ishlashning yangi usullari” (2023-2024-y.y.) va «Organik boʻyoqlar bilan modifikatsiyalangan galoid perovskit kvant nuqtalarining optik xususiyatlarini sintez qilish va tadqiq qilish» hamda 18-43-160009 “KNlar asosidagi smart materiallar sintezi” (2019-2021-y.y.) mavzularidagi fundamental va amaliy loyihalari doirasida bajarilgan.

Tadqiqotning maqsadi neft kimyosi va biotibbiyot uchun gibrid kvant nuqtalari asosida lyuminescent nanomarkerlar sintezi hamda fizik-kimyoviy xossalari aniqlashdan iborat.

Tadqiqotning vazifalari:

kolloid usulda “yadro/qobiq” va “yadro/qobiq/qobiq” tizimli kvant nuqtalarning bir bosqichli sintezining maqbul sharoitlarini aniqlash;

gibrid va triplet tuzilishli kvant nuqtalarning optik-o‘lcham xossalari, morfologiyasini tadqiq qilish;

sintez qilingan kvant nuqtalar klasterlarining reaksiya qobiliyati, ta’sirlashish energiyalari, elektron bulut tuzilishini kvant-kimyoviy zichlik funksional nazariyasi yordamida baholash;

kvant nuqtalarning fluorestsentsiya so‘nishi kinetikasi hamda termodinamik funksiyalarini (ΔG , ΔH , ΔS), ta’qiqlangan energetik hudud o‘lchamini hisoblash;

gidrofob kvant nuqtalarni turli tiol guruhli stabilizatorlar ishtirokida modifikatsiyalashni tadqiq etish;

tarkibida CdSe, CdSe/CdS, CdSe/ZnS, ZnSe/ZnS, CdSe/CdS/ZnS, CdSe/ZnS/ZnS, ZnSe/ZnS/ZnS kvant nuqtalar tutgan PMMA asosidagi polimer nanokompozitlarni olish;

neft oqimi yo‘nalishini monitoring qilishda ko‘p komponentli kvant nuqtalarning sezgirligini va selektivligini spektroskopik usullar yordamida tadqiq qilish;

“in vitro” biologik muhitda kvant nuqtalarining tarqalishini va ta’sir mexanizmlarini aniqlash hamda amaliyotda qo‘llash.

Tadqiqotning obyekti sifatida anorganik prekursorlar, organik erituvchilar, “yadro”, “yadro/qobiq” va “yadro/qobiq/qobiq” tizimli kvant nuqtalar, stabilizatorlar, PMMA, PVX, PFO polimerlar olingan.

Tadqiqotning predmetini neft kimyosi va biotibbiyot uchun gibrid kvant nuqtalari asosida lyuminescent nanomarkerlar sintez qilish jarayonlari, ularning fizik-kimyoviy va optik-o‘lcham xossalari tadqiq qilish tashkil etadi.

Tadqiqotning usullari. Tadqiqot jarayonida sintez qilingan turli tarkibli gibrid va triplet kvant nuqtalarining tuzilishi va tarkibini aniqlash uchun X-ray rentgen difraktometriya, skanerlovchi elektron mikroskopiya, transmission elektron mikroskopiya, atom kuchlanishli mikroskopiya hamda kvant-kimyoviy hisoblash usullaridan foydalanilgan.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi quyidagilardan iborat:

“yadro/qobiq” va “yadro/qobiq/qobiq” tuzilishga ega bo‘lgan kvant nuqtalarni olishning bir bosqichli usuli ishlab chiqilgan;

triplet ZnSe/ZnS/ZnS tuzilmalarning mono va gibrid tizimlarga nisbatan yuqori intensiv fotolyuminescentsiya xossasiga ega ekanligi isbotlangan;

kvant nuqtalarining morfologik va fizik-kimyoviy parametrlarini o‘zgartirish orqali ularning lyuminescent samaradorligi 17% dan 89% gacha ortishi aniqlangan;

ilk bor gibrid CdSe/ZnS, CdSe/CdS, ZnSe/ZnS, triplet CdSe/CdS/ZnS, CdSe/ZnS/ZnS, “ZnSe/ZnS/ZnS+stabilizator” tizimli kvant nuqtalar klasterlarining barqarorligi hamda optik-o‘lcham xossalari kvant-kimyoviy baholangan;

gibrid va triplet tizimli kvant nuqtalarini o'z ichiga olgan PMMA, PFO, PVX matritsali yupqa qatlamli nanokompozit materiallar olingan;

sintez qilingan gibrid va triplet kvant nuqtalari asosida dori tashuvchi nanotizimlar hamda neft oqimi yo'nalishini aniqlash uchun markerlar ishlab chiqilgan.

Tadqiqotning amaliy natijalari quyidagilardan iborat:

CdSe, CdS, ZnSe, gibrid CdSe/ZnS, CdSe/CdS, ZnSe/ZnS, triplet CdSe/CdS/ZnS, CdSe/ZnS/ZnS, ZnSe/ZnS/ZnS kvant nuqtalarining bir bosqichli sintez uslubi ishlab chiqilgan;

gidrofob kolloid kvant nuqtali tizimlardan gidrofil tizimlarga (dodekantiolli, dodetsil lipoat kislota efirli, tsisteinli) o'tishda yutilish va fluorestsentsiya spektrlarini hamda fizik-kimyoviy xossalarni tahlil qilish orqali gibrid va triplet kvant nuqtalarini o'z ichiga olgan PMMA, PFO, PVX asosida yupqa qatlamli nanokompozit materiallar olingan;

olingan lyuminescent kvant nuqtalar organik moddalarni aniqlovchi nanomarkerlar sifatida va trasser texnologiyasida qo'llanilishi aniqlandi, yadro, gibrid va triplet kvant nuqtalarning optik-o'lcham xarakteristikalari xalqaro ma'lumotlar bazasiga kiritilgan.

Tadqiqot natijalarining ishonchliligi. Olingan natijalarning ishonchliligi, xulosalar va tavsiyalarining asoslilik, olingan birikmalarni identifikatsiyalash yuqori darajada zamonaviy fizik va fizik-kimyoviy usullar (rentgen difraktometriya, skanerlovchi elektron mikroskopiya, transmission elektron mikroskopiya, atom kuchlanishli mikroskopiya hamda kvant-kimyoviy hisoblash usullari) yordamida isbotlangan.

Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati.

Tadqiqot natijalarining ilmiy ahamiyati gibrid va triplet tizimli kvant nuqtalari sintezining maqbul sharoitlari, modifikatsiyalash, ularni kvant-kimyoviy nuqtai nazardan asoslash, shuningdek yadro sirt yuzasida qobiq o'stirish orqali barqarorligini oshirish, ularni biomolekulalar yoki neft uglevodorodlari oqimi bilan o'zaro ta'siri kabi jarayonlarni o'rganish esa real tizimlardagi jarayonlarni modellashtirish hamda ilmiy asosda bashorat qilish, optik-o'lcham xossalari bo'yicha ma'lumotlarni boyitilganligi bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining amaliy ahamiyati shundan iboratki, sintez qilingan turli tizimli kvant nuqtalar modifikatsiyalash bo'yicha uslubiyatning ishlab chiqilganligi, ularning amaliyotga tadbiq etilishi uchun asos yaratilganligi; hujayralar va to'qimalarni aniqlash, belgilash uchun kontrast modda sifatida, dori-darmonlarni maqsadli yetkazib berishda, biomolekulalar va zaharli birikmalarni aniqlash uchun biosensordlarda hamda lyuminescent markerlar sifatida qo'llanilganligi; neft mahsulotlari oqimini monitoring qilish, ularning yo'nalishini baholashda xizmat qiladi.

Tadqiqot natijalarining joriy qilinishi. Neft kimyosi va biotibbiyot uchun gibrid va triplet kvant nuqtalari sintezi asosida lyuminescent nanomarkerlar tadqiqi bo'yicha olingan ilmiy natijalar asosida:

kolloid kvant nuqtalar olish usuli "BioXimMak" korxonasi amaliyotga joriy etilgan. ("BioXimMak" korxonasi (Rossiya) 2025 yil 25 maydagi 93/77-sonli

ma'lumotnomasi). Natijada dori preparatlarining sifatini sezilarli darajada oshirishga va ishlab chiqarish jarayonini optimallashtirishga imkon yaratilgan;

“in vitro” biologik muhitdagi usuli “Xinjiang Shafiya Biotexnology Co. Ltd.” korxonasida amaliyotga joriy etilgan (Xinjiang Shafiya Biotexnology Co. Ltd, korxonasining (Xitoy) 2025 yil 15-martdagi ma'lumotnomasi). Natijada kvant nuqtalar antimikrob vosita sifatida qo'llanish imkoni yaratilgan;

kvant nuqtalarning kolloid sintez usuli «O'zbekneftgaz» AJ ga qarashli «Muborak gazni qayta ishlash zavodi»da amaliyotga joriy etilgan («Muborak gazni qayta ishlash zavodi» AJning 22.07.2025 yildagi 981/G'K-07-raqamli ma'lumotnomasi). Natijada kondensat oqimi yo'nalishini nazorat qilish imkonini bergan;

tadqiqotlar natijasida olingan ma'lumotlar xorijdagi 5 ta impakt-faktori yuqori bo'lgan ilmiy manbalarda foydalanilgan (Journal results in optics, 2024, V.16. P.1-7, IF=4,2. Journal Analytica Chimica 2025, V.1345. P.11-27, IF=6,2., Journal Optik 2024, V.311. P.87-98, IF=4,8., Journal of Sol-Gel Science and Technology 2023, V.108. P.66-75, IF=3,2., Journal Analytical Methods-2025, P.1-23, IF=3,7., Journal biomaterials science 2025, V.10. P.1-36, IF=5,7). Natijada turli tarkibli kvant nuqtalar va polimerlar matritsasi asosida nanomarkerlar olish imkonini bergan.

Tadqiqot natijalarining aprobatsiyasi. Mazkur tadqiqot natijalari 42 ta, jumladan 17 ta xalqaro va 25 ta respublika ilmiy-amaliy anjumanlarida ma'ruza qilingan va muhokamadan o'tkazilgan.

Tadqiqot natijalarining e'lon qilinganligi. Dissertatsiya mavzusi bo'yicha jami 54 ta ilmiy ish, shulardan 1 ta foydali model patenti olingan, 1 ta monografiya chop etilgan, O'zbekiston Respublikasi Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar vazirligi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasining fan doktori (DSc) dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etish bo'yicha tavsiya etilgan ilmiy nashrlarda 16 ta ilmiy maqola, jumladan 7 ta Respublika va 9 ta xorijiy jurnallarda nashr etilgan.

Dissertatsiyaning tuzilishi va hajmi. Dissertatsiya tarkibi kirish, 5 ta bob, xulosa, foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati va ilovalardan iborat. Dissertatsiyaning hajmi 180 betni tashkil etadi^{3*}.

DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI

Kirish qismida dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati asoslab berilgan, uning Respublika fan va texnologiyalari rivojlantirilishning ustuvor yo'nalishlariga muvofiqligi, dissertatsiya mavzusi bo'yicha xorijiy ilmiy-tadqiqotlar sharhini qiyosiy tahlili keltirilgan, muammoning o'rganilganlik darajasi hamda tadqiqotning dissertatsiya bajarilgan oliy ta'lim muassasasining ilmiy tadqiqot ishlari bilan bog'liqligi ko'rsatilgan, tadqiqotning maqsadi, vazifalari, obyekti, predmeti va usullari belgilangan, tadqiqotning ilmiy yangiligi va amaliy natijalari bayon qilingan, ularning ishonchliligi asoslangan, tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati ochib berilgan, amaliyotga joriy qilish istiqboli borasida xulosalar

^{3*} Muallif SamDU professori Q.F.Xalilovga ilmiy ish mavzusi bo'yicha adabiyotlar ma'lumotlarini tahlil qilish, ilmiy maqolalarni yozishda va mavzuni tanlash, tajribalarni o'tkazish, olingan natijalarni tahlil qilish va umumlashtirishda ko'rsatgan xolisona rahbarliklari uchun minnatdorchilik bildiradi.

chiqarilgan hamda chop etilgan ishlar, dissertatsiyaning tuzilishi va hajmi bo'yicha ma'lumotlar keltirilgan.

Dissertatsiyaning **“Kvant nuqtalarning olinishi va sintezdan keyingi qayta ishlash usullari (Adabiyotlar sharhi)”** deb nomlangan birinchi bobida KNlarning umumiy tasnifi va nazariy asoslari, sintez usullari, funktsionallashtirish usullari, yarimo'tkazgichli KNlarning optik xossalari o'lcham effekti, gibril "yadro/qobiq" va triplet "yadro/qobiq/qobiq" tizimli KNlar sintezi hamda optik-o'lcham xossalari, fluoretsent nanomarkerlarning olinishi va ularning xossalari, ko'p komponentli kvant nuqtalar asosidagi polimer nanokompozitlar, olingan nanomarkerlarning xarakteristikasi, neft-kimyoviy birikmalarni markerlash usullari, trasser texnologiyasida KNlarning ahamiyati, turli tarkibli KNlarining strukturaviy tizim va elektron xossalari kvant-kimyoviy baholash hamda ularni sun'iy intellektda qo'llash jarayonlariga bag'ishlangan xorijiy va Respublika nashrlarida keltirilgan ilmiy ishlar qiyosiy bayon etilgan. Nazariy va amaliy natijalarning tahlili asosida tadqiqotning maqsadi, vazifalari, dolzarbligi va muhimligi aniqlangan.

Dissertatsiyaning **“Tadqiqot obektlari, usullari va sintez jarayonlari”** deb nomlangan ikkinchi bobida asbob-uskunalar, yarimo'tkazgichli CdSe, CdS, ZnSe, ZnS yadroli KNlar sintez qilish usullari, "yadro/qobiq" tipidagi gibril CdSe/ZnS, CdSe/CdS, ZnSe/CdS, ZnSe/ZnSe, ZnSe/ZnS, triplet CdSe/CdS/ZnS, CdSe/ZnS/ZnS, ZnSe/ZnS/ZnS KNlar sintezi, gibril, triplet KNlarni modifikatsiyalash, olein kislotani tiol guruh saqlagan stabilizatorlarga almashtirish, trioktilfosfin stabilizatori bilan modifikatsiyalangan gibril CdSe/ZnS KNlar sintezi, turli tarkibli KNlarini o'z ichiga olgan PMMA, PFO, PVX asosida yupqa qatlamli nanokompozitlar olinish usullari, nanozarrachalarning kvant unumini hisoblash bo'yicha ma'lumotlar keltirilgan.

Nanozarrachalarning hosil bo'lish termodinamikasi va o'sish kinetikasiga ta'sir etuvchi eng muhim reaksiyon parametrlardan biri bu haroratdir. Jarayonning umumiy faollanish energiyasi yadrolanish bosqichi, barqaror yadrolarni hosil bo'lish energiyasi uchun kerak bo'lgan alohida erkin energiya hissasini va yadrolanishda ishtirok etuvchi alohida atomlarning faollanish energiyasi fluktuatsiyasini hisobga oladi. Yangi faza hosil bo'lishining termodinamik nazariyasiga ko'ra, jarayonda sistema erkin energiyaning o'zgarishi ΔG quyidagi 1-tenglama bilan ifodalanadi.

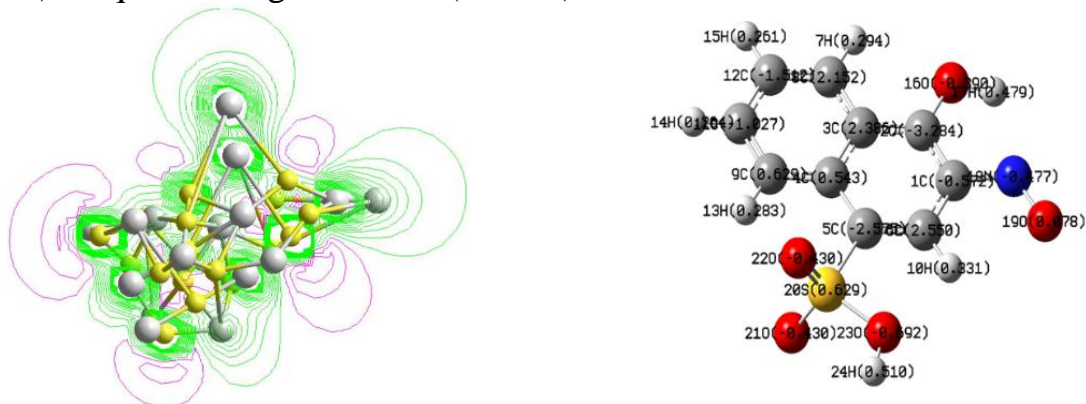
$$\Delta G = 4\pi r^2 \gamma - \frac{4}{3} \pi r^3 \frac{\Delta \mu}{v_m} = 4\pi r^2 \gamma - \frac{4}{3} \pi r^3 \frac{RT \ln S}{v_m} \quad (1)$$

Natijada CdSe, CdS va ZnSe KNlarining yadrolanish erkin energiyasi mos ravishda $1.82 \cdot 10^{-17}$ J, $1.91 \cdot 10^{-17}$ J, $1.97 \cdot 10^{-17}$ J ga, tengligi aniqlandi.

Dissertatsiyaning uchunchi bobi **“Kvant nuqtalar tuzilishini kvant-kimyoviy modellash”** deb nomlangan bo'lib, unda turli tizimli CdSe, CdS, ZnS, ZnSe, CdSe/ZnS, CdSe/CdS, ZnSe/ZnS, CdSe/CdS/ZnS, CdSe/ZnS/ZnS, ZnSe/ZnS/ZnS KNlar tuzilishining kvant-kimyoviy hisoblash ko'rsatkichlari, zamonaviy fizik-kimyoviy tadqiqotlar natijalari keltirilgan.

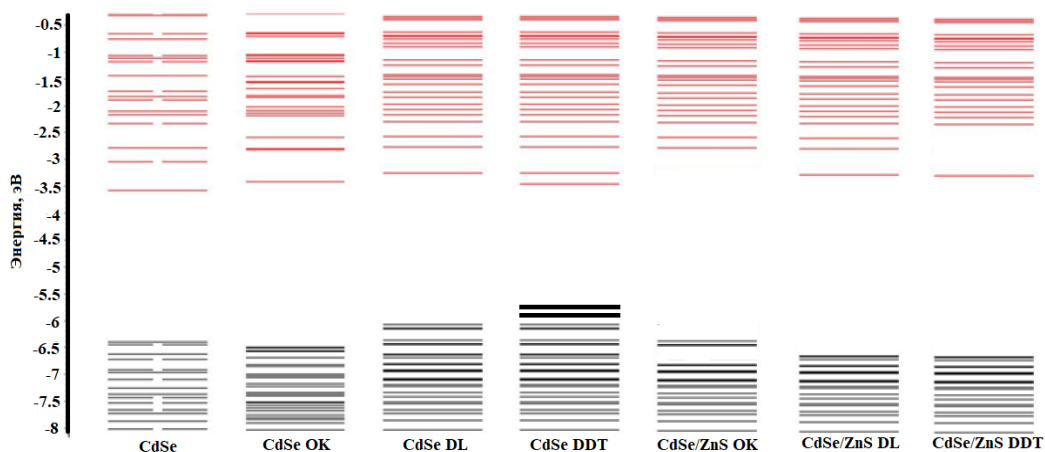
Ma'lumki, hozirgi kunda kvant-kimyoviy hisoblash va molekulyar dinamika usullari molekulyar kristallar va oraliq (nano) o'lchamli murakkab sistemalarning

elektron, atom va molekulyar tuzilishlarini modellashtirishda keng qoʻllanilmoqda. Yadro, gibrid va triplet tuzilishli KNlarning fazoviy tuzilishini kvant-kimyoviy baholash maqsadida Gaussian 09 dasturiy paketi doirasidagi GaussView 5.0 dasturi yordamida kirish fayllari yaratildi. CdS, CdSe, ZnSe va ZnS asosida olingan KNlarining elektron bulut tuzilishini hisoblashlari turli kvant kimyoviy yondashuvlar yordamida amalga oshiriladi. Molekulyar geometriyalarni optimallashtirish B3LYP/3-21G usuli asosida (Mallikken boʻyicha atom zaryadlar taqsimoti) aniqlash amalga oshirildi (1-rasm).



1-rasm. Olein kislota stabilizatori saqlagan CdSe va ZnSe KNlar klasterlarida zaryad taqsimoti koʻrsatgichlari.

HOMO va LUMO energetik sathlar Cd-Se tizimida atom orbitallaridan oʻtkazish zonasi (SV) va valent zonasi (VB) Cd va Se atomlaridan shakllangan turli stabilizatorli klasterlarning xossalari, elektron spektrlarini tahlil etish usulida oʻrganildi. Hisoblashlar natijalari nanozarrachalarning “elektron-tirqish” juftligi tizimida E_g HOMO va LUMO sathlari oʻrtasidagi energiya farqi taʼqiqlangan hudud qiymatiga mos keladi (2-rasm).



2-rasm. Turli stabilizatorli klasterlarning taʼqiqlangan energetik hudud kengligi (E_g)

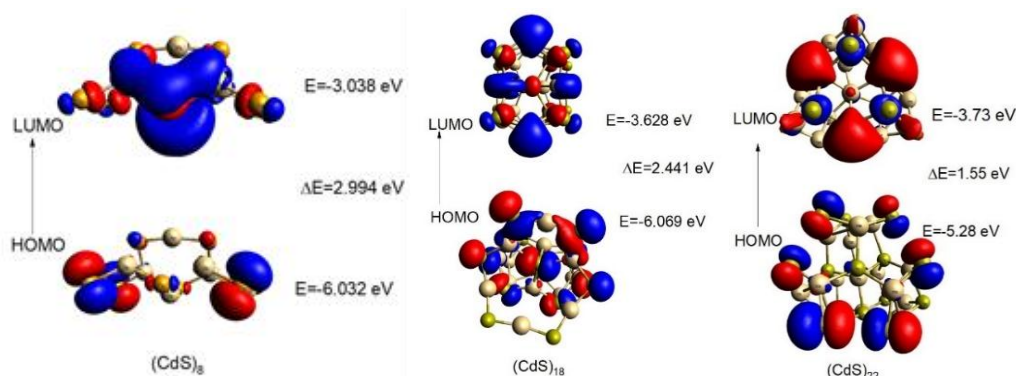
KNlarning taʼqiqlangan energetik hudud kengligi koʻrsatgichlari 2-tenglamaga muvofiq aniqlandi. Hisoblash natijalari 1-jadvalda keltirilgan.

$$E_g^* = E_g + \frac{h^3 \pi^2}{2R^2} \left(\frac{1}{m_e^*} + \frac{1}{m_h^*} \right) - \frac{1.8 e^2}{4\pi \epsilon_0 \epsilon_r R} \quad (2)$$

KNlarning ta'qiqlangan energetik hudud kengligi ko'rsatgichlari

KNlar	E_g^* (eV)
CdSe	2,2
CdS	2,38
ZnSe	2,7
ZnS	3,6
ZnSe/ZnS	2,23
CdSe/ZnS	2,42

CdS uchun klasterlar sonining oshishi bilan ta'qiqlangan energetik hudud energiyasining (ΔE) kamayishi kuzatildi (HOMO-LUMO farqi, 3-rasm): $(CdS)_8$ uchun 2.994 eV; $(CdS)_{18}$ uchun 2.441 eV; $(CdS)_{22}$ uchun 1.55 eV, bu qiymatlarning o'zgarishi Cd atomlarining 3d va S atomlarining 2p orbitallari hisobiga vujudga kelishi aniqlandi.



3-rasm. CdS 8, 18 va 22 tali klasterlarning HOMO-LUMO qiymatlari.

Stabilizator molekullari bilan qoplangan $(CdSe)_{17}$ klasterlarining maqbullashtirilgan molekulyar geometriyasining ko'rsatilishicha Cd-Se bog'lari stabilizatorsiznikidan uncha farq qilmaydi. Organik molekulaning ishtiroki kimyoviy bog'ni uzaytirishga va elektron bulut zichligining Cd-Se bog'iga yaqin hudud tomonga siljishga olib keladi. Natijalar 2-jadvalda keltirilgan.

 $(CdSe)_{17}$ klasterining turli stabilizatorlardagi bog' uzunligi va elektron bulut zichligi ko'rsatgichlari

Stabilizator	Cd-Se bog' uzunligi Å	Elektron bulut zichligi
Olein kislota (OK)	2,698	1,1789
Dodekantiol (DDT)	2,702	1,0932
Dodetsildigidro lipoat kislota efiri (DL)	2,778	1,7265
Sistein (Ss)	2,633	0,94256
Merktopropion kislota (MPA)	2,675	1,0012

Turli tiol guruh saqlagan stabilizatorli ZnSe/ZnS KNlar uchun ham kvant - kimyoviy parametrlar hisoblandi. Stabilizatorli gibrid KNlarning kvant-kimyoviy parametrlari B3LYP/def2-TZVP usulida hisoblab chiqildi. Hisoblangan kvant-

kimyoviy parametrlar, ya'ni HOMO va LUMO energiyalari va ular asosida aniqlangan umumiy energiya (ΔE), elektronga moyillik (A), elektromanfiylik (χ), ionlanish potentsiali (I), kimyoviy potentsial (μ_p), ko'rsatgichlari 3-jadvalda keltirilgan.

3-jadval.

Turli tiol guruh saqlagan stabilizatorli KNlarning kvant-kimyoviy parametrlari

Kvant nuqtalar	E_{HOMO} , (eV)	E_{LUMO} , (eV)	ΔE , (eV)	I , (eV)	A , (eV)	χ , (eV)	μ_p , (eV)
ZnSe/ZnS DDT	-4,96	-1,71	3,25	4,96	1,71	3,33	-3,33
ZnSe/ZnS Ss	-4,35	-2,09	2,26	4,35	2,09	3,22	-3,22
ZnSe/ZnS MPA	-3,94	-1,76	2,18	3,94	1,76	2,85	-2,85

Olingan natijalar asosida «Chem Office» dasturidan foydalanib, ba'zi bir kvant kimyoviy hisoblashlar amalga oshirildi, xususan, dipol momenti (D), energiyaning o'rtacha kvadratik qiymati (E), boshlang'ich tebranish energiyasi (E_k) va shuningdek, ayrim termodinamik parametrlar: molyar hajm (V), issiqlik sig'imi (C_v), hamda termodinamik funktsiyalar, ya'ni ichki energiya (ΔU), entropiya (ΔS) o'zgarishi aniqlandi. Hisoblash natijalari 4 - va 5- jadvallarda keltirilgan.

4-jadval.

“Chem office” dasturi asosidagi turli tarkibli KNlarning kvant-kimyoviy hisoblash natijalari

Modda	D , (Debay)	E , (Kkal/mol)	E_k , (Kkal/mol)
CdSe/ZnS	8,115	12,233	617,3103
CdSe/CdS	7,923	12,027	603,7405
ZnSe/ZnS	7,17	11,856	598,6392
CdSe/CdS/ZnS	11,32	15,478	741,6548
CdSe/ZnS/ZnS	10,97	15,017	727,6589

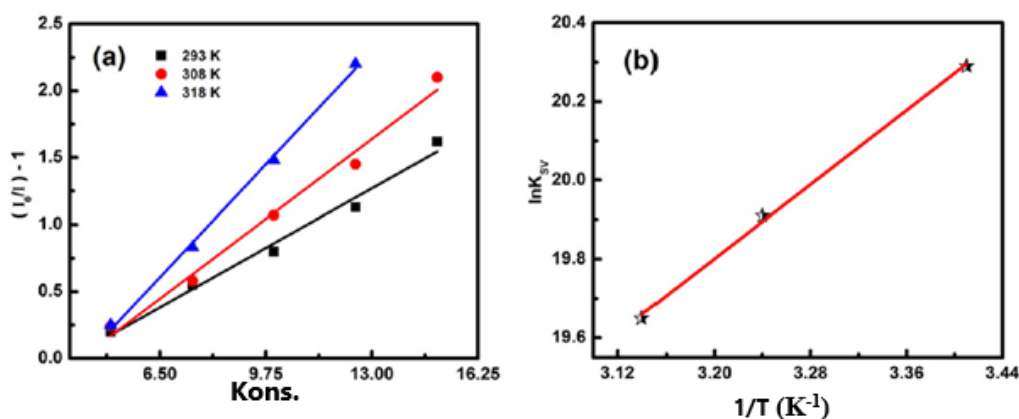
5-jadval.

“Chem office” dasturi asosida turli tizimli KNlar uchun aniqlangan termodinamik ko'rsatgichlar

KNlar	V , (sm^3/mol)	C_v , (Kkal/mol.Kelvin)	ΔU , (Kkal/mol)	ΔS , (Kkal/mol.Kelvin)
CdSe/ZnS	4253,88	117,873	637,22	169,65
CdSe/CdS	4132,52	114,027	629,74	164,927
ZnSe/ZnS	4078,49	109,856	622,37	159,865
CdSe/CdS/ZnS	5369,74	129,478	745,69	229,741
CdSe/ZnS/ZnS	5285,33	127,414	729,55	228,658

Kvant-kimyoviy hisoblashlar qatorida ZnSe/ZnS KN lar va DDT molekullari o'rtasida o'zaro ta'sir kuchlar (bu vodorod bog'lari, Van der Vaals kuchlari yoki elektrostatik o'zaro ta'sirlar) mavjudligini baholash termodinamik funktsiyalar — entalpiya (ΔH) va entropiya o'zgarishi (ΔS) Vant Goff tenglamasi (3) asosida hisoblab chiqildi. Hisoblash natijalari qiymatlari Stern-Volmer (4a-rasm) va Vant-Goff (4b-rasm) bog'liqlik grafiklarida keltirilgan.

$$\ln K_{SV} = -\frac{\Delta H}{RT} + \frac{\Delta S}{R} \quad (3)$$



4-rasm. Turli haroratda ZnSe/ZnS KNIlar konsentratsiyasining DDT stabilizatori muhitida o‘zgarish grafiklari.

K_{SV} , ΔH va ΔS qiymatlari ushbu grafiklarning kesishish nuqtalari tangensi asosida hisoblab chiqilgan bo‘lib, ular 6-jadvalda keltirilgan. Gibbsning erkin energiya o‘zgarishi (ΔG) ham quyidagi 4-tenglamaga muvofiq hisoblab chiqilgan:

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S \quad (4)$$

6-jadval

ZnSe/ZnS (DDT) KNIlari tizimida Stern-Volmer assotsiatsiya doimiysi (K_{SV}) va termodinamik parametrlar nisbiy ko‘rsatkichlari

Sistema	ZnSe/ZnS		
T(K)	293	308	318
$K_{SV} (\cdot 10^9 \text{ l Mol}^{-1})$	0.0342	0.0459	0.0650
$\Delta H (\text{kJ Mol}^{-1})$	-19.52	-17.96	-15.44
$\Delta G (\text{kJ Mol}^{-1})$	-49.37	-46.89	-42.91
$\Delta S (\text{J Mol}^{-1}\text{K}^{-1})$	101.88	103.63	107.55

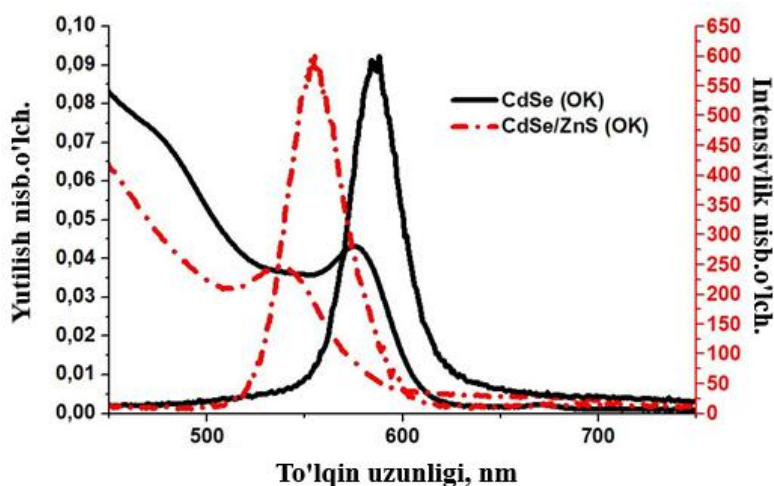
ΔG va ΔH ning manfiy, ΔS ning esa musbat qiymatga ega bo‘lishi merkaptopropion kislotasi bilan qoplangan “yadro-qobiq” tizimli KNIlarning DDT bilan bog‘lanish jarayoni o‘z-o‘zidan sodir bo‘lishini va bu bog‘lanish kovalent bo‘lmagan (Van der Waals) kuchlar orqali yuz berishini ko‘rsatadi. Ushbu jarayonlarda elektrostatik o‘zaro ta‘sir kuchlari va vodorod bog‘lanishlar ham muhim rol o‘ynashi mumkin.

Dissertatsiyaning to‘rtinchi “**Kolloid kvant nuqtalarning optik-o‘lcham xossalari va modifikatsiyasi**” bobi olingan natijalar muhokamasiga bag‘ishlangan bo‘lib, KNIlarning yutilish va lyuminesentsiya, fluoretsentsiya spektrlari tahlili, optik-o‘lcham xarakteristikasi, “yadro/qobiq” tizimli gibrid KNIlarning optik-o‘lcham xossalari, modifikatsiyalangan gibrid hamda triplet tizimli “yadro/qobiq/qobiq” KNIlarning spektral o‘lcham parametrlari, trioktilfosfin stabilizatori bilan barqarorlashtirilgan gibrid CdSe/ZnS KNIlarning xossalari, nanozarrachaning o‘lchami va morfologiyasi hamda kinetik va termodinamik (umumiy sintez vaqti va haroratga bog‘liqligi) jarayonlari o‘rganilgan.

CdSe KNIlari sintezida olein kislotasi (OK) stabilizator sifatida qo‘llanilib, oktadetsen muhitida yuqori haroratda olib borildi. Olingan nanozarrachalarning lyuminesentsiya spektrida nisbiy intensivlik diapazoni 550-650 nm to‘lqin

uzunligiga mos keladi (5-rasm). Bu holat KNlar lyuminesentsiya spektrining intensivlik diapazoni simmetrikligidan hamda nanokristallar sirt yuzasida defektlarning juda kamligidan dalolat bermoqda. Ushbu tadqiqotlar gibrid “yadro/qobiq” tizimli CdSe/ZnS KNlari uchun ham bajarildi.

Ta’kidlash lozimki, yadro atrofida qobiqning o’stirilishi lyuminesentsiya intensivligini sezilarli darajada oshishiga olib kelmoqda. Shuningdek spektr maksimumini qisqa to’lqin uzunligi diapazoniga tomon siljiganligini kuzatish mumkin (5-rasm). Lyuminesentsiya spektri cho’qqisi 555 nm ga ko’chmoqda. CdSe va CdSe/ZnS KNlari yutilish spektrlarini qiyosiy taqqoslashdan yadro sirt yuzasida qobiq o’stirilgandan so’ng Bor eksitoni cho’qqisining qisqa hududga tomon siljiganini ko’rish mumkin (5-rasm).



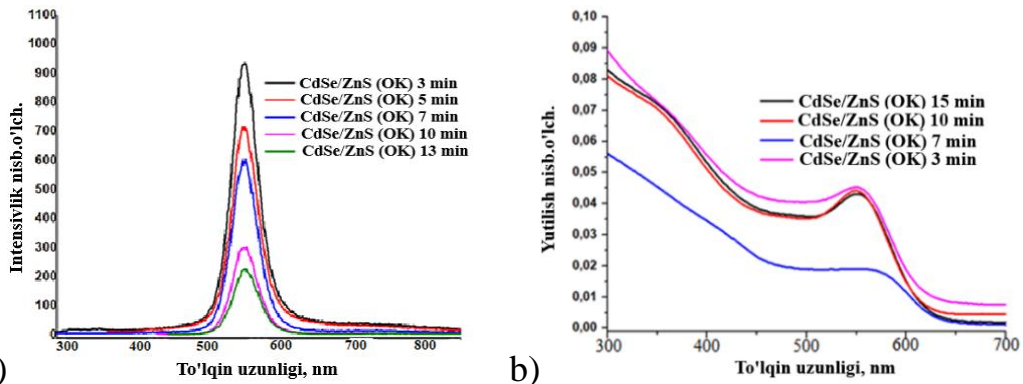
5-rasm. CdSe (OK) va CdSe/ZnS (OK) KN lari yutilish va lyuminesentsiya spektrlari.

CdSe nanokristallari asosida ZnS qobig‘i bilan qoplangan gibrid KNlarini sintez qilishda SILAR (Successive Ionic Layer Adsorption and Reaction) usuli qo’llanildi. Sintez jarayonida oltingugurt (S) prekursorini qo’shish vaqti turlicha (3, 5, 7, 10, 13 va 15 daqiqa) qilib o’zgartirildi. Natijada hosil bo’lgan KNlarning lyuminesentsiya intensivligida sezilarli o’zgarishlar kuzatildi, bu esa qobiq shakllanishining optik xossalarga ta’sir qiluvchi muhim omil ekanligini ko’rsatdi (6-rasm). Spektrlardan ko’rinib turibdiki sintez jarayoniga oltingugurt prekursorlari qo’shilish vaqtining oshishi bilan lyuminesentsiya intensivlik cho’qqisining pasayishi kuzatilmoqda. Jarayonda eng maksimal intensiv cho’qqining hosil bo’lishi reaksiya muhitga har 3 minutda prekursor qo’shib, sintez olib borilganda ijobiy samara berganligi qayd etildi. Prekursorni qo’shish vaqtining o’zgartirilishi yutilish spektrlarining to’lqin uzunligi diapazonining o’zgarishiga olib kelmasligi (6b-rasm), ya’ni yadro sirt yuzasida qobiqning o’sishi uning yutilish to’lqin uzunligiga ta’sir qilmasligi aniqlandi.

Tadqiqotimizda olingan barcha nanozarrachalarning kvant unumi 5-tenglama orqali aniqlandi:

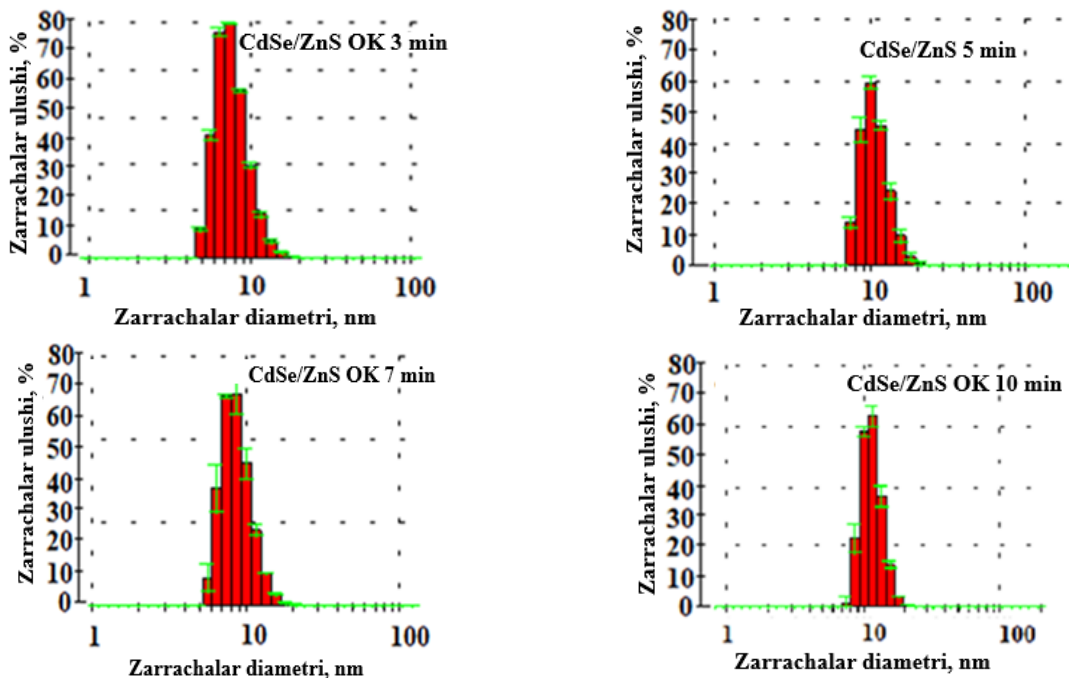
$$KU = KU_{rod} \cdot \frac{S_{KN}}{S_{rod}} \quad (5)$$

Natijalarga ko'ra, barcha turdagi KNLari yuqori monodisperslik darajasi, simmetrik spektral kenglik va nisbatan yuqori kvant unumligi bilan ajralib turadi. Ayniqsa, ZnSe KNLari 43% ga teng kvant unumi va 27 nm spektral kenglik hamda eng samarali lyuminesstsent xususiyatlarga ega bo'ldi. ZnS KNLari ham yaxshi optik parametrlarni (lyuminesstsentiya cho'qqisi 582 nm, kvant unumi 40%) ko'rsatdi (7-jadval). CdS KNLari esa boshqa namunalar bilan solishtirilganda nisbatan past kvant unumiga (25%) ega bo'lsa-da, ularning spektral xossalari barqarorligi va nanozarracha o'lchamining bir xilligi saqlanib qolingan.



6-rasm. Gibril CdSe/ZnS KNLarining kinetik lyuminesstsentiya (a) va yutilish (b) spektrlari

CdSe/ZnS KNLari olein kislotasi bilan barqarorlashtirish jarayonida turli sintez vaqti uchun olingan nanozarrachalarning o'rtacha gidrodinamik o'lcham taqsimlanishi gistogramma ko'rinishi 7-rasmda keltirilgan. Sintez vaqti 3 min.da CdSe/ZnS uchun o'rtacha gidrodinamik o'lchami 7 nm, 5 min.da 9,1 nm, 7 min.da 9,3 nm, 10 min.da 11,2 nm tengligi aniqlandi. Sintez vaqtining oshishi nanozarrachalarning o'rtacha gidrodinamik o'lchamini ham oshishiga olib keldi.



7-rasm. Sintez jarayoni turli vaqtida olingan CdSe/ZnS (OK) KN larning o'rtacha gidrodinamik o'lcham taqsimoti

KNlarining fizik-kimyoviy xossalarini yaxshilash va ularning monodispers taqsimot barqarorligini oshirish maqsadida tiol guruh (-SH) saqllovchi dodekantiol (DDT) stabilizatorlar bilan modifikatsiyalash qo'llanildi. ZnS, ZnSe va CdS tarkibli kvant nuqtalari tiol guruhli stabilizatorlar ishtirokida sintez qilindi va ularning optik xossalari o'rganildi.

KNlar orasida CdSe (DDT) eng katta yutilish (574 nm) va lyuminesentsiya (590 nm) to'lqin uzunligiga ega bo'lib (7-jadval), bu uni kichik energiyali (qizil rangga yaqin) fotonlar bilan ishlovchi material sifatida ajratib turadi. Eng qisqa to'lqin uzunligiga esa ZnSe (DDT) ega (537;557 nm), bu esa ko'k-yashil spektr diapazoniga to'g'ri keladi. Spektral kenglik (FWHM) jihatidan CdSe va ZnSe KNlari eng tor (27 nm) qiymatga ega bo'lib, bu ularning monodispers ekanligiga va yoruqlik taqsimotining bir xilligiga ishora qiladi. CdS (31 nm) va ZnS (30 nm) esa biroz kengroq spektral kenglik ko'rsatadi, ya'ni nanozarrachalar o'lchami bo'yicha kattaroq dispersiya mavjudligini bildiradi.

Tadqiqotlarimizdagi KNlarning o'rtacha gidrodinamik o'lchami ularning yutilish spektridagi eksiton cho'qqisining holatiga qarab quyidagi 6-tenglama orqali aniqlandi. Hisoblash natijalari 7-8-9-jadvallarda keltirilgan.

$$D = (1.6122 \cdot 10^{-9}) \cdot \lambda^4 - (2.6575 \cdot 10^{-6}) \cdot \lambda^3 + (1.6242 \cdot 10^{-3}) \cdot \lambda^2 - 0.4277 \cdot \lambda + 41.57 \quad (6)$$

bunda D – nanozarracha diametri, λ – mos ravishda spektrlar maksimumlar to'lqin uzunligi.

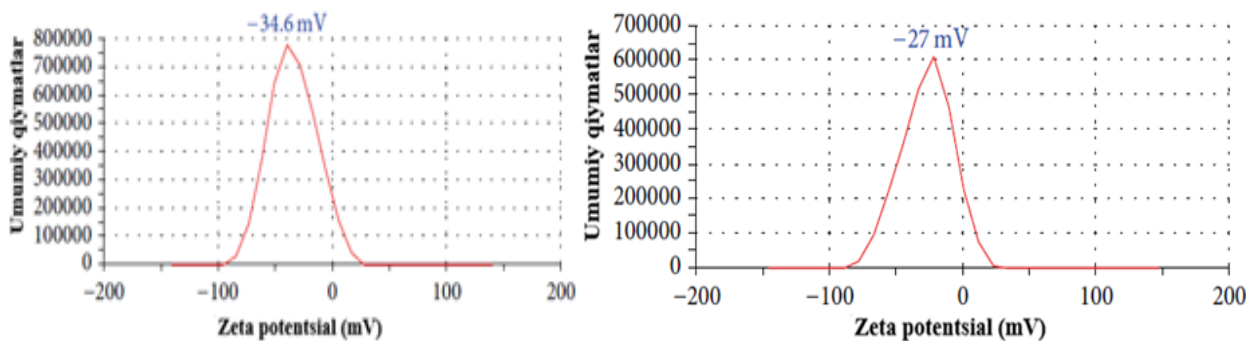
7-jadval.

CdSe, ZnS, CdS va ZnSe KNlarining optik-o'lcham parametrlari

KNlar	$\lambda_{yut}(nm)$	$\lambda_{lyum}(nm)$	FWHM (nm)	Diametr (nm)	Kvant unum (%)
CdSe DDT	574	590	27	3.5	37
ZnSe DDT	537	557	27	3.4	43
CdS DDT	547	563	31	3.7	25
ZnS DDT	565	582	30	4.1	40

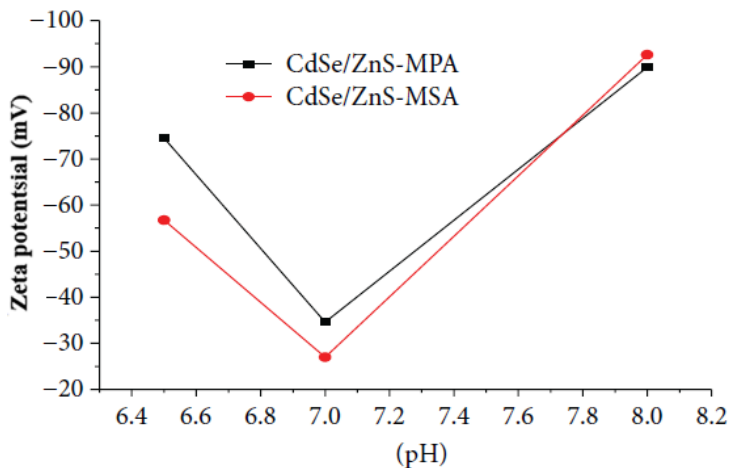
Tiol guruhli stabilizatorlar yordamida modifikatsiyalash KNlarining kolloid barqarorligini oshirib, ularning lyuminesentsiya samaradorligini saqlab qolishga va ba'zan yaxshilashga xizmat qildi.

8-rasmda merkaptopropion (MPA) va merkaptoyantar (MSA) kislotali CdSe/ZnS KNlarning dzeta potentsiallari keltirilgan, MPA yoki MSA bilan ligand almashinuvidan so'ng, hosil bo'lgan sistemalarning dzeta potentsiallari ko'rsatgichlari nisbatan chap tomonga siljib CdSe/ZnS-MPA uchun -34,6 mV (8a-rasm) va CdSe/ZnS-MSA uchun -27,0 mV (8b-rasm) qiymatlarga erishildi. Bu qiymatlar CdSe/ZnS ning tashqi sirt yuzalarida musbat ionli qatlamlar manfiy ionli qatlamlar bilan almashtirilganligini va ligand almashinuvi muvaffaqiyatli o'tganligini hamda hosil bo'lgan tizimlar juda barqarorligini tasdiqladi. KNlarning xuddi shu kontsentratsiyada pH ko'rsatkichlari uchun CdSe/ZnS-MSA ning mutlaq dzeta potentsiali qiymati CdSe/ZnS-MPA dan kichik bo'lganligi kuzatildi. Shunday qilib, CdSe/ZnS-MPA xloroform erituvchida yaxshi dispersiyalanishini namoyon etdi va ancha barqaror bo'lib bioamaliyotlar uchun ko'proq mos kelishi aniqlandi.



8-rasm. CdSe/ZnS-MPA (a) va CdSe/ZnS-MSA (b) uchun dzeta potentsial ko'rsatkichlari

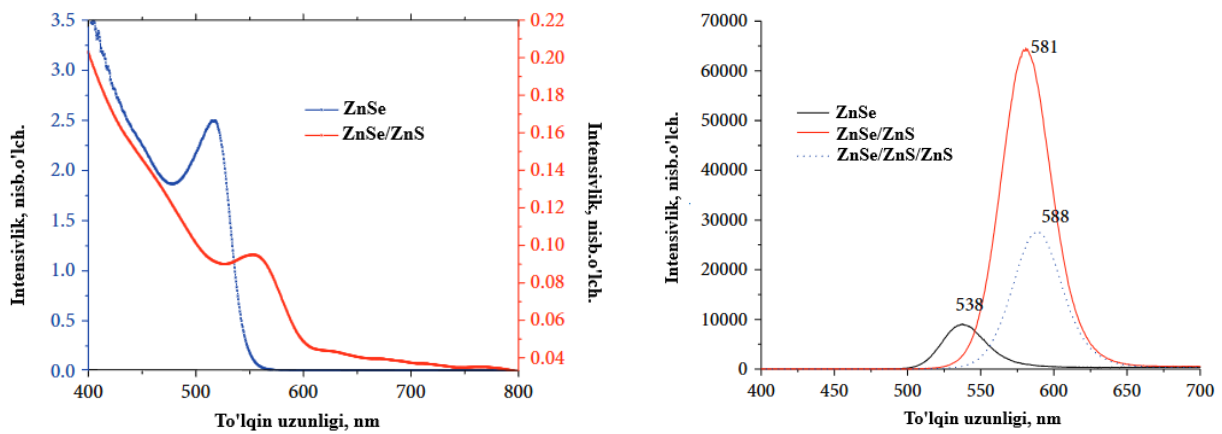
Bir xil kontsentratsiyali, lekin turli pH ko'rsatkichlarida kvant nuqtali eritmalar 9-rasmda ko'rsatilganidek, turli dispersiyali taqsimot va barqarorlikni ko'rsatishdi. Muhit pH ning kichik qiymatlari karboksil guruhlarining protonlanishiga, kuchliroq o'zaro ta'sirlarning rivojlanishiga va KNlarining suvda yaxshi dispersiyalanishiga yordam beradi; nanozarralar o'rtasidagi o'zaro kuchli itarish kuchlari tufayli, KNlari juda yaxshi barqarorlikni ko'rsatishdi. Biroq, yuqori protonlanish jarayoni kvant nuqtalarining salbiy sirt himoyasiga olib kelishi mumkin. Ushbu natijalarga asoslanib, pH ning neytral qiymati (pH=7) kvant nuqtalarning dispersiyasi va barqarorligi uchun eng qulay muhit ekanligi aniqlandi.



9-rasm. CdSe/ZnS-MPA va CdSe/ZnS-MSA uchun dzeta potentsialning pH ko'rsatkichga bog'liqligi

Yutilish va lyuminestsentsiya samaradorligini oshiradi. ZnSe yadrosining fotolyuminestsentsiya cho'qqisi ZnSe KNlarda 538 nm, ZnS qobiq o'stirgandan so'ng gibril ZnSe/ZnS KNlarda 581 nm va triplet ZnSe/ZnS/ZnS KNlarda 588 nm ga siljiydi (SILAR sikllariga bog'liq). Spektlar nanozarracha monodispersligini va simmetrik shaklini ko'rsatadi. Qobiq o'stirilishi lyuminestsentsiya intensivligini oshiradi, biroq qobiq qalinlashganda (ikki SILAR tsikli) intensivlik kamayadi, bu holat sirt nuqsonlarining ko'payishi bilan izohlanadi.

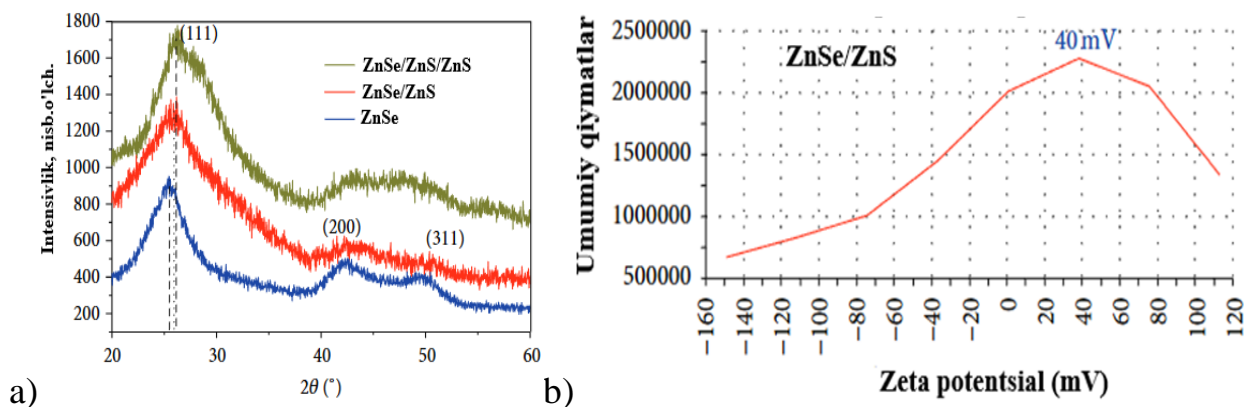
ZnSe va ZnSe/ZnS ning optik xususiyatlari ultrabinafsha nurda ko'rinadigan (UB-Vis) yutilish (10a-rasm) va fotolyuminestsentsiya (10b-rasm) spektrlari olindi. ZnSe/ZnS yadro/qobiq tizimli KNlarning yutilish cho'qqisi ZnSe yadrosiga nisbatan uzoqroq to'lqin uzunliklari diapazoniga siljiydi, bu qobiq hosil bo'lganini va nanozarracha massasining oshganini ko'rsatadi. Bu holat ZnSe/ZnS strukturasi



10-rasm. ZnSe, ZnSe/ZnS va ZnSe/ZnS/ZnS KNIlarning yutilish (a) va lyuminesentsiya (b) spektrlari

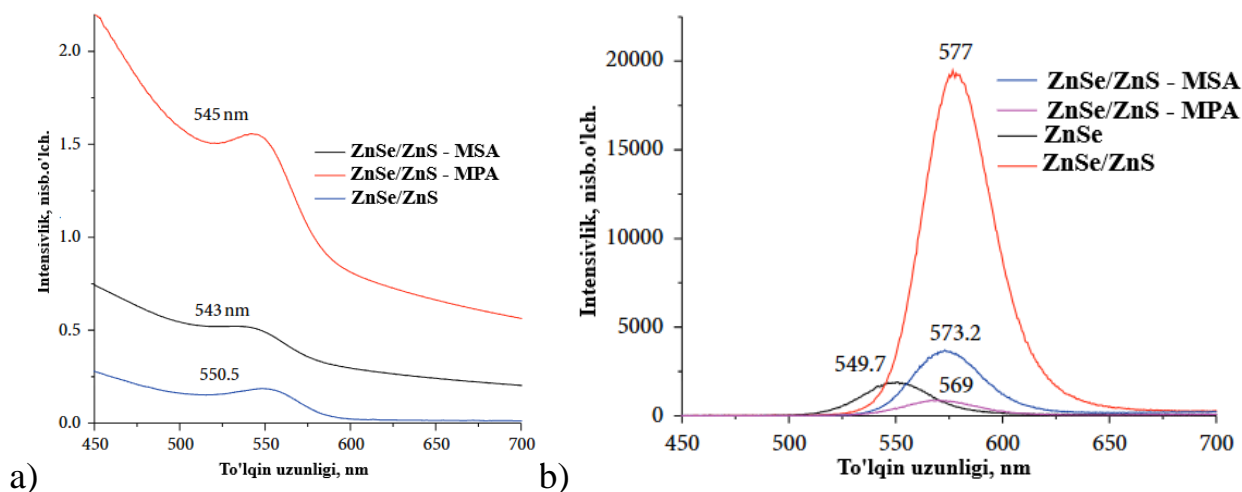
ZnS qatlamining kristall tuzilishi va barqarorligini aniqlashda rentgen difraktometriya (XRD) usuli qoʻllanildi. Olingan natijalar 11a-rasmda keltirilgan. Rux-prekursorlari strukturasi ZnSe yadrosining uchta tipik choʻqqisi $25,49^\circ$, $43,05^\circ$ va $49,73^\circ$ da koʻrinadi va mos ravishda (111), (200) va (311) panjara yoʻnalishlariga toʻgʻri keladi (11a-rasm). Yadro ZnS qatlami bilan qoplangandan soʻng hamma asosiy choʻqqilar oʻng tomonga qarab siljiydi. Qobiqlar soni ortib borishi bilan asosiy choʻqqilar asta-sekin odatiy ZnS tizimi tuzilishi tomon siljiydi.

ZnSe/ZnS KNIlarining barqarorligi dzeta potensial orqali baholandi. 11b-rasmda koʻrsatilgandek, dzeta potensial qiymati ~ 40 mV boʻlib, bu sirtning musbat ionlar bilan qoplanganini va yaxshi barqarorlikka ega ekanini koʻrsatadi. TOP (trioktilfosfin) sirt faol modda sifatida ishlatilganda, KNIlar xloroformda yaxshi eriydi va nanozarrachalar oʻtasidagi statik itarish ancha kuchli boʻlishi aniqlandi.



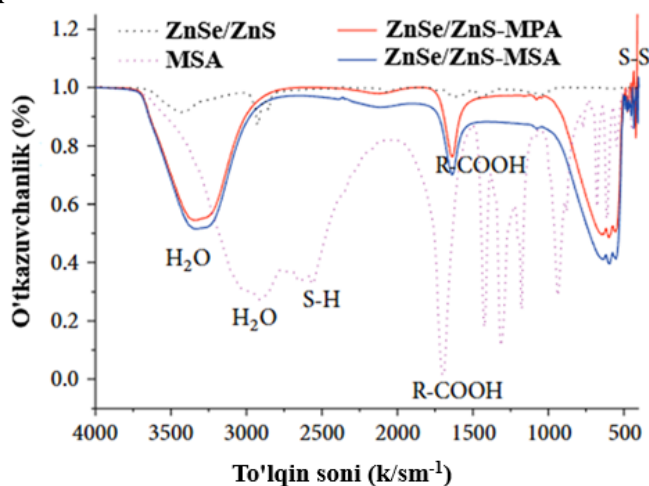
11-rasm. ZnSe va ZnSe/ZnS, ZnSe/ZnS/ZnS KNIlarining rentgen difraksiyon (XRD) spektrlari (a) hamda ZnSe/ZnS kvant nuqtalarning dzeta potensial qiymati (b)

Trioktilfosfin stabilizatori MPA yoki MSA bilan almashtirilganda ZnSe/ZnS KNIlarining yutilish va fotolyuminesentsiya spektrlari maksimumi koʻk diapazonga siljiydi (12a,b-rasmlar). Bu siljish MPA va MSA molekularining TOP ga nisbatan kichikroq oʻlchamda boʻlishi bilan bogʻliq. Biroq, bu almashtirish lyuminesentsiya intensivligining sezilarli kamayishiga olib keladi.



12-rasm. ZnSe/ZnS MSA va ZnSe/ZnS MPA KNIlarning yutilish (a) hamda lyuminestsentsiya (b) spektrlari

ZnSe/ZnS-MPA va ZnSe/ZnS-MSA ning IQ-spektrlari (13-rasm) uchta asosiy maksimumga ega bo‘lib, TOP stabilizatori MPA yoki MSA bilan almashtirilganda $1700 \pm 10 \text{ cm}^{-1}$ da karboksil (-COOH) guruhining kuchli yutilishi kuzatiladi. Ligand almashinuvi ZnS yuzasidagi tiol (-SH) guruhlari orqali sodir bo‘ladi, bu 1289 cm^{-1} dagi -SH cho‘qqisining yo‘qolishi va $450\text{--}500 \text{ cm}^{-1}$ da S-S bog‘lanishining paydo bo‘lishi bilan tasdiqlanadi. Shuningdek, 3303 cm^{-1} da -OH guruhining yutilish cho‘qqisi suvda yaxshi dispersiyalanishni ko‘rsatadi. Bu xususiyatlar ZnSe/ZnS-MPA (yoki MSA) KNIlarini biosensordlarda bioagentlar qatorida ishlatish imkonini beradi.



13-rasm: KNIlarining MPA va MSA bilan funktsionallashtirilgandan oldin va keyingi IQ-spektrlari.

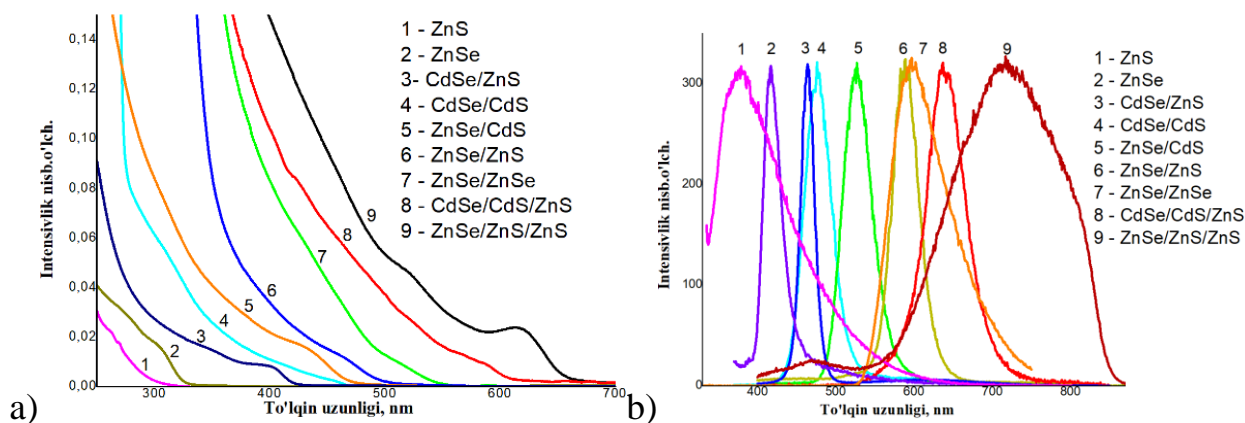
Sherrer yoki Vulf-Bregg tenglamalari (7-tenglama) yordamida hisoblangan kristall o‘lchami transmission elektron mikroskopi (TEM) natijalariga mos keladigan o‘rtacha zarracha o‘lchami 4,5-6,2 nm ekanligini ko‘rsatdi.

$$d = \frac{K\lambda}{\beta \cos\theta} ; d = \frac{n\lambda}{2\sin\theta} \quad (7)$$

Olingan nanozarrachalarning “yadro/qobiq” tuzilishli CdSe/CdS KNlar sirt yuzasida ZnS qatlamining o‘stirilishi sferik shaklning saqlanib qolingani va o‘lchamning o‘zgarmaganligini ko‘rsatdi. Shu bilan birga nanozarrachalarning monodispersligi ham saqlanib qolinadi. Hisoblashlar natijasi CdSe/CdS KNlar o‘lchami 3.1 nm, CdSe/CdS/ZnS KNlar o‘rtacha o‘lchami 3,9 nm. ekanligini bildiradi.

Tadqiqotlarga ko‘ra, rux sulfidi, kadmiy selenid uchun eng yaxshi qobiq hisoblanadi. Biroq, olingan natijalar shuni ko‘rsatdiki rux sulfidi faqat kadmiy selenidning kichik yadrolarida ($d(\text{CdSe}) < 2 \text{ nm}$) samarali o‘sadi. Shu bois tadqiqotlarimizda CdSe va ZnS yadrolari orasida kadmiy sulfidning oraliq qatlamini ham o‘stirish orqali ko‘p komponentli triplet KNlar olindi.

Lyuminescent gibril va triplet KNlarining optik-o‘lcham xossalari alohida tozalash va ajratish bosqichidan so‘ng o‘rganildi. Tadqiqotlarda Cd:Se va Zn:S ionlari nisbati mos ravishda 1:1 va 1:0,9 ni tashkil etdi. Cd:Zn ionlari nisbatini o‘zgartirish orqali muayyan o‘lchamli va spektrning turli sohalarida lyuminesentsiya beruvchi nanotizimlar olindi. Cd:Zn nisbati 1:13–1:10–1:8 oraliqda o‘zgartirilganda lyuminesentsiya piki (14a-rasm) mos ravishda 476–526–588 nm diapazonida siljiydi. Namunalarning yutilish spektrlari $< 350 \text{ nm}$ to‘lqin uzunliklarida kuchli yutilishni namoyon etadi, bu holat ZnS qobig‘ining sezilarli qalinligi bilan bog‘liq. Biroq, lyuminesentsiya spektrlari bu sohada emissiya chizig‘ini namoyon etmaydi. Turli tarkibli KNlarning yutilish spektrlari maksimumlarini turli to‘lqin uzunligi diapazonida chiqqanligini ko‘rish mumkin (14b-rasm). Yadro sirt yuzasida qobiqlar sonining ko‘payishi, nanozarrachalarning o‘lchami va lyuminesentsiya to‘lqin uzunliklarini o‘zgarishiga olib keldi.



14-rasm. KNlar namunalarning yutilish (a) va lyuminesentsiya (b) spektrlari

Turli tizimli KNlarining lyuminesentsiya (λ_{em}) va yutilish (λ_{abs}) spektrlari maksimumlari taqqoslangandan ko‘rinib turibdiki (8-jadval), tarkib murakkablashgan sari to‘lqin uzunligi diapazoni o‘lchami ortadi. Eng yuqori lyuminesentsiya va yutilish spektrlari cho‘qqilari ZnSe/ZnS/ZnS tizimida kuzatiladi. ZnS esa eng kichik qiymatlarni ko‘rsatmoqda, bu natija oddiy tarkibli KNlarning optik xossalari kuchsizroq ekanligini bildiradi.

8-jadval.

Turli tarkibli KNlarning parametr ko'rsatgichlari

No	Tizimli KNlar	λ_{em}	λ_{abs}	Yarim kenglik	D, nm	Stabilizator	Sintez harorati, °C	Sintez vaqti, min
1	ZnS	380	306	107	5,4	Oleilamin, dodekantiol	220	20
2	ZnSe	417	394	28	6	Oleilamin	270	20
3	CdSe/ZnS	464	450	20	8,3	Olein kislota	300	60
4	CdSe/CdS	476	460	41	7	Olein kislota, dodekantiol	305	20
5	ZnSe/CdS	526	507	44	7,5	Olein kislota, dodekantiol	305	20
6	ZnSe/ZnS	588	565	42	8,7	Olein kislota, dodekantiol	305	20
7	ZnSe/ZnSe	597	570	89	7,8	Oleilamin, dodekantiol	220	60
8	CdSe/CdS/ZnS	640	616	58	11,7	Olein kislota, dodekantiol	265	2
9	ZnSe/ZnS/ZnS	727	690	37	11,9	Olein kislota, dodekantiol	250	15

Jarayon natijasida, S atomlari tizim yadrosiga diffuziyalanib kiradi va CdS hosil bo'lishiga olib keladi, bu esa spektral to'lqin uzunligining ko'k diapazon tomonga siljishiga sabab bo'ladi. 8-jadvalda keltirilgan fotolyuminesstsiya spektrlari CdSe/ZnS/ZnS KNlarining fotolyuminesstsiya intensivligi CdSe/ZnS KNlarga nisbatan ikki barobardan ko'proq ekani va spektrning yarim maksimum kengligi 21 nm ekanligi aniqlandi. Shuningdek, nanokristallarning absolyut fotolyuminesstsiya kvant unumdorligi CdSe/ZnS uchun 44% dan CdSe/ZnS/ZnS uchun 88% gacha oshgani kuzatildi.

9-jadval.

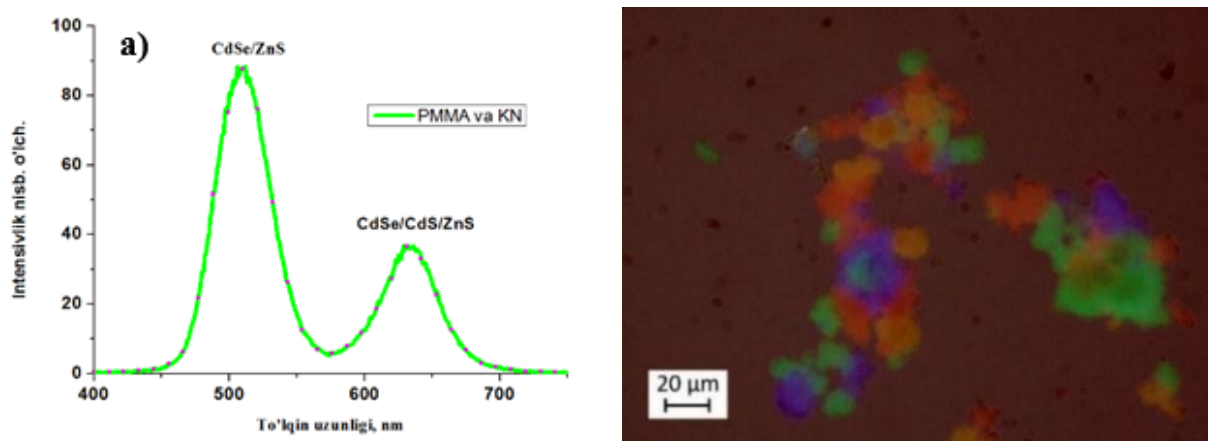
KNlar strukturasi o'lcham parametrlari hamda optik xossalariga ta'siri.

KNlar tizimi	Yadro radiusi (r)/qobiq qalinligi (H) (nm nm ⁻¹)	Umumiy diametri (D, nm)	FL cho'qqisi /FWHM (nm ⁻¹)	Kvant unumi (%)	$\tau_0(ns)$	$\tau_1(ns)$	$\tau_2(ns)$
CdSe/CdS	4.5/0	9±0.45	521/22	44	10.3	3.4	0.054
CdSe/ZnS	4.5/1.3	12±0.45	517/21	75	12	6.0	0.021
CdSe/ZnS/ZnS	4.5/1.9	13±0.45	515/21	88	14.8	7.2	0.008
CdSe/CdS/ZnS	4.5/2.2	13.6±0.45	514/21	82	12.9	6.4	0.014

Keyingi izlanishlarda triplet tuzilishli CdSe/ZnS/ZnS KNlarning optik-o‘lcham xossalari o‘rganildi. ZnS qobig‘i o‘shish bosqichida S anioni Zn kationiga nisbatan ko‘proq bo‘lishi aniqlandi (9-jadval).

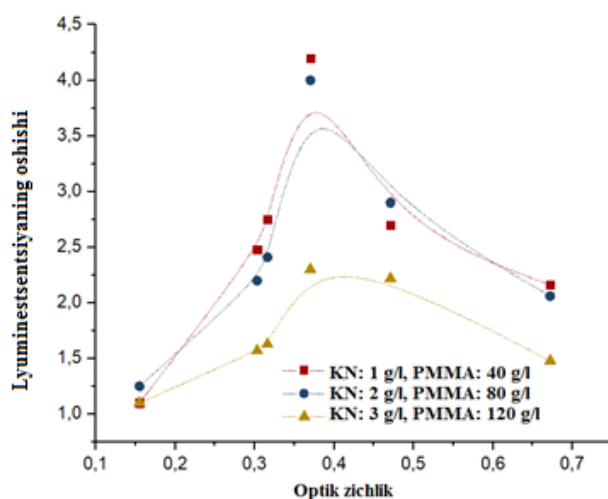
Dissertatsiyaning “**Polimer matritsalaridagi kvant nuqtali kompozitlar va trasserlarning amaliyotda tadbiri**” nomli beshinchi bobida CdSe/ZnS va CdSe/CdS/ZnS KNlar hamda PMMA matritsasi asosida kompozit materiallar olish, gibridd CdSe/ZnS KNlarni Poli-(9,9-di-n-oktilfluorenil-2,7-diil (PFO) matritsasiga kiritish, CdSe/CdS KNlari va poli-(9,9-di-n-oktilfluorenil-2,7-diyl) (PFO) hamda poly(n-vinilkarbazol) polimerlari bilan nanokompozitlar olish, KNlari bilan neft mahsulotlarini markerlashda qo‘llanilishi bayon etilgan.

CdSe/ZnS va CdSe/CdS/ZnS KNlar hamda PMMA matritsasi asosida nanokompozit materiallar olish. CdSe/ZnS ($\lambda=510$ nm, yashil) va CdSe/CdS/ZnS ($\lambda=640$ nm, qizil) kvant nuqtalarining lyuminesentsiya intensivlik spektri simmetrik bo‘lib (15a-rasm), PMMA polimeriga funktsionilizatsiyalangandan keyin KNlarning spektral cho‘qqilari o‘zgarmaganligi kuzatildi. Buning asosiy sababi KNlar tarkibining o‘zgarmaganligi bilan izohlanishi mumkin. Optik mikroskop tasviridan ko‘rinib turibdiki (15b-rasm) yashil va qizil rangli kvant nuqtalar PMMA polimeriga modifikatsiyalangandan dalolat bermoqda. Bunday 2 kodli kvant nuqtalardan hozirgi vaqtda trasser texnologiyalarida keng foydalanilmoqda.



15-rasm. PMMA matritsasidagi KNlarning lyuminesentsiya spektrlari (a) va optik mikroskoplil tasviri (b).

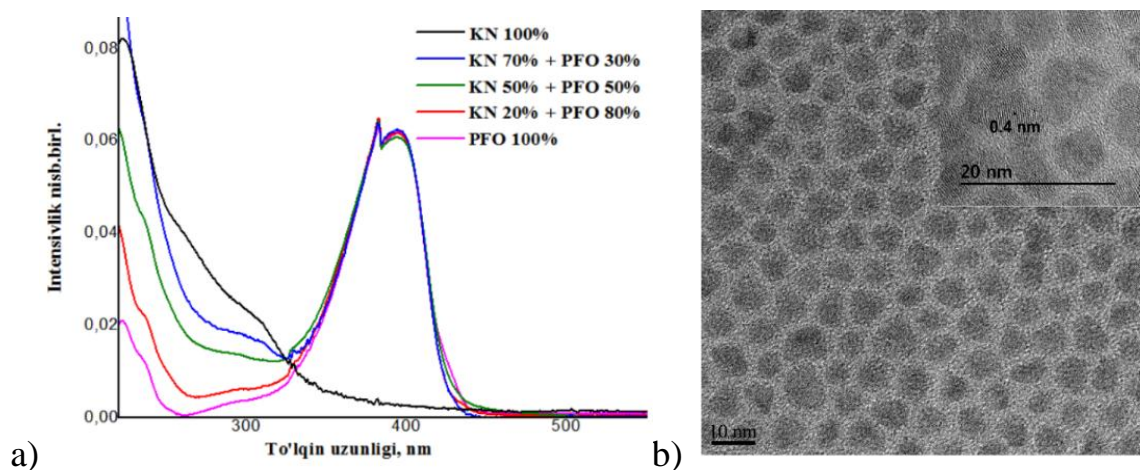
CdS/ZnS va ZnSe/CdS/ZnS KNlar asosida olingan PMMA nanokompozit plyonkalari (mos ravishda $\lambda_{qoz'g'}$ = 275 nm. hamda λ_{nurl} = 465 nm va 545 nm da) lyuminesentsiya intensivligining konsentratsiyaga bog‘liqligi 16-rasmda berilgan. Plyonkalarining qo‘zg‘alish spektrini o‘rganish jarayonida PMMA matritsasidagi KNlarining har ikkala turi ($\lambda_{qo'zg'}$ = 275 nm) da ham o‘xshash qo‘zg‘alish spektral maksimumlariga ega ekanligi aniqlandi. Namunadagi KNlar lyuminesentsiyasining nazoratli namunaga nisbatan to‘rt karra ortishi optik zichligi 0,35 bo‘lgan matritsada amalga oshishi aniqlandi. Turli to‘lqin uzunligidagi KNlarning PMMA polimer matritsasida kiritilganidan keyingi optik spektrlari ham olindi (16-rasm). Bunday tasvirlar KNlarning polimerdagi o‘lchamli taqsimoti, dispersiyasi, agregatsiyasi va optik faolligini baholaydi.



16-rasm. CdS/ZnS va ZnSe/CdS/ZnS KNlar asosida olingan PMMA nanokompozit plyonkalari lyuminestsentsiya intensivligining optik zichlikka bog‘liqligi.

Tadqiqotlarda turli to‘lqin uzunliklarda (ZnSe/ZnS 520 nm – yashil, ZnSe/ZnSe 580 nm – sariq, ZnSe/ZnS/ZnS 620 nm – qizil) nurlanuvchi KNlaridan ham foydalanildi. CdSe/ZnS KNlar va PFO matritsasi asosida kompozit materiallar olish. Yutilish spektridan PFOli nanokompozit 400 nm da intensiv maksimum pik hosil qilganligini ko‘rish mumkin. CdSe/ZnS KNlarda yutilish spektrlari to‘lqin uzunligi 350 nm hududgacha siljigan (17a-rasm). Kompozitlarda PFO ning yutilishi juda aniq bo‘lib KNlardan signal uning konsentratsiyasining pasayishi bilan asta-sekin kamayadi. 17a-rasmda KNlar va PFO li kompozitning lyuminestsentsiya spektrlari keltirilgan bo‘lib, ular KNlarning yutilish to‘lqin uzunligi (300 nm) va PFO (400 nm) da qo‘zg‘atish diapazonida olingan. 432 va 458 nm diapazonda joylashgan tor cho‘qqilar PFO ning nurlanishiga to‘g‘ri keladi.

Olingan CdSe/ZnS KNlar va PFO li kompozitlarining TEM tasviri (17b-rasm) ko‘rsatilgan. TEM tasvirdan ko‘rish mumkinki olingan nanokompozitlarning o‘lchami 6.4 nm ni tashkil qilmoqda.

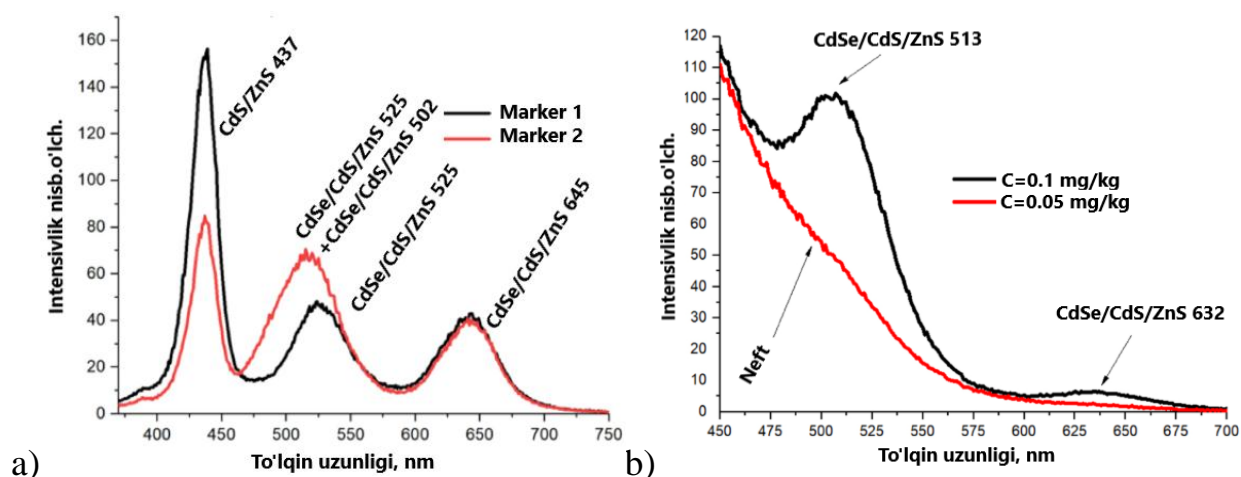


17-Rasm. CdSe/ZnS KNli plyonkalarining va PFO li nanokompozitlarning yutilish, lyuminestsentsiya spektrlari (a) hamda TEM tasviri (b)

Keyingi tadqiqotlarimizda yonilg‘i va boshqa mahsulotlarni qalbakilashtirishdan himoya qilish maqsadida, turli to‘lqin uzunliklarida va

lyuminesentsiya vaqti davomiyligida emissiyalanuvchi, bir necha KNlarni o'z ichiga olgan kompozitlar uchun markirovka vositasi sifatida qo'llash imkoniyatiga erishildi, spektrlari olindi (18a,b-rasm). Lyuminesentsiya spektroskopiyasi asosida KNlarni o'z ichiga olgan markerlarning benzin muhitidagi aniqlanish kontsentratsiyasi 0,1 mg/kg dan past ekanligi o'rnatildi. Bu ko'rsatgich ilgari o'rganilgan analoglarga nisbatan 1,5–2 barobar kichik qiymatni tashkil etmoqda. Spektral tahlillar natijalariga ko'ra (18a-rasm), 513 nm va 632 nm to'lqin uzunliklarida kuzatilgan cho'qqilar CdSe/CdS/ZnS KNlarining lyuminesentsiyasi bilan bog'liq bo'lib, ular turli o'lcham yoki qobiq tuzilishga ega bo'lgan nanozarralardan kelib chiqadi. 513 nm diapazon atrofidagi nurlanish asosiy emissiya cho'qqisi hisoblanadi, 632 nm dagi nurlanish esa katta diametrli yoki ko'p qatlamli qobiq tuzilishiga ega bo'lgan KNlarning mavjudligini anglatadi. Shu bilan birga 475–500 nm diapazonida kuzatilgan keng fonli lyuminesentsiya yonilg'i (neft) tarkibidagi organik birikmalarning o'ziga xos nurlanishi bilan bog'liq. Bu holat marker lyuminesentsiyasining aniqlanishiga fon ta'sir ko'rsatishi mumkin bo'lsada, CdSe/CdS/ZnS KNlarining kattaroq to'lqin uzunliklari diapazonida joylashgan cho'qqilar ushbu fon ta'siridan ajralib turadi.

KNlar kontsentratsiyasining kamayishi ularning lyuminesentsiya intensivligiga sezilarli darajada ta'sir ko'rsatadi (18b-rasm). 0.1 mg/kg kontsentratsiyada lyuminesentsiya 513 nm da yaqqol cho'qqi hosil qilgan bo'lsa, 0.05 mg/kg da bu cho'qqining intensivligi ancha pasaygan. Shunga qaramay, kichik kontsentratsiyada ham marker signalining aniqlanishi mumkinligi, bu esa kvant nuqtalarining yuqori sezuvchanlikka ega indikator sifatida samarali qo'llanilishini ko'rsatadi.



18-rasm. KNlarining neft mahsulotlarini markerlashda qo'llanilishi.

Indikator tarkibidagi turli xil KNlarning o'zaro ta'siri va ularning eritma hamda benzin muhitidagi lyuminesentsiyasiga bo'lgan ta'siri tahlil qilindi. Spektroflyorimetriya usuli bilan aniqlanishi mumkin bo'lgan KNlarning benzin muhitidagi minimal kontsentratsiyasi va turli tipdagi KNlarning aralashmadagi optimal nisbatlari aniqlandi. Olingan natijalar xulosalanib yonilg'i mahsulotlarini yuqori darajada ishonchlik bilan himoya qilishda lyuminesent markerlar sifatida KNlar qo'llanilishi mumkin.

XULOSALAR

1. Organik erituvchilarda “yadro”, “yadro/qobiq” va “yadro/qobiq/qobiq” tizimli yarimo‘tkazgichli KNlarini bir bosqichli sintez qilish usulining maqbul sharoitlari aniqlandi. KNlarning spektral va morfologik xarakteristikalari, xususan o‘lchami 4–12 nm bo‘lgan, o‘rtacha taqsimot dispersiyasi 20% dan oshmaydigan nanozarralar olindi. CdSe yoki ZnSe yadrosi sirt yuzasida CdS yoki ZnS qobiq‘ining qatlamli o‘stirilishi 500–600 nm diapazonli fotolyuminesstsiya intensivligining oshishiga olib kelishi kuzatildi. Sintez qilingan namunalar 300–550 nm diapazonda Bor eksitoni yutilish cho‘qqisiga ega bo‘lib, 400–700 nm diapazonda lyuminesstsiya spektrlari qayd etildi.

2. Hidrofob stabilizator sifatida qo‘llanilgan olein kislota, TOP ligandi DDT, DDL, Ss, MPA, MSA kabi gidrofil reagentlar bilan almashtirish natijasida KNlarning suvli muhitda eruvchanligi va barqarorligining oshishi hamda nanozarralar sferik shaklining saqlanib qolingani qayd etildi. Modifikatsiyalash jarayonida kvant unumining erituvchi va stabilizator tabiatiga bog‘liq holda o‘zgarishi kuzatildi. Xususan, kvant unumining yuqori ko‘rsatkichi gibrid tizimli KNlar uchun 19 dan 92 % gacha oshganligi namoyon bo‘ldi.

3. Gibrid va triplet tipidagi tizimlarni hosil bo‘lish jarayoni Ostvald yetilish bosqichi orqali sodir bo‘lib, KNlarining barqarorligini oshirishga, shuningdek, ularning lyuminesstsiya intensivligini sezilarli darajada kuchaytirishga olib kelishi aniqlandi. KNlar sirtini modifikatsiyalashda, nanokompozitli tizimlarda dzeta potensial qiymatlari CdSe/ZnS-MPA uchun -34.6 mV va CdSe/ZnS-MSA uchun -27.0 mV ga yetdi, bu ligand almashinuvi muvaffaqiyatli o‘tganligini va yuqori barqarorligi tasdiqlandi va neytral pH=7 muhit kvant nuqtalarning tegishli dispersiyasi va barqarorligi uchun eng qulay sharoit ekanligi o‘rnatildi.

4. Funktsionallashtirilgan gibrid tizimli KKNlar klasterlarining optik-o‘lcham parametrlari kvant-kimyoviy hisoblash dasturlari asosida baholandi. CdSe klasterlarida 17 ta molekuladan tashkil topgan KN nanozarrachalari uchun “elektron – tirqish” juftligi uchun ta‘qiqlangan energetik hudud holati barqarorli ekanligi qayd etildi. $(\text{CdSe})_{17}$ sirtini ZnS bilan qoplash natijasida ta‘qiqlangan energetik hudud energiyasi 4,32 eV dan 3,46 eV gacha, turli organik birikmalar bilan barqarorlashtirish esa energiya qiymatini 4,46 eV dan 3,8791 eV gacha kamayishiga olib kelganligi aniqlandi, dipol momenti ko‘rsatkichi 7,17 (gibrid) dan 11,32 (triplet) gacha oshishi kuzatildi.

5. KNlar modifikatsiyasi jarayonida termodinamik funktsiyalar ko‘rsatkichlari ΔG (-49.37 kJ/mol dan -42.91 kJ/mol gacha) va ΔH (-19.52 kJ/mol dan -15.44 kJ/mol gacha) kamayishi, ΔS ($101.88 \text{ J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ dan $107.55 \text{ J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ gacha) ortishi sodir bo‘ldi. Jarayonlar kovalent bo‘lmagan ta‘sir kuchlar natijasida kechishi hamda sirt ta'sirlari hisobiga termodinamik qulayligini ko‘rsatdi.

6. KNlarning sirt yuzasida qobiq qatlami o‘stirilish jarayonlarida prekursorlarni qo‘shish vaqti o‘zgartirilganda (3, 7, 10, 15 minut), gidrodinamik o‘lchamlari oshib borishi (8,4 nm dan 10,4 nm) kinetik jihatdan asoslandi.

7. PMMA polimer matritsasiga CdSe va ZnSe hamda gibrid va triplet tipidagi KNlarini kiritish orqali ularning fotolyuminesstsiya xossalarini boshqarish

mumkinligi aniqlandi. KNlar konsentratsiyasining 0,001M dan 0,01M gacha oshirilishi fotolyuminestsentsiya intensivligining ortishiga olib keldi, biroq nanozarrachalarning ortiqcha konsentratsiyasi agregatsiya jarayoniga sabab bo'lib konsentratsion so'nish holatini yuzaga keltiradi.

8. KNlar va ular asosida olingan konyugatlar in vitro sharoitida konsentratsiya (0,01% dan 10% gacha) diapazonida bakterial patogenlarga nisbatan antibakterial faollikka ega ekanligi aniqlandi ($P \leq 0,05$). Klinik ma'lumotlar, funktsional va instrumental tekshiruvlar asosida tadqiq qilingan kvant nuqtalar va ular asosidagi konyugatlar 0,01% va undan past konsentratsiyalarda anatomik, funktsional, hujayraviy hamda to'qima darajasida xavfsizlik xususiyatlariga ega ekanligi ko'rsatildi.

9. Olingan nanokompozitlar farmatsevtika va biotexnologiya sohalarida muvaffaqiyatli amaliyotga joriy etildi. Jumladan, "BioXimMak" (Rossiya Federatsiyasi) va "Xinjiang Shafiya Biotexnology Co. Ltd." (Xitoy xalq respublikasi) korxonalarida farmatsevtik mahsulotlar sifatini monitoring qilish va antimikrob vosita sifatida qo'llanishi hamda yonilg'i mahsulotlarni qalbakilashtirishdan himoya qilish maqsadida «O'zbekneftgaz» AJ ga qarashli «Muborak gazni qayta ishlash zavodi» da amaliy ahamiyatini va yuqori samaradorligini isbotladi.

Dissertatsiya natijalari asosida O'zbekiston Respublikasining (foydali modelga) № FAP 2663 raqamli **patenti** olingan (2025 y).

**РАЗОВЫЙ НАУЧНЫЙ СОВЕТ НА ОСНОВЕ НАУЧНОГО
СОВЕТА DSc.03/31.01.2023.К/Т.78.01 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ
УЧЁНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ ТЕРМЕЗСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ
УНИВЕРСИТЕТЕ**

САМАРКАНДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ИШАНКУЛОВ АЛИШЕР ФАРМОНОВИЧ

**СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ ГИБРИДНЫХ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ
НАНОМАРКЕРОВ НА ОСНОВЕ КВАНТОВЫХ ТОЧЕК ДЛЯ
НЕФТЕХИМИИ И БИОМЕДИЦИНЫ**

**02.00.02 - Физическая химия
02.00.12 – Нанохимия, нанофизика и нанотехнологии**

**АВТОРЕФЕРАТ
ДИССЕРТАЦИИ ДОКТОРА ХИМИЧЕСКИХ НАУК (DSc)**

Термез – 2025

Тема докторской диссертации (DSc) зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Министерстве высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан за номером B2023.4.DSc/K175.

Докторская диссертация выполнена в Самаркандском государственном университете.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице Научного совета www.tersu.uz и на информационно-образовательном портале «Ziynet» (www.ziynet.uz).

Научный консультанты:

Галяметдинов Юрий Генадьевич
доктор химических наук, профессор

Мухамадиев Нурали Курбоналиевич
доктор химических наук, профессор

Официальные оппоненты:

Рузимурадов Олим Нарбесович
доктор химических наук, профессор

Акбаров Хамдам Икрамович
доктор химических наук, профессор

Атаханов Абдумуталиб Абдупаттоевич
доктор технических наук, профессор

Ведущая организация:

Институт общей и неорганической химии

Защита диссертации состоится «2» X 2025 г. в 1000 часов на заседании разового Научного совета при Научном совете DSc.03/31.01.2023.К/Т.78.01 Термезского государственного университета. (Адрес: 100174, г. Термез, ул. Баркамол авлод, 43. Тел.: (99876) 221-74-55, факс: (+99876) 221-71-17; e-mail: termizdu@gmail.uz).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Термезского государственного университета (зарегистрирована за № 314). (Адрес) Тел.: (99876) 221-74-55, факс: (+99876) 221-71-17; e-mail: termizdu@gmail.uz.

Автореферат диссертации разослан «10» IX 2025 г.
(реестр протокола рассылки № 1 «10» IX 2025 г.)



И.А. Умбаров
Председатель разового Научного совета по присуждению ученых степеней, д.х.н., профессор

Ш.А. Касимов
Ученый секретарь разового Научного совета по присуждению ученых степеней, д.х.н., профессор

Г.Ж. Мукумова
Председатель разового Научного семинара при разовом Научном совете по присуждению ученых степеней, д.х.н., профессор

ВВЕДЕНИЕ (аннотация докторской диссертации (DSc))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В эпоху развития науки и нанотехнологий в мире всё более расширяются возможности глубокого изучения физико-химических свойств квантовых точек (КТ) и их применения в прикладных областях, в частности, в нефтехимии и биомедицине. Размерно-зависимые оптические и люминесцентные свойства квантовых точек, возможность обеспечения селективности и биосовместимости путём модификации поверхности, делают их эффективными наномаркерами. В частности, гибридные и триплетные квантовые точки являются одним из важных направлений в области биомедицины, включая использование наномаркеров для маркировки биологических тканей, ранней диагностики онкологических заболеваний и контроля адресной доставки лекарственных препаратов. В то же время важна их роль как селективного сорбента или сенсора в нефтехимии, и они имеют большое значение как усилитель сигнала при определении компонентов композиционных материалов, контроле ионов в реакционной среде или анализе состава нефтепродуктов.

В последние годы научные исследования в области физхимии квантовых точек показали их широкое применение в различных областях, особенно в оптических устройствах, биомедицинской диагностике и мониторинге окружающей среды, благодаря их уникальным квантово-масштабным эффектам, сверхярким люминесцентным свойствам и фотостабильности. Они используются в биомедицине для прецизионной маркировки клеток, создания наносенсоров для датчиков и управления адресной доставкой лекарственных препаратов в ткани. В то же время исследования для нефтяной промышленности выявили проблемы качественного и количественного детектирования ионов и органических компонентов с помощью сенсоров на основе КТ, а также оптимизации каталитических процессов. В связи с этим флуоресцентные наномаркеры, созданные на основе гибридных и триплетных квантовых точек, находят применение в нефтехимии и биомедицине.

В последние годы в нашей республике активно ведутся научные исследования в области квантовых точек и физхимии наноматериалов. Изучаются люминесцентные, фотофизические и оптико-размерные свойства квантовых точек, таких как CdSe, CdS, ZnO, PbS, с акцентом на экологию, медицину и химическую промышленность, а также проводятся исследования по модификации их поверхности и использованию в качестве медицинских маркеров. Хотя в некоторых работах по нефтехимии имеются результаты по обнаружению примесей с помощью сенсоров на основе квантовых точек, исследования по комплексному использованию флуоресцентных наномаркеров, созданных на основе гибридных квантовых точек, в нефтяной и биомедицинской отраслях в Узбекистане пока находятся на стадии разработки.

Диссертация выполнена в соответствии с задачами, обозначенными в Указе Президента Республики Узбекистан за № ПП-4265 от 3 апреля 2019 года

«О мерах по дальнейшему реформированию химической промышленности и повышению ее инвестиционной привлекательности», за № ПП-4992 от 13 февраля 2021 года «О мерах по дальнейшему реформированию и финансовой устойчивости предприятий химической промышленности, развитию производства химической продукции с высокой добавленной стоимостью», за № ПФ 60 от 10 октября 2022 года «Об утверждении целевой программы стратегического развития химической и газохимической промышленности» и за № ПФ 60 от 28 января 2022 года «О Стратегии развития нового Узбекистана на 2022-2026 годы», постановлениях и других нормативно-правовых актах, связанных с данной деятельностью. Результаты исследования в определенной степени полезны.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологии в республике. Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий Республики VII. Химия, химическая технология и нанотехнология.

Обзор зарубежных исследований по теме диссертации. В последние годы научные исследования, направленные на получение люминесцентных наноматериалов на основе квантовых точек, проводятся в ведущих научных центрах и высших учебных заведениях мира, среди которых Университет Лихай (США), Университет Хьюстона (США), Технологический университет Лаппеенранты (Финляндия), Китайская академия наук (Китай), Технологический институт Toyota (Япония), Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова (Россия), Туринский политехнический университет в Ташкенте, Национальный университет Узбекистана им. Мирзо Улугбека и Самаркандский государственный университет им. Ш. Рашидова (Узбекистан).

Эффективность гибридных наноматериалов на основе квантовых точек в качестве биомаркеров, особенно их взаимодействие с белками и ДНК, модификация поверхности, коллоидная стабильность и люминесцентные свойства, привели к следующим результатам: синтезированы квантовые точки на основе различных полимеров (Казанский национальный исследовательский технологический университет, Россия), расширены возможности использования КТ в виде нанокапсул или объектов (Израильский университет в Иерусалиме, Чикагский университет, Кардиффский университет, Англия), определены кинетика затухания флуоресценции и термодинамика квантовых точек типа ядро/оболочка (Гейдельбергский университет, Германия), установлено взаимодействие квантовых точек с белками и полиэлектролитами с использованием спектроскопических и физико-химических методов (Индийский технологический институт Ропар, Индия).

В мире ведутся исследования, направленные на стабилизацию квантовых точек на основе полимеров в биосреде, снижение их токсичности и доставки к мишени, в том числе по следующим приоритетным направлениям: синтез квантовых точек на основе различных полимеров; расширение возможностей использования квантовых точек в виде нанокапсул или объектов; проведение исследований кинетики и термодинамики затухания флуоресценции

(термодинамических функций ΔG , ΔH , ΔS) квантовых точек типа ядро/оболочка типа CdSe/ZnS и InP/ZnS; получение нанокомпозитов на основе полимеров; создание стабильных систем на основе спонтанного и электростатического связывания систем.

Степень изученности проблемы. Сегодня во многих странах мира проводятся теоретические и практические исследования по получению наноструктурированных композитов на основе полупроводников и изучению их физико-химических свойств. Научные исследования квантовых точек начали развиваться в 1980-х годах. Впервые квантовые точки были получены физиками и определены их уникальные оптические свойства (Екимов, Брус, 1981–1993). В настоящее время применение квантовых точек широко изучаются в таких областях как в биосенсорике и диагностике. Высокая квантовая эффективность и долговременная стабильность квантовых точек открыли возможность их использования в качестве биомаркеров. Простой и весьма эффективный химический метод получения квантовых точек был предложен Мюрреем, Норрисом и Бавенди. Этот метод называется методом высокотемпературного коллоидного синтеза. В этом отношении значимы заслуги Гака В. Ю., Бричкина С. Б., Разумова В. Ф., Чэнь О., Чжао Д., Чауханя В. П., Цуй Д., Вонга Ч., Харриса Д. К., Чаусова Д. Н., Беляева В. В., Озчилика С. С., Галяметдинова Ю. Г., Шамилова Р. Р., Нугаевой А. А. и др. Помимо разработки методов синтеза квантовых точек, получены важные методические приложения по созданию новых композиционных материалов и внедрению наночастиц в системы управляемых устройств.

В Узбекистане определенный вклад в развитие этого направления внесли О.Н.Рузимуродов, Х.И.Акбаров, Н.Каттаев, Н.К.Мухамадиев, К.Ф.Халилов, А.А.Атаханов и другие, чьи исследования направлены на решение таких задач, как изучение методов синтеза квантовых точек, управление их оптико-размерными параметрами и очистка от различных примесей.

Тем не менее, на сегодняшний день остаются актуальными такие задачи, как совершенствование синтеза монодисперсных, стабильных квантовых точек с высокой квантовой эффективностью люминесценции, поиск новых методов синтеза, модификация поверхности наночастиц, получение полимерных нанокомпозитов на основе матриц (полиметилметакрилата (ПММА)), содержащих квантовые точки.

Связь диссертационного исследования с планами НИР высшего образовательного учреждения. Диссертационная работа выполнена в соответствии с планом научно-исследовательских работ Самаркандского государственного университета и Казанского национального исследовательского технологического университета Российской Федерации в рамках фундаментальных и прикладных проектов АЛМ-202310062531 «Новые методы синтеза, испытания и переработки природных и синтетических материалов» (2023-2024 гг.) и «Синтез и исследование оптических свойств галогенидных перовскитных квантовых точек, модифицированных органическими красителями» и 18-43-160009 «Синтез интеллектуальных материалов на основе КТ» (2019-2021 гг.).

Цель исследования: является синтез и характеристика физико-химических свойств флуоресцентных наномаркеров на основе гибридных квантовых точек для нефтехимических и биомедицинских применений.

Задачи исследования:

определение оптимальных условий одностадийного синтеза квантовых точек с системами «ядро/оболочка» и «ядро/оболочка/оболочка» коллоидным методом;

исследование оптико-размерных свойств и морфологии квантовых точек с гибридной и триплетной структурой;

оценка реакционной способности, энергий взаимодействия и структуры электронных облаков синтезированных кластеров квантовых точек с использованием квантово-химической теории функционала плотности;

расчет кинетики затухания флуоресценции и термодинамических функций (ΔG , ΔH , ΔS) квантовых точек, а также размера запрещенной энергетической зоны;

исследование модификации гидрофобных квантовых точек с участием различных стабилизаторов тиольных групп;

получение полимерных нанокомпозитов на основе ПММА, содержащих квантовые точки CdSe, CdSe/CdS, CdSe/ZnS, ZnSe/ZnS, CdSe/CdS/ZnS, CdSe/ZnS/ZnS, ZnSe/ZnS/ZnS; Изучить чувствительность и селективность многокомпонентных квантовых точек при контроле направления потока нефти спектроскопическими методами;

определение распределения и механизма действия квантовых точек в биологической среде «in vitro» и применение их на практике.

Объектами исследования являлись неорганические прекурсоры, органические растворители, квантовые точки со структурами «ядро», «ядро/оболочка» и «ядро/оболочка/оболочка», стабилизаторы, полимеры ПММА, ПВХ и ПФО.

Предмет исследования: синтез флуоресцентных наномаркеров на основе гибридных квантовых точек для нефтехимии и биомедицины, а также изучение их физико-химических и оптико-размерных свойств.

Методы исследования. Для определения структуры и свойства гибридных и триплетных квантовых точек различного состава, синтезированных в процессе исследования, использовались рентгеновская дифрактометрия, сканирующая электронная микроскопия, просвечивающая электронная микроскопия, атомно-силовая микроскопия, а также квантово-химические расчеты.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

разработан одностадийный метод получения квантовых точек со структурой «ядро/оболочка» и «ядро/оболочка/оболочка»;

доказано, что триплетные структуры ZnSe/ZnS/ZnS обладают более высокой интенсивностью фотолюминесценции, чем моно- и гибридные системы;

установлено, что изменение морфологических и физико-химических параметров квантовых точек позволяет увеличить их люминесцентную эффективность от 17% до 89%;

впервые кванто-химическими методами расчета определены параметры стабильности и оптико-размерные свойства кластеров квантовых точек с гибридными CdSe/ZnS, CdSe/CdS, ZnSe/ZnS, триплетными CdSe/CdS/ZnS, CdSe/ZnS/ZnS, «ZnSe/ZnS/ZnS+стабилизатор» системами;

получены тонкослойные нанокompозитные материалы с матрицами ПММА, ПФО, ПВХ, содержащие гибридные и триплетные квантовые точки;

на основе синтезированных гибридных и триплетных квантовых точек созданы наносистемы для переноса лекарственных препаратов и маркеры для определения направления потока нефти.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

разработан одностадийный метод синтеза квантовых точек CdSe, CdS, ZnSe, гибридных и CdSe/ZnS, CdSe/CdS, ZnSe/ZnS, триплетных квантовых точек CdSe/CdS/ZnS, CdSe/ZnS/ZnS, ZnSe/ZnS/ZnS;

на основе анализа спектров поглощения и флуоресценции, а также физико-химических свойств гидрофобные коллоидные системы квантовых точек превращены в гидрофильные системы (с додекантиолом, эфиром додециллипоевой кислоты, цистеином); получены тонкослойные нанокompозитные материалы на основе ПММА, ПФО, ПВХ, содержащие гибридные и триплетные квантовые точки;

показано применение полученных люминесцентных квантовых точек в качестве наномаркеров для детектирования органических веществ и в трассерной технологии, а оптико-размерные характеристики ядерных, гибридных и триплетных квантовых точек включены в международную базу данных.

Достоверность результатов исследования. Обоснованность выводов и рекомендаций, а также идентификация полученных соединений доказаны с использованием высокосовременных физических и физико-химических методов исследования (рентгеновская дифрактометрия, сканирующая электронная микроскопия, просвечивающая электронная микроскопия, атомно-силовая микроскопия, методы квантово-химических расчетов).

Научная и практическая значимость результатов исследования.

Научная значимость результатов исследований обусловлена тем, что разработаны оптимальные условия синтеза квантовых точек с гибридными и триплетными системами, их модификация, обоснование квантово-химических расчетов, а также изучение таких процессов, как повышение их стабильности за счет наращивания оболочек на поверхности ядра, взаимодействие с биомолекулами или потоками нефтяных углеводородов, математическое моделирование и научное прогнозирование процессов в реальных системах, обогащение данных по оптико-размерным свойствам КТ.

Практическая значимость результатов исследований заключается в разработке методологии модификации синтезированных квантовых точек различными системами, создании базы для их практического применения; они

используются в качестве контрастного агента для идентификации и характеристики клеток и тканей, в адресной доставке лекарств, в биосенсорике для детекции биомолекул и токсичных соединений, в качестве флуоресцентных маркеров; служат для контроля потоков нефтепродуктов и оценки их направления.

Внедрение результатов исследования. На основе научных результатов, полученных при исследовании флуоресцентных наномаркеров гибридных и триплетных квантовых точек для нефтехимии и биомедицины:

метод получения коллоидных квантовых точек внедрен на предприятии «БиоХимМак» (Справка за № 93/77 предприятия «БиоХимМак» (Россия) от 25 мая 2025 г.). В результате удалось значительно повысить качество фармацевтических препаратов и оптимизировать процесс их производства;

метод получения «in vitro» в биологической среде внедрен на предприятии «Xinjiang Shafiya Biotechnology Co. Ltd.» (Справка за № 15/2025 предприятия «Xinjiang Shafiya Biotechnology Co. Ltd.» (Китай) от 15 марта 2025 г.). В результате удалось использовать квантовые точки в качестве антимикробных агентов; Метод коллоидного синтеза квантовых точек был внедрен на Мубаракском газоперерабатывающем заводе АО «Узбекнефтегаз» (Справка за № 981/ГК-07 АО «Мубаракский газоперерабатывающий завод» от 22.07.2025 г.). В результате стало возможным управлять направлением потока газового конденсата;

полученные в результате исследования данные использованы в 5 зарубежных научных изданиях с высоким импакт-фактором (Journal results in optics, 2024, V.16. P.1-7, IF=4.2. Journal Analytica Chimica 2025, V.1345. P.11-27, IF=6.2., Journal Optik 2024, V.311. P.87-98, IF=4.8., Journal of Sol-Gel Science and Technology 2023, V.108. P.66-75, IF=3.2., Journal Analytical Methods-2025, P.1-23, IF=3.7., Journal biomaterials science 2025, V.10. P.1-36, IF=5.7). В результате удалось получить наномаркеры на основе квантовых точек и полимерных матриц различного состава.

Апробация результатов исследования. Результаты исследований докладывались и обсуждались на 42 научно-практических конференциях, в том числе 17 международных и 25 Республиканских.

Опубликованность результатов исследования. По теме диссертации опубликованы 54 научных работ, из них получен 1 патент на полезную модель, издана 1 монография, опубликовано 16 научных статей в научных изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией при Министерстве высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов диссертаций на соискание ученой степени доктора наук (DSc), в том числе 7 в республиканских и 9 в зарубежных журналах.

Структура и объём диссертации. Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения, списка литературы и приложений. Объём диссертации составляет 180 страниц*.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

В введении обосновывается актуальность и необходимость темы диссертации, ее соответствие приоритетным направлениям развития науки и техники республики, проводится сравнительный анализ зарубежных научных исследований по теме диссертации, указывается уровень изученности проблемы и связь исследования с научно-исследовательской работой высшего учебного заведения, где выполнена диссертация, определяются цель, задачи, объект, предмет и методы исследования, описываются научная новизна и практические результаты исследования, обосновывается их достоверность, раскрывается научно-практическая значимость результатов исследования, делаются выводы относительно перспектив её внедрения в практику, приводятся сведения об опубликованных работах, структуре и объеме диссертации.

Первая глава диссертации, озаглавленная под названием **“Методы получения квантовых точек и постсинтезная обработка (литературный обзор)”** представлена сравнительная характеристика научных работ, опубликованных в зарубежных и отечественных изданиях, по общей классификации и теоретическим основам квантовых точек, методам синтеза, функционализации, размерному эффекту в оптических свойствах полупроводниковых квантовых точек, синтезу и оптико-размерным свойствам квантовых точек с гибридными «ядро/оболочка» и триплетными «ядро/оболочка/оболочка» системами, синтезу флуоресцентных наномаркеров и изучению их свойств, полимерных нанокомпозитов на основе многокомпонентных квантовых точек, характеристики полученных наномаркеров, методам маркировки нефтехимических соединений, значению квантовых точек в технологии трассеров, квантово-химической оценке структурной системы и электронных свойств квантовых точек различного состава, их применение в искусственном интеллекте и процессах крупномасштабного синтеза. На основе анализа теоретических и практических результатов определены цель, задачи, актуальность и важность исследования.

Вторая глава диссертации посвящена **“Объектам, методам исследования и синтеза”**, включает в себя оборудование, методы синтеза полупроводниковых квантовых точек CdSe, CdS, ZnSe, ZnS, гибридных «ядро/оболочка» CdSe/ZnS, CdSe/CdS, ZnSe/CdS, ZnSe/ZnSe, ZnSe/ZnS и триплетных квантовых точек CdSe/CdS/ZnS, CdSe/ZnS/ZnS, ZnSe/ZnS/ZnS, а также модификацию гибридных, триплетных квантовых точек, замену олеиновой кислоты стабилизаторами, содержащими тиоловые группы, синтез гибридных квантовых точек CdSe/ZnS, модифицированных стабилизатором триоктилфосфином, методы получения тонкослойных нанокомпозитов на основе ПММА, ПФО, ПВХ, содержащих квантовые точки различного состава. Раздел содержит информацию по расчету квантового выхода, влияние температуры на кинетику образования и роста квантовых наночастиц.

Одним из важнейших параметров реакции, влияющих на термодинамику образования и кинетику роста наночастиц, является температура. Полная энергия активации процесса учитывает индивидуальные вклады свободной энергии, необходимые для стадии зародышеобразования, энергию образования стабильных зародышей и флуктуацию энергии активации отдельных атомов, участвующих в зародышеобразовании. Согласно термодинамической теории образования новой фазы, изменение свободной энергии ΔG системы в этом процессе выражается уравнением 1. Согласно термодинамической теории при образовании новой фазы, изменение свободной энергии системы в этом процессе выражается следующим уравнением:

$$\Delta G = 4\pi r^2 \gamma - \frac{4}{3} \pi r^3 \frac{\Delta \mu}{v_m} = 4\pi r^2 \gamma - \frac{4}{3} \pi r^3 \frac{RT \ln S}{v_m} \quad (1)$$

В результате было определено, что свободная энергия зародышеобразования для КТ CdSe, CdS и ZnSe, составляет соответственно $1,82 \cdot 10^{-17}$ Дж, $1,91 \cdot 10^{-17}$ Дж и $1,97 \cdot 10^{-17}$ Дж.

Третья глава диссертации называется «**Квантово-химическое моделирование структур квантовых точек**», в которой представлены результаты квантово-химических расчётов, характеризующие структуры квантовых точек различных систем: CdSe, CdS, ZnS, ZnSe, гибридных CdSe/ZnS, CdSe/CdS, ZnSe/ZnS и триплетных CdSe/CdS/ZnS, CdSe/ZnS/ZnS, ZnSe/ZnS/ZnS, ZnSe/ZnS/ZnS.

Как известно, в настоящее время методы вычислительной химии и молекулярной динамики широко применяются при моделировании электронной и атомной структуры молекулярных кристаллов и сложных промежуточных наноразмерных систем. Входные файлы были созданы с помощью GaussView 5.0 в составе программного пакета Gaussian 09 для квантово-химического анализа пространственной структуры квантовых точек CdSe, CdS, ZnSe, CdSe/ZnS, CdSe/CdS/ZnS, CdSe/ZnS/ZnS, ZnSe/ZnS/ZnS. Оптимизация геометрии кластера проводилась методом B3LYP/3-21G (распределение атомного заряда по Малликену) (рис. 1).

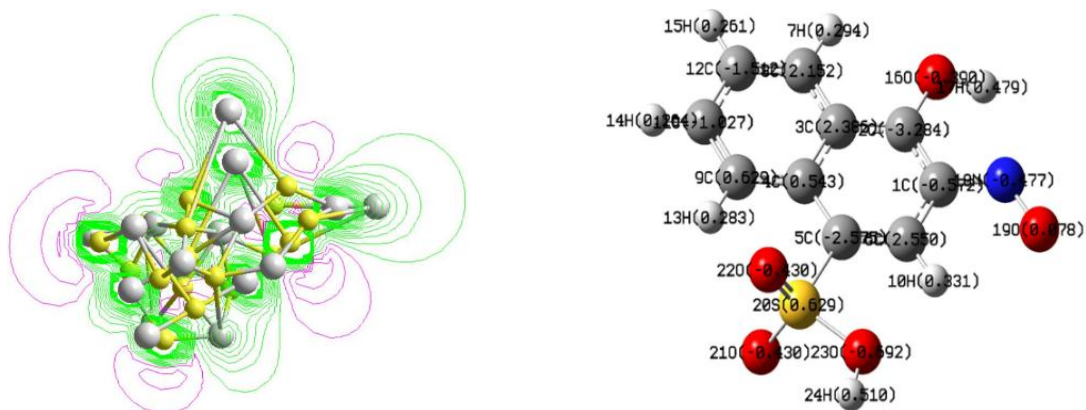


Рис. 1. Распределение заряда в кластерах КТ CdSe и ZnSe, стабилизатор олеиновая кислота

Энергетические уровни НОМО и LUMO системы Cd-Se исследованы методами анализа электронных спектров, т.е. электронных свойств кластеров с различными стабилизаторами, образованных из атомов Cd и Se (для проводимой зоны (ПЗ) и валентной зоны (ВЗ) электронов атомных орбиталей). Результаты расчетов показали, что энергетические E_g уровни НОМО и LUMO в системе для пары «электрон-дырка» соответствует значениям энергий запрещенной зоны (рис. 2).

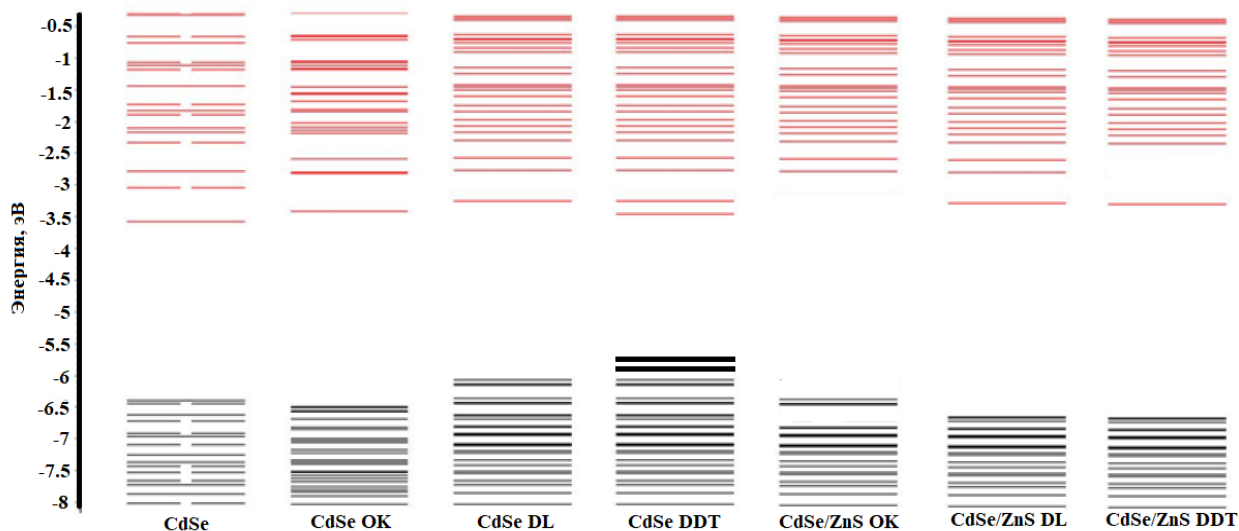


Рис. 2. Энергия запрещенной зоны (E_g) кластеров с различными стабилизаторами.

$$E_g^* = E_g + \frac{h^3 \pi^2}{2R^2} \left(\frac{1}{m_e^*} + \frac{1}{m_h^*} \right) - \frac{1.8 e^2}{4\pi \epsilon_0 \epsilon_r R} \quad (2)$$

Таблица 1

Энергия запрещенной зоны КТ определяется по ниже приведенной формуле 2. Результаты расчетов представлены в таблице 1.

КТ	E_g^* (эВ)
CdSe	2,2
CdS	2,38
ZnSe	2,7
ZnS	3,6
ZnSe/ZnS	2,23
CdSe/ZnS	2,42

Для CdS наблюдалось уменьшение ширины запрещенной зоны (ΔE) с увеличением числа кластеров (разница между НОМО и LUMO, рис. 3): 2,994 эВ для $(CdS)_8$; 2,441 эВ для $(CdS)_{18}$; 1,55 эВ для $(CdS)_{22}$. Установлено, что изменение этих величин обусловлено 3d-орбиталями атомов Cd и 2p-орбиталями атомов S.

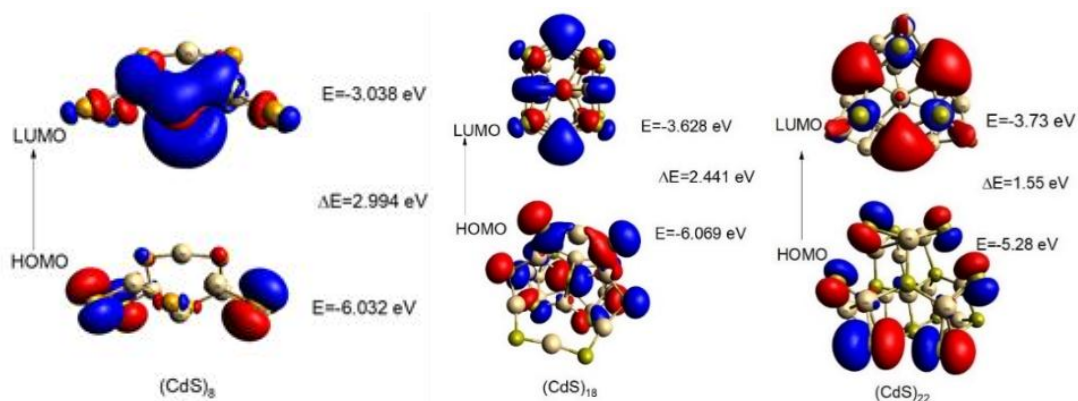


Рис. 3. Значения HOMO-LUMO для кластеров CdS 8, 18 и 22.

Оптимизированная геометрия кластеров $(\text{CdSe})_{17}$, покрытых молекулами стабилизатора, показывает, что связи Cd-Se существенно не отличаются от связей без стабилизатора. Присутствие органической молекулы приводит к удлинению связей и смещению плотности электронного облака ближе к связи Cd-Se. Результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2

Длина связи Cd-Se и электронная плотность кластера $(\text{CdSe})_{17}$ в присутствии различных стабилизаторов

Стабилизатор	Длина связи Cd-Se Å	Электронная плотность
Олеиновая кислота	2,698	1,1789
Додекантиол	2,702	1,0932
Эфир додецилдигидролипоевой кислоты	2,778	1,7265
Цистеин	2,633	0,94256
Меркаптопропионовая кислота	2,675	1,0012

Определены квантово-химические параметры стабилизированных КТ ZnSe/ZnS, содержащих различные тиольные группы. Квантово-химические параметры стабилизированных гибридных квантовых точек были рассчитаны в облачной фазе методом B3LYP/def2-TZVP. Были определены квантово-химические параметры, а именно энергии HOMO и LUMO, на их основе полная энергия (ΔE), потенциал ионизации (I), сродство к электрону (A), электроотрицательность (χ) и химический потенциал (μ_p). Результаты расчетов представлены в таблице 3.

Таблица 3

Квантово-химические параметры КТ с различными стабилизаторами, содержащими тиоловые группы

Квантовые точки	E_{HOMO} , (eV)	E_{LUMO} , (eV)	ΔE , (eV)	I, (eV)	A, (eV)	χ , (eV)	μ_p , (eV)
ZnSe/ZnS DDT	-4,96	-1,71	3,25	4.96	1.71	3,33	-3,33
ZnSe/ZnS Ss	-4,35	-2,09	2,26	4.35	2.09	3,22	-3,22
ZnSe/ZnS MPA	-3,94	-1,76	2,18	3.94	1.76	2.85	-2.85

На основе полученных результатов также проведены квантово-химические расчеты с использованием программы Chem Office, в частности,

определены дипольный момент (D), значение (среднеквадратичное) энергии (E), начальная колебательная энергия (E_k) а также некоторые термодинамические параметры: молярный объем (V), теплоемкость (C_v), и термодинамические функции: внутренняя энергия (ΔU), энтропия (ΔS). Результаты расчетов представлены в таблицах 4 и 5.

Таблица 4

Результаты квантово-химических расчетов КТ различного состава (программа «Chem office»)

КТ	D , (Дебай)	E , (Ккал/моль)	E_k , (Ккал/моль)
CdSe/ZnS	8,115	12,233	617,3103
CdSe/CdS	7.923	12,027	603,7405
ZnSe/ZnS	7,17	11,856	598,6392
CdSe/CdS/ZnS	11.32	15,478	741,6548
CdSe/ZnS/ZnS	10.97	15,017	727,6589

Таблица 5

Термодинамические параметры КТ различного состава

Вещество	V , (см ³ /моль)	C_v , (Ккал/моль Келвин)	ΔU , (Ккал/моль)	ΔS , (Ккал/моль Келвин)
CdSe/ZnS	4253,88	117,873	637,22	169,65
CdSe/CdS	4132,52	114,027	629,74	164,927
ZnSe/ZnS	4078,49	109,856	622,37	159,865
CdSe/CdS/ZnS	5369,74	129,478	745,69	229,741
CdSe/ZnS/ZnS	5285,33	127,414	729,55	228,658

В процесса квантово-химических расчётов наличие сил взаимодействия (водородных связей, сил Ван-дер-Ваальса или электростатических взаимодействий) между УНС ZnSe/ZnS и молекулами ДДТ оценивалось путём расчёта термодинамических функций — энтальпии (ΔH) и энтропии (ΔS) на основе уравнения Вант-Гоффа (3). Значения результатов расчётов представлены на графиках зависимостей Штерна-Вольмера (рис. 4а) и Вант-Гоффа (рис. 4б).

$$\ln K_{SV} = -\frac{\Delta H}{RT} + \frac{\Delta S}{R} \quad (3)$$

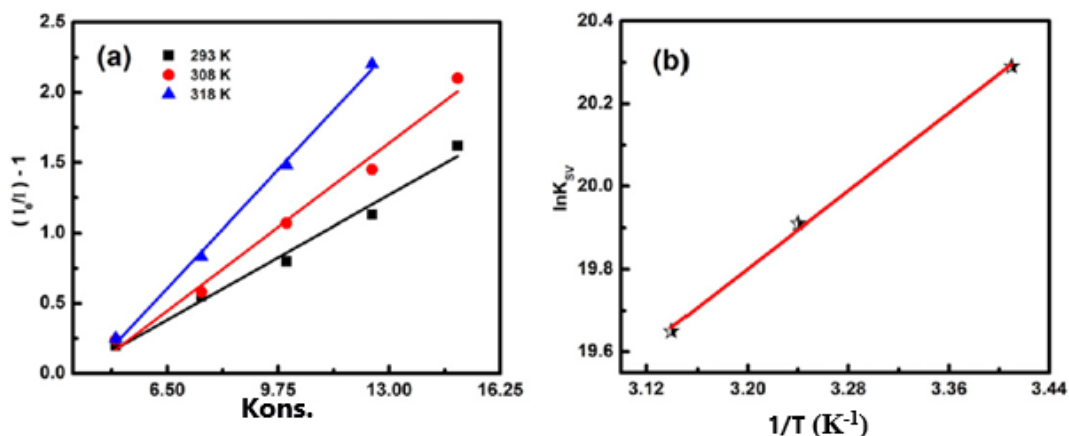


Рис. 4. Графики изменения концентрации наночастиц ZnSe/ZnS в среде стабилизатора ДДТ при различных температурах

Значения K_{SV} , ΔH и ΔS были рассчитаны на основе пересечения угла тангенса касательных прямых и представлены в таблице 6. Изменение свободной энергии (ΔG) было рассчитано с использованием уравнения 4:

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S \quad (4)$$

Отрицательные значения ΔG и ΔH , а также положительные значения ΔS , указывают на то, что связывание углеродных атомов, покрытых меркаптопропионовой кислотой, с ДДТ происходит спонтанно и осуществляется посредством нековалентных (Ван-Дер-Ваальсовых) сил. Важную роль в этих процессах могут играть также силы электростатического взаимодействия и водородные связи.

Таблица 6

Константа ассоциации Штерна-Вольмера (K_{SV}) и относительные термодинамические функции системы КТ ZnSe/ZnS-DDT

Система	ZnSe/ZnS			
	T(K)	293	308	318
$K_{SV} (\cdot 10^9 \text{ l Моль}^{-1})$		0.0342	0.0459	0.0650
ΔH (кдж Моль ⁻¹)		-19.52	-17,96	-15,44
ΔG (кдж Моль ⁻¹)		-49.37	-46.89	-42.91
ΔS (кдж Моль ⁻¹)		101.88	103,63	107,55

Четвертая глава диссертации посвящена обсуждению полученных результатов по теме **“Оптико-размерные свойства и модификация коллоидных квантовых точек”**. Проведен анализ спектров поглощения и люминесценции, флуоресценции КТ системы «ядро», изучены оптико-размерные характеристики гибридных КТ с системой «ядро/оболочка», оптико-размерные свойства модифицированных и гибридных КТ и триплетных структур с системой «ядро/оболочка/оболочка», размерные параметры гибридных КТ CdSe/ZnS, стабилизированных триоктилфосфиновым стабилизатором, размер и морфология наночастицы, а также зависимость общего времени синтеза от температуры.

В качестве стабилизатора использовали олеиновую кислоту (ОК), а КТ CdSe синтезировали при высокой температуре в октаэдеcene. Относительный диапазон интенсивности в спектре люминесценции полученных наночастиц соответствует длине волны 550–650 нм (рис. 5). Диапазон интенсивности спектра люминесценции КТ CdSe узкий и симметричный, что свидетельствует о низкой величине поверхностных дефектов в нанокристаллах квантовых точек. Такие исследования были проведены также для КТ CdSe/ZnS с гибридной структурой «ядро/оболочка». Следует отметить, что рост оболочки вокруг ядра приводит к значительному увеличению интенсивности люминесценции. Также наблюдается смещение спектрального максимума в коротковолновую область (рис. 5). Пик спектра люминесценции смещается в область 555 нм. Из сравнительного анализа спектров поглощения КТ CdSe и CdSe/ZnS видно, что пик экситона Бора смещается в сторону более коротковолновую область, после выращивания оболочки на поверхности ядра (рис. 5).

Методом SILAR (Successive Ionic Layer Adsorption and Reaction) синтезированы гибридные КТ, покрытые оболочкой ZnS для нанокристаллов CdSe. Время добавления прекурсора серы (S) в процессе синтеза варьировали периодически (3, 5, 7, 10, 13 и 15 минут). В результате наблюдались существенные изменения интенсивности люминесценции полученных наночастиц, что свидетельствует о важном факторе, влияющем на оптические свойства и формировании оболочки (рис. 6).

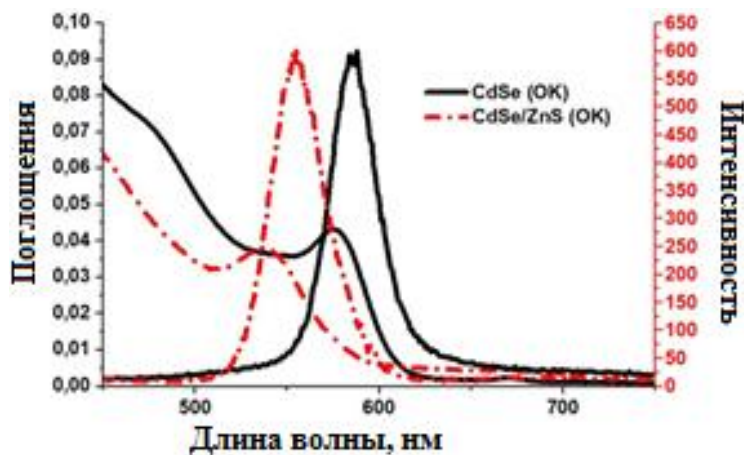


Рис. 5. Спектры поглощения и люминесценции КТ CdSe (OK) и CdSe/ZnS (OK).

Наблюдается уменьшение пика интенсивности люминесценции с увеличением времени синтеза. Отмечено, что формирование наиболее интенсивного пика в процессе синтеза было положительным при добавлении прекурсора в реакционную среду каждые 3 минуты. Установлено, что изменение времени добавления прекурсора не приводит к изменению диапазона длин волн спектров поглощения (рисунок 6б), то есть рост оболочки на поверхности ядра не влияет на его длину волны поглощения.

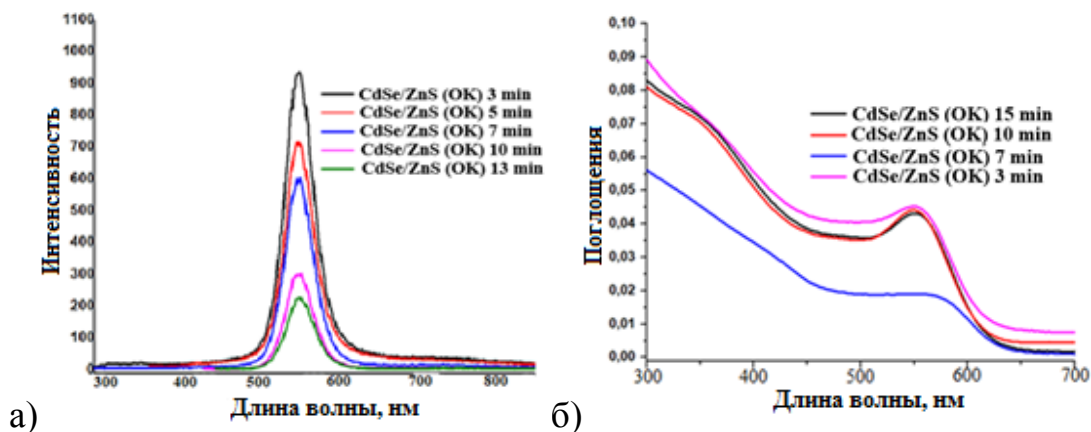


Рис. 6. Кинетические спектры люминесценции (а) и поглощения (б) гибридных ККТ CdSe/ZnS

Среднее распределение гидродинамических размеров наночастиц, полученных для различного значения времени синтеза при стабилизации квантовых точек CdSe/ZnS олеиновой кислотой, представлено в виде

гистограммы на рис. 7. Видна что увеличение времени синтеза также приводит к увеличению среднего гидродинамического размера наночастиц.

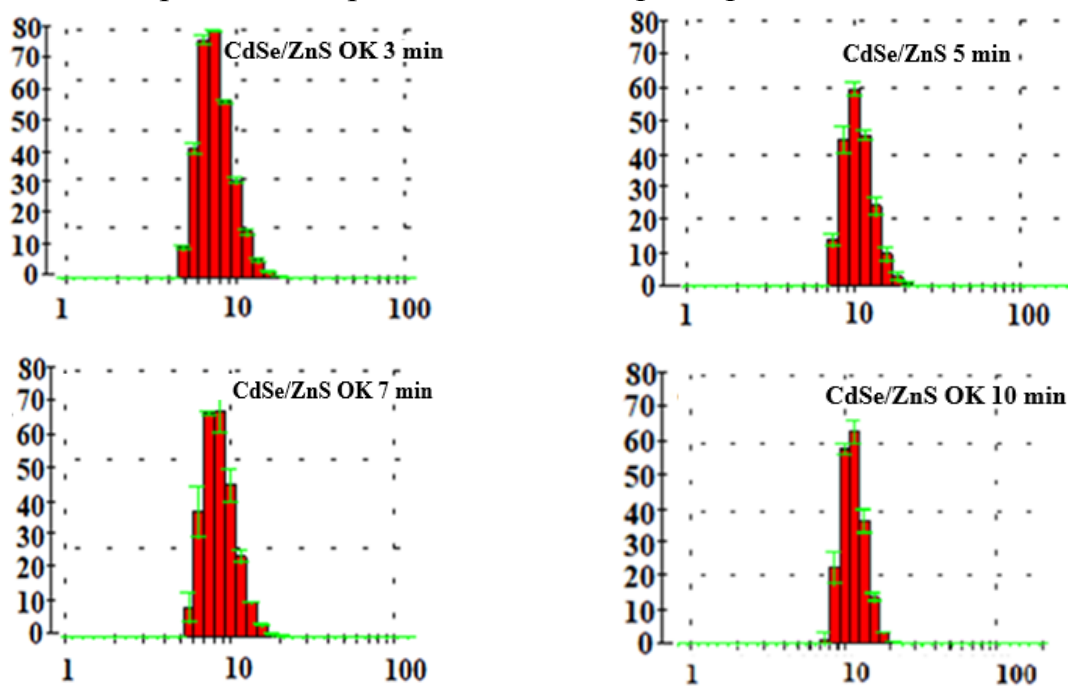


Рис. 7. Распределение гидродинамических размеров КТ CdSe/ZnS (OK), в зависимости от времени процесса синтеза

Для улучшения физико-химических свойств квантовых точек и повышения стабильности их дисперсного распределения была использована модификация КТ стабилизаторами на основе додекантиола (ДДТ), содержащего тиольные группы (-SH). В присутствии стабилизаторов, содержащих тиольные группы, были синтезированы КТ, содержащие ZnS, ZnSe, CdS и исследованы их оптические свойства.

Согласно полученным результатам, все три типа квантовых точек характеризуются высокой степенью дисперсии, узкой спектральной шириной пика и относительно высоким квантовым выходом. В частности, наиболее эффективные люминесцентные свойства проявили квантовые точки ZnSe с квантовым выходом 43% и спектральной шириной 27 нм. КТ ZnS также показали хорошие оптические параметры (пик люминесценции при 582 нм, квантовый выход 40%, таблица 7). Хотя квантовые точки CdS имели относительно низкий квантовый выход (25%) по сравнению с другими образцами, их спектральные свойства оставались стабильными, а размер частиц – однородным.

CdSe DDT имеет наибольшую длину волны поглощения (574 нм) и люминесценции (590 нм), (таблица 7), что характеризует его как материал, работающий с низкоэнергетическими (близкими к красному) фотонами. Самую короткую длину волны имеет ZnSe DDT (537;557 нм), что соответствует сине-зелёному спектральному диапазону. Что касается ширины спектра (FWHM), то квантовые точки CdSe и ZnSe имеют наименьшие значения (27 нм), что свидетельствует об их монодисперсности и равномерном

распределении в среде. CdS (31 нм) и ZnS (30 нм) демонстрируют несколько большую ширину спектра, что указывает на большую дисперсию размеров наночастиц.

Модификация стабилизаторами тиольных групп повысила коллоидную стабильность КТ, сохранив, а иногда и улучшив, их люминесцентную эффективность.

Таблица 7.

Опτικο-размерные свойства квантовых точек CdSe, ZnS, CdS и ZnSe

КТ	$\lambda_{\text{пог}}(\text{нм})$	$\lambda_{\text{люм}}(\text{нм})$	FWHM (нм)	Диаметр (нм)	Квантовый выход (%)
CdSe ДДТ	574	590	27	3.5	37
ZnSe ДДТ	537	557	27	3.4	43
CdS ДДТ	547	563	31	3.7	25
ZnS ДДТ	565	582	30	4.1	40

Квантовый выход полученных наночастиц определяли по уравнению 5:

$$KB = KB_{\text{rod}} \cdot \frac{S_{\text{КТ}}}{S_{\text{rod}}} \quad (5)$$

Средний гидродинамический размер КТ определяли на основе положения пика экситона Бора в их спектре поглощения с использованием следующего уравнения 6. Результаты расчетов представлены в таблицах 7-8-9.

$$D = (1.6122 \cdot 10^{-9}) \cdot \lambda^4 - (2.6575 \cdot 10^{-6}) \cdot \lambda^3 + (1.6242 \cdot 10^{-3}) \cdot \lambda^2 - 0.4277 \cdot \lambda + 41.57 \quad (6)$$

где D — диаметр наночастицы, λ — соответственно максимум длины волны в спектрах.

Согласно расчётам, средний размер ядра кадмиевых наночастиц CdSe составил 3,7 нм. В процессе роста оболочки ZnS на поверхности CdSe наблюдалось уменьшение гидродинамического размера ядра CdSe с 3,7 до 2,8 нм в результате обмена ионов кадмия, находящихся на поверхности ядра, с ионами цинка.

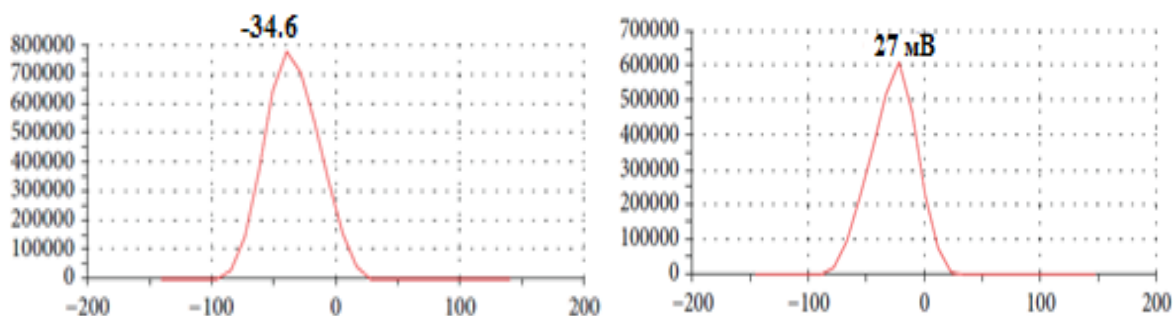


Рис. 8. Дзета-потенциалы систем CdSe/ZnS-MPA (а) и CdSe/ZnS-MSA (б)

На рис. 8 показаны величины дзета-потенциалов КТ меркаптопропионовой кислоты (MPA) CdSe/ZnS и меркаптоянтарной кислоты (MSA) CdSe/ZnS. После обмена лигандами с MPA или MSA дзета-потенциалы

полученных систем смещаются влево относительно CdSe/ZnS, достигая значений -34,6 мВ для CdSe/ZnS- MPA (рис. 8а) и -27,0 мВ для CdSe/ZnS- MSA (рис. 8б). Эти значения подтверждают, что положительные ионные слои на внешних поверхностях CdSe/ZnS замещены отрицательными ионными слоями, что лигандный обмен прошёл успешно, а полученные системы обладают высокой стабильностью. Было обнаружено, что абсолютное значение дзета-потенциала CdSe/ZnS-MSA было ниже, чем у CdSe/ZnS-MPA при тех же значениях рН и той же концентрации квантовых точек. Таким образом, CdSe/ZnS-MPA продемонстрировал значительно лучшую дисперсию в хлороформе и оказался более стабильным и подходящим для биотехнологий.

Растворы квантовых точек с одинаковой концентрацией, при разных значениях рН среды показали разное распределение дисперсии и стабильности (рис. 9). Низкие значения рН среды способствуют протонированию карбоксильных групп, развитию более сильных взаимодействий и лучшему диспергированию квантовых точек в воде; благодаря сильным силам взаимного отталкивания между наночастицами, квантовые точки демонстрируют очень хорошую стабильность. Однако чрезмерный процесс протонирования может привести к негативной защите поверхности квантовых точек. Слабая пассивация связей (оборванных) может снизить общую интенсивность люминесценции.

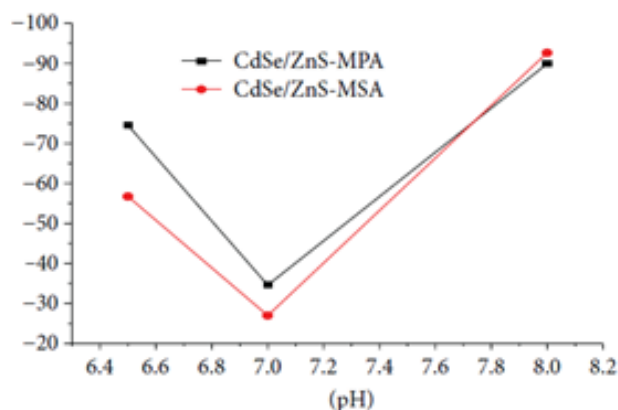


Рис. 9. Зависимость дзета-потенциала от рН среды для CdSe/ZnS-MPA и CdSe/ZnS-MSA

Оптические свойства ZnSe и ZnSe/ZnS были изучены на основе спектров поглощения в ультрафиолетово-видимой области (УФ-ВИД) (рис. 10а) и фотолюминесценции (рис. 10б). Пик поглощения наночастиц типа «ядро/оболочка» ZnSe/ZnS смещается в длинноволновую область по сравнению с ядром ZnSe, что указывает на образование оболочки и увеличение эффективной массы частицы. Это увеличивает эффективность поглощения и люминесценции структуры ZnSe/ZnS. В спектре фотолюминесценции ядра ZnSe максимум пика смещается после роста оболочки ZnS до 538 нм в наночастицах ZnSe, до 581 нм в гибридных наночастицах ZnSe/ZnS и до 588 нм в триплетных наночастицах ZnSe/ZnS/ZnS (в зависимости от циклов SILAR). Спектры люминесценции указывают на монодисперсность и

симметричную форму наночастиц. После наращивания оболочки интенсивность люминесценции увеличивается, но по мере утолщения оболочки (два цикла SILAR) интенсивность уменьшается, что объясняется увеличением дефектов поверхности наночасти.

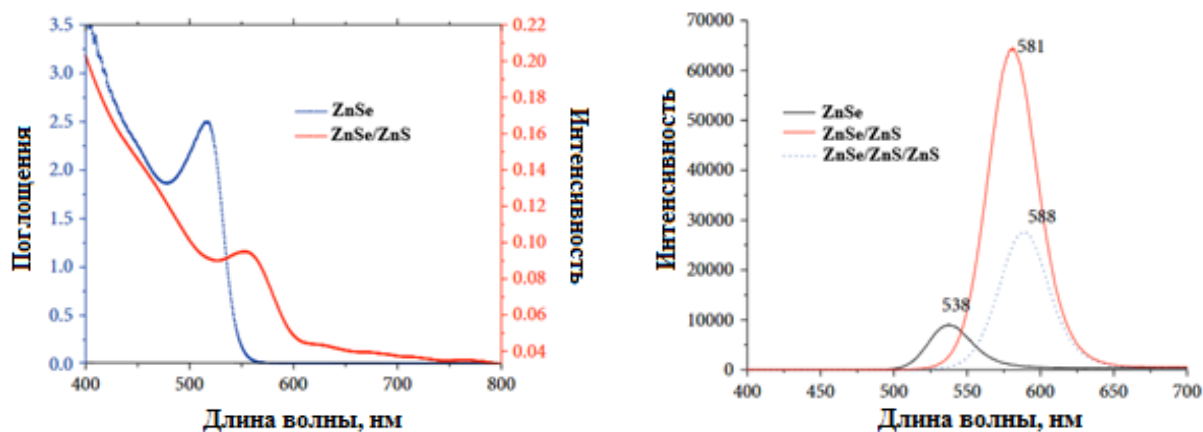


Рисунок 10. Спектры поглощения (а) и люминесценции (б) КТ ZnSe, ZnSe/ZnS и ZnSe/ZnS/ZnS

Результаты, полученные с помощью рентгеновской дифрактометрии (XRD) для определения кристаллической структуры и стабильности слоя ZnS, представлены на рис. 11. Три типичных пика ядра ZnSe в структуре прекурсора цинка видны при 25.49° , 43.05° и 49.73° и соответствуют направлениям решетки (111), (200) и (311) соответственно (рис. 11а). После покрытия слоем ZnS все основные пики смещаются вправо. По мере увеличения числа оболочек основные пики постепенно смещаются в сторону типичной структуры системы ZnS.

Стабильность КТ ZnSe/ZnS оценивали по величине показателя дзета-потенциала. Как показано на рисунке 11б, значение дзета-потенциала составляет ~ 40 мВ, что указывает на то, что поверхность покрыта положительными ионами и имеет хорошую стабильность. При использовании TOP в качестве поверхностно-активного вещества обнаружено, что КТ хорошо растворяются в хлороформе, и статическое отталкивание между наночастицами оказывается намного сильнее.

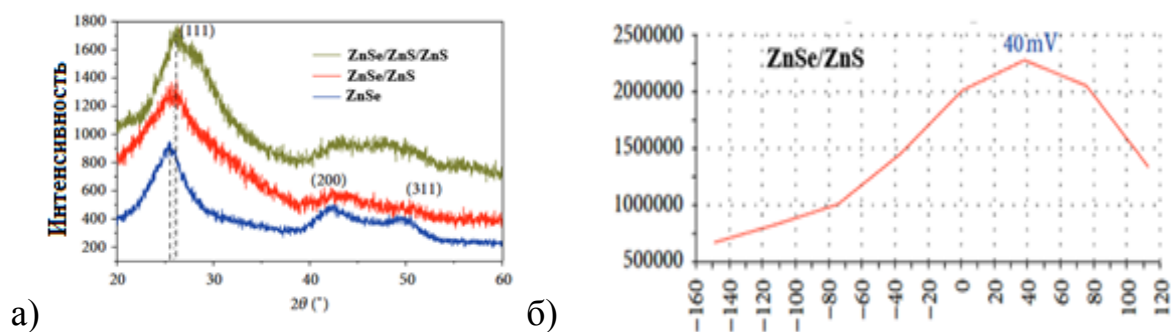


Рис. 11. Спектры рентгеновской дифракции (XRD) КТ ZnSe и ZnSe/ZnS, ZnSe/ZnS/ZnS (а) и значение дзета потенциала (б)

Согласно рисункам 12а и 12б, при замене стабилизатора триоктилфосфина на меркаптопропионовую или меркаптоянтарную кислоту спектры поглощения и фотолуминесценции квантовых точек ZnSe/ZnS смещаются в синюю область спектрального диапазона. Этот сдвиг обусловлен меньшим размером молекул MSA и MPA по сравнению с ТОФ. Однако такая замена приводит к существенному снижению интенсивности люминесценции.

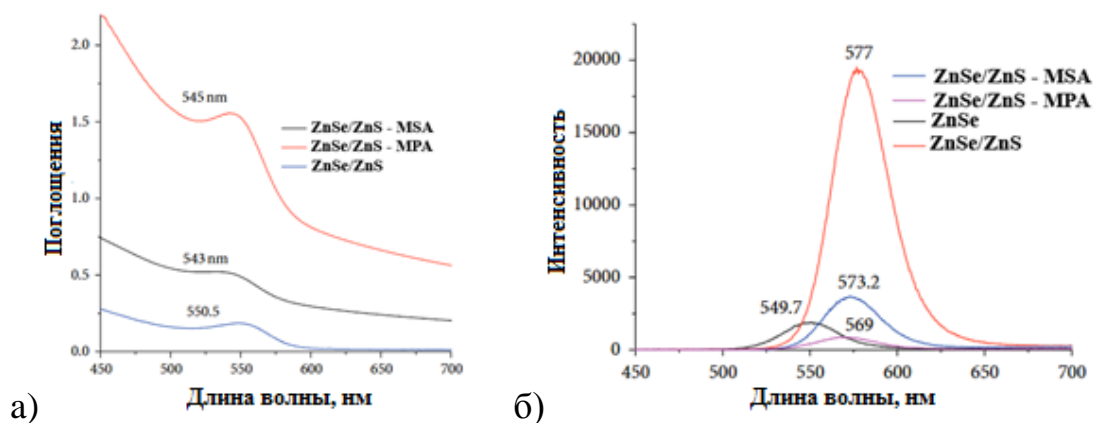


Рис. 12. Спектры поглощения (а) и люминесценции (б) КТ ZnSe/ZnS MSA и ZnSe/ZnS MPA

ИК-спектры ZnSe/ZnS-MPA и ZnSe/ZnS-MSA (рис. 13) имеют три основных максимума, а сильное поглощение карбоксильной (-COOH) группы наблюдается в диапазоне частот колебаний $1700 \pm 10 \text{ см}^{-1}$ при замене стабилизатора TOP на MPA или MSA. Обмен лигандами происходит через тиольные (-SH) группы на поверхности ZnS, что подтверждается исчезновением пика -SH с 1289 см^{-1} и появлением связи S-S при частоте колебаний $450-500 \text{ см}^{-1}$. Также пик поглощения -OH группы при 3303 см^{-1} свидетельствует о хорошей дисперсии в воде. Эти свойства позволяют использовать квантовые точки ZnSe/ZnS-MPA (или MSA) в биосенсорных исследованиях.

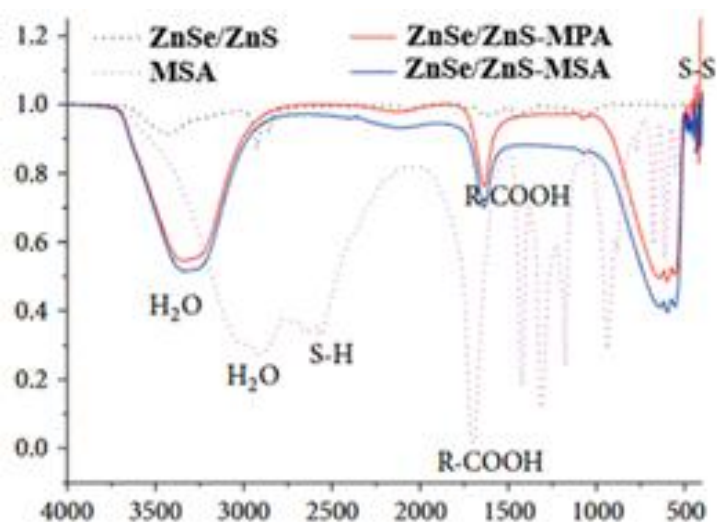


Рис. 13: ИК-спектры КТ до и после функционализации MPA и MSA

Триплетно-структурированные КТ CdSe/CdS/ZnS, полученные методом высокотемпературного органического синтеза, показали интенсивный и узкий пик люминесценции при длине волны 545 нм. Гидродинамический размер наночастиц CdSe/CdS/ZnS составил 4,5 нм, а рентгеновская дифракция подтвердила кристаллическую структуру цинковой наночастицы сплава с небольшим смещением положения максимумов напряжений решетки, вызванных слоями оболочки.

Размер кристаллов, рассчитанный с использованием уравнений Шеррера или Вульфа-Брэгга (уравнение 7), показал средний размер частиц 4,5–6,2 нм, что согласуется с результатами просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ).

$$d = \frac{K\lambda}{\beta \cos\theta}; \quad d = \frac{n\lambda}{2\sin\theta} \quad (7)$$

Форма наночастиц при этом образуется сферической, а размер (наночастиц ZnS выращенных на поверхности квантовых точек CdSe/CdS со структурой «ядро/оболочка») неизменной. При этом сохраняется также монодисперсность наночастиц. Результаты расчётов показали, что размер квантовых точек CdSe/CdS составляет 3,1 нм, а средний размер квантовых точек CdSe/CdS/ZnS – 3,9 нм.

Для увеличения выхода люминесценции КТ возможно наращивание на поверхности их ядер полупроводниковых оболочек CdS и ZnS. Эти оболочки способны блокировать поверхностные дефекты КТ и локализовать – электроно-дырочную пару внутри ядра, что позволяет существенно увеличить их интенсивность излучения.

Согласно исследованиям, сульфид цинка является оптимальной оболочкой для селенида кадмия. Однако полученные результаты показали, что сульфид цинка эффективно растёт только на небольших ядрах селенида кадмия ($d(\text{CdSe}) < 2$ нм).

Поэтому в наших исследованиях многокомпонентные триплетные КТ были получены путём выращивания промежуточного слоя сульфида кадмия между ядрами CdSe и ZnS. Было обнаружено, что параметры кристаллической решётки в этих системах находятся в пределах ширины запрещённой зоны.

В дальнейших исследованиях были изучены оптико-размерные свойства квантовых точек CdSe/ZnS/ZnS с триплетной структурой. На стадии роста оболочки ZnS анион S преобладает над катионом Zn (табл. 8). В результате атомы S диффундируют в ядро системы и приводят к образованию CdS, что вызывает сдвиг спектральной длины волны в синюю область. Спектральные данные фотолюминесценции, представленные в таблице 8, показывают, что интенсивность фотолюминесценции квантовых точек CdSe/ZnS/ZnS более чем в два раза превышает интенсивность фотолюминесценции квантовых точек CdSe/ZnS, а ширина спектра на полувысоте составляет всего 21 нм. Также было обнаружено, что квантовая эффективность фотолюминесценции нанокристаллов увеличилась с 44% для CdSe/ZnS до 88% для CdSe/ZnS/ZnS.

Влияние структуры нанокompозитов на их размерные и оптические параметры.

Структура КТ	Радиус ядра (нм)	Общий диаметр, D, нм	Пик ФЛ /FWHM (нм ⁻¹)	КВ (%)	$\tau_0(ns)$	$\tau_1(ns)$	$\tau_2(ns)$
CdSe/ZnS	4.5/0	9±0.45	521/22	44	10.3	3.4	0.054
CdSe/ZnS1	4.5/1.3	12±0.45	517/21	75	12	6.0	0.021
CdSe/ZnS/ZnS	4.5/1.9	13±0.45	515/21	88	14.8	7.2	0.008
CdSe/ZnS/ZnS1	4.5/2.2	13.6±0.45	514/21	82	12.9	6.4	0.014

Оптико-размерные свойства люминесцентных гибридных и триплетных квантовых точек были охарактеризованы путем специальной очистки и разделения. Соотношение ионов Cd:Se и Zn:S составляло соответственно 1:1 и 1:0,9. Изменяя соотношение ионов Cd:Zn, были получены наносистемы с определенными размерами и люминесценцией в различных спектральных диапазонах. При изменении соотношения Cd:Zn в диапазоне 1:13–1:10–1:8 пик люминесценции (рис. 14а) смещался в область 476–526–588 нм соответственно. Спектры поглощения образцов демонстрируют сильное поглощение в области длин волн < 350 нм, что связано со значительной толщиной оболочки ZnS. Однако в спектрах люминесценции отсутствовали линии эмиссии в данной области.

Видно, что спектры поглощения квантовых точек разного состава имеют максимумы в разных диапазонах длин волн (рис. 14б). Увеличение количества оболочек на поверхности ядра привело к изменению размера наночастиц и длины волны люминесценции.

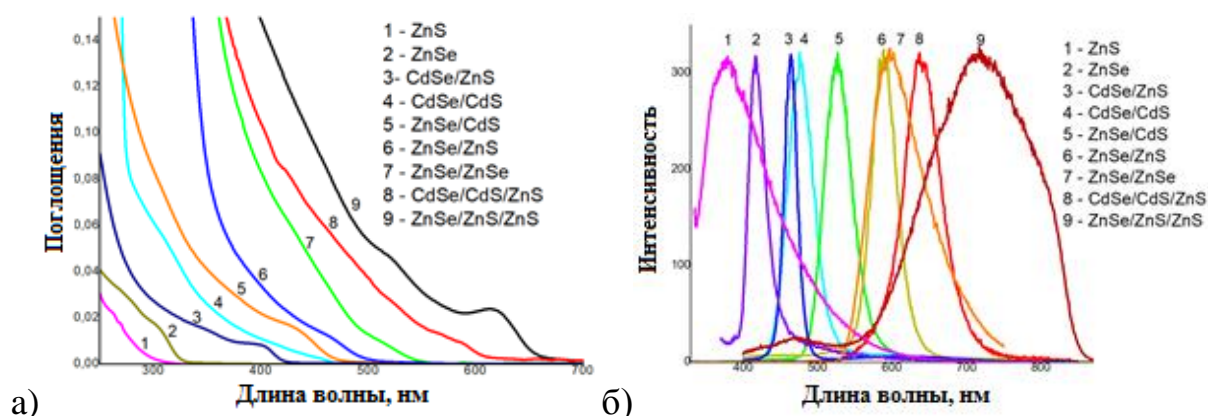


Рис. 14. Спектры поглощения (а) и люминесценции (б) образцов КТ.

Как видно из сравнения максимумов люминесценции (λ_{em}) и поглощения (λ_{abs}) различных КТ (таб. 9), диапазон длин волн увеличивается с усложнением состава. Наибольшие пики люминесценции и поглощения наблюдаются в составе ZnSe/ZnS/ZnS. Наименьшие значения наблюдаются в составе ZnS, что свидетельствует о более слабых оптических свойствах квантовых точек с простым составом.

Таблица 9.

Показатели КТ различного состава

№	Систематические КТ	λ_{em}	λ_{abs}	FWHM	D, нм	Стабилизатор	T°C синтеза	Время синтеза, мин
1	ZnS	380	306	107	5,4	Олеиламин, додекантиол	220	20
2	ZnSe	417	394	28	6	Олеиламин	270	20
3	CdSe/ZnS	464	450	20	8,3	Олеиновая кислота	300	60
4	CdSe/CdS	476	460	41	7	Олеиновая кислота, додекантиол	305	20
5	ZnSe/CdS	526	507	44	7,5	Олеиновая кислота, додекантиол	305	20
6	ZnSe/ZnS	588	565	42	8,7	Олеиновая кислота, додекантиол	305	20
7	ZnSe/ZnSe	597	570	89	7,8	Олеиламин, додекантиол	220	60
8	CdSe/CdS/ZnS	640	616	58	11,7	Олеиновая кислота, додекантиол	265	2
9	ZnSe/ZnS/ZnS	715	705	183	11,9	Олеиновая кислота, додекантиол	250	15

В пятой главе диссертации под названием **“Практическое применение композитов полимерных матриц с квантовыми точками и трассеры”** описывается получение композиционных наноматериалов на основе КТ CdSe/ZnS и CdSe/CdS/ZnS и матрицы ПММА, введение гибридных КТ CdSe/ZnS в матрицу поли-(9,9-ди-н-октилфлуоренил-2,7-диил (PFO)), получение нанокомпозитов с КТ CdSe/CdS и полимерами поли-(9,9-ди-н-октилфлуоренил-2,7-диил) (PFO) и поли(н-винилкарбазола) и использование КТ для маркировки нефтепродуктов.

Получены композитные материалы на основе КТ CdSe/ZnS и CdSe/CdS/ZnS и матрицы ПММА. Спектр интенсивности люминесценции КТ CdSe/ZnS ($\lambda = 510$ нм, зелёный) и CdSe/CdS/ZnS ($\lambda = 640$ нм, красный) является симметричным (рис. 15а), и было отмечено, что пики интенсивности квантовых точек не изменились после функционализации полимером ПММА. Как видно на изображении, полученном с помощью оптического микроскопа (рис. 15б), зелёные и красные КТ модифицированы полимером ПММА. Такие

2-кодированные квантовые точки в настоящее время широко используются в трассерной технологии.

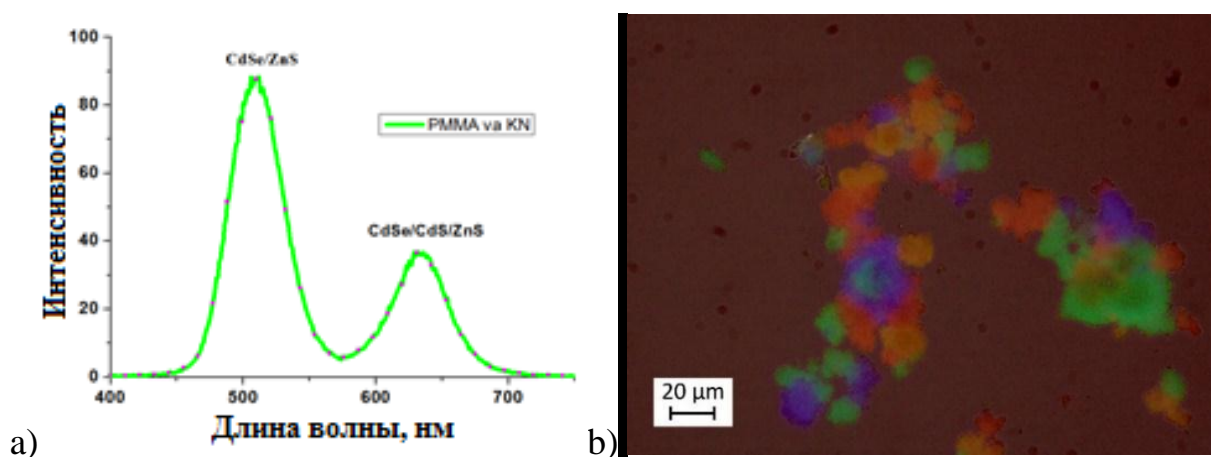


Рис. 15. Спектры люминесценции КТ, модифицированные в матрице ПММА (а) и оптическое изображение (б)

Зависимость интенсивности люминесценции полученных нанокompозитных пленок ПММА от концентрации, КТ CdS/ZnS и ZnSe/CdS/ZnS (при $\lambda_{\text{возб}} = 275$ нм и $\lambda_{\text{люм}} = 465$ нм и 545 нм соответственно), представлена на рисунке 16. В процессе анализа спектра возбуждения пленок было обнаружено, что оба типа квантовых точек в матрице ПММА ($\lambda_{\text{возб}} = 275$ нм) имеют схожие спектральные максимумы возбуждения. Установлено, что люминесценция КТ в образце увеличивается в четыре раза по сравнению с контрольным образцом в матрице с оптической плотностью 0,35 (рис. 16). Были также получены оптические спектры квантовых точек с различными длинами волн после внедрения в полимерную матрицу ПММА (рис. 20). Такие изображения оценивают распределение размеров, дисперсию, агрегацию и оптическую активность КТ в полимере.

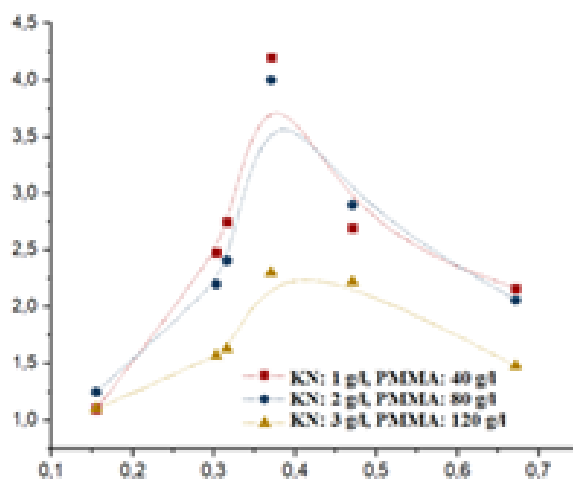


Рис. 16. Зависимость интенсивности люминесценции от оптической плотности нанокompозитных пленок ПММА, полученных на основе КТ CdS/ZnS и ZnSe/CdS/ZnS

В исследованиях также использовали КТ, излучающие на разных длинах волн (ZnSe/ZnS 520 нм — зеленый, ZnSe/ZnSe 580 нм — желтый, ZnSe/ZnS/ZnS 620 нм — красный). Получены наноконпозиты на основе КТ CdSe/ZnS и матрицы PFO. На рис. 17а представлены спектры люминесценции КТ и композита PFO, которые были получены при возбуждении на длине волны поглощения КТ (300 нм) и PFO (400 нм). Узкие пики при диапазоне 432 и 458 нм соответствуют излучению PFO. Как видно из спектра поглощения, что PFO образует интенсивный максимальный пик при 400 нм (рис. 17а). Спектры поглощения КТ CdSe/ZnS смещены в область диапазона длин волн 350 нм. Поглощение PFO в композитах ярко выражено, и сигнал от КТ плавно уменьшается с уменьшением его концентрации.

Полученное изображение наноконпозитов CdSe/ZnS и композитов PFO в ПЭМе представлено на рис. 17б. Из представленного видно, что размер полученных наноконпозитов соответствует 6,4 нм.

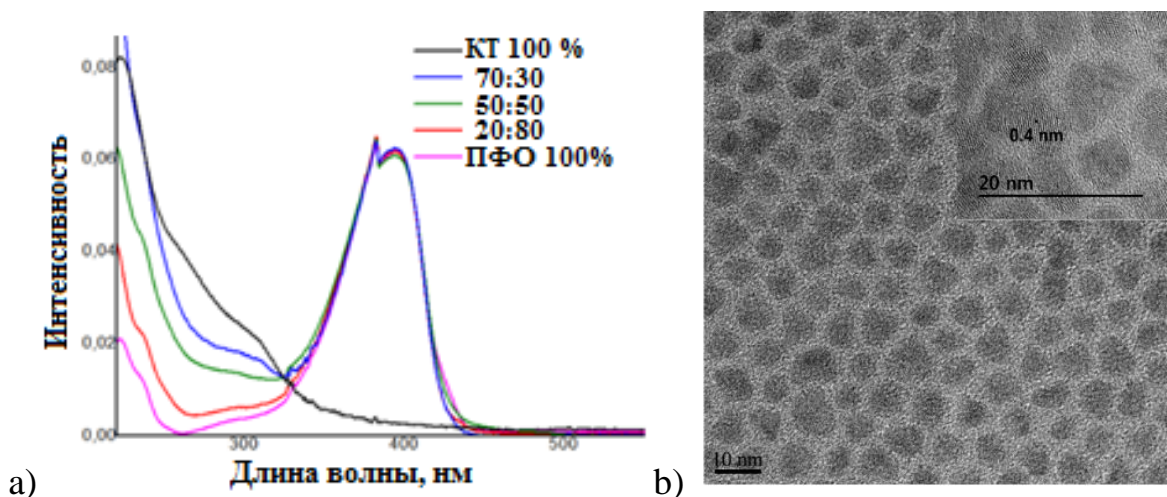


Рис. 17. Спектры поглощения и люминесценции (а) и ПЭМ изображение (б), пленок CdSe/ZnS с композитами КТ и PFO.

В последующих исследованиях, с целью защиты топлива и других продуктов от подделки, в качестве маркирующих агентов нам удалось использовать композиты, содержащие несколько типов квантовых наночастиц, излучающих на разных длинах волн и с разной длительностью свечения. Были получены спектры поглощения и люминесценции (рис. 18а, б). На основе применения люминесцентной спектроскопии, проведенной в режиме фосфоресценции, установлено, что концентрация обнаружения маркеров, содержащих квантовые наночастицы, в бензине составляет менее 0,1 мг/кг, что в 1,5–2 раза ниже, чем у ранее исследованных аналогов. Согласно результатам спектрального анализа (рис. 18а), пики, наблюдаемые на длинах волн 513 нм и 632 нм, связаны с люминесценцией квантовых точек CdSe/CdS/ZnS, источником которых являются частицы разного размера или слойные структуры. Излучение в области 513 нм является основным пиком излучения, в то время как излучение в области 632 нм свидетельствует о наличии квантовых точек с большим диаметром или многослойных

оболочных структур. Кроме того, широкая фоновая люминесценция, наблюдаемая в диапазоне 475–500 нм, связана со специфическим свечением органических соединений в топливе (нефт). Хотя это может оказывать фоновое влияние на обнаружение люминесценции маркера, пики квантовых точек CdSe/CdS/ZnS в более длинноволновой области спектра отличаются от этого фонового эффекта.

Проведен анализ взаимодействия различных типов КТ (в составе индикатора) и их влияние на люминесценцию в модельном растворе и бензине. Определены минимальные концентрации КТ в бензине, детектируемая спектрофлуориметрическим методом, и оптимальные соотношения различных типов КТ в смеси.

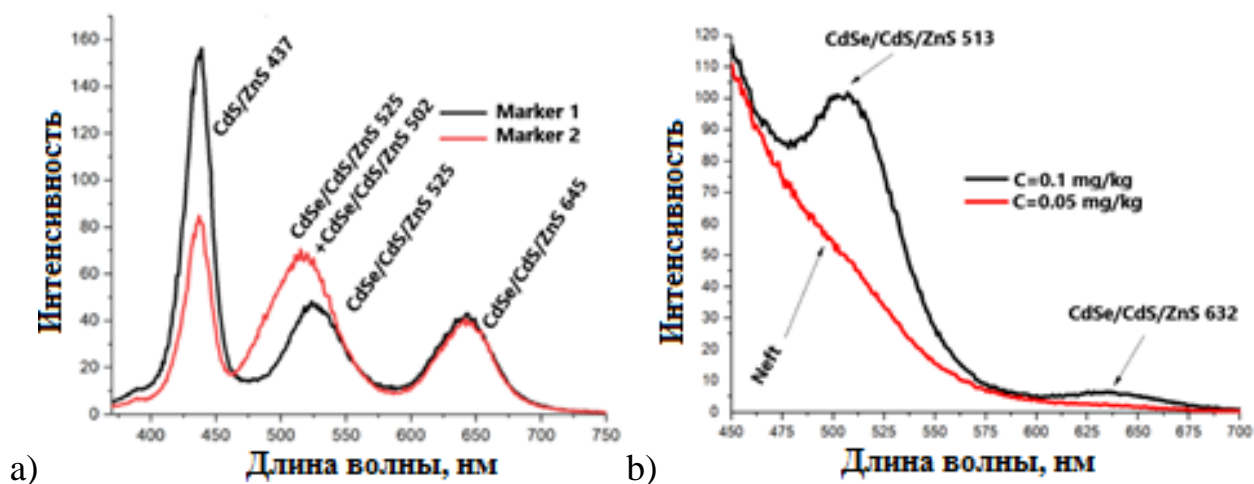


Рис. 18. Применение КТ в маркировке нефтепродуктов.

Показано, что процессы фотолюминесценции различных типов наночастиц могут быть различимы (на основе спектроскопии нестационарной люминесценции), что обеспечивает дополнительный уровень защиты от подделки указанной продукции. Полученные результаты могут быть использованы для создания флуоресцентных маркеров, обеспечивающих высокую степень надежности защиты продукции.

ВЫВОДЫ

1. Разработан метод одностадийного синтеза полупроводниковых квантовых точек типа «ядро/оболочка» и «ядро/оболочка/оболочка» в органических растворителях. Установлены оптимальные условия проведения синтеза и определены спектрально-морфологические характеристики КТ. Получены наночастицы размером 4–12 нм со средней дисперсией распределения по размерам не более 20%. Обнаружено, что послойное наращивание оболочки CdS или ZnS на поверхность ядра CdSe или ZnSe приводит к увеличению интенсивности их фотолюминесценции в диапазоне 500–600 нм. Синтезированные образцы имеют пики поглощения экситона бора в диапазоне 300–550 нм, спектры люминесценции в диапазоне 400–700 нм.

2. В результате замены гидрофобного стабилизатора олеиновой кислоты на гидрофильные реагенты (додекантиола, эфира додецилдигидролипоевой кислоты, цистеина, меркаптопропионовой кислоты, меркаптоянтарной кислоты) увеличилась растворимость и стабильность ККТ в водных средах при сохранении сферической формы наночастиц. В процессе модификации наблюдалось увеличение квантового выхода в зависимости от природы растворителя и стабилизатора. В частности, увеличение показателя квантового выхода 19 до 92% наблюдались для структур типа «ядро/оболочка».

3. Установлено, что формирование систем типа «ядро/оболочка» и «ядро/оболочка/оболочка» происходит через стадию созревания Оствальда, что приводит к повышению стабильности квантовых точек, а также к значительному усилению интенсивности их люминесценции.

4. С помощью алгоритмов квантово-химических программ проведена оценка оптико-размерных параметров функционализированных кластеров ККТ типа «ядро/оболочка». Показано, что ширина запрещенной зоны электронно-дырочных пар для квантовых наночастиц, состоящих из 17 молекул в кластерах CdSe, имеет наибольшую энергию. Установлено, что покрытие поверхности (CdSe)₁₇ слоем ZnS снижает ширину запрещенной энергетической зоны с 4,32 до 3,46 эВ, а стабилизация различными органическими молекулами приводит к снижению значения энергии с 4,46 до 3,8791 эВ, и увеличению показателя индекса а дипольного момента увеличился с 7,17 (гибрид) до 11,32 (триплет).

5. Расчитаны показатели термодинамических функций при модификации КТ. По этим показателям наблюдалось снижение ΔG (с -49,37 кДж/моль до -42,91 кДж/моль) и ΔH (с -19,52 кДж/моль до -15,44 кДж/моль) и увеличение ΔS (с 101,88 Дж моль⁻¹ К⁻¹ до 107,55 Дж моль⁻¹ К⁻¹). Показано, что процессы протекают в результате нековалентных взаимодействий при термодинамической равновесии обусловленного поверхностными эффектами.

6. При изменении времени добавления прекурсоров в процессах наращивания слоя оболочки на поверхности ККТ (3, 7, 10, 15 минут) наблюдалось кинетически обоснованное увеличение гидродинамического размера с 8,4 нм до 10,4 нм.

7. Установлено, что фотолюминесцентные свойства CdSe и ZnSe, а также гибридных наночастиц типа «ядро/оболочка» и триплетных наночастиц типа «ядро/оболочка/оболочка» можно контролировать, встраивая их в тонкопленочную полимерную матрицу на основе полиметилметакрилата. Согласно проведенным исследованиям, увеличение концентрации наночастиц от 0,001 М до 0,01 М приводит к увеличению интенсивности фотолюминесценции, однако избыточная концентрация наночастиц вызывает агрегацию и создает состояние концентрационного тушения.

8. Показано, что КТ и их конъюгаты обладают антибактериальной активностью в отношении бактериальных патогенов *in vitro* в диапазоне концентраций от 0,01% до 10% ($p \leq 0,05$). На основании данных клинических, функциональных и инструментальных исследований установлено, что исследуемые КТ и их конъюгаты обладают анатомическими,

функциональными, клеточно и тканевыми свойствами безопасности в концентрациях 0,01% и ниже.

9. Полученные результаты успешно внедрены в фармацевтическую и биотехнологическую отрасли. В частности, они доказали свою практическую ценность и высокую эффективность при мониторинге качества и антимикробном применении фармацевтической продукции на предприятиях «БиоХимМак» (Россия) и «Xinjiang Shafiya Biotechnology Co. Ltd.» (Китай), а также в АО «Мубарекский газоперерабатывающий завод» – дочернем предприятии АО «Узбекнефтегаз» – для защиты топливной продукции от фальсификации.

По результатам диссертационной работы получен патент (на полезную модель) Республики Узбекистан № ФАП 2663 (2025).

**ONE-TIME SCIENTIFIC ADVICE ON THE BASE
SCIENTIFIC COUNCIL ON AWARD OF SCIENTIFIC DEGREES
PhD.03/30.04.2022.K.78.05 AT TERMEZ STATE UNIVERSITY**

SAMARKAND STATE UNIVERSITY

ISHANKULOV ALISHER FARMONOVICH

**SYNTHESIS AND STUDY OF FLUORESCENT NANOMARKERS BASED
ON HYBRID QUANTUM DOTS FOR PETROCHEMICALS AND
BIOMEDICINE**

02.00.04 – Physical chemistry

02.00.12 – Nanochemistry, nanophysics and nanotechnology

**DISSERTATION ABSTRACT OF THE DOCTOR OF
CHEMICAL SCIENCES (DSc)**

The title of the dissertation of the Doctor of Science (DSc) dissertation is registered with the Higher Attestation Commission under the Ministry of Higher Education, Science and Innovation of the Republic of Uzbekistan under the number B2023.4.DSc/K175.

The dissertation has been Doctoral dissertation was completed at Samarkand State University
The abstract of dissertation in three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) is available online
www.tersu.uz and on the website of «ZiyoNet» information-educational portal www.ziynet.uz.

Scientific consultants:

Galyametdinov Yuriy
Doctor of Chemical Sciences, Professor

Mukhamadiev Nurali
Doctor of Chemical Sciences, Professor

Official opponents:

Ruzimuradov Olim
Doctor of Chemical Sciences, Professor

Akbarov Hamdam
Doctor of Chemical Sciences, Professor

Atakhanov Abdumutalib
Doctor of Technical Sciences, Professor

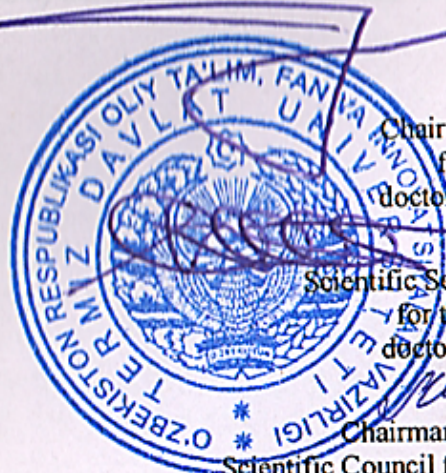
Leading organization:

Institute of General and Inorganic Chemistry

The defense will take place on "2" X 2025 at "10⁰⁰" at the meeting of the one-time Scientific Council for the Awarding of Sciences Degrees DSc.03/31.01.2023.K/T.78.01, at Termez State University at the address: 190111, Termez, district, pos. Barkamol Avlod, 43 tel: (+99876) 221-74-55; (+99876) 221-71-17, e-mail: termizdu@umail.uz

The dissertation is registered at the Informational Resource Center of Termez State University for № 314, which can be found at the IRC (Address: 190111, Termez, 43 Barkamol Avlod St., tel.: (+99876) 221-74-55; (+99876) 221-71-17, e-mail: termizdu@umail.uz

The abstract of the dissertation has been distributed on « 10 » X 2025 year
(Protocol at the register № 1 dated « 10 » X 2025 year)



I.A.Umbarov
Chairwoman of the Scientific Council
for Award of Academic Degrees,
doctor of technical sciences, professor

Sh.A.Kasimov
Scientific Secretary of the Scientific Council
for the Award of Academic Degrees,
doctor of chemical sciences, professor

G.J.Muqumova
Chairman of the Scientific Seminar of the
Scientific Council for Award of Academic Degrees,
doctor of chemical sciences, dotsent

INTRODUCTION (abstract of doctor (DSc) dissertation)

The aim of the research is to synthesize and characterize physicochemical properties of fluorescent nanomarkers based on hybrid quantum dots for petrochemical and biomedical applications.

Research objects: of the study were inorganic precursors, organic solvents, quantum dots with "core", "core/shell" and "core/shell/shell" structures, stabilizers, PMMA, PVK, and PFO polymers.

The scientific novelty of the research is as follows:

A one-step method for obtaining quantum dots with a "core/shell" and "core/shell/shell" structure has been developed;

It has been proven that triplet ZnSe/ZnS/ZnS structures have a higher intensity of photoluminescence than mono and hybrid systems;

It has been determined that by changing the morphological and physicochemical parameters of quantum dots, their luminescent efficiency can be increased from 17% to 89%;

For the first time, the stability and optical-dimensional properties of clusters of quantum dots with hybrid CdSe/ZnS, CdSe/CdS, ZnSe/ZnS, triplet CdSe/CdS/ZnS, CdSe/ZnS/ZnS, "ZnSe/ZnS/ZnS+stabilizer" systems have been determined;

Thin-layer nanocomposite materials with PMMA, PFO, PVC matrices containing hybrid and triplet quantum dots have been obtained;

Drug-carrying nanosystems and markers for determining the direction of oil flow have been developed based on synthesized hybrid and triplet quantum dots.

Implementation of research results. Based on the scientific results obtained in the study of fluorescent nanomarkers based on the synthesis of hybrid and triplet quantum dots for petrochemicals and biomedicine:

The method of obtaining colloidal quantum dots was put into practice at the BioXimMak enterprise. (Reference No. 93/77 of the BioXimMak enterprise (Russia) dated May 25, 2025). As a result, it was possible to significantly improve the quality of pharmaceuticals and optimize the production process;

The method of "in vitro" in a biological environment was put into practice at the Xinjiang Shafiya Biotechnology Co. Ltd. enterprise (Reference No. 15, 2025 of the Xinjiang Shafiya Biotechnology Co. Ltd. enterprise (China) dated March 15, 2025). As a result, it was possible to use quantum dots as antimicrobial agents;

The method of colloidal synthesis of quantum dots was put into practice at the Mubarak Gas Processing Plant of Uzbekneftegaz JSC (Reference No. 981/GK-07 of Mubarak Gas Processing Plant JSC dated 22.07.2025). As a result, it was possible to control the direction of condensate flow;

The data obtained as a result of the research were used in 5 foreign scientific sources with a high impact factor (Journal results in optics, 2024, V.16. P.1-7, IF=4.2. Journal Analytica Chimica 2025, V.1345. P.11-27, IF=6.2., Journal Optik 2024, V.311. P.87-98, IF=4.8., Journal of Sol-Gel Science and Technology 2023, V.108. P.66-75, IF=3.2., Journal Analytical Methods-2025, P.1-23, IF=3.7., Journal biomaterials science 2025, V.10. P.1-36, IF=5.7). As a result, it was possible to

obtain nanomarkers based on quantum dots and polymer matrices of various compositions.

The size and structure of the dissertation. The dissertation consists of an introduction, 5 chapters, a conclusion, a list of references and appendices. The size of the dissertation is 180 pages.

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

I bo'lim (I часть; part I)

1. Ishankulov A.F., Q.F.Xalilov, N.Q.Muhamadiyev, Yu.G.Galyametdinov. Kvant nuqtalar sintezi va optik-o'lcham xossalari // Monografiya. –Samarqand. “SamDU” nashriyoti. – 2025. 160– b.;

2. Ishankulov A.F., Islomova Z.R., Q.F.Xalilov, N.Q.Muhamadiyev, Yu.G.Galyametdinov. Kvant nuqtalar sintezi // O'zbekiston Respublikasi Adliya vazirligi, Rasmiy axborotnoma. Foydali model patenti. – FAP 2663. – № 3(288). – 14.03.2025. – B. 1-9.

3. Ishankulov A. F., Khalilov K.F., Shamilov R.R., Galyametdinov Yu.G., Mukhamadiev N.Q.. Size-optical characteristics of CdSe/ZnS quantum dots modified by thiol stabilizers //Journal of Sol-Gel Science and Technology. – 2023. – T. 108. – №. 2. – P. 292-297. (№ 1. Web of Science, № 3. Scopus. IF=3,7). <https://link.springer.com/article/10.1007/s10971-023-06096-9>

4. Ishankulov A.F., Eliboev I. et al. Advancing Analytical Chemistry with Carbon Quantum Dots: Comprehensive review //Analytical Methods. – 2025. P. 1-23. Advancing analytical chemistry with carbon quantum dots: a comprehensive review. (№ 1. Web of Science, № 3. Scopus. IF=2,7). <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2025/ay/d4ay02237h/unauth>

5. Alisher Ishankulov, Farangiz Sobirova, Qadriddin Xalilov, Yuriy Galyametdinov, Nurali Muxamadiyev. G-C₃N₄/CdZnS uglerod nuqtalarining sintezi va fotokatalitik xossalari // UzMU xabarlari (2024) № 2/3. 359-362-b. <https://portfolio.afu.uz/storage/documents/lqfcCqU7b7V6WkboKOgnF2wkRD5Us4CsOoDTnf2G.pdf>. (02.00.00. № 11).

6. Ishankulov A.F., Islomova Z.R., Tursunova N.R., Khalilov K.F., Mukhamadiev N.K., Galyametdinov Y.G.. Synthesis Of multi-Component Coded // Quantum Dots International Journal of Material and Chemistry №1. -P. 28-31. 2025. (02.00.00. № 13)

7. Ishankulov A.F., Khalilov K.F., Shamilov R.R., Galyametdinov Yu.G., Mukhamadiev N.Q.. Size-optical characteristics of CdSe/ZnS quantum dots modified by thiol stabilizers // SamDU ilmiy axborotnomasi, Samarkand 2021. P.65-66. (02.00.00. № 9)

8. Ishankulov A.F.. Polimerlar bilan ko'p komponentli gibrid kvant nuqtalari kompozitlarining lyuminesensiyasi va optik-o'lcham xossalari // Kompozit materiallar kimyosi jurnali №1. -B. 28-29. 25-mart 2024-yil. (02.00.00. № 4).

9. A.F. Ishankulov, Xalilov Q.F., Galyametdinov Yu.G., Muxamadiyev N.Q.. Gibrid ko'p komponentli CdSe/CdS/ZnS kvant nuqtalarning sintezi va optik-o'lcham xossalari // UzMU xabarlari № 2/3. (2023) (02.00.00. № 11).

10. Ishankulov A.F., Tursunova N.R., Ergasheva D.R., Khalilov K.F., Galyametdinov Yu.G., Mukhamadiev N.K. Obtaining semiconductor CdS, CdSe and CdSe/ZnS core/shell nanoparticles and their composites with polymers. (2023) Scientific journal of SamSU № 1. P. 47-51. (02.00.00. № 9)

11. А.Ф.Ишанкулов, А.Р. Вохидов, К.Ф. Халилов, Ю.Г.Галяметдинов, Н.К.Мухамадиев. Влияние условий синтеза на оптические характеристики квантовых точек CuInS_2 и гибридов $\text{CuInS}_2/\text{ZnS}$ // Химический журнал Узбекистана. -апрель 2023. - №1. -С. 16-20. . (02.00.00. № 6).

12. Ishankulov A.F.. Physicochemical properties of nanocomposites based on triplet CdSe/CdS/ZnS quantum dots // Scientific journal of SamSU № 1. P. 5-10. (2025) (02.00.00. № 9)

II bo'lim (II часть; II part)

13. Ishankulov A.F., Shamilov R.R., Khalilov K.F., Galyametdinov Y.G., Mukhamadiev N.Q. Synthesis and optical-dimensional properties of hybrid CdSe/ZnS nanocrystals // journal Materials Science and Engineering. – AIP Publishing, 2020. – 1008 012033. (№ 1. Web of Science, № 3. Scopus. IF=6,1). <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/1008/1/012033> (Scopus).

14. Ishankulov A.F., Khalilov K.F., Shamilov R.R., Galyametdinov Y.G., Mukhamadiev N.Q. Nanocomposite films based on poly (N vinylcarbazole) and CdSe/CdS hybrid quantum dots // In AIP Conference Proceedings (Vol. 3045, No. 1). (2024, March). AIP Publishing. <https://pubs.aip.org/aip/acp/article-abstract/3244/1/050010/3322904> (Scopus). (02.00.00. № 1).

15. Ishankulov A.F., Islomova Z.R., Khalilov K.F., Shamilov R.R., Galyametdinov Y.G., Mukhamadiev N.Q. Nanocomposites based on multicomponent quantum dots //AIP Conference Proceedings. – AIP Publishing, 2024. – P. 3244. – №. 1. <https://pubs.aip.org/aip/acp/article-abstract/3244/1/050010/3322904> (Scopus). (02.00.00. № 1).

16. А.Ф.Ишанкулов, Р.Р.Шамилов, К.Ф.Халилов, Ю.Г.Галяметдинов, Н.К.Мухамадиев. Влияние условий синтеза на оптические характеристики квантовых точек CdSe и гибридов CdSe/ZnS . Международной научно-практической конференции «Современные тренды высшего образования и науки в области химии и химической инженерии». 159 с. 10-12 мая 2023 г., г. Алматы, Казахстан.

17. Ishankulov A.F., Shamilov R.R., Khalilov K.F., Galyametdinov Yu.Y., Mukhamadiev N.K.. Modification of polymethyl methacrylate based on hybrid CdSe/ZnS and CdSe/CdS/ZnS quantum dots // Eurasian Journal of Physics, Chemistry and Mathematics. September 2022 ISSN: 13-17 с.

18. Ishankulov A.F. Shamilov R.R., Galyametdinov Y.G., Mukhamadiev N.K. Synthesis and luminescent properties of nanocrystals in the core/shell //Central asian journal of medical and natural sciences. – 2022. – V. 3. – №. 5. – P. 269-275 (02.00.00, № 23, GIF – 5,5)

19. Собирова Ф.Ж., Исломова З.Р., Ишанкулов А.Ф., Халилов К.Ф., Галяметдинов Ю.Г., Мухамадиев Н.К. Синтез и фотокаталитические свойства углеродных точек. «Развитие фундаментальной и прикладной химии и её вклад в индустриализацию страны» Душанбе, Таджикистан 16 октября 2024. 228-232 с.

20. А.Ф. Ишанкулов, З.Р. Исламова, Г.Ф. Халилов, Ю.Г. Галяметдинов, Н.К. Мухамадиев. Размерно-оптические особенности модификации квантовых точек CdSe/ZnS тиольными стабилизаторами. V Всероссийская молодежная конференция г. Уфа, 21-22 апрель 2024 г. С 245-247.

21. Ishankulov A.F., Islomova Z.R., Shamilov R.R., Khalilov K.F., Galyametdinov Yu.G., Mukhamadiev N.K. Size-optical properties of modification of thiol stabilized CdSe/ZnS quantum dots. First International Conference on Low-Dimensional Advanced Materials ICLODAM-24. February 21-22 Tashkent, 2024.

22. Abdibanatova G.B., Ishankulov A.F., Khalilov Q.F., Galyametdinov Yu.G., Muxamadiev N.Q. Dodekantol bilan modifikatsiyalangan ZnSe kolloid kvant nuqtalar sintezi. Kolloid kimyo: kimyoviy texnologiya, ekologiya va sanoat uchun innovatsiyalar va yechimlar” mavzusidagi xalqaro ilmiy-texnikaviy anjuman. 2025 yil 7-8 fevral Termiz. 157-159 b.

23. Metanboyeva Sh.F., Sobirova F.J. Ishankulov A.F., Khalilov Q.F., Ozchilik S. Galyametdinov Yu.G., Muxamadiev N.Q. Uglerodga asoslangan kvant nuqtalar sintez qilish va spektral xossalari o'rganish. Kolloid kimyo: kimyoviy texnologiya, ekologiya va sanoat uchun innovatsiyalar va yechimlar” mavzusidagi xalqaro ilmiy-texnikaviy anjuman. 2025 yil 7-8 fevral Termiz. 161-162 b.

24. Bahronova N., Kolyadin V.G., Ishankulov A.F. Triplet CdSe/CdS/ZnS kvant nuqtalariga asoslangan nanokompozitlarning fizik-kimyoviy xossalari. Kolloid kimyo: kimyoviy texnologiya, ekologiya va sanoat uchun innovatsiyalar va yechimlar” mavzusidagi xalqaro ilmiy-texnikaviy anjuman. 2025 yil 7-8 fevral Termiz. 159-161 b.

25. Ishankulov A.F., Islomova Z.R., Khalilov K.F., Galyametdinov Yu.G., Mukhamadiev N.K. Preparation of nanocomposite films from hybrid CdSe/CdS quantum dots. At the Uzbek-Chinese scientific Forum on New Materials on May 3-4, 2024 Tashkent.

26. Ishankulov A.F., Islomova Z.R., Khalilov Q.F., O'zchilik S.S., Galyametdinov Yu.G., Muxamadiev N.Q. CdTe kvant nuqtalari sintezi va optik-o'lcham xossalari. Республиканской научно-практической конференции «Достижения и перспективы супрамолекулярной химии»: материалы конференции (15 мая 2024 г.). — Ташкент, 2024. — 53 с.

27. Islomova Z.R., Ishankulov A.F., Khalilov Q.F., Galyametdinov Yu.G., Muxamadiev N.Q. CdSSe kvant nuqtalar sintezi va optik-o'lcham xossalari. Zarafshon vohasini kompleks innovatsion rivojlantirish yutuqlari, muammolari va istiqbollari V-xalqaro ilmiy-amaliy anjumani. 18-19 April, 2024 Navoiy, 268-270-betlar.

28. Ishankulov A.F., Islomova Z.R., Khalilov Q.F., Galyametdinov Yu.G., Muxamadiev N.Q. Polimerlar va ko'p komponentli gibrid kvant nuqtalari asosidagi kompozitlarning olinishi hamda xossalari. «Termoreaktiv oligomerlar, polimerlar saqlovchi chiqindilar, polifunksional birikmalar va ular asosida polimer materiallar yaratishning istiqbollari» mavzusidagi Xalqaro ilmiy-amaliy anjuman. 237-238-betlar. 18-19-yanvar 2024-yil Tashkent.

29. Ishankulov A.F., Khalilov Q.F., Galyametdinov Yu.G., Muxamadiev N.Q. Uglerod nuqtalarini sintezi va fotokatalitik xususiyatlari. Tabiiy fanlar sohasidagi

dolzarb muammolar va innovatsion texnologiyalar xalqaro ilmiy-amaliy konferensiya. 4-5 aprel 2024-yil. Toshkent. 38-40-betlar.

30. А.Ф. Ишанкулов, К.Ф. Халилов, Ю.Г. Галяметдинов, Н.К. Мухамадиев Модификация и оптико-размерные свойства полиметилметакрилата на основе триплетных квантовых точек CdSe/CdS/ZnS. «Развитие фундаментальной и прикладной химии и её вклад в индустриализацию страны» Душанбе, Таджикистан 16 октября 2024. 141-144 ст.

31. Ishankulov A.F., Islomova Z.R. Xalilov Q.F., Galyametdinov Yu.G., Muxamadiev N.Q. Uglerodga asoslangan kvant nuqtalar va polimer kompozitlarining sintezi hamda fizik-kimyoviy xossalari. “Polimerlar haqidagi fanining hozirgi holati va rivojlanish istiqbollari: sintezi, tuzilishi, xossalari va qo‘llanilishi” mavzusidagi Xalqaro O‘zbekiston-Tojikiston simpoziumi. 2024 yil, 24-25 oktyabr Toshkent sh. 120-121-betlar.

32. Ishankulov A.F., Xalilov Q.F., Galyametdinov Yu.G., ждМухамадиев N.Q. Neft-kimyosi uchun ko‘p komponentli yarimo‘tkazgichli nanokristallar sintezi. “Neft, gaz va gazkondensatni qazib olish va tayyorlash jarayonidagi texnologik muammolarning innovatsion yechimlari” mavzusidagi ilmiy-texnik anjumani. 14-15-noyabr Buxoro 2024.

33. Ishankulov A.F., Xalilov Q.F., O‘zchilik S.S., Galyametdinov Yu.G., Mukhamadiev N.K. Poly(N vinilkarbazol) va gibrid CdSe/CdS kvant nuqtalariga asoslangan nanokompozitlar olish. «Bioorganik kimyo fani muammolari» (Akademik O.S.Sodiqovning 111 yilligi hamda professor Sh.V.Abdullayevning 80 yoshlik yubileyiga bag‘ishlangan) XI Respublika yosh kimyogarlilar ilmiy-amaliy konferentsiyasi. 22-23-noyabr 2024-yil. 61-62-betlar.

34. Ишанкулов А.Ф., Шамилов Р.Р., Халилов К.Ф., Галяметдинов Ю.Г., Мухамадиев Н.К. Люминесцентные характеристики гибридных квантовых точек CdSe/CdS и CdSe/CdS/ZnS полученных в водно-спиртовой среде. Седьмая международная конференция стран СНГ золь-гель синтез и исследование неорганических соединений, гибридных функциональных материалов и дисперсных систем «золь-гель 2023». Москва 28 августа - 1 сентября 2023 г. 82 с.

35. Ишанкулов А.Ф., Халилов К.Ф., Галяметдинов Ю.Г., Мухамадиев Н.К. Синтез гибридных CdSe/CdS и триплетных CdSe/CdS/ZnS квантовых точек и люминесцентных характеристики. Республиканской научно-технической конференции. «Прогрессивные технологии получения композиционных материалов на основе местного и вторичного сырья» 14-15 сентября 2023 г. Ташкент. 83-84с.

36. Ishankulov A.F., Xalilov Q.F., Galyametdinov Yu.G., Muxamadiev N.Q. Perovskit kvant nuqtalarini sintez qilish. “Замонавий физик-кимёвий тадқиқот усулларининг илмий ва ишлаб чиқариш соҳасидаги интеграцияси” мавзусидаги Республика илмий-амалий анжумани. 22-23- сентябрь 2023 йил Тошкент. 189-бет.

37. Ишанкулов А.Ф., Шамилов Р.Р., Халилов К.Ф., Галяметдинов Ю.Г., Мухамадиев Н.К. Модификация и оптико-размерные свойства

полиметилметакрилата на основе гибридных квантовых точек CdSe/ZnS и CdSe/CdS/ZnS. Международная научная конференция «Развитие современной химии и её теоретические и практические аспекты». 162-165 с. 18 октября 2023 г. Душанбе, Таджикистан.

38. Ishankulov A.F., Xalilov Q.F., Galyametdinov Yu.G., Muxamadiev N.Q. Ko'p komponentli yarimo'tkazgichli nanokristallar sintezi. Международная научно-практической конференции. «Назарий ва экспериментал кимё хамда кимёвий технологиянинг замонавий муаммолари» Халқаро илмий-амалий анжумани. 20-октябрь Карши 2023 й. 336-338-bet.

39. Ishankulov A.F., Xalilov Q.F., Galyametdinov Yu.G., Muxamadiev N.Q. Neft-kimyosi uchun kodlangan kvant nuqtalarni sintezi. Международной научно-технической конференции, «Актуальные проблемы создания и использования высоких технологий переработки минерально-сырьевых ресурсов Узбекистана». 16-17 ноября 2023 года в г.Ташкенте.

40. Ishankulov A.F., Xalilov Q.F., Galyametdinov Yu.G., Muxamadiev N.Q. Ko'p komponentli kvant nuqtalar sintezi va optik-o'lcham xossalari. Zarafshon vohasini kompleks innovatsion rivojlantirishi: yutuqlar, muammolar va istiqbollari nomli IV-xalqaro anjumani. 2023 y., 16-17-Noyabr, Navoiy, O'zbekiston

41. Ishankulov A.F., Xalilov Q.F., Galyametdinov Yu.G., Muxamadiev N.Q. Ko'p komponentli kvant nuqtalarni sintezi. "Kimyo fani va sanoatining dolzarb muammolari" mavzusidagi xalqaro ilmiy-amaliy anjuman. 24-25-noyabr Farg'ona.

42. Ishankulov A.F., Ergasheva D.R., Khalilov K.F., Galyametdinov Yu.G., Mukhamadiev N.K. Nanocomposite films based on poly(n vinylcarbazole) and CdSe/CdS hybrid quantum dots. International scientific and practical conference "Fundamental and practical aspects of functional polymers". P. 794-797. 17-18-march Tashkent 2023.

43. Ishankulov A.F., Vohidov A.R., Xalilov Q.F., Galyametdinov Yu.G., Muxamadiev N.Q. CdSe/ZnS kvant nuqtalariga so'poninlarni sirt faol moddalar sifatida qo'llab, sintezi va ularning optik-o'lcham xossalari. "Analitik kimyoning dolzarb muammolari" mavzusidagi xalqaro ilmiy-amaliy anjumani. 11-12-may 2023-yil Toshkent. 214-215-betlar.

44. Ишанкулов А.Ф., Эргашева Д.Р, Халилов Қ.Ф., Галяметдинов Ю.Г., Мухамадиев Н.К. Синтез и исследование фотокаталитических свойств наночастиц CdS. Международная научная конференция «Новые материалы и гелиотехнологии». 15-16 май 2023 г. Паркент, Узбекистан. 21-23с.

45. А.Ф.Ишанкулов, К.Ф.Халилов, Ю.Г.Галяметдинов, Н.К.Мухамадиев. Оптические свойства пленок на основе жк комплекса европия и квантовых точек CdSe/CdS/ZnS. "Перспективы развития целлюлозы и её производных". Международной научно технической конференции посвященное к 85-летию акад. Г.Р. Рахманбердиева Ташкент, 16-17 го мая 2023 г. 293-295 с.

46. Ишанкулов А.Ф., Эргашева Д.Р, Халилов Қ.Ф., Галяметдинов Ю.Г., Мухамадиев Н.К. Влияние стабилизатора на фотокаталитические свойства квантовых точек Mn:CdS. Международной научно-практической конференции на теми «Зелёная химия и стойчивое развитие». 24-27 май 2023 г. Ташкент. 155 с.

47. Tursunova N.R., Vohidov A.R, Ergasheva D.R., Ishankulov A.F., Xalilov K.F., Galyametdinov Yu.G., Muhamadiev N.K. Polimetilmetakrilat kompozitlari lyuminesstsiyasini kvant nuqtalari bilan kumush nanozarrachalari doirasida kuchaytirish “Nodir va noyob metallar kimyosi va texnologiyasi: bugungi holati, muammolari va istiqbollari” Respublika ilmiy-amaliy konferensiyasi. Termiz 28-29-aprel 2023-yil. 199-200-betlar.

48. Ишанкулов А.Ф., Шамилов Р.Р., Эргашева Д.Р., Халилов Қ.Ф., Галяметдинов Ю.Г., Мухамадиев Н.К. Люминесцентные свойства гибридных квантовых точек CdSe/ZnS и нематических жидких кристаллов. Сборник материалов Республиканской научно-практической конференции. Институт общей и неорганической химии АН РУз. ст. 32-33. Ташкент 12-14 май 2022 года.

49. Ishankulov A.F., Vohidov A.R. Shamilov R.R., Xalilov Q.F., Galyametdinov Yu.G., Muxamadiev N.Q. Poli(metilmetakrilat) va gibrid CdSe/ZnS kvant nuqtalariga asoslangan nanokompozit plyonkalar olish. ”Yarimo’tkazgichlar, nanomateriallar va fotoenergetikaning dolzarb muammolari” Respublika ilmiy-amaliy anjumani. 90-93-b Urgench 9-10 – dekabr, 2022 yil.

50. Ишанкулов А.Ф., Шамилов Р.Р., Халилов Қ.Ф., Галяметдинов Ю.Г., Мухамадиев Н.К. Синтез и исследование фотокаталитических свойств наночастиц CdS. Bioorganik kimyo dolzarb muammolari. X Respublika yosh kimyogarlar konferensiyasi. 82-84-b. Namangan, 25-26 noyabr 2022-yil.

51. Ишанкулов А.Ф., Халилов Қ.Ф., Галяметдинов Ю.Г., Мухамадиев Н.К. Гибрид CdSe/ZnS квант ну.таларни триоктилфосфин стабилизатори билан баркарорлаштириш. Кимёнинг ривожиди фундаментал, амалий тадқиқотлар ва уларнинг истиқболлари Мавзусидаги Республика илмий-амалий анжумани. 2022 йил 22-23 сентябрь Тошкент 343-344-б.

52. Ishankulov A.F., Vohidov A.R. Xalilov Q.F., Galyametdinov Yu.G., Muxamadiev N.Q. Gibrid CdSe/ZnS kvant nuqtalarning spektrall-lyuminesstsiya xossalari. Innovatsion texnika va texnologiyalarning qishloq xo‘jaligi – oziq-ovqat tarmog‘idagi muammo va istiqbollari. 2022-yil 22-23 aprel Toshkent 369-372-b.

53. Ishankulov A.F.. Biotibbiyotda qo‘llanilishi uchun CdSSe asosidagi fluoretsent kvant nuqtalarini sintez qilish va xossalari o‘rganish. “Kimyo fanining muammolari, sanoat sohalariga tatbiqi va yashil texnologiyalar” mavzusidagi xalqaro ilmiy-amaliy anjumani. Namangan 2025 yil 18-19 aprel 842-844-b.

54. Ishankulov A.F., Sobirova F.J., Metanboyeva Sh.F., Abdibanotova G.B., Xalilov Q.F., Galyametdinov Yu.G., Muxamadiev N.Q.. Kvant nuqtalar asosida polimetilmetakrilat polimer kompozitlarini olish va optik-o‘lcham xossalari “tabiiy fanlar: dolzarb muammolar va ularning yechimlari” 93-95-b. 7-8-may 2025-yil Samarqand.

Avtoreferatning o‘zbek, rus va ingliz (rezyume) tillaridagi nusxalari
«Surxondaryo ilm va fan» jurnali tahririyatida tahrirdan o‘tkazildi.

Bosmaxona tasdiqnomasi:



4268

2025-yil 29-avgustda bosishga ruxsat etildi:
Ofset bosma qog‘ozi. Qog‘oz bichimi 60×84_{1/16}.
“Times” garniturası. Ofset bosma usuli.
Hisob-nashriyot t.: 4,5. Shartli b.t. 3,5.
Adadi 100 nusxa. Buyurtma №29/08.

SamDChTI nashr-matbaa markazida chop etildi.
Manzil: 140117, Samarqand sh, Gagarin ko‘chasi, 43.

