

**Cd_{0,5}Zn_{0,5}S KVANT NUQTALARI VA BO‘YOQLARNING
ASSOTSIATSIYALARNING OPTIKCHEGARALANISHI, NOCHIZIQLI SINISH VA
NOCHIZIQLI YUTULISHI.**

F.F.To‘yboyev

Navoiy Davlat Pedagogika Instituti

Abstrakt: Optical confinement properties of alloy Cd_{0,5}Zn_{0,5}S quantum dots associated with erythrosine dye are analyzed using 532 nm, 40 ps pulses. We show that the combined effects of saturated absorption, inverse saturated absorption, and two-photon absorption lead to optical confinement of 532 nm radiation at pulse energies greater than 1 mJ. The nonlinear refraction and nonlinear absorption of these quantum dots associated with various organic dyes were studied using 1064 nm and 532 nm radiation. The nonlinear refractive index and nonlinear absorption coefficient of Cd_{0,5}Zn_{0,5}S quantum dots were measured to be $2 \times 10^{-13} \text{ W cm}^{-2}$ and $1.2 \times 10^{-8} \text{ W cm}^{-1}$ at $\lambda=1064 \text{ nm}$. The inverse saturation absorption of Cd_{0,5}Zn_{0,5}S quantum dots and erythrosine was almost 2 times larger at $\lambda=532 \text{ nm}$. Potential applications of these quantum dots for higher-order harmonic generation are discussed.

Annotatsiya: Eritrozin bo‘yog‘i bilan bog‘liq bo‘lgan qotishma Cd_{0,5}Zn_{0,5}S kvant nuqtalarining optik cheklash xususiyatlari 532 nm, 40 ps impulslar yordamida tahlil qilinadi. Biz ko‘rsatamizki, to‘yingan yutilish, teskari to‘yingan yutilish va ikki fotonli yutilishning birgalikdagi ta'siri 1 mJ dan ortiq impuls energiyasida 532 nm nurlanishning optik cheklanishiga olib keladi. Turli xil organik bo‘yoqlar bilan bog‘liq bo‘lgan bu kvant nuqtalarining nochiziqli sinishi va nochiziqli yutilishi 1064 nm va 532 nm nurlanish yordamida o‘rganildi. Cd_{0,5}Zn_{0,5}S kvant nuqtalarining nochiziqli sinish va nochiziqli yutilish koeffitsienti $\lambda=1064 \text{ nm}$ da $2 \times 10^{-13} \text{ Vt sm}^{-2}$ va $1,2 \times 10^{-8} \text{ Vt sm}^{-1}$ bo‘lishi uchun o‘lchandi. Cd_{0,5}Zn_{0,5}S kvant nuqtalari va eritrozinning teskari to‘yingan yutilishi $\lambda=532 \text{ nm}$ da deyarli 2 marta kattaroq edi. Yuqori tartibli garmonik hosil qilish uchun ushbu kvant nuqtalarining potentsial qo‘llanilishi muhokama qilinadi.

Optik cheklash materiallarning optik nochiziqliklarining potentsial qo‘llanilishidan biridir. U ko‘zlar va sezgir ro‘yxatga olish moslamalarini shikastlanishdan himoya qilishga qaratilgan. Ilgari, nanozarralar va kvant nuqtalari (KN) kabi kichik o‘lchamli turlar optik cheklash uchun foydalanishda afzalliklar ko‘rsatilgan. [1,2]. Turli KNlar orasida metall sulfidlar rivojlangan nochiziqli optik xossalari tufayli alohida e'tiborni tortdi. Kumush sulfid eng ko‘p o‘rganilgan KN namunasi [3]. Ushbu KNlarning nochiziqli optik tavsifi shuni ko‘rsatdiki, 532 nm spektral diapazonda u katta nochiziqli sinishi va nochiziqli yutilishga ega. Ushbu KNlarning tuzilishi, ularning Z-skaneerlari va nasos-zond tavsifi ko‘plab tadqiqotlarda xabar qilingan. Boshqa tez-tez o‘rganiladigan metall sulfid namunalari orasida CdS va ZnS KN mavjud. Ushbu turlar tajribalar shartlariga qarab katta nochiziqli sinishi ko‘rsatkichlarini (γ) va nochiziqli yutilish koeffitsientlarini (β) ko‘rsatadi [4,5]. Turli xil ilovalar uchun, xususan, bunday KNlarni o‘z ichiga olgan plazmalar orqali ultraqisqa impulslarning tarqalishi paytida yuqori tartibli garmonik hosil qilish orqali kogerent ekstremal ultrabinafsha

nurlanishni yaratish uchun kerakli past tartibli nochiziqli optik xususiyatlarga ega metall sulfid KNlarini shakllantirish tamoyillarini ishlab chiqish, nochiziqli optikaning muhim vazifalaridan biri.

Kichik o'lchamdagi turlarga bo'lgan qiziqish ularning sirt plazmon rezonanslari yaqinida nochiziqli optik javobning kuchayishi bilan bog'liq [6]. KNlarda kvant o'lchami ta'sirining o'zgarishiga boshqa yarim o'tkazgich materiallar bilan qo'shish orqali erishish mumkin. KNlarning energiya sathlarini ularning hajmini o'zgartirmasdan sozlashga qotishma KN tarkibini o'zgartirish orqali erishish mumkin. Bu imkoniyat sozlanishi optik xususiyatlarga ega qotishma KNlarning (CdSeTe, CdZnS, ZnCdSe va CdSSe) bir necha navlarini ishlab chiqarishga turtki berdi [7]. Bir hil va gradient ichki tuzilishga ega bo'lgan qotishma yarimo'tkazgichli KN zarrachalar hajmini o'zgartirmasdan optik xususiyatlarni doimiy ravishda sozlash uchun ishlab chiqilgan.

Nd: YAG lazerli ikkinchi harmonik nurlanish ($\lambda = 532 \text{ nm}$, $t = 35 \text{ ps}$) yordamida $\text{CdSe}_{0.8}\text{S}_{0.2}$ KN ning nochiziqli optik tadqiqotlari Wu va boshqalar [8] tomonidan xabar qilingan . Ushbu tadqiqotlar shuni ko'rsatdiki, $\text{CdSe}_{0.8}\text{S}_{0.2}$ KN kuchli teskari to'yingan yutilish (TTY) va to'yingan yutilish (TY) ga ega, nochiziqli yutilish koeffitsienti esa CdSeS qo'shilgan ko'zoynaklarga qaraganda uch baravar kattarodr [9]. Danilov va boshqalar 532 nm nanosekundli lazer impulslari yordamida shunga o'xshash tadqiqotlar haqida xabar berishdi. CdSe_x ning kompozitsiyaga bog'liq nochiziqli optik xususiyatlari S_{1-x} qotishma KNlar 532 nm lazer nurlanishi [10] yordamida Z-skanerlash texnikasi bilan tahlil qilindi . X qiymatlariga (0 dan 1 gacha) qarab $\text{CdSe}_x \text{S}_{1-x}$ da nochiziqli optik xususiyatlarning, xususan, ikki fotonli yutilishning (2FY) 4 dan 10 barobar o'sishi ko'rsatilgan.

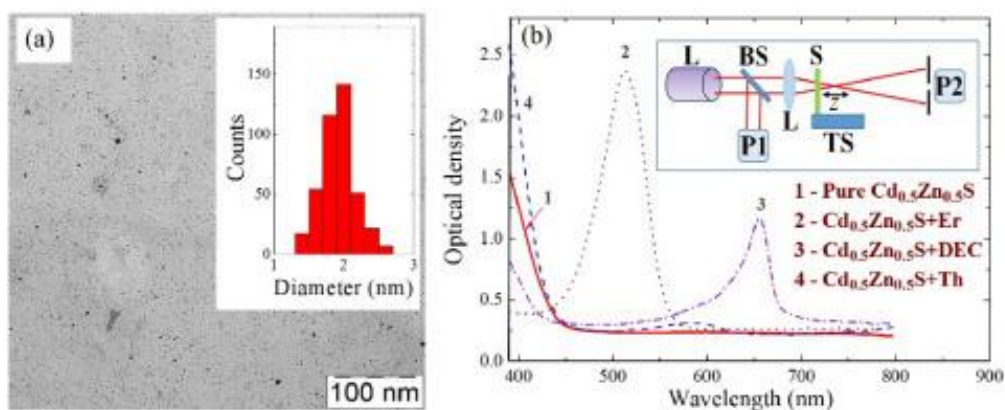
Aralash kadmiy va rux sulfidli kolloid KN larning suvda sintezi muvaffaqiyatli amalga oshirildi va zarrachalar hajmi $\sim 2 \text{ nm}$ bo'lgan kubik kristall panjarada kolloid $\text{Cd}_x \text{Zn}_{1-x}\text{S}$ KN larni olish usuli Klyuev va boshqalar tomonidan ko'rsatildi. [11]. Ushbu tadqiqotlarda optik yutilishning maksimal 420 dan 295 nm gacha ko'tarishi va KNlarda rux KN ortib borishi bilan 646 dan 483 nm gacha bo'lgan rekombinatsion fotoluminesans (FL) kuzatildi. Ushbu natijalar CdZnS KN plyonkalarini tayyorlashga va CdZnS KN suspenziyalarining FL xususiyatlarini quyosh batareyalarida qo'llash uchun o'rganishga turtki bo'ldi. Shu bilan birga, qotishma $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x$ ning optik cheklovchi tadqiqotlari yo'qligini ta'kidlash mumkin. Sintezlangan $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x \text{S}$ ning yutilish spektrlari ularning optik diapazoni diapazonlararo emissiya energiyasini hisoblash natijasida topilgan qiymatlarga yaxshi mos kelishini ko'rsatadi [13]. $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x \text{S}$ ni tekshirish taxmin qilingan KNlar va ularning bo'yoqlar kabi molekulalar bilan assotsiatsiyalari kelajakda ushbu materiallarning jozibali xususiyatlarini qo'llashga yordam beradi. KN o'z ichiga olgan bunday tizimlarga bo'lgan qiziqish har xil potentsial ilovalar uchun komponentlarning har birining jozibali xususiyatlarini bir vaqtning o'zida qo'llash umidlari tufayli ortdi. Bundan tashqari, turli xil bo'yoqlar bilan bog'liq bo'lgan KNlar yangi ishlab chiqilgan turlarning optik va nochiziqli optik reaksiyasini yanada o'zgartirishi mumkin. Shu munosabat bilan $\text{Cd}_{1-x} \text{Zn}_x$ Organik bo'yoqlar bilan bog'langan KN ko'rinadigan diapazonda ilg'or optik cheklanishni namoyish qilishi mumkin. Bunday assotsiatsiyalarning paydo bo'lishining turli sharoitlarini ularning ilg'or optik cheklovchi xususiyatlari nuqtai nazaridan sinchkovlik bilan tahlil qilish, shuningdek, γ , β , 2PA, TTY va TTY kabi nochiziqli optik xususiyatlarini o'rganish kerak.

Ushbu maqolada biz ushbu parametrlarni tahlil qilamiz va suvda erigan $\text{Cd}_{0.5} \text{Zn}_{0.5} \text{S} +$ eritrozin assotsiatsiyalarida optik cheklovni ko'rsatamiz. Biz infraqizil va pikosoniyali ko'rinadigan

lazer impulslari yordamida KN + bo‘yoq assotsiatsiyalarining turli kombinatsiyalarida γ va β o‘lchovlarini KNda tadqiq etamiz. Shuningdek, biz kuchli maydon lazer-materiya o‘zaro ta’siri uchun KN ning potensial qo‘llanilishini ko‘rsatamiz. Xususan, biz KN larni o‘z ichiga olgan plazma orqali ultraqisqa lazer impulslarining tarqalishi paytida plazma hosil bo‘lishi va yuqori tartibli garmonik hosil qilish uchun ushbu turlarning ablatsiyasini muhokama qilamiz.

Ekspirimental tartibga solish Kadmiy Ruh Sulfid KNlarini tayyorlash Klyuev va boshqalar [11] tomonidan tasvirlangan. Qisqacha aytganda, jelatindagi suv sintezi orqali kolloid $Cd_{0,5}Zn_{0,5}S$ KNlar tayyorlangan. $CdCl_2$, $ZnBr_2$ va Na_2S prekursorlarining suv eritmaları doimiy tezlikni va $40^\circ C$ da boshqarishni saqlab, tegishli nisbatda termostatik reaktorga kiritildi. KN ning konsentratsiyasi jelatin massasining 2% ga teng edi. Assotsiatsiyalar bo‘yoqlar va KNlarning suv eritmalarini 0,03: 1 molyar nisbatda aralashtirish orqali tayyorlangan.

KNlarning TEM 1 (a)-rasmda ko‘rsatilgan. $Cd_{0,5}Zn_{0,5}S$ KN ning o‘rtacha hajmi taxminan 2 nm da olingan. $Cd_{0,5}Zn_{0,5}S$ KN va uning bo‘yoqlar bilan assotsiatsiyalarining yutilish spektrlari 1(b)-rasmda ko‘rsatilgan. Biz ushbu bo‘yoqlarni $Cd_{0,5}Zn_{0,5}S$ aralashmalarining chiziqli yutilish cho‘qqilarini o‘zgartirish uchun tanladik.



1-rasm (a) $Cd_{0,5}Zn_{0,5}S$ KNlarning o‘lchamdagi taqsimotining TEM va gistogrammasi. (b) $Cd_{0,5}Zn_{0,5}S$ KN va KN + bo‘yoqlarning suvdagi yutilish spektrlari. 1, $Cd_{0,5}Zn_{0,5}S$ KN suvda; 2, $Cd_{0,5}Zn_{0,5}S$ KN + suvda eritrozin (Er); 3, $Cd_{0,5}Zn_{0,5}S$ KN + suvda DEC; 4, $Cd_{0,5}Zn_{0,5}S$ KN + tionin (Th) suvda. Inset: Z-skanerlash o‘lchovlari uchun eksperimental sxema. LASER, Nd:YAG lazer; BS, nur ajratuvchi; PD1, PD2, fotodiodlar; L, fokusli linza; S, namuna; TS, namunani harakatlantruvchi mexanizim.

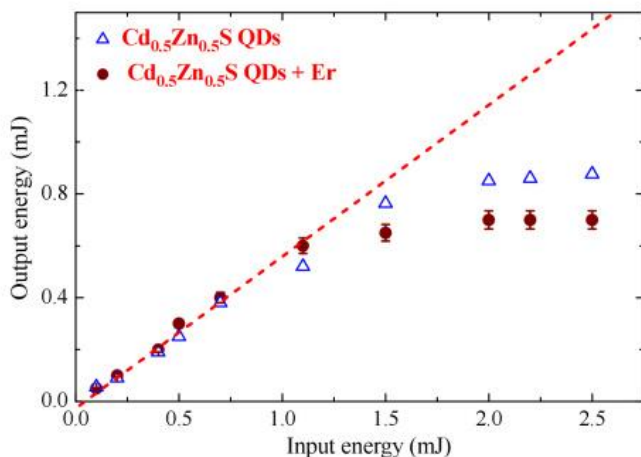
KN + bo‘yoq assotsiatsiyalaridagi nohiziqli optik jarayonlar 1064 nm va 532 nm to‘lqin uzunliklarida pikosoniya impulslari yordamida tahlil qilindi. Ekspirimental qurilma pikosoniya Nd:YAG lazerini o‘z ichiga olgan bo‘lib, u 2 Gz takrorlash tezligida bitta puls ($t = 40$ ps) va nohiziqli optiklar uchun yopiq diafragma (YA) va ochiq diafragma (OA) Z-skanerlash sxemalarini yaratdi. KDP kristalida hosil bo‘lgan lazer nurlanishi ($\lambda = 1064$ nm) yoki uning ikkinchi harmonik ($\lambda = 532$ nm) fokus uzunligi 25 sm bo‘lgan linzalar tomonidan yo‘naltirilgan [1(b)-rasmdagi ichki qismga qarang]. Nurning bel diametri 80 m m va 60 m m ($1/e^2$ ning yarmi kengligida) fokus tekisligidagi fazoviy taqsimotning maksimali) mos ravishda asosiy va ikkinchi garmonik nurlar holatida. Lazer nurlanishining energiyasi kalibrangan fotodiod yordamida o‘lchandi. KN yoki KN + bo‘yoq assotsiatsiyalarini o‘z ichiga olgan 2 mm qalinlikdagi eritilgan silika xujayralari kompyuter

tomonidan boshqariladigan tarjima bosqichidan foydalanib, fokus nuqtasi orqali z o'qi bo'ylab harakatlantirildi. O'rganilayotgan muhitning optik buzilishining oldini olishga e'tibor berildi. KN + bo'yoq assotsiatsiyalarining optik parchalanishining intensivligi asosiy va ikkinchi garmonik nurlanishning to'liq uzunliklarida mos ravishda $2,5 \times 10^{11} \text{ Vt sm}^{-2}$ va $1 \times 10^{11} \text{ Vt sm}^{-2}$ bo'lib, nurlanishning maksimal intensivligi o'lchandi. Tajribalarda $1 \times 10^{11} \text{ Vt sm}^{-2}$ dan oshmadi (1064 nm) va $3 \times 10^{10} \text{ Vt sm}^{-2}$ (532 nm). Z-skanerlash sxemasi 1 mm qalinlikdagi eritilgan silika slaydlarining nohiziqli optik parametrlarining ma'lum qiymatlari yordamida kalibrlangan. Z-skanerlash uchun xato chiziqlari $\pm 5\%$ edi. Nohiziqli optik parametrlarning mutlaq qiymatlarini aniqlashning xato chiziqlari fokus tekisligidagi lazer impulslarining intensivligini o'lchashdagi noaniqlik tufayli $\pm 25\%$ deb baholandi.

Optik cheklovchi tadqiqotlar hujayralar bo'ylab tarqaladigan impulslarning energiyasini o'zgartirish orqali amalga oshirildi. Energiya kalibrlangan filtrlar yordamida o'zgartirildi. Namuna optik chegaralanishni kuzatish uchun energiya zichligi etarli bo'lgan holatda fokuslangan nurlanish yo'liga joylashtirildi.

3. KN + bo'yoq assotsiatsiyalarida optik cheklash

Optik cheklash suvdagi $\text{Cd}_{0,5}\text{Zn}_{0,5}\text{S}$ KN + eritrozin assotsiatsiyalari orqali tarqaladigan 532 nm, 40 ps impulslar yordamida ko'rsatildi. Ushbu yechim 400 mm fokusli uzunlikdagi linzalarning fokus tekisligiga yaqin joylashtirilgan. Biz 532 nm impulslarning energiyasini asta-sekin oshirdik va KN + bo'yoq assotsiatsiyalarini o'z ichiga olgan 1 mm qalinlikdagi hujayra orqali tarqaladigan chiqish nurlanishini o'lchadik. Kirish va chiqish impulslari o'rtasidagi chiziqli bog'liqlik kirish impulslarining energiyasi $\sim 1,1 \text{ mJ}$ [2-rasm] gacha saqlanib qoldi. Kiruvchi impuls energiyasining yanada o'sishi tarqaladigan lazer nurlanishining (to'ldirilgan doiralar) energiyasining optik cheklanishiga olib keldi.



2-rasm. 532 nm optik cheklash, 40 ps impulslar suv eritmasida bo'yoqlarsiz $\text{Cd}_{0,5}\text{Zn}_{0,5}\text{S}$ KN (ko'k bo'sh uchburchaklar) va $\text{Cd}_{0,5}\text{Zn}_{0,5}\text{S}$ KNs + eritrozin assotsiatsiyalari (qizil to'ldirilgan doiralar) mavjud.

Ushbu jarayon 532 nm impulslar ($\sim 2,5 \text{ mJ}$) maksimal mavjud energiyagacha saqlanib qoldi, bu kirish impulslarining 1,1 - 2,5 mJ energiya diapazoni bo'ylab chiqish energiyasini 0,65 mJ darajasida barqarorlashtirishga imkon berdi. E'tibor bering, optik cheklovchi ta'sir ilgari turli bo'yoqlarda [14]

xabar qilingan va TY ning raqobatbardosh hissasi, shuningdek, 2FY va TTY ning tionindagi optik cheklovga qo'shma ta'siri tahlil qilingan.

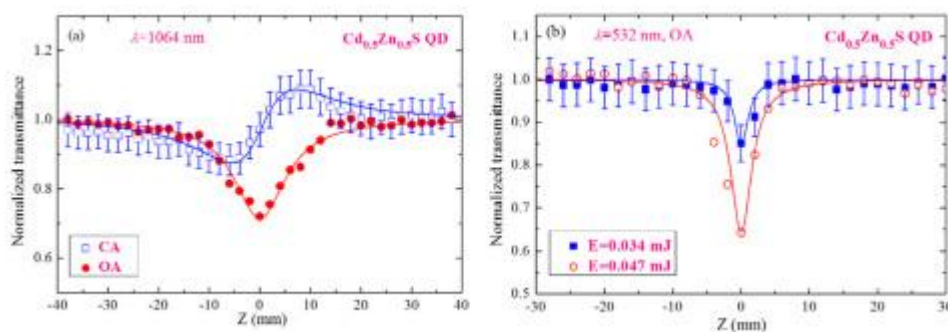
Hozirgi tadqiqotlarda KN + bo'yoq assotsiatsiyalarida optik cheklashda KNlarning hissasi hal qiluvchi rol o'ynadi, chunki yuqori impuls energiyalarida 2FY va TTY ning qo'shma ta'siri TY ta'siridan kuchliroq bo'ladi. Bu jarayon 532 nm lazer nurlanishining yuqori intensivligida TY ustidan hukmronlik qildi. *Divyasree va boshqalar* tomonidan 532 nm nanosoniyali impulslardan foydalangan holda ZnS nanostrukturalarini o'z ichiga olgan eritmadagi o'xshash optik cheklovchi xususiyatlar haqida xabar berilgan. Ularning tadqiqotlarida optik cheklash ZnS nanostrukturalarining nohiziqli yutilish xususiyatlariga ham tegishli edi. KN + bo'yoq assotsiatsiyalarida optik cheklash bo'yicha bizning kuzatishlarimiz ham asosan TTY bilan bog'liq edi. Optik cheklash lazer nurlanishining energiyasidan ancha yuqori impuls energiyasida sodir bo'ldi, bunda TY shunga o'xshash fokuslash sharoitida (mos ravishda 1,1 va 0,1 mJ) hukmron jarayonga aylandi.

Shunga o'xshash, kamroq aniq bo'lsa-da, optik cheklovchi xususiyatlar KN + tionin va KN + DEC assotsiatsiyalarida kuzatilgan. Bo'yoqsiz KN suvli eritmasiga kelsak, biz optik cheklovni chiqish impulslari chegarasining torroq diapazonida (1,5 - 2,5 mJ) oldik. KN + eritrozin holatida biz kirish nurlanishiga nisbatan chiqish impuls energiyasini $\sim 2,1$ baravar kamaytirdik. Chiqish impulslarining kutilgan energiyasini chegara chizig'idan ($\sim 1,4$ mJ) tasvirlangan ta'sirni cheklemasdan va bu impulslarning haqiqiy energiyasini [0,65 mJ, 2-rasm] 2,5 mJ kirish puls energiyasida solishtirish mumkin. Shunga o'xshash sharoitlarda suvdagi sof KNlar chiqish energiyasining $\sim 1,8$ barobar kamayishini ko'rsatdi [2-rasm]., bo'sh uchburchaklar]. Ushbu kuzatishlar KN larga birlashtirilgan bo'yoq molekularining KN + bo'yoq assotsiatsiyalarining optik cheklovchi xususiyatlariga nisbatan ta'sirini ko'rsatadi.

KN va KN + bo'yoq assotsiatsiyalarida optik cheklash uchun mas'ul bo'lgan turli xil nohiziqli optik jarayonlarni miqdoriy tahlil qilish uchun standart Z-skanerlash texnikasi yordamida γ va β ni o'lchash kerak . Quyida biz ushbu tadqiqotlar natijalarini tasvirlaymiz.

4. Z-skanerlash o'lchovlari

1064 va 532 nm impulslar yordamida suvdagi $Cd_{0,5}Zn_{0,5}S$ KN ning normallashtirilgan o'tkazuvchanligini ko'rsatadigan Z-skanerlari 3-rasmga keltirilgan . $Cd_{0,5}Zn_{0,5}S$ KN o'z ichiga olgan eritma 19,5 g distillangan suv, 0,05 g KN va 0,5 g jelatindan iborat edi. Jelatin KN agregatsiyasini cheklash uchun qo'shilgan.

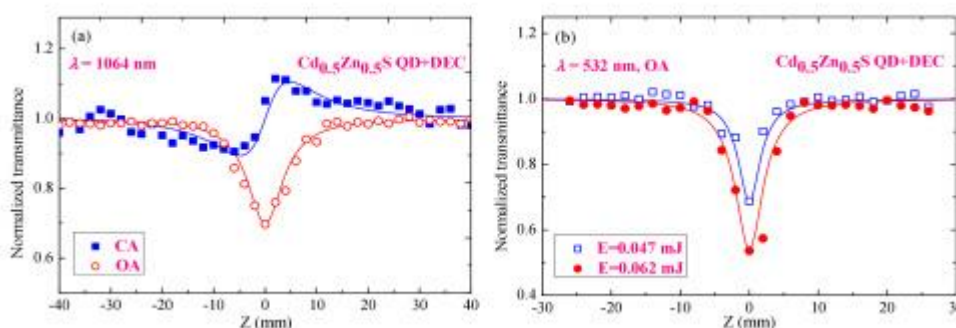


3-rasm. Suvdagi $Cd_{0,5}Zn_{0,5}S$ KN ning Z-skanerlari. (a) 1064 nm nurlanish yordamida suvdagi $Cd_{0,5}Zn_{0,5}S$ kvant nuqtalarini YA va OA Z-skanerlash.

YA: $E_{1064 \text{ nm}} = 0,37 \text{ mJ}$, OA: $E_{1064 \text{ nm}} = 0,64 \text{ mJ}$. (b) turli energiyadagi 532 nm impulslar (0,034 va 0,047 mJ) yordamida suvdagi $\text{Cd}_{0,5}\text{Zn}_{0,5}\text{S}$ KN larni OA Z-skanerlash. Qattiq egri chiziqlar Z-skanerlash nazariyasining standart munosabatlariga asoslangan eksperimental ma'lumotlarga moslamalardir.

1064 nm to'liq uzunligida KN larning ushbu suv eritmasida nochiziqli sinishi va nochiziqli yutilish kuzatildi [3(a)-rasm]. YA Z-skanerlashda biz γ ning ijobiy belgisini kuzatdik. Γ va β ni Z skanerlash [17] munosabatlaridan foydalangan holda standart moslash protsedurasi yordamida aniqlandi . Ushbu eritmaning $\lambda = 1064 \text{ nm}$ da nochiziqli sinishi indeksi va nochiziqli yutilish koeffitsienti mos ravishda $5,5 \times 10^{-16} \text{ sm}^2 \text{ Vt}^{-1}$ va $3,2 \times 10^{-11} \text{ sm Vt}^{-1}$ deb topildi. γ va β KN larning bu eritmadagi hajm qismini ($2,7 \times 10^{-3}$) hisobga olgan holda $2 \times 10^{-13} \text{ sm}^2 \text{ Vt}^{-1}$ va $1,2 \times 10^{-8} \text{ sm Vt}^{-1}$ deb hisoblangan. 1064 nm impulslarning turli intensivligini qo'llash β ning o'zgarishiga olib kelmadi, bu 2FY ning uchinchi tartibli jarayonini nochiziqli yutilish uchun mas'ul bo'lgan asosiy mexanizm sifatida ko'rsatadi. Shuningdek, biz 532 nm impulslarning ikkita energiyasi (0,034 va 0,047 mJ) holatida nochiziqli yutilishni tahlil qildik [3(b)-rasm]. Bu holatlarda minimal normallashtirilgan o'tkazuvchanlik $T_{0,034 \text{ mJ}} = 0,86$ va $T_{0,047 \text{ mJ}} = 0,64$. Lazer impulslarining ikki xil energiyasida eritmaning mos $\beta = 1 \times 10^{-10}$ va $1,5 \times 10^{-10} \text{ sm Vt}^{-1}$ ekanligi aniqlandi.

Keyingi tadqiqotlar to'plami KNlarning ikkita assotsiatsiyasi va turli bo'yoqlardan foydalangan holda o'tkazildi. 4-rasmda suvdagi $\text{Cd}_{0,5} \text{Zn}_{0,5} \text{S}$ KN + DEC assotsiatsiyalarining nochiziqli sinishi va nochiziqli yutilish tadqiqotlari natijalari keltirilgan. U holda KN tarkibidagi eritma 0,008 g $\text{Cd}_{0,5} \text{Zn}_{0,5} \text{S}$ KNs, 2,9 g distillangan suv va 0,08 g jelatindan iborat edi. Ushbu suspenziyadagi DEC ning og'irlik konsentratsiyasi 10^{-3} ni tashkil etdi. Ijobiy nochiziqli sinishi 1064 nm impulslar yordamida kuzatildi [4(a)-rasm]. Nochiziqli yutilish ikki to'liq uzunligida (1064 va 532 nm) pikosoniya Nd:YAG lazer nurlanishida ko'rsatildi . 4(a) va 4(b)]. Ushbu eritmaning $\lambda = 1064 \text{ nm}$ da γ va β lari mos ravishda $4,6 \times 10^{-16} \text{ sm}^2 \text{ Vt}^{-1}$ va $3,4 \times 10^{-11} \text{ sm Vt}^{-1}$ bo'lishi uchun moslash usuli yordamida hisoblangan. Ko'rinib turibdiki, KN ning bu bo'yoqli eritmasining γ va β qiymatlariga DEC ning ta'siri KN larning suv eritmasida o'lchangan γ va β bilan solishtirganda deyarli ahamiyatsiz edi. Ayni paytda, 532 nm holatida KN + bo'yoq assotsiatsiyalari bo'yoqsiz KN eritmasiga qaraganda taxminan ikki baravar ko'p edi. 1064 va 532 nm to'liq uzunliklarida nochiziqli sinishi indeksleri va 2FY, TY va TTY koeffitsientlarining qiymatlari 1-jadvalda to'plangan.



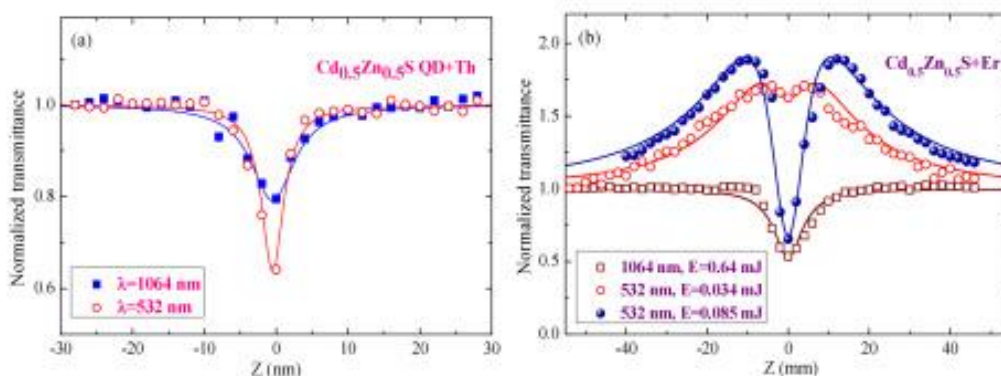
4-rasm $\text{Cd}_{0,5} \text{Zn}_{0,5} \text{S}$ KN + DEC assotsiatsiyalarining turli to'liq uzunlikdagi lazer impulslari yordamida suvdagi Z-skanerlari. (a) 1064 nm nurlanishdan foydalangan holda suvdagi $\text{Cd}_{0,5} \text{Zn}_{0,5} \text{S}$ KN + DEC assotsiatsiyalarining CA va OA Z-skanerlari. CA: $E = 0,45 \text{ mJ}$, OA: $E = 0,64 \text{ mJ}$. (b) 532

nm (0,047 va 0,062 mJ) impulslar yordamida suvdagi Cd_{0,5}Zn_{0,5}S KN + DEC assotsiatsiyalarini OA Z-skanerlash. Qattiq egri chiziqlar eksperimental ma'lumotlarga moslamalardir.

Sample	1064 nm		532 nm	
	γ , cm ² /W	β , cm/W	γ , cm ² /W	β , cm/W
Pure Cd _{0,5} Zn _{0,5} S QDs	2×10^{-13}	$+ 1.2 \times 10^{-8}$	-	$+ 1.5 \times 10^{-7}$
Cd _{0,5} Zn _{0,5} S + DEC	2.3×10^{-13}	$+ 1.4 \times 10^{-8}$	-	$+ 3 \times 10^{-7}$
Cd _{0,5} Zn _{0,5} S + thionine	-	$+ 1.0 \times 10^{-8}$	-	$+ 2.3 \times 10^{-7}$
Cd _{0,5} Zn _{0,5} S + erythrosine	-	-	-	-9×10^{-6}
		$+ 2.4 \times 10^{-8}$		$+ 1 \times 10^{-6}$

Jadval 1. 1064 nm va 532 nm to'liq uzunliklarida sof KN va KN + bo'yoq assotsiatsiyalarining nohiziqli optik parametrlari. g va b ni hisoblash uchun eritmalardagi KN larning hajm qismi hisobga olingan.

Xuddi shunday natijalar Cd_{0,5}Zn_{0,5}S KNs ning suv eritmasiga boshqa bo'yoq (tionin) qo'shilgan taKNirda ham olingan. Shakl 5 (a) da OA Z-skanerlash yordamida normallashtirilgan o'tkazuvchanlikning tionin o'z ichiga olgan KN eritmasi holatiga bog'liqligini taKNim etamiz. Biz 1064 nm to'liq uzunligida zaif nohiziqli yutilishni kuzatdik, kuchli nohiziqli yutilish esa 532 nm to'liq uzunligida olingan. Vodiya bu eritmaning normallashtirilgan o'tkazuvchanligining pasayishi 1064 nm ($E = 0,63$ mJ) va 532 nm ($E = 0,028$ mJ) impulslar yordamida mos ravishda $DT_{1064\text{ nm}} = 0,21$ va $DT_{532\text{ nm}} = 0,36$ ni tashkil etdi. b bu eritmaning $1,0 \times 10^{-11}$ sm Vt⁻¹ (1064 nm) va $2,3 \times 10^{-10}$ sm Vt⁻¹ (532 nm) deb hisoblangan.



5-rasm (a) 1064 nm ($E = 0,63$ mJ) va ($E = 0,028$ mJ) 532 nm impulslar yordamida suvda Cd_{0,5}Zn_{0,5}S KN + tionin assotsiatsiyasining OA Z-skanerlari. Eksperimental ma'lumotlarga qattiq egri chiziqlar o'rnatiladi. (b) 1064 nm (0,64 mJ) va (0,034 va 0,085 mJ) 532 nm impulslar yordamida suvdagi Cd_{0,5}Zn_{0,5}S KN + eritrozini assotsiatsiyalarini OA Z-skanerlash. Qattiq egri chiziqlar Z-skanerlash nazariyasi [17] va YA [18] fenomenologik nazariyasi munosabatlariga muvofiq eksperimental ma'lumotlarga o'rnatiladi .

Cd_{0,5}Zn_{0,5}S KN + eritrozini assotsiatsiyalarida nohiziqli yutilish va TY ham 1064 nm va 532 nm nurlanishda tahlil qilindi. 5(b) -rasmda ushbu eritmada nohiziqli yutilishning turli turlarini ko'rsatadigan OA Z-skanerlari keltirilgan. Ushbu eritmaning yutilish spektrlari 520 nm to'liq uzunligida markazlashtirilgan kuchli chiziqli yutilish zonasini ko'rsatadi [1-rasm.]. Ushbu namunada biz ikkala ishlatilgan to'liq uzunligida ham nohiziqli sinishi kuzatilmadi. Shu bilan birga, u kuchli 2FY, TY va TTY ni namoyish etdi. 2FY Nd: YAG lazerining asosiy to'liq uzunligida (bo'sh kvadratlar) nohiziqli yutilishning asosiy mexanizmi edi. Shu bilan birga, TY va TTY lazer

nurlanishining ikkinchi garmonikasining to'liq uzunligida fokuslangan nurning turli energiyalarida (bo'sh doiralar va to'ldirilgan doiralar) ustunlik qildi. Standart OA Z-skanerlash moslamasi ushbu eritmaning ijobiy va salbiy nohiziqli yutilish koeffitsientlarining belgisi va kattaligini, shuningdek, TY ning to'yinganlik intensivligini aniqlashga imkon berdi.

532 nm impulslarning nisbatan kichik energiyalarida [$E = 0,034$ mJ, 5(b)-rasmdagi bo'sh doiralar] TTY ustidan ustunlik qiladigan TY yuqori impuls energiyalarida ($E = 0,085$ mJ, to'ldirilgan doiralar) kamroq aniq bo'lishini ko'rish mumkin. sezilarli darajada kuchliroq TTY effektiga nisbatan. TY va TTY ishtirokidagi bu farq fokuslovchi linzalarning fokus tekisligiga yaqin bo'lgan sohada aniq ko'rinadi (ya'ni lazer nurlanishi eng katta intensivlikka ega bo'lgan $z = 0$ mm yaqinida). *Impuls energiyasining keyingi o'sishi chuqurroq ko'rinishni paydo bo'lishiga va $z=0$ mm ($T \approx 0,45$ gacha) yaqinida normallashtirilgan o'tkazuvchanlikning kattaroq pasayishiga olib keldi. Ushbu sharoitlarda lazer impulslarining intensivligi optik cheklashning eng katta qiymatiga ($\sim 2,1$) erishilganiga yaqin edi (3-bo'limga qarang).*

TY va TTY ni o'z ichiga olgan hollarda $\lambda = 532$ nm da nohiziqli yutilish jarayonlari $a(I) = a_0 \times I / (I + I_{sat}) + b \times I = a_{TY} + a_{TTY}$ munosabati bilan tahlil qilindi. Intensivlikka bog'liq yutilish koeffitsienti [18]. Bu erda a_0 - chiziqli yutilish koeffitsienti va I - lazer impulsining intensivligi. Nohiziqli optik koeffitsientlar ikki qismdan iborat edi: biri to'yingan yutilish (a_{TY}) va ikkinchisi teskari to'yingan yutilish (a_{TTY}) bilan bog'liq. Ushbu model yordamida biz to'yinganlik intensivligini topdik ($I_{sat} = 3 \times 10^{10}$ Vt sm⁻²) bizning KN + bo'yoq hamkorlarimiz uchun. Shu bilan birga, TTY bilan bog'langan ushbu eritmaning β qiymati 3×10^{-9} sm Vt⁻¹ ($\lambda = 532$ nm da) deb hisoblangan. Ushbu sharoitlarda KN + bo'yoq assotsiatsiyalarining β qiymatini eritmadagi ushbu turlarning hajm qismini hisobga olgan holda $\sim 1 \times 10^{-6}$ sm Vt⁻¹ deb hisoblash mumkin. Bu kuchli nohiziqli yutilish 532 nm nurlanishning optik chegaralanishi uchun javobgar edi [2-rasm].

6. Xulosalar. Xulosa qilib aytganda, biz Cd_{0,5}Zn_{0,5}S + eritrozin assotsiatsiyalarida optik chegaralanishni ko'rsatdik. 532 nm, 40 ps impulslarning 0,65 mJ darajasida tarqaladigan nurlanishning barqarorlashuviga erishildi. Biz Cd_{0,5}Zn_{0,5}S ni o'z ichiga olgan eritmalardagi nohiziqli optik jarayonlarni o'rgandik. 1064 nm va 532 nm impulslar yordamida uch turdagi bo'yoqlar va KN aralashmalarida kuzatiladigan optik cheklash mexanizmlarini aniqlash uchun. Ushbu tadqiqotlar ikki fotonli yutilish, to'yingan yutilish, teskari to'yingan yutilish, shuningdek, ushbu eritmalarda nohiziqli sinishi bilan bog'liq bo'lgan nohiziqli optik parametrlarni hisoblash imkonini berdi. Biz o'rganayotgan eritmalarning nohiziqli sinishi pikosoniyali lazer impulslari sohasidagi Kerr nohiziqiligi bilan bog'liqligini ko'rsatdik. Shu bilan birga, nohiziqli yutilish ikki fotonli yutilish, to'yingan yutilish va teskari to'yingan yutilish bilan bog'liq edi.

Past tartibli nohiziqlilikning yuqori tartibliga ta'sirini aniqlash uchun KN ning nohiziqli optik xususiyatlarini tahlil qildik. Xususan, ushbu KNlarda yuqori tartibli garmonikalarni yaratish femtosekund va pikosoniyali lazer impulslari yordamida amalga oshirilishi mumkin. Biz KN + bo'yoq assotsiatsiyalarining nohiziqli optik parametrlarining miqdoriy tahlilini taqdim etdik. Xususan, biz ochiq va yopiq diafragma Z-skanerlash sxemalarida qotishma KNlarning normallashtirilgan o'tkazuvchanligini tahlil qildik va ushbu turlardan foydalangan holda yuqori tartibli garmonik tadqiqotlar paytida nohiziqli yutilishning potentsial rolini muhokama qildik. Ushbu bog'liqliklarning tahlili asosiy past tartibli optik nohiziqliliklarni (ya'ni nohiziqli sinishi

ko'rsatkichlari va nochiziqli yutilish koeffitsientlarini) hisoblash imkonini berdi. $\text{Cd}_{0,5}\text{Zn}_{0,5}\text{S}$ KN $\lambda = 1064 \text{ nm}$ da $2 \times 10^{-13} \text{ sm}^2 \text{ Vt}^{-1}$ va $1,2 \times 10^{-8} \text{ sm Vt}^{-1}$ bo'lishi uchun eritmalarda ularning hajm qismlarini hisobga olgan holda o'lchandi, teskari to'yingan yutilish esa $\lambda = 532 \text{ nm}$ da $\text{Cd}_{0,5}\text{Zn}_{0,5}\text{S}$ KN va eritrozin deyarli ikki marta kattaroq edi ($\sim 1 \times 10^{-6} \text{ sm Vt}^{-1}$).

Ushbu tadqiqotning yangiligi qotishma kvant nuqtalarini samarali yuqori tartibli garmonik hosil qilish va kogerent ekstremal ultrabinafsha nurlanish manbalarini yaratish uchun mos vosita sifatida kelajakda qo'llanilishida potentsial qo'llanilishi bilan bog'liq. Garmonik hosil qilish uchun bunday qotishma kvant nuqtalarini o'z ichiga olgan plazma shakllanishining eng yaxshi sharoitlarini aniqlash uchun ushbu turlardagi past tartibli nochiziqli optik jarayonlarni diqqat bilan o'rganish kerak. Ushbu bilim infraqizil impulslarni qisqa to'lqin uzunligi mintaqasiga aylantirish samaradorligiga ta'sir qiluvchi to'sqinlik qiluvchi jarayonlarni cheklashga yordam beradi. Shunday qilib, qotishma kvant nuqtalarining nochiziqli sinishi va yutilish xususiyatlarining hisob-kitoblari yuqori tartibli nochiziqli optik jarayonlarni optimallashtirish uchun ushbu xususiyatlarni qo'llash imkonini beradi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Eisler, H.-J., Sundar, V.C., Bawendi, M.G., Walsh, M., Smith, H.I., and Klimov, V. (2002) Color-selective semiconductor nanocrystal laser. *Appl. Phys. Lett.*, 80 (24), 4614–4616.
2. Yang, B., Zhang, J., Cui, Y., and Wang, K. (2011) White light-emitting diode coated with ZnSe:Mn/ZnSe nanocrystal films enveloped by SiO_2 . *Appl. Opt.*, 50 (31), G137.
3. Jiang, P., Zhu, C.-N., Zhang, Z.-L., Tian, Z.-Q., and Pang, D.-W. (2012) Water-soluble Ag_2S quantum dots for near-infrared fluorescence imaging in vivo. *Biomaterials*, 33 (20), 5130–5135.
4. Ekimov, A. (1996) Growth and optical properties of semiconductor nanocrystals in a glass matrix. *J. Lumin.*, 70 (1–6), 1–20.
5. Morita, M., Rau, D., Fujii, H., Minami, Y., Murakami, S., Baba, M., Yoshita, M., and Akiyama, H. (2000) Photoluminescence of CdS:Mn^{2+} and Eu^{3+} nanoparticles dispersed in zirconia sol-gel films. *J. Lumin.*, 87–89, 478–481.
6. Ekimov, A.I., Kudryavtsev, I.A., Efros, A.L., Yazeva, T. V., Hache, F., Schanne-Klein, M.C., Rodina, A. V., Ricard, D., and Flytzanis, C. (1993) Absorption and intensity-dependent photoluminescence measurements on CdSe quantum dots: assignment of the first electronic transitions. *J. Opt. Soc. Am. B*, 10 (1), 100.
7. Du, Y., Xu, B., Fu, T., Cai, M., Li, F., Zhang, Y., and Wang, Q. (2010) Near-Infrared Photoluminescent Ag_2S Quantum Dots from a Single Source Precursor. *J. Am. Chem. Soc.*, 132 (5), 1470–1471.
8. Zhang, Y., Hong, G., Zhang, Y., Chen, G., Li, F., Dai, H., and Wang, Q. (2012) Ag_2S Quantum Dot: A Bright and Biocompatible Fluorescent Nanoprobe in the Second Near-Infrared Window. *ACS Nano*, 6 (5), 3695–3702.
9. Yang, H.-Y., Zhao, Y.-W., Zhang, Z.-Y., Xiong, H.-M., and Yu, S.-N. (2013) One-pot synthesis of water-dispersible Ag_2S quantum dots with bright fluorescent emission in the second near-infrared window. *Nanotechnology*, 24 (5), 055706.

10. Ovchinnikov, O. V., Smirnov, M.S., Shapiro, B.I., Shatskikh, T.S., Perepelitsa, A.S., and Korolev, N. V. (2015) Optical and structural properties of ensembles of colloidal Ag₂S quantum dots in gelatin. *Semiconductors*, 49 (3), 373–379.
11. Kondratenko, T.S., Grevtseva, I.G., Zvyagin, A.I., Ovchinnikov, O. V., and Smirnov, M.S. (2018) Luminescence and Nonlinear Optical Properties of Hybrid Associates of Ag₂S Quantum Dots with Molecules of Thiazine Dyes. *Opt. Spectrosc.*, 124 (5), 673–680.
12. Ovchinnikov, O. V., Smirnov, M.S., Kondratenko, T.S., Perepelitsa, A.S., Grevtseva, I.G., and Aslanov, S. V. (2018) Singlet-Oxygen Sensitization by Associates of Methylene Blue with Colloidal Ag₂S Quantum Dots Passivated by Thioglycolic Acid. *Opt. Spectrosc.*, 125 (1), 107–112.
13. Ovchinnikov, O. V, Smirnov, M.S., Perepelitsa, A.S., Shatskikh, T.S., and Shapiro, B.I. (2015) Optical power limiting in ensembles of colloidal Ag₂S quantum dots. *Quantum Electron.*, 45 (12), 1143–1150.
14. Han, M.Y., Huang, W., Chew, C.H., Gan, L.M., Zhang, X.J., and Ji, W. (1998) Large Nonlinear Absorption in Coated Ag₂S/CdS Nanoparticles by Inverse Microemulsion. *J. Phys. Chem. B*, 102 (11), 1884–1887.