

**SHAROF RASHIDOV NOMIDAGI SAMARQAND DAVLAT
UNIVRSITETI HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR BERUVCHI
PhD.03/30.12.2019.FM.02.04 RAQAMLI ILMIY KENGASH**

**MIRZO ULUG‘BEK NOMIDAGI O‘ZBEKISTON MILLIY
UNIVERSITETI**

SULTONOV ODILJON ZIYOMIDDINOVICH

**TURLI SIMMETRIYALI KRISTALL ICHIDA JOYLASHGAN NODIR
YER IONLARINING O‘ZIGA XOS MAGNITOOPTIK XUSUSIYATLARI**

01.04.05 – Optika

**Fizika - matematika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi
AVTOREFERATI**

Samarqand – 2025

**Fizika-matematika bo‘yicha falsafa doktori (PhD)
dissertatsiyasi avtoreferati mundarijasi**

**Оглавление автореферата диссертации доктора философии(PhD)
по физико–математическим наукам**

**Content of the dissertation abstract of the doctor of philosophy (PhD)
on physical and mathematical sciences**

Sultonov Odiljon Ziyomiddinovich

Turli simmetriyali kristall ichida joylashgan nodir yer ionlarining o‘ziga xos magnitooptik xususiyatlari 3

Султонов Одилжон Зиёмиддинович

Особенности магнитооптики редкоземельных ионов в кристаллическом окружении различной симметрии 21

Sultonov Odiljon Ziyomiddinovich

The rare-earth ions magnetooptics features in crystalline environments of the different symmetries 41

E‘lon qilingan ishlar ro‘uxati

Список опубликованных работ
List of published works 47

**SHAROF RASHIDOV NOMIDAGI SAMARQAND DAVLAT
UNIVRSITETI HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR BERUVCHI
PhD.03/30.12.2019.FM.02.04 RAQAMLI ILMIY KENGASH**

**MIRZO ULUG‘BEK NOMIDAGI O‘ZBEKISTON MILLIY
UNIVERSITETI**

SULTONOV ODILJON ZIYOMIDDINOVICH

**TURLI SIMMETRIYALI KRISTALL ICHIDA JOYLASHGAN NODIR
YER IONLARINING O‘ZIGA XOS MAGNITOOPTIK XUSUSIYATLARI**

01.04.05 – Optika

**Fizika - matematika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi
AVTOREFERATI**

Samarqand – 2025

Fizika-matematika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi mavzusi O'zbekiston Respublikasi Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasida raqam bilan B2022.4.PhD/FM806 ro'yxatga olingan.

Doktorlik dissertatsiyasi Mirzo Ulug'bek nomidagi O'zbekiston Milliy Universitetida bajarilgan. Dissertatsiya avtoreferati uch tilda (o'zbek, rus, ingliz (rezyume)) Ilmiy kengashning veb-sahifasida (www.inp.uz) va «Ziyonet» Axborot ta'lim portalida (www.ziyonet.uz) joylashtirilgan.

Ilmiy rahbar: **Valiyev Uygun Vaxidovich**
fizika-matematika fanlari doktori, professor

Rasmiy opponentlar: **Kurtaliyev Eldar Nuriyevich**
fizika-matematika fanlari doktori, dotsent

Niyazov Laziz Nurxonovich
fizika-matematika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD), dotsent

Yetakchi tashkilot: **Buxoro davlat universiteti**

Dissertatsiya himoyasi Sharof Rashidov nomidagi Samarqand davlat universiteti huzuridagi PhD.03/30.12.2019.FM.02.04 raqamli ilmiy kengashning 2025-yil «27» 02 soat 10⁰⁰ dagi majlisida bo'lib o'tadi. (Manzil:140104, Samarqand shahri, Universitet ko'chasi, 15 uy. Tel.: (+99866) 239 -13-87, faks: (99866) 239-11-40; e-mail: rektor@samdu.uz, Sharof Rashidov nomidagi Samarqand davlat universiteti Muhandislik fizikasi instituti, 1-qavat, 114-xona)

Dissertatsiya bilan Sharof Rashidov nomidagi Samarqand davlat universitetining Axborot-resurs markazida tanishish mumkin (10 raqami bilan ro'yxatga olingan). Manzil:140145, Samarqand shahri, Universitet ko'chasi, 15 o'y. Tel.: (99866) 239-13-87, 239-11-40; faks: (99866) 239-11-40).

Dissertatsiya avtoreferati 2025-yil «15» 02 kuni tarqatildi.
(2025-yil «15» 02 dagi 10 raqamli reyestr bayonnomasi).



M.X.Ashurov
Ilmiy darajalar beruvchi
ilmiy kengash raisi,
f.-m.f.d., akademik

R.M.Rajabov
Ilmiy darajalar beruvchi
ilmiy kengash ilmiy kotibi,
f.-m.f.n., dotsent

D.I.Semenov
Ilmiy darajalar beruvchi
ilmiy kengash huzuridagi
ilmiy seminar raisi
f.-m.f.d., dotsent

KIRISH (falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasining annotatsiyasi)

Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati: So‘ngi yillarda jahonda quyi simmetriyali nodir yer (NY) birikmalari funksional ilovalarining keng rivojlanayotganligi sababli optikada ularning optik va magnitoptik xususiyatlarini o‘rganish va chuqur tushunishga bo‘lgan qiziqish yanada kuchaymoqda. Turli matritsalarda nodir yer ionlari energetik spektrlari va magnitoptik faolligi tabiatini tadqiq qilish nafaqat fundamental, balki katta amaliy qiziqish uyg‘otmoqdaki, bu muhim ilmiy va amaliy masalalarning ba‘zi muhim aspektlari bugungi kunda ham yetarlicha to‘la aniqlanmagan va bir-biriga zidlikni namoyish qilmoqda.

Jahon ilm-fanida oxirgi yillarda olib borilayotgan tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki, elektron holatlarning Shtark ajralishlari va nodir yer ionlarining magnitoptik xususiyatlarini ularning kristall qobiqlariga bog‘liqligini aniqlash hozirgi vaqtda o‘zining aniq yechimini talab qilayotgan dolzarb muammolardan biri hisoblanadi. Yangi materiallarni ishlab chiqish ularning xarakteristikalarini shakllantirish qonuniyatlarini chuqur tushunishni talab qiladi. Bundan tashqari quyi simmetriyali nodir yer birikmalari magnitoptikasida magnitoptik faollik (MOF)ning turli mikroskopik mexanizmlarining hissalarini tadqiq qilish jarayonlarida paydo bo‘ladigan qator savollar hanuzgacha juda kam o‘rganilgan.

Oxirgi yillarda, spektroskopiya sohasidagi yo‘naltirilgan istiqbolli tadqiqotlardan biri magnit maydoni orqali boshqariladigan nodir yer ionlari optikasi hisoblanadi. Tashqi magnit maydoni ta‘siri ostida nodir yer ionlari panjaraostilari (yoki kristallning spin-sistemalari) natijaviy magnit momentini burish, boshqarish imkonini beruvchi bunday turdagi magnitoptik hodisalar yordamida magnitoptik faollikning turli mikroskopik mexanizmlari to‘g‘risida muhim axborotlar manbai bo‘lib xizmat qiladigan lyuminessensiya yoki yutilish spektrlarida tor chizikli yoki sirkulyar qutblangan chiziqlar tashkil etuvchilarining paydo bo‘lishi, yo‘qolishi va siljishlarini boshqarish mumkin. Nodir yer ionlari bilan faollashtirilgan monokristallar magnitoptik qurilmalar, optik kvant generatorlari va kuchaytirgichlari va boshqalarda keng foydalanib kelinmoqda. Bugungi kunda turli materiallar ichidan Faradey aylanishi burchagining katta qiymatlariga ega bo‘lgan paramagnit kristallarni topish bo‘yicha ishlar jadal suratlarida davom etmoqda. Ko‘pgina Faradey paramagnit muhitlari faol ionlar sifatida nodir yer ionlarini o‘z ichiga oladi, ularda $4f^{(n)} \rightarrow 4f^{(n-1)}5d$ elektrodipol o‘tishlari mavjud bo‘lib, ular qutblanish tekisligining ko‘rinadigan va infraqizil spektr sohalarida magnitoptik aylanish uchun javobgardir. Nodir yer kristallarining yuqori optik shaffoflikka ega bo‘lishlari zaruriyatini e‘tiborga olsak, $\text{KTb}_3\text{F}_{10}$ (KTF) kaliy-terbiyli ikkilangan fluorid kristallari va tarkibida Tb^{3+} va Dy^{3+} ionlari bo‘lgan ortoaluminatlar katta ilmiy qiziqish uyg‘otadi, chunki ular keng spektr diapozonida yetarlicha katta magnitoptik effekt va yuqori shaffoflikni ta‘minlaydi. Bir vaqtning o‘zida o‘lchashlarning magnitoptik metodlaridan foydalanish orqali (yorug‘likning magnitoptik yutilishi, yorug‘likning qutblanishi tekisligining magnitoptik burilishi, magnit-qutblangan lyuminessensiya va

boshqalar) ularning $d \rightarrow f$ (yoki $f \rightarrow d$) va $f \rightarrow f$ optik spektrlarini tadqiq qilishning effektiv amalga oshirish imkonini beradiki, ular o'ta sezgirliklari va yuqori ajrata olish qobiliyatlari bilan ajralib turishadi.

Mamlakatimizda bugungi kunda 2017–2021 yillarga mo'ljallangan O'zbekiston Respublikasining kelgusi rivojlanishi bo'yicha harakatlar Strategiyasi asosida besh ustuvor yo'nalishlarga mos holda ilmiy-tadqiqot ishlarini rag'batlantirish, ilmiy va inovatsion yutuqlarni amaliyotga qo'llashning samarali mexanizmlarini yaratish, oliy o'quv yurtlari va ilmiy tekshirish institutlaridagi maxsus laboratoriyalar qoshida yuqori texnologiyalar markazlari va texnoparklarni tashkil qilishning maqsad va vazifalari aniqlandi. Shu sababli, nodir yer birikmalari optik va magnitoptik spektroskopiya metodi ham tegishli bo'lgan tadqiqotlarning ilmiy-eksperimental metodlariga katta e'tibor qaratilmoqda. Ushbu tadqiqot metodlari nafaqat O'zbekiston olimlarining balki dunyoning turli mamlakatlari rivojlangan yuqori texnologiyalar ilmiy markazlari mutaxassislarining ham diqqatini o'ziga qaratadi. Ushbu dissertatsiya ishida olingan natijalar, tadqiqot natijalari O'zbekiston Respublikasida olib borilayotgan ilmiy tadqiqot ishlarining nufuzini oshirishga xizmat qiladi.

O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2017 yil 7 fevraldagi PF-4947-son "O'zbekiston Respublikasini yanada rivojlantirish bo'yicha Harakatlar strategiyasi to'g'risida"gi Farmoni, 2018 yil 27 apreldagi PQ-3682-son "Innovatsion g'oyalar, texnologiyalar va loyihalarni amaliy joriy qilish tizimini yanada takomillashtirish chora-tadbirlari to'g'risida"gi qarori, 7 may 2018 yildagi PQ-3698 "Iqtisodiyot tarmoqlari va sohalariga innovatsiyalarni joriy etish mexanizmlarini takomillashtirish bo'yicha qo'shimcha chora-tadbirlar to'g'risida" gi qarorlarida hamda mazkur faoliyatga tegishli boshqa me'yoriy-huquqiy hujjatlarda belgilangan vazifalarni amalga oshirishga ushbu dissertatsiya tadqiqoti muayyan darajada xizmat qiladi.

Tadqiqotning respublika fan va texnologiyalari rivojlanishining asosiy ustuvor yo'nalishlariga mosligi: Mazkur tadqiqot O'zbekiston Respublikasi fan va texnikasini rivojlantirishning: II "Energiya, energiya va resurslarni tejash, transport, mashina va asbobsozlik; zamonaviy elektronika, mikroelektronika, fotonika, elektron asboblarni ishlab chiqish" ustuvor yo'nalishlariga muvofiq amalga oshirildi.

Muammoning o'rganilganlik darajasi: Bugungi kunda ilmiy olamda nodir yer magnit dielektriklarining fundamental tadqiqotlariga qiziqish tobora avj olib bormoqda, chunki ular qattiq jismlardagi magnit hodisalari fizikasining fundamental muammolarini hal qilishda muhim rol o'ynaydi. So'nggi 10-15 yil ichida nodir yer birikmalari magnitoptikasi va optikasiga bag'ishlangan ishlar soni keskin ortdi. Bundan tashqari, dunyoning turli mamlakatlari olimlari XX asrning oxirlarida mikroskopik nazariyani birinchi marotaba nodir yer birikmalaridagi magnitoptik hodisalarni tushuntirishga muvofiqiyatli qo'lladilar. Nodir yer ortoaluminatlarining termodinamik (shuningdek, magnit va issiqlik) xususiyatlari asosan C_s va C_{4v} simmetriyaning kristall qobig'i tufayli shakllanadigan nodir yer ionlarining asosiy multipletlari quyi Shtark sathostilari orqali aniqlanadi, bunda tabiiy ravishda qaralayotgan kristallarning uyg'otilgan

holatlariga kristall maydon (KM) qanday ta'sir qiladi degan savol tug'iladi. Kristallarda magnitofaol ionlarning asosiy holatlarigina emas, balki uyg'otilgan elektron holatlari ham quyi simmetriyali KM ta'siriga duchor bo'ladi, bu holda tashqi H magnit maydonining xuddi shu vaqtdagi ta'siri natijasida ularning modifikatsiyalari va nodir yer birikmalari magnitoptik effektlari (ularning kattaliklari, anizotropiyasi va boshqalar) tabiati sezilarli ravishda o'zgaradi. Nodir yer ionlarining kristall qobig'i simmetriyasi ion elektron holati simmetriyasi va energiyalari xarakteristikalarini aniqlaydi. Ilmiy nuqtai nazardan, paramagnit kristallarda paramagnit NY granatlari uchun xarakterli bo'lgan D_2 simmetriyali pozitsiyalarda va kaliy – terbiyli ikkilangan fluorid ($\text{KTb}_3\text{F}_{10}$) paramagnit kristallari uchun xarakterli bo'lgan C_{4v} simmetriyali yuqori simmetrik pozitsiyalarda joylashgan NY ionlarining bunday tadqiqotlari o'ta muhim masala hisoblanadi. Nodir yer ortoalyuminatlarida biz quyi simmetriyali kristallarga xos bo'lgan katta tabiiy ikkilanma nur sindirish «fonida» magnit doiraviy dixroizm yoki Faradey effekti (FE) kabi chiziqli magnitoptik effektlarning notrivial muammolari bilan to'qnash kelamiz. Optik va magnitoptik tadqiqotlarning chop etilgan kattaliklaridan ma'lumki, NY ortoalyuminatlarining magnitoptik xususiyatlari qator o'ziga xos xususiyatlari bilan farq qiladi. Birinchidan, bunday kristallar uchun xarakterli bo'lgan katta tabiiy ikkilanma nur sindirish tufayli magnitoptik effekt kattaliklari va ortorombik kristall qalinligi o'rtasidagi mutanosiblikning yo'qligi tufayli kristall orqali o'tadigan yorug'lik nurlanishining qutblanishi ellipsining katta o'qi burilish burchagi yetarlicha kichik va absolyut qiymati jihatidan spektrning ko'rinadigan sohasida real erishish mumkin bo'lgan magnit maydonlarida (~ 10 kOe) bir necha yoy minutidan ortmaydi. Ikkinchidan, katta tabiiy ikkilanma nur sindirish ($\sim 10^{-2}$) mavjudligidan optik o'lchashlar qiyinlashadi va yorug'lik nurlanishining qutblanishi ellipsining katta o'qi burilish burchagining bog'lanishlarida (to'lqin uzunligi va temperaturaviy bog'lanishlarida) kuchli tebranuvchi bog'lanishlar namoyon bo'ladi.

Yetarlicha tabiiy ikkilanma nur sindirish xususiyatiga ega quyi simmetriyali kristallardagi NY ionlarining magnitoptik faolligini tadqiq qilishga bag'ishlangan ishlar sonining nisbatan kamligi xuddi shu hol bilan tushuntiriladi. Shuning uchun yuqorida ta'kidlangan holat past T temperaturalarda (22 K gacha) optik, shuningdek ko'rinadigan va ultrabinafsha spektr sohalarida TbAlO_3 NY ortoalyuminatida magnitoptik tadqiqotlarni amalga oshirishga turtki bo'ldi. Shu sababli, ushbu dissertatsiya ishida C_s va C_{4v} simmetriya kristall maydonlarining ortoalyuminat va kaliy-terbiyli ikkilangan fluorid ($\text{KTb}_3\text{F}_{10}$) kristali strukturalaridagi NY ionlari optik va magnitoptik xususiyatlari, hamda energetik spektrlariga ta'sirini eksperimental tadqiq qilish vazifalari qo'yilgan.

Dissertatsiya tadqiqotining dissertatsiya bajarilgan oliy ta'lim muassasasining ilmiy-tadqiqot ishlari rejalari bilan bog'liqligi: Mazkur dissertatsiya ishi Mirzo Ulug'bek nomidagi O'zbekiston Milliy universitetida olib borilayotgan «Kondensirlangan muhitlarning optik tadqiqotlari» mavzuidagi fundamental tadqiqotlar bilan bevosita bog'liq. Natijalarning aksariyat qismi Mirzo Ulug'bek nomidagi O'zbekiston Milliy universitetida olib borilayotgan O'zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasi huzuridagi Fan va texnologiyalarni

rivojlantirishni muvofiqlashtirish qo‘mitasining FZ-202009143 raqamli «Magnit maydoni yordamida nodir yer elementlari bilan faollashtirilgan oksidli va ftoridli kristallarning optik xarakteristikalarini boshqarish» grant loyihasi doirasida olingan (grant 2022-2026 yillarga mo‘ljallangan).

Tadqiqotning maqsadi: RAlO_3 ortoalyuminati strukturasi va kaliy-terbiyli $\text{KTb}_3\text{F}_{10}$ (KTF) ikkilangan ftorid kristalida Tb^{3+} va Dy^{3+} nodir yer ionlarining magnit va optik, hamda magnitoptik eksperimental tadqiqotlarni o‘tkazish, shuningdek tadqiq qilinayotgan nodir yer ionlarining magnitoptik faolliklari mexanizmlari va energetik spektrlariga C_s va C_{4v} simmetriyali kristall maydonlarining ta‘sirini tadqiq qilish hisoblanadi.

Tadqiqotning vazifalari:

1) DyAlO_3 disproziyli ortoalyuminatda Faradey effektining spektral va temperaturaviy bog‘lanishlarini eksperimental tadqiq qilish, ular magnitoptik xususiyatlarining xuddi shunga o‘xshash nodir yer paramagnit granatlarning xususiyatlaridan farqli fizik tabiatini aniqlash.

2) C_s simmetriyali kristall maydonda tadqiq qilinayotgan ion energetik spektrini tuzish xususiyatlarini aniqlash maqsadida keng temperatura intervalida ko‘rinadigan va ultrabinafsha spektr sohalarida TbAlO_3 nodir yer ortoalyuminati optik spektrlarini eksperimental tadqiq qilish.

3) Ultrabinafsha spektr sohalarida TbAlO_3 nodir yer ortoalyuminati Faradey effektida paramagnit hissani hisoblash va tadqiq qilish.

4) $\text{KTb}_3\text{F}_{10}$ (KTF) ftoridli kristallar optik spektrlarini eksperimental tadqiq qilish va C_{4v} simmetriyali kristall qobig‘ida Tb^{3+} ionlari ${}^5\text{D}_4$ va ${}^7\text{F}_6$ multipletlari o‘rtasidagi o‘tishlar identifikatsiyasi.

5) $\text{KTb}_3\text{F}_{10}$ kristallarining magnit sirkulyar qutblanish lyuminessensiyasi va fluoressensiya past temperaturali spektrlari darajalarini qarab chiqish natijalari asosida C_{4v} simmetriyali kristall maydonda mavjud bo‘lgan Tb^{3+} ionlari ${}^5\text{D}_4$ va ${}^7\text{F}_6$ multipletlari energetik spektrlarida dublet holatlar (va ularning energiyalari) mavjudligini aniqlash.

Tadqiqotning predmeti: ortoalyuminatlar va ftoridlar monokristallarida Tb^{3+} va Dy^{3+} ionlari energetik spektrlari tuzilishining o‘ziga xos xususiyatlarini va ularning optik, hamda magnitoptik xususiyatlariga kristall qobiqning ta‘sirini aniqlash hisoblanadi.

Tadqiqotning obyekti: tadqiqot obyektlari DyAlO_3 disproziyli ortoalyuminat va terbiyli monokristallar (TbAlO_3), shuningdek kaliy-terbiyli ikkilangan ftorid kristallaridir ($\text{KTb}_3\text{F}_{10}$).

Tadqiqotning metodlari: Eksperimental tadqiqotlarda differensial magnitoptika metodlari – magnit doiraviy dixroizmi (MDD), magnit sirkulyar qutblanish lyuminessensiyasi (MSQL) va Faradey effekti (FE) metodlaridan foydalanildi. Optik xususiyatlarni o‘lchash optik yutilish, fluoressensiya va lyuminessensiyani uyg‘otish spektrlarini (LUS) tadqiq qilish asosida amalga oshirildi. Magnitlangan namunadan chiqayotgan yorug‘lik oqimini modulyatsiyalashgan qutblash metodi; optik sxemadan chiqayotgan signalni qayd qilishning elektron sxemasida foydalanilgan sinxron detektorlash metodi;

eksperimental axborotlarni qayta ishlashning matematik va sonli hisoblash metodlari va boshqalar.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi: Birinchi marotaba DyAlO_3 kristalida magnit qabul qiluvchanlik hamda Faradey effektining temperaturaviy va spektral bog‘lanishlari tahlili asosida disproziy ortoalyuminatida C_s simmetriya kristallik strukturasida magnitoptik faollik «paramagnit» mexanizmi muhim rol o‘ynashi, ya’ni tajribalarda nodir yer granatlari bilan solishtirganda qisqa to‘lqinli (< 200 nm) sohada to‘lqin uzunligining siljishi aniqlandi. Bunga ortoalyuminat strukturalarida granatlar bilan solishtirganda Tb^{3+} va Dy^{3+} ionlarida ruxsat etilgan tebranishlar kuchining deyarli ikki marta ortishi sabab ekanligi ko‘rsatilgan.

Ilk marotaba 20 K temperaturada TbAlO_3 kristalini tadqiq qilishda olingan spektrlarni tahlil qilish natijasida Tb^{3+} ionining 7F_6 asosiy multipleti quyi qismida bir-biridan $\sim 200 \text{ cm}^{-1}$ energetik interval bilan ajratilgan ikki guruh Shtark sathostilari, shuningdek 7F_6 multipleti eng quyi holatlarining kvazidublet strukturasini aniqlangan.

Ilk bora, spektrning ultrabinafsha sohasida TbAlO_3 kristali Verde doimiysining chastotaviy bog‘lanishlarining tahlili asosida $\omega^* = 66,5 \cdot 10^{14} \text{ s}^{-1}$ ($\lambda^* = 285 \text{ nm}$) chastotada ushbu bog‘lanishda manfiy ekstremum mavjudligi va Verde doimiysiga spektrning 230 – 250 nm sohasidagi ruxsat etilgan (spin va juftlik bo‘yicha) $4f \rightarrow 5d$ o‘tishlar hisobiga yuzaga keladigan «paramagnit» ulushning hissasi sezilarli ekanligi ko‘rsatilgan.

Ilk marotaba, $\text{KTb}_3\text{F}_{10}$ (KTF) kaliy-terbiyli ikkilangan ftorid kristali optik spektrlaridan $T = 90$ ba 300 K temperaturalarda qaralayotgan kristallda ultrabinafsha uyg‘otilish sohasida kuzatiladigan barcha fluoressensiya chiziqlari to‘laligicha Tb^{3+} ionidagi ${}^5D_4 \rightarrow {}^7F_6$ o‘tishlar bilan aniqlanuvchi 482 - 497 nm to‘lqin intervalida ekanligi aniqlangan.

$\text{KTb}_3\text{F}_{10}$ kristalida FL va MSQ darajasining past temperaturali spektrlarini birgalikda qarab chiqishda olingan natijalardan 7F_6 multipletning energetik spektrida uch dublet holati (va ularning energiyalari) mavjudligi ko‘rsatib berildi va C_{4v} simmetriyali kristall maydonida joylashgan Tb^{3+} ionni 5D_4 multipletida ikkita dublet holat mavjudligi aniqlangan, bu esa o‘z navbatida nazariy hisoblash natijalariga mos kelishi tasdiqlangan.

Ilk bora, $\text{KTb}_3\text{F}_{10}$ kristalida olib borilgan o‘lchash natijalari asosida Tb^{3+} ionni C_{4v} simmetriyali kristall qobig‘ining energetik spektrga ta’siri qayd qilindi. $\text{KTb}_3\text{F}_{10}$ kristali 7F_6 multipletida 253 cm^{-1} energiyada yotuvchi dublet holati aniqlandi va uning ajralishi omili nazariy hisoblandi, shuningdek 7F_6 multiplet asosiy holatining dublet tabiati eksperimental tasdiqlangan.

Tadqiqotning amaliy natijalari:

- Nodir yer ortoalyuminatlari va kaliy-terbiyli ftoridlarning optik va magnitoptik xususiyatlarini tadqiq qilish bo‘yicha olingan natijalar asosida yorug‘lik nurlanishi modulyatorlari, optik izolyatorlar, spektrning ko‘rinadigan va ultrabinafsha sohalarida samarali ishlovchi displeylar kabi turli magnitoptik qurilmalar yaratish;

- tadqiq qilingan nodir yer birikmalaridan fotonika va rentgen ssintillyatorlarida faol va passiv elementlar sifatida, shuningdek standart optik damlashdan foydalangan holda ko‘rish diapazonidagi generatorlarda faol muhit sifatida foydalaniladi;

- tadqiq qilingan nodir yer birikmalaridan yuqori quvvatli lazer sistemalarida effektiv optik izolyatorlar sifatida foydalaniladi.

Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati: C_S va C_{4V} simmetriyali kristall maydonlarda Tb^{3+} va Dy^{3+} nodir yer ionlari energetik spektrlaridagi nozik strukturalar to‘g‘risida axborot (ma‘lumotlar) lar olindi. Shuningdek, magnitoptik effektlar kattaliklariga ta‘sir qiluvchi turli magnitoptik faollik mexanizmlarini aniqlash imkoniyatlari paydo bo‘ldi. Olingan tadqiqot natijalari multipletlar sathostilaridagi magnitoptik o‘tishlarda ishtirok etuvchi Zeeman ajralishlari kattaliklarini hisoblash imkonini beradi.

Optik va magnitoptik tadqiqotlar natijalari shundan dalolat beradiki, KTb_3F_{10} va $RAIO_3$ ($R = Tb^{3+}, Dy^{3+}$) lar hozirgi vaqtda ishlatilayotgan terbiy – galliyli $Tb_3Ga_5O_{12}$ granatlari kristallarining o‘rniga muvaffaqiyatli ishlatishlari mumkin ekan. Bu holda ularning afzalliklari shundan iboratki, ularda olingan Verde doimiylari absolyut qiymati jihatidan $Tb_3Ga_5O_{12}$ kristallarining Verde doimiylaridan yuqori va ular asosida magnitoptik qurilmalar yaratish mumkin ekan.

Tadqiqot natijalarining ishonchliligi: Tadqiqot yakunida o‘z aksini topgan tajriba natijalarini boshqa qayd qilish usullari yordamida olingan ma‘lumotlar bilan taqqoslash imkonining mavjudligi, shuningdek eksperimental natijalarni nazariy hisob-kitoblar bilan taqqoslash imkoniyati mavjudligidadir. Optik va magnitoptik tadqiqotlarni amalga oshirish jarayonida spektral bog‘lanishlarni qayd qilish va qayta ishlashning zamonaviy metodlaridan foydalangan boshqa tadqiqotchilarning olgan ma‘lumotlari bilan solishtirish maqsadida olib borilgan parallel tadqiqotlar bilan olingan natijalar ishonchliligi ta‘minlandi.

Tadqiqot natijalarining joriy qilinishi: Nodir yer ionlarining optik, magnitoptik va energetik spektrlarini hisoblash usuli va olingan qiymatlar va nodir yer ionlarining optik xossalari magnit maydoni ta‘sirining mikroskopik mexanizmlaridan

«Metall oksidlari bilan legirlangan silikatlardagi termoelektrik xususiyatlar va o‘z-o‘zini tashkil qilish jarayonlari» mavzusidagi O‘zbekiston–Hindistonning Uzb-Ind-2021-78-raqamli qo‘shma fundamental tadqiqotlar loyihasi ilmiy-texnikaviy vazifalarini bajarishda foydalanilgan (Mirzo Ulug‘bek nomidagi O‘zbekiston Milliy universitetining 2024-yil 12-dekabrda 01/11-13009-sonli ma‘lumotnomasi). Ilmiy natijalarning qo‘llanilishi silikat shishalarni metall oksidlari bilan legirlash jarayonida hosil bo‘luvchi nanokristallardagi struktura o‘tishlarini optik xossalari orqali o‘rganish; legirlangan silikat shishaning optik xossalari termoelektrik koeffitsientiga ta‘sirini aniqlash; legirlangan silikat shisha tarkibidagi nodir yer metallari (La_2O_3 , Nd_2O_3) ionlarining elektr o‘tkazuvchanlik va termoelektrik koeffitsientiga ta‘sirini aniqlash imkonini bergan.

ortoaluminat va kubik kristallar strukturalarida nodir yer ionlarining optik, magnitoptik va energetik spektrlariga C_s va C_{4v} simmetriyali kristall maydonlarining ta'siri bo'yicha hisoblangan kattaliklar;

paramagnit triflorid, alyuminiy granatlari va granat-gallatlar monokristallarida magnit sirkulyar ikkilamchi sinish va magnitoptik effektlarda turli mikroskopik aniqlangan mexanizmlaridan O'zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi ion-plazma va lazer texnologiyalari institutida "Ko'p fazali tizimlar issiqlik fizikasi" laboratoriyasida 01.01.2022 -31.12.2022 yillarda bajarilgan "Dielektrik va segnetoelektrik kristallarda nochiziqli hodisalar, fazaviy o'tishlar va elastik, fotoelastik hamda superior xususiyatlar anizotropiyasi" mavzusidagi fundamental loyihasida nodir yer elementlari, trifloridlari uchun olingan sindirish ko'rsatkichining qiymatlaridan foydalanilgan (O'zR FA sining 2024-yil 28-noyabrdagi 2/1255-2650-sonli ma'lumotnomasi). Ilmiy natijalarning qo'llanilishi lantan va terbiy trifloridlarida akustooptik sifat koeffitsiyentini (M_2) hisoblash imkonini bergan.

Tadqiqot natijalarining asosiy tadbiqui olingan natijalarga, Web of Science va Scopus ilmiy ma'lumotlar bazasiga ko'ra, yuqori impakt faktorli jurnallarda chop etilgan eksperimental va modellashtirish tadqiqotlarida, shuningdek maqolalarda sharh iqtibos keltirish orqali joriy qilingan:

1. Uygun V.Valiev, Denis N.Karimov, Chong-Geng Ma, Odiljon Z.Sultonov and Vasiliy O.Pelenovich, Tb^{3+} Ion Optical and Magneto-Optical Properties in the Cubic Crystals KTb_3F_{10} // Materials, 2022, 15, 7999. <https://doi.org/10.3390/ma15227999> maqolaga 3 ta chet el ilmiy jurnallariga havolalar keltirilgan: 1) Artem B.Kuznetsov, Yerassyl A.Zholdas, Liudmila A.Gorelova, Anastasiya D.Fedorenko, Alexey A.Ryadun, Yurii V.Seryotkin, Vyacheslav S.Shevchenko, Alexander E.Kokh, Alexandr O.Klimov, and Konstantin A.Kokh., Synthesis, Growth, and Luminescence Properties of Rare Earth Borates $KSrY(BO_3)_2: Tb^{3+}$ and Tb^{4+} // Cryst. Growth Des. 2024, 24, 5478–5485; 2) Sonia Redhu, Devender Singh, Anjali Hooda, Sofia Malik, Vandana Aggarwal, Swati Dalal, Sumit Kumar, Rajender Singh Malik, Parvin Kumar., Photoluminescence tuning of terbium tris-1,1,1-trifluoro-5,5-dimethyl-2,4-hexanedione complexes: Synthesis, spectroscopic, thermal and electrochemical analyse// Journal of Luminescence 271 (2024) 120588, <https://doi.org/10.1016/j.jlumin.2024.120588>; 3) E.A.Mironov, I.L.Snetkov, A.V.Starobor, and O.V.Palashov, A perspective on Faraday isolators for advanced lasers// Appl. Phys. Lett. 122, 100502 (2023); doi: 10.1063/5.0138031.

2. U.V.Valiev, M.E.Malysheva, Sh.A.Rakhimov, O.Z.Sultonov, Specific Features of the Faraday Effect in Rare-Earth Orthoaluminate $DyAlO_3$ // Optics and Spectroscopy, 2022, 130(4), 295-301 maqolaga 2 ta chet el ilmiy jurnallariga havolalar keltirilgan: 1) Синьбин Цзяо, Шии Бао, Шуминь Ли., Dynamic responses of garnet-type optical AC sensor based on Faraday effect// IEEE Sensors Journal, 2023, 26,13, 18092 – 18098с, DOI: 10.1109/JSEN.2023.3287472; 2) В.В.Осипов, А.Н.Орлов, В.В.Лисенков, Р.Н.Максимов, В.А.Шитов,

Distribution of the Magnetic Field in the Gap between Two Permanent Magnets: Calculated and Experimental Data and Their Applications// Instrum Exp Tech 66 , 995–1002 (2023). <https://doi.org/10.1134/S0020441223060064>.

Tadqiqot natijalarining aprobanteiyasi: Dissertatsiya ishining najjalari 5 ta xalqaro va respublika ilmiy – amaliy anjumanlarida ma’ruza qilingan va muhokamadan o’tkazilgan.

Tadqiqot natijalarining e’lon qilinganligi: Dissertatsiya ishining asosiy natijalari 11 ta ilmiy nashrlarda e’lon qilingan: jumladan 4 ta ilmiy maqola: shulardan 3 tasi chet el ilmiy jurnallarida va O‘zbekiston Respublikasi Oliy attestatsiya kommissiyasining tavsiya qilgan jurnallarida, 7 ta tezis ma’ruzalarida ish natijalari bayon qilingan.

Dissertatsiyaning hajmi va tuzilishi: Dissertatsiya kirish, 4 ta bob, xulosa, foydalanilgan adabiyotlar ro‘yxati va ilovalardan iborat. Dissertatsiya hajmi 120 betni tashkil etadi, shu jumladan 25 ta rasm va 2 ta jadvallar.

DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI

Kirish qismida mavzuning dolzarbligi asoslab berilgan, tadqiqotning maqsad va vazifalari shakllantirilgan, mavzuning obykti va predmeti tavsiflangan, tadqiqotning respublika fan va texnologiyalar rivojlanishining ustuvor yo‘nalishlariga mos kelishi ko‘rsatib berilgan, tadqiqot natijalarining amaliy ahamiyati va ilmiy yangiligi bayon qilingan, olingan natijalarning amalda qo‘llanilishining ilmiy va amaliy ahamiyati ochib berilgan. Dissertatsiya strukturasi va dissertatsiya mavzusi bo‘yicha chop etilgan ishlar haqida ma’lumotlar keltirilgan.

Dissertatsiyaning «**Nodir yer elementlarining kristall strukturalari va magnitoptik xususiyatlari**» mavzusidagi birinchi bobida magnit, optik hamda magnitoptik xususiyatlar, ortoalyuminatlar va ftoridlarlarning kristallari kristallografik strukturasi qarab chiqiladi. Quyi simmetriyali kristall maydonda mavjud NY ionlari energetik spektrlaridagi man qilingan konfiguratsiyalar ichidagi o‘tishlar uchun Jad-Ofelt nazariyasining asosiy holatlari qarab chiqilgan. NY birikmalari magnitoptikasi bo‘yicha adabiyotlar tahlili asosida qaralayotgan obyektlarda magnitoptik faollikning yuzaga kelishi ma’lum bo‘lgan barcha mexanizmlari batafsil bayon qilingan. Dissertatsiyaning tadqiqotlar mavzusiga oid eksperimental va nazariy ishlarining qisqacha tahlili berilgan.

«**Eksperimental tadqiqotlar metodikasi va namunalar**» mavzuidagi ikkinchi bobda optik, magnit va magnitoptik tadqiqotlar o‘tkazishda foydalanilgan eksperimental qurilma va o‘lchash metodikalari bayon qilingan. Tadqiq qilinayotgan namunalarning asosiy xarakteristikalarini keltirilgan hamda o‘lchash xatoliklari tahlil qilingan.

Nodir yer ortoalyuminatlarining $TbAlO_3$ terbiyli va $DyAlO_3$ disproziyli monokristallari “eritmadan qotishmaga” spontan kristallashish metodi orqali Nirim kristallar o‘stirish laboratoriyasida (Yaponiya) doktor M.Miyazawa tomonidan o‘stirilgan. Namunalar, rentgenografik metodda (111) va (110) kristallografik tekisliklarda yo‘naltirilgan. KTb_3F_{10} (KTF) monokristallari eritmadan

yo‘naltirilgan kristallashish metodida Shubnikov nomidagi kristallografiya institutida (Rossiya) o‘stirilgan.

Optik, magnit va magnitooptik tadqiqotlarni amalga oshirish jarayonida quyidagi eksperimental qurilmalardan foydalanildi:

1) MDD va MSQ spektrlarini o‘lchash qurilmasi;
 2) Lyuminessensiya spektrlarini o‘lchash qurilmasi;
 3) NY birikmalari magnit xususiyatlarini o‘lchash qurilmasi: tebranuvchi namunali tebranish magnetometri.

4) Optik yutilish spektrlarini o‘lchash qurilmasi: optik zichligi D bo‘lgan uzluksiz signallarni qayd qilish imkoni mavjud MDR-23 monoxromator asosida amalga oshirilgan bir nurli difraksion spektrofotometr;

5) Faradey effektini o‘lchash qurilmasi.

«**DyAlO₃ nodir yer ortoalyuminatida Faradey effektining o‘ziga xos xususiyatlari**» nomli uchinchi bobda DyAlO₃ nodir yer ortoalyuminatida Faradey effekti va magnit qabul qiluvchanlikni tadqiq qilish natijalari keltirilgan. DyAlO₃ monokristall namunalarning Faradey effekti tadqiqotlari 78-300 K temperatura intervalida rombik kristallning b “yengil” magnitlanuvchi kristallografik o‘qi bo‘yicha amalga oshirildi.

1-rasmda DyAlO₃ ortorombik kristalining b o‘qi bo‘ylab $T = 90$ (1) va 300 K (2) temperaturalarda o‘lchangan θ burchakning spektral bog‘lanishlari keltirilgan ellipsning katta o‘qi burilish burchagi θ quyidagi ifoda orqali aniqlanadi:

$$\operatorname{tg} 2\theta = \sin \chi \sin \Phi = \frac{\varepsilon_{xy}}{\bar{n} \cdot \Delta n} \cdot \sin \frac{2\pi \cdot \Delta n \cdot l}{\lambda} \quad (1)$$

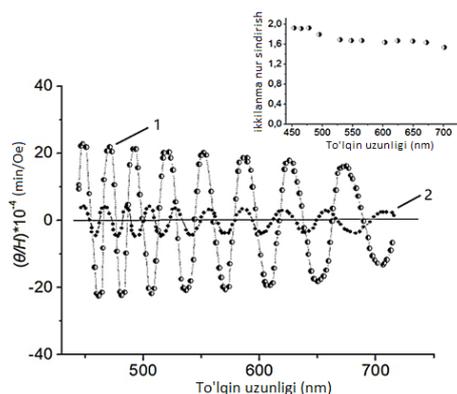
bu yerda ε_{xy} - muhit dielektrik singdiruvchanligining tenzori tashkil etuvchisi, $\bar{n} \approx (n_{xx} + n_{yy})/2$ - kristall sindirish ko‘rsatkichining o‘rtacha qiymati; l - kristall qalinligi; λ - yorug‘likning vakuumdagi to‘lqin uzunligi; $\Delta n = n_{xx} - n_{yy}$ - tabiiy kristallografik ikkilanma nur sindirish ko‘rsatgichi. Ushbu rasmdan yaxshi ko‘rinib turibdiki θ burchakning to‘lqin uzunligi yoki temperatura va kristall qalinligiga bog‘liqligi tebranuvchi xarakterga ega bo‘lib, tebranish amplitudasi ε_{xy} ga, ularning davri esa tabiiy ikkilanma nur sindirish kattaligi Δn ga teskari proporsional ekan.

2-rasmda $\lambda = 506 \text{ nm}$ to‘lqin uzunligida DyAlO₃ ning b o‘qi bo‘ylab o‘lchangan burilish burchagining θ ning temperaturaga bog‘liqligi grafigi keltirilgan. Qutblanish ellipsi katta o‘qi burilish burchagi θ ning temperaturaga bog‘liqligi grafigidan ko‘rinadiki (2-rasm) namuna temperaturasi kamayishi bilan θ burchak tebranish davri kichrayadi va bu tabiiy ikkilanma nur sindirish ko‘rsatkichining kuchsiz ortishi tufayli sodir bo‘ladi.

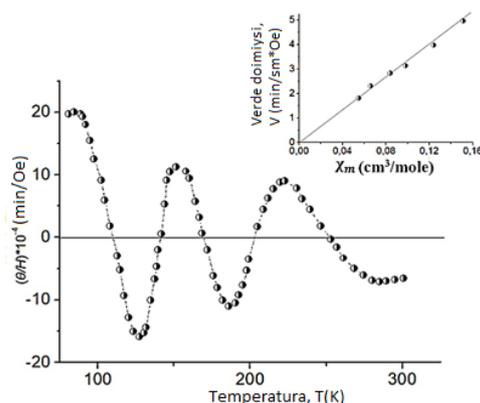
Bunda yaqqol ko‘rinib turibdiki θ tebranish amplitudasi kattaligi ortadi. θ burchakning temperaturaviy va spektral bog‘lanishlaridan

$$V = 2 \left(\frac{\theta}{H} \right) \cdot \frac{\pi}{\lambda} \Delta n \quad (2)$$

formula orqali $DyAlO_3$ nodir yer ortoalyuminati V Verde doimiysining spektral bog‘lanishlarini hisoblash mumkin (3-rasm).



1-rasm. $T = 90$ (1) va 300 K (2) temperaturalarda $l = 0,42$ sm qalinlikdagi $DyAlO_3$ rombik kristali b o‘qi bo‘ylab o‘lchangan θ/H kattalikning spektral bog‘lanishlari.



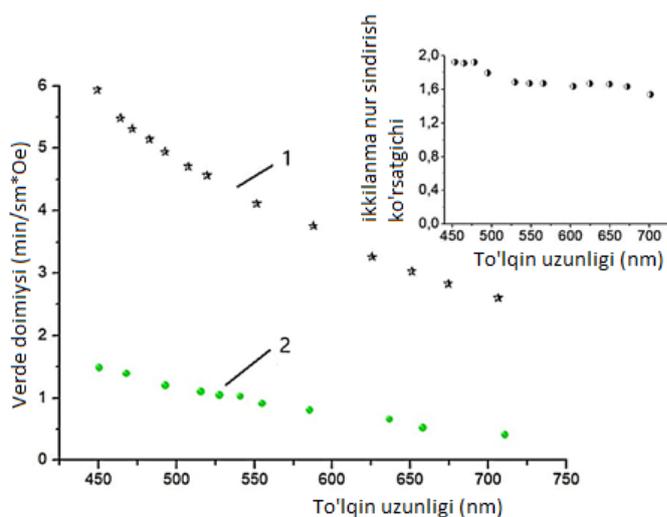
2-rasm. $\lambda = 506$ nm to‘lqin uzunligida $DyAlO_3$ dagi b o‘q bo‘ylab o‘lchangan θ/H kattalikning temperaturaviy bog‘lanishlari. Ilovada: ushbu to‘lqin uzunligidagi $DyAlO_3$ ning V Verde doimiysining ortorombik kristallning b o‘qi bo‘ylab o‘lchangan molyar magnit qabul qiluvchanligi χ ga bog‘liqligi.

3-rasmda keltirilgan eksperimental kattaliklardan ko‘rinadiki to‘lqin uzunligining kamayishi bilan $T = 90$ K da Δn kattalikning monoton ortishi kuzatiladi.

2-rasmning ilovasida $\lambda = 506$ nm to‘lqin uzunligidagi $DyAlO_3$ ning V Verde doimiysining ortorombik kristallning b o‘qi bo‘ylab o‘lchangan molyar magnit qabul qiluvchanligi χ ga bog‘liqligi keltirilgan. Eksperimental xatolik chegarasida ushbu bog‘lanish chiziqli va u $DyAlO_3$ da Faradey effektining chastotaviy bog‘lanishlarini hisobga olgan holda V Verde doimiysi uchun ifodani quyidagi ko‘rinishda tasvirlash imkonini beradi:

$$V = (C_p \chi + D) \frac{\omega^2}{(\omega_0^2 - \omega^2)} \quad (3)$$

bu yerda V - Verde doimiysi; ω – yorug‘lik chastotasi; C_p - «paramagnit» Verde doimiysi deb ataluvchi kattalik; D – tashqi magnit maydonida Dy^{3+} nodir yer ionining asosiy va uyg‘otilgan multipletlari «aralashish» hissasi.



3-rasm. T = 90 K (1) va 300 K (2) temperaturalarda rombik kristalining b o'qi bo'ylab o'lchangan DyAlO₃ ortoalyuminatning Verde doimiysi spektral bog'lanishlari. Ilovada: T = 90 K temperaturada topilgan Δn kattalikning spektral bog'lanishi keltirilgan.

D aralashish hissasi kattaligi yetarlicha kichik bo'lib, kelgusida uni e'tiborga olmaslik mumkin. 1-jadvalda DyAlO₃ va TbAlO₃ nodir yer ortoalyuminatlari hamda Dy₃Al₅O₁₂ va Tb₃Al₅O₁₂ nodir yer granatlaridagi Faradey effektini o'lchash natijalaridan aniqlangan C_p va ω_0 kattaliklar solishtirilgan.

1-jadval.

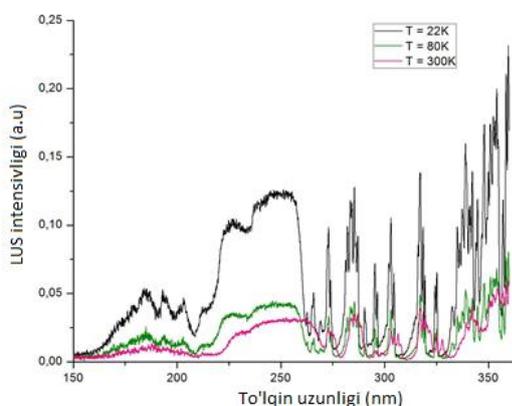
Ortoalyuminat va granatlar kristallaridagi Dy³⁺ va Tb³⁺ nodir yer ionlarining C_p va λ_0 parametrlari

NY birikmalari	λ_0 (nm)	$C \cdot 10^3$ (min/sm·Oe)
TbAlO ₃	192 ± 3	5,5 ± 0,2
Tb ₃ Al ₅ O ₁₂	264 ± 2	4,0 ± 0,05
DyAlO ₃	190 ± 5	6,8 ± 0,3
Dy ₃ Al ₅ O ₁₂	210 ± 3	3,78 ± 0,04

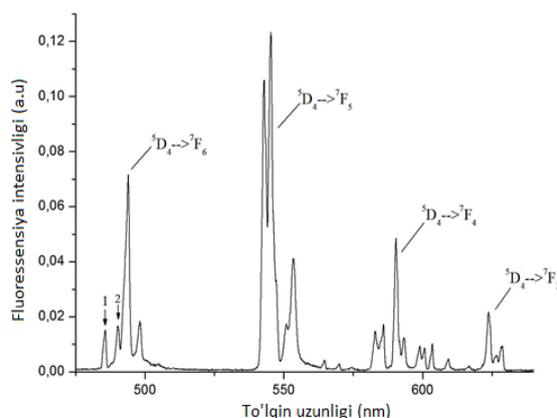
Nodir yer ortoalyuminatlarida topilgan ω_0 "effektiv" chastotalari (aniqrog'i λ_0 – to'liqin uzunliklari) ni nodir yer granatlarida olingan xuddi shunday kattaliklar bilan solishtirish natijasida shu narsa aniqlandiki RAlO₃ strukturalarda ruxsat etilgan o'tishlar to'liqin uzunliklari nodir yer granatlari bilan solishtirilganda spektrning qisqa to'liqin sohasiga tomon siljir ekan (<200 nm). Bundan tashqari nodir yer birikmalarining "paramagnit" Verde doimiysi C_p ruxsat etilgan o'tishlar f tebranish kuchlariga va ulardagi ω_0 chastotalarga to'g'ri proporsional. C_p ω_0 ko'paytma kattaligi bir tomondan Dy³⁺ va Tb³⁺ ionlari tebranish kuchi o'zgarishlarini baholash imkonini bersa, ya'ni aynan bir kristall qobiqlarda bir iondan boshqasiga o'tish jarayonida yuzaga keladigan, ikkinchi tomondan aynan bir ion uchun f parametrning mumkin bo'lgan o'zgarishlarini baholash imkonini beradi, bu esa uning kristall qobig'i simmetriyasining D_2 simmetriyadan (granat) C_s simmetriyaga (ortoalyuminat) pasayishi tufayli sodir bo'ladi. Keltirilgan baholashlar ortoalyuminat strukturalaridagi NY ionlarining granatlardagi ishlar bilan solishtirilganda, ularga nisbatan tebranish kuchlarining deyarli ikki marta ortishini namoyish qiladi.

«Ortoalyuminat va kaliy-terbiyli ikkilangan fluorid kristallarida Tb³⁺ ionining optik va magnitoptik xususiyatlari» nomli to'rtinchi bobda spektrning ultrabinafsha sohasidagi yutilish va fotolyuminessensiya spektrlari, qutblanish ellipsi katta o'qi burilish burchagining Faradey effekti spektral bog'lanishlari,

shuningdek $TbAlO_3$ kristalida Verde doimiysining dispersion bog‘lanishlari hamda $K Tb_3F_{10}$ kub kristalida Tb^{3+} ionining optik va magnitoptik spektrlari keltirilgan. $TbAlO_3$ kristallning turli temperaturalari uchun lyuminessensiyani uyg‘otish spektrlari 220 – 350 nm spektral sohada tadqiq qilindi. 220 – 350 nm to‘lqin uzunligidagi sohada lyuminessensiyani uyg‘otish spektrining o‘ziga xos xususiyatlari uni uyg‘otuvchi nurlanishning kuchli reabsorbsiyasiga olib keluvchi intensiv optik yutilish polosasi bilan bog‘liq (4-rasm). Ushbu polosa ortoalyuminat strukturasi Tb^{3+} ionlarida amalga oshuvchi $4f^{(8)}(^7F_6) \rightarrow 4f^{(7)}5d(e_g)$ ruxsat etilgan (elektrodipol yaqinlashishida) o‘tishlar sababli hosil bo‘ladi. $TbAlO_3$ dagi yutilish polosasida $4f \rightarrow 5d$ uyg‘otilish 5-rasmda keltirilgan lyuminessensiya (fluorensensiya) intensiv polosalarining paydo bo‘lishiga olib keladi va bu $4f^{(8)}(^5D_4) \rightarrow 4f^{(8)}(^7F_j)$, bu yerda $J = 6,5,4,3$, $4f \rightarrow 4f$ “majburiy” o‘tishlar deb ataluvchi emission ta’qiqlangan (elektrodipol yaqinlashishida) o‘tishlar bilan bog‘liq.



4-rasm. $T = 20 \div 300$ K temperatura intervalida $TbAlO_3$ kristalida o‘lchangan lyuminessensiya spektrlari. Tadqiq qilingan namuna qalinligi 200 μm ni tashkil qildi.



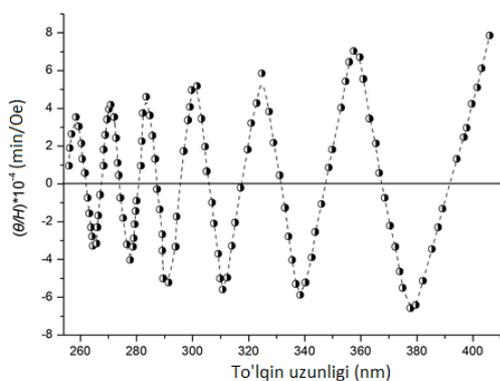
5-rasm. 450 ÷ 700 nm spektral diapozonidagi to‘lqin uzunliklarida 22 K temperaturada o‘lchangan $4f \rightarrow 4f$ “majburiy” o‘tishlar bilan bog‘liq lyuminessensiya spektrlari polosasi. Turli polosalar intensivliklari bir xil masshtablarda berilgan.

Ko‘rinib turibdiki $4f^{(8)}(^5D_4) \rightarrow 4f^{(8)}(^7F_6)$ lyuminessensiya polosasining qisqa to‘lqinli qismida 5-rasmda strelkalar bilan belgilangan 485,59 nm (20588 cm^{-1}) va 490,33 nm (20388 cm^{-1}) to‘lqin uzunliklaridagi 1- va 2-yakkalangan ikkita lyuminessensiya chiziqlari kuzatiladi. Ushbu chiziqlarning kuzatilishi Tb^{3+} nodir yer ionining asosiy 7F_6 multipletining quyi Shtark sathostilari orasida yuzaga keladigan nurlanishli o‘tishlar bilan bog‘liq. Buning natijasida, shuni aytish mumkinki 7F_6 multipletining quyi qismida $\sim 200 \text{ cm}^{-1}$ energetik interval bilan ajratilgan faqat ikki singlet “kvazidublet” deb ataluvchi, ortoalyuminat strukturasi nodir yer ioni kristall qobig‘i strukturasi uchun xarakterli bo‘lgan C_s simmetriyali kristall maydonda Tb^{3+} nokramers ioni asosiy holati hisoblanadigan kvazidubletni shakllantiradi.

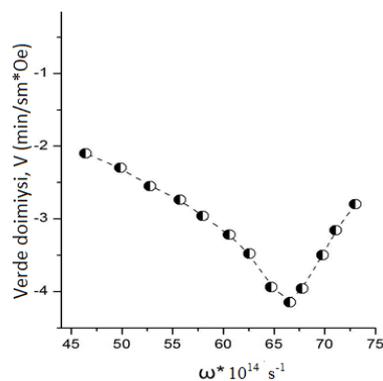
Spektrning ultrabinafsha sohasida $TbAlO_3$ da amalga oshirilgan (olingan) lyuminessensiyani uyg‘otish spektrlarini o‘lchash natijalari shuni ko‘rsatdiki 230-

250 nm to‘lqin diapozonida intensiv optik yutilish polosalari namoyon bo‘lar ekan. 6-rasmda ortorombik kristalining (100) kristallografik o‘qi bo‘ylab $T = 300 K$ temperaturada 0,145 sm qalinlikdagi terbiyli ortoalyuminat kristali namunalarida o‘lchangan spektrning yaqin ultrabinafsha sohasidagi qutblanish ellipsi katta o‘qi burilish burchagining spektral bog‘lanishlari keltirilgan. Tebranish amplitudasining kamayishi to‘lqin uzunligining kamayishi bilan boradi va bu spektrning ultrabinafsha sohasida Δn tabiiy ikkilanma nur sindirish kattaligi qiymatining biroz ortishidan dalolat beradi.

Keltirilgan spektral bog‘lanishlardan $T = 300 K$ temperaturada $TbAlO_3$ kristali Faradey effektida Verde doimiysi spektral bog‘lanishlarini tiklash va ularning chastotaviy bog‘lanishlarini aniqlash mumkin. 7-rasmda spektrning ultrabinafsha sohasida $TbAlO_3$ kristali Verde doimiysining chastotaviy bog‘lanishlari keltirilgan bo‘lib, unda $\omega^* = 66,5 \cdot 10^{14} s^{-1}$ ($\lambda^* = 285 nm$) chastotada ushbu bog‘lanishlarda manfiy ekstremumlar mavjudligi namoyish qilingan.



6-rasm. $T = 300 K$ temperaturada o‘lchangan $TbAlO_3$ da qutblanish ellipsi katta o‘qi burilish burchagi spektral bog‘lanishi. Tadqiq qilinayotgan namuna qalinligi 0,0145 sm

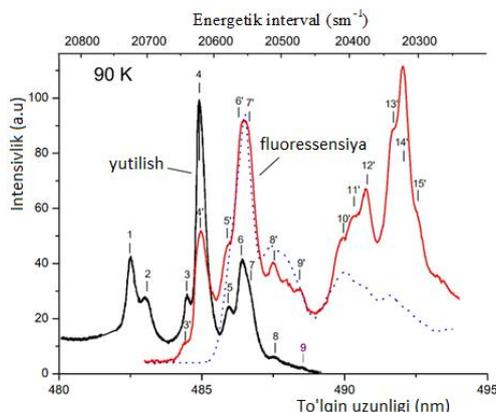


7-rasm. [100] rombik kristallning kristallografik o‘qi bo‘ylab yo‘nalgan tashqi magnit maydonida $T = 300K$ temperaturada o‘lchangan $TbAlO_3$ nodir yer ortoalyuminati uchun Verde doimiysi V ning spektral bog‘lanishi

Faradey effekti chastotaviy bog‘lanishlarining yutilish polosasidagi bunday xarakterli $4f \rightarrow 5d$ ruxsat etilgan (spin va juftlik bo‘yicha) o‘tishlari tufayli yuzaga keladigan Verde doimiysidagi “paramagnit” hissa uchun xarakterlidir, shu sababli $TbAlO_3$ lyuminessensiya uyg‘otilish spektrlarining o‘lchash natijalari bo‘yicha (4-rasm) 230-250 nm spektral sohada yutilish polosasining yuzaga kelishiga sabab terbiy nodir yer ortoalyuminatida $Tb^{3+} 4f^{(9)}5d$ uyg‘otilgan konfiguratsiyasining 7F_6 asosiy multipleti Stark sathostilari bilan aralashgan holatida sodir bo‘ladigan elektrodipol o‘tishlar bo‘lishi mumkin.

8-rasmda 90 K temperatura sharoitida Tb^{3+} ionining 5D_4 va 7F_6 multipletlari orasidagi optik o‘tishlar bilan bog‘liq KTb_3F_{10} kristallarining yutilish va fluoressensiya spektrlari keltirilgan. Fluoressensiya spektridagi to‘lqin uzunliklarida kuzatiladigan bir – birini berkituvchi $3^1, 4^1, 5^1, 6^1, 7^1, 8^1$ va 9^1 chiziqlar yutilish spektrida kuzatilgan 3, 4, 5, 6, 7, 8 va 9 to‘lqin uzunlikdagi chiziqlar bilan mos tushadi. Yuqorida qayd qilingan moslik, tadqiq qilinayotgan kristalda yutilish

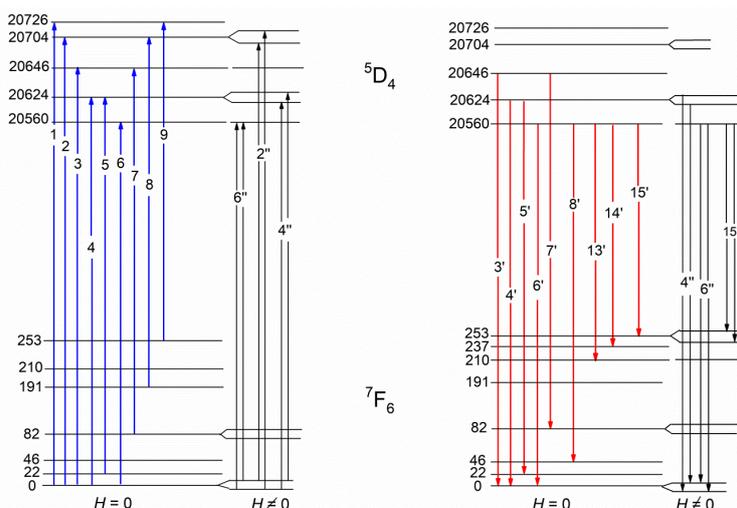
va fluoressensiya spektrlaridagi (9-rasm) optik o'tishlar sxemalarini tuzishni yengillashtiradi va bizga C_{4v} simmetriyali kristall qobig'i tufayli ajratilgan Tb^{3+} ionning asosiy 7F_6 va uyg'otilgan 5D_4 multipletlarining aksariyat Shtark sathostilari energiyalarini aniqlash imkonini beradi.



8-rasm. Simob lampasi bilan yoritilganda KTb_3F_{10} kristalidagi past temperaturali yutilish (qora rangda) va fluoressensiya (qizil rangda) spektrlari

Spektrining ko'rinadigan sohasida tadqiq qilinayotgan kristalda o'lgan past temperaturali MDD spektrlari natijalari 10-rasmda keltirilgan. MDD ning xarakterli xususiyatlari 9-rasmda keltirilgan o'tish sxemasiga mos ravishda keltirilgan. 10-rasmdagi 2 yutilish liniyasidagi MDD signali formasi (shakli) o'zgaruvchan ishorasi bo'yicha, yutilish magnitoptik konturi dispersion shakli aniqlanadi, bu esa o'z navbatida magnitofaol ionning MDD dagi "diamagnit" hissa deb ataluvchi kattalik orqali aniqlanadi.

Yarim kengligi kristall temperaturasining 300 K dan 90 K gacha kamayishi bilan kamayadigan 4-yutilish chizig'i sohasida kuzatiladigan MDD 4^{II} ning o'ziga xos xususiyatlari spektrning ushbu sohasida MDD dagi "diamagnit" hissasiga mos keluvchi (10-rasmdagi ilova) MDD spektral bog'lanishlarning ishorasi bo'yicha ikki qarama – qarshi superpozitsiyalari orqali modellashtirishi mumkin.



9-rasm. $T = 90$ K temperaturada KTF kristalida Tb^{+3} ionlaridagi yutilish (ko'k strelka) va fluoressensiya (qizil strelka) spektrlari bo'yicha chizilgan optik o'tishlar. Magnit maydoni H da amalga oshadigan Tb^{+3} ionlaridagi

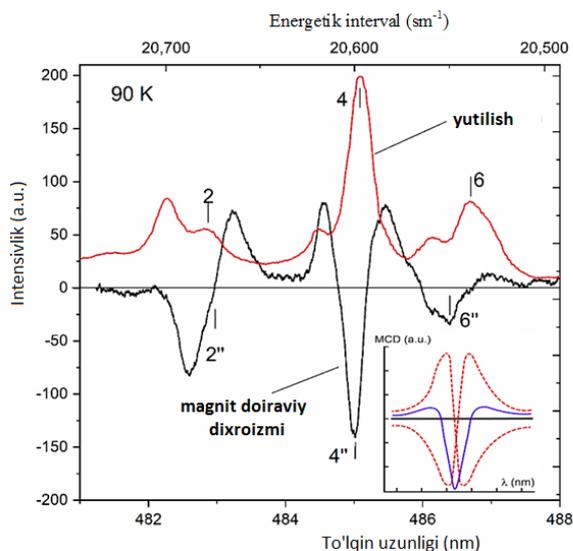
magnitoptik faol o‘tishlarning past temperaturadagi MDD va MSQ spektrlari diagrammasi o‘ng tomonda keltirilgan.

2^{II} , 4^{II} va 6^{II} “diamagnet” hissalar asosiy multiplet 7F_6 asosiy dubletining Zeeman sathostilari holatlari orasida va 5D_4 uyg‘otilgan multipletda yotuvchi Shtark sathostilarining dublet va singlet holatlari orasida amalga oshadi (9-rasmdagi sxemaga qarang). Shunday qilib, KTF kristalidagi past temperaturali MDD va optik yutilish spektrlarining birgalikda olib borilgan tadqiqotlar natijalari Tb^{3+} shaklining 5D_4 va 7F_6 multipletlari energetik spektrlarida dublet holatlar (va ularning vaziyatlari) mavjudligini aniqlash imkonini berdi.

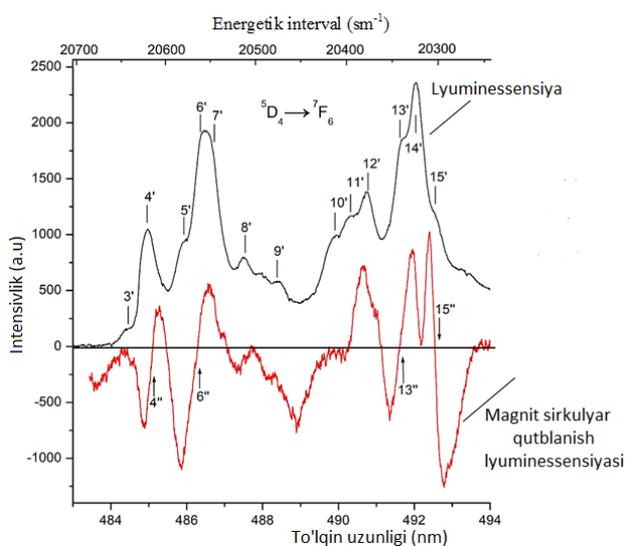
11-rasmda spektrning ko‘rinadigan sohadagi ${}^5D_4 \rightarrow {}^7F_6$ o‘tishlarda $T = 90\text{ K}$ sharoitida KTF kristalining fluoressensiya (qora chiziq) va MSQ darajalari (qizil chiziq) spektrlari keltirilgan. 4^{II} va 6^{II} chiziqlardagi MSQ spektrlarining o‘ziga xos xususiyatlari 4^{I} - va 6^{I} - lyuminessensiya chiziqlari orasidagi og‘ma chizikli bog‘lanishlar orqali anproksimatsiya qilinishi mumkin. Bu esa MSQ effektida temperaturaga bog‘liq C “paramagnet” had hissasi mavjudligidan dalolat beradi. Ushbu chiziqlardagi MSQ darajalarining o‘ziga xos xususiyatlari mos ravishda 5D_4 va 7F_6 holatlarga tegishli dublet holatlar orasida sodir bo‘luvchi magnitoptik o‘tishlar tufayli yuzaga keladi (9-rasmga qarang).

492,5 nm (20314 cm^{-1}) to‘lqin uzunligidagi MSQ darajasining 15^{I} chizig‘i xususiyatiga kelsak bu holda MSQ spektri odatdagi “diamagnet” dispersiyani namoyon qiladi. 253 cm^{-1} energiyada 7F_6 multiplet dublet holatida yotuvchi 5D_4 multipletning quyi qismida joylashgan 20560 cm^{-1} energiyali Shtark singletida sodir bo‘luvchi nurlanishli o‘tish bilan bog‘liq (9-rasm).

Bu holda bizni qiziqtiradigan 7F_6 multipletidagi 253 cm^{-1} energiyali dublet holatining “effektiv” Zeeman ajralishlari $H = 5\text{ kOe}$ tashqi magnet maydonida $g\mu_B H = 1,1\text{ cm}^{-1}$ ga teng bo‘lar ekan.



10-rasm. $T = 90\text{ K}$ temperaturada KTF kristalida MDD (qizil chiziq) va optik yutilish (qora chiziq) spektral bog‘lanishlari. MDD spektrlari $H = 5\text{ kOe}$



11-rasm. Spektrning ko‘rinish sohasida $T = 90\text{ K}$ temperaturada KTF kristalidagi MSQ (qizil chiziq) va FL (qora chiziq) spektr darajalari. MSQ spektri $H = 5\text{ kOe}$

tashqi magnit maydonida yozilgan.

tashqi magnit maydonida olingan.

Bunda dublet holatning (7F_6 multipletida 253 sm^{-1} energiyasida mujassamlashgan) magnit maydonidagi ajralish koeffitsienti kattaligi ($g^I = 3,3$) tartibi bo'yicha tajribada olingan 4,7 ga teng kattalikka yaxshi mos tushadi. 7F_6 multipleti asosiy holatiga kelsak uning dublet tabiati magnitoptik va magnit tadqiqotlar bo'yicha olingan kattaliklar bilan tasdiqlanadi. Magnit maydondagi ajralish koeffitsienti $g^I = 6,94$ kattalikni berdi, bu esa tadqiq qilinayotgan kristallning $T = 3 \text{ K}$ temperatura sharoitida $H = 80 \text{ kOe}$ magnit maydonida KTF kristallarining to'yinish magnitlanishi sharoitida magnit o'lchamlarda olingan natijalardan kichik ($g_0 = 9,54$). Bunday farq KTF kristalidagi natijaviy magnitlanishda Van – Flek hissasi bilan yo'qligi bilan tushuntirilishi mumkin. Bu hissa asosiy dublet to'lqin funksiyalarining H tashqi magnit maydonidagi 22 sm^{-1} masofadan yuqoriroqda yotuvchi yaqin joylashgan singlet to'lqin funksiyalarining aralashishi tufayli yuzaga keladi (10-rasm).

XULOSA

Fizika matematika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) ilmiy darajasini olish uchun amalga oshirilgan «Turli simmetriyali kristall ichida joylashgan nodir yer ionlarining o'ziga xos magnitoptik xususiyatlari» mavzuidagi dissertatsiya ishi bo'yicha tadqiqotlar o'tkazildi va quyidagi xulosalarga kelindi:

1. DyAlO_3 kristalida magnit qabul qiluvchanlik hamda Faradey effektining temperaturaviy va spektral bog'lanishlari tahlili asosida disproziy ortoalyuminatida C_s simmetriya kristallik strukturasi magnitoptik faollik «paramagnit» mexanizmi muhim rol o'ynashi, ya'ni tajribalarda nodir yer granatlari bilan solishtirganda qisqa to'lqinli ($< 200 \text{ nm}$) sohada to'lqin uzunligining siljishi aniqlandi. Bunga ortoalyuminat strukturalarida granatlar bilan solishtirganda Tb^{3+} va Dy^{3+} ionlarida ruxsat etilgan tebranishlar kuchining deyarli ikki marta ortishi sabab ekanligi ko'rsatib berildi.

2. Ilk marotaba 20 K temperaturada TbAlO_3 kristalini tadqiq qilishda olingan spektrlarni tahlil qilish natijasida Tb^{3+} ionining 7F_6 asosiy multipleti quyi qismida bir-biridan $\sim 200 \text{ sm}^{-1}$ energetik interval bilan ajratilgan ikki guruh Shtark sathostilari, shuningdek 7F_6 multipleti eng quyi holatlarining kvazidublet strukturasi qayd etildi.

3. Birinchi marta, spektrning ultrabinafsha sohasida TbAlO_3 kristali Verde doimiysining chastotaviy bog'lanishlarining tahlili asosida $\omega^* = 66,5 \cdot 10^{14} \text{ s}^{-1}$ ($\lambda^* = 285 \text{ nm}$) chastotada ushbu bog'lanishda manfiy ekstremum mavjudligi va Verde doimiysiga spektrining $230 - 250 \text{ nm}$ sohasidagi ruxsat etilgan (spin va juftlik bo'yicha) $4f \rightarrow 5d$ o'tishlar hisobiga yuzaga keladigan «paramagnit» ulushning hissasi sezilarli ekanligi ko'rsatib berildi.

4. Birinchi marta $\text{KTb}_3\text{F}_{10}$ (KTF) kaliy-terbiyli ikkilangan fluorid kristali optik spektrlaridan $T = 90$ ba 300 K temperaturalarda qaralayotgan kristallda ultrabinafsha uyg'otilish sohasida kuzatiladigan barcha fluoressensiya chiziqlari

to'raligicha Tb^{3+} ionidagi ${}^5D_4 \rightarrow {}^7F_6$ o'tishlar bilan aniqlanuvchi 482 - 497 nm to'lqin intervalida mujassamlashganligi qayd etildi.

5. KTb_3F_{10} kristalida FL va MSQL darajasining past temperaturali spektrlarini birgalikda qarab chiqishda olingan natijalardan 7F_6 multipletning energetik spektrida uchta dublet holati (va ularning energiyalari) mavjudligi ko'rsatib berildi va C_{4v} simmetriya kristall maydonida joylashgan Tb^{3+} ion 5D_4 multipletida ikkita dublet holat mavjudligi tasdiqlandi, bu esa o'z navbatida nazariy hisoblash natijalariga mos kelishi ko'rsatildi.

6. Birinchi marotaba KTb_3F_{10} kristalida olib borilgan o'lchash natijalari asosida Tb^{3+} ion C_{4v} simmetriyalik kristall qobig'ining energetik spektrga ta'siri qayd qilindi. KTb_3F_{10} kristali 7F_6 multipletida 253 cm^{-1} energiyada yotuvchi dublet holati aniqlandi va uning ajralishi omili nazariy hisoblandi, shuningdek 7F_6 multiplet asosiy holatining dublet tabiati eksperimental tasdiqlandi.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ PhD.03/30.12.2019.FM.02.04 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ САМАРКАНДСКОМ
ГОСУДАРСТВЕННОМ УНИВЕРСИТЕТЕ ИМЕНИ
ШАРОФА РАШИДОВА**

**НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ УЗБЕКИСТАНА ИМЕНИ МИРЗО
УЛУГБЕКА**

СУЛТОНОВ ОДИЛЖОН ЗИЁМИДДИНОВИЧ

**ОСОБЕННОСТИ МАГНИТООПТИКИ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ИОНОВ
В КРИСТАЛЛИЧЕСКОМ ОКРУЖЕНИИ РАЗЛИЧНОЙ СИММЕТРИИ**

01.04.05 – Оптика

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации доктора философии (PhD) по физико-математическим наукам

Самарканд – 2025

Тема диссертации доктора философии (PhD) зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Министерстве высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан за № В2022.4.PhD/FM806.

Диссертация выполнена в Национальном университете Узбекистана имени Мирзо Улугбека. Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице Научного совета (www.samdu.uz) и на информационно-образовательном портале «Ziyonet» (www.ziyonet.uz).

Научный руководитель: **Валиев Уйгун Вахидович**
доктор физико-математических наук, профессор

Официальные оппоненты: **Курталиев Элдар Нуриевич**
доктор физико-математических наук, доцент
Ниязов Лазиз Нурхонович
доктор философии по физико-математическим наукам (PhD), доцент

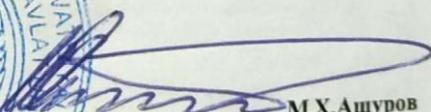
Ведущая организация: **Бухарский государственный университет**

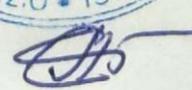
Защита диссертации состоится «27» 02 2025 года в 10⁰⁰ часов на заседании Научном совете PhD.03/30.12.2019.FM.02.04 при Самаркандском государственном университете имени Шарофа Рашидова. (Адрес: 140104, г. Самарканд, Университетский бульвар, 15. Тел.: (99866) 239-13-87, 239-11-40; факс: (99866) 239-11-40; e-mail: rektor@samdu.uz Самаркандский государственный университет имени Шарофа Рашидова, Институт инженерной физики, 1 этаж, 114 аудитория).

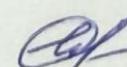
С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Самаркандского государственного университета имени Шарофа Рашидова (зарегистрирована под № 10). Адрес: 140104, г. Самарканд, Университетский бульвар, 15. Тел.: (99866) 239-13-87, 239-11-40; факс: (99866) 239-11-40.

Автореферат диссертации разослан «15» 02 2025 г.
(Реестр протокола рассылки № 10 от «15» 02 2025 г.)




М.Х. Ашуров
Председатель научного совета
по присуждению ученых степеней,
д.ф.-м.н., академик


Р.М. Ражабов
Ученый секретарь научного совета
по присуждению ученых степеней,
к.ф.-м.н., доцент


Д.И. Семенов
Председатель научного семинара при научном
совете по присуждению ученых степеней,
д.ф.-м.н., доцент

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В последние годы в мире в связи с широким развитием функциональных приложений низкосимметричных редкоземельных (РЗ) соединений в оптике возникает интерес к изучению и глубокому пониманию их оптических и магнитооптических свойств. Исследование природы энергетического спектра и магнитооптической активности редкоземельных ионов в различных матрицах имеет не только фундаментальный, но и прикладной интерес, так как ряд аспектов этой важной в практическом и научном отношении задачи остаются по сей день неясными и противоречивыми. Выяснение особенностей штарковского расщепления электронных состояний и природы магнитооптической активности редкоземельного иона в зависимости от кристаллического окружения представляет собой актуальную задачу, требующую в настоящее время конкретного решения. Разработка новых материалов требует глубокого понимания закономерностей формирования их характеристик. Кроме того ряд вопросов возникающих при исследовании вкладов различных микроскопических механизмов магнитооптической активности (МОА) в магнитооптику низкосимметричных РЗ-соединений все еще остаются относительно мало изученными.

Исследования, проведенные в последние годы в мировой науке, показывают, что одним из перспективных направлений исследований в области спектроскопии является управляемая магнитным полем оптика РЗ-ионов. Подобного рода оптико-магнитные явления, в которых поворотом с помощью внешнего магнитного поля результирующего магнитного момента подрешетки РЗ-ионов (или спин-системы кристалла) можно непосредственно управлять появлением, исчезновением и смещением узких линейно- или циркулярно-поляризованных компонент линий в спектрах поглощения или люминесценции, которые могут служить источником ценной информации о различных микроскопических механизмах магнитооптической активности. Монокристаллы, активированные редкоземельными ионами, широко используются для оптических квантовых генераторов и усилителей, магнитооптических устройств и т. д. На сегодняшний день среди различных материалов ведется активный поиск парамагнитных кристаллов, обладающих значительными величинами углов фарадеевского вращения. Многие фарадеевские парамагнитные среды содержат в качестве активных ионов РЗ-ионы, разрешенные $4f^{(n)} \rightarrow 4f^{(n-1)}5d$ электродипольные переходы в которых ответственны за магнитооптическое вращение плоскости поляризации в видимой и ИК-областях спектра. Принимая во внимание необходимость обеспечения высокой оптической прозрачности редкоземельных кристаллов научный интерес представляют кристаллы фторида калия-тербия $\text{KTb}_3\text{F}_{10}$ (КТФ) и ортоалюминаты с ионами Tb^{3+} и Dy^{3+} , которые сочетают в себе высокую прозрачность и значительную магнитооптическую эффективность в широком диапазоне спектра. Исследование их $d \rightarrow f$ (или $f \rightarrow d$) и $f \rightarrow f$ оптических спектров (поглощение, люминесценция, спектры возбуждения

люминесценции) весьма эффективно может быть проведено с одновременным использованием магнитооптических методов измерений (магнито-оптическое вращение плоскости поляризации света, магнито-оптическое поглощение света, магнито-поляризованная люминесценция и т.п.), отличающихся большой чувствительностью и высоким оптическим разрешением.

На сегодняшний день в нашей республики, в соответствии со Стратегией действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан по пяти приоритетным направлениям на 2017–2021 гг.¹ определены цели и задачи по стимулированию научно-исследовательской деятельности, создание эффективных механизмов внедрения научных и инновационных достижений в практику, создание при высших образовательных учреждениях и научно-исследовательских институтах научно-экспериментальных специализированных лабораторий, центров высоких технологий, технопарков. В связи с этим уделяется большое внимание научно-экспериментальным методам исследования, к которым относятся методы оптической и магнитооптической спектроскопии РЗ-соединений.

Данные методы исследования привлекают внимание исследователей не только Узбекистана, но и представителей научных центров по развитию высоких технологий различных стран мира. Результаты исследований, полученные в данной диссертационной работе позволяют поднять престиж научно-исследовательской деятельности Республики Узбекистан. Поэтому данное диссертационное исследование в определённой степени соответствует задачам, обозначенным Указом Президента Республики Узбекистан №УП-4947 «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан на 2017-2021 годы» от 7 февраля 2017 года, №ПП-3682 «О мерах по дальнейшему совершенствованию системы практического внедрения инновационных идей, технологий и проектов» от 27 апреля 2018 года, №ПП-3698 «О дополнительных мерах по совершенствованию механизмов внедрения инноваций в отрасли и сферы экономики» от 7 мая 2018 года, а также в других нормативно-правовых документах имеющих отношение к данной области деятельности.

Соответствие исследования с приоритетными направлениями развития науки и технологий республики. Диссертационное исследование выполнено в соответствии с приоритетными направлениями развития науки и технологий в Республике Узбекистан: II. «Энергетика, энерго- и ресурсосбережение».

Степень изученности проблемы. На сегодняшний день в научном мире присутствует значительный интерес к фундаментальным исследованиям магнитооптики редкоземельных магнитных диэлектриков, поскольку они дают возможность решать фундаментальные проблемы физики магнитных явлений в твердых телах. За последние 10-15 лет появилось большое

¹Указ Президента Республики Узбекистан № УП-4947 «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан на 2017–2021 годы» от 7 февраля 2017 г.

количество публикаций, посвященных магнитооптике и оптике редкоземельных соединений. Кроме того, первые успешные применения микроскопической теории к объяснению магнитооптических явлений в РЗ-соединениях были осуществлены ещё в конце XX века учеными различных стран мира. Поскольку термодинамические (включая, магнитные и тепловые) свойства редкоземельных ортоалюминатов определяются главным образом нижними штарковскими подуровнями основных мультиплетов РЗ-ионов формируемых кристаллическим окружением C_S и C_{4v} симметрии, то возникает естественный вопрос о влиянии КП на их возбужденные состояния в рассматриваемых кристаллах. Так как воздействию низкосимметричного КП в кристаллах подвергаются не только основные, но и возбужденные электронные состояния магнитоактивных ионов, то их модификация при одновременном воздействии на них внешнего магнитного поля H и будет приводить к значительному изменению характера поведения магнитооптических эффектов (их величин, анизотропии и т.п.) РЗ-соединений. Симметрия кристаллического окружения РЗ-иона будет определять как энергетические, так и симметричные характеристики электронных состояний иона. Важной задачей с научной точки зрения это рассмотрение РЗ-ионов, находящихся в парамагнитных кристаллах как в позициях с симметрией D_2 характерных для парамагнитных РЗ-гранатов, так и в более высокосимметричных позициях с симметрией C_{4v} - характерных для парамагнитных кристаллов фторидов калия – тербия ($K Tb_3 F_{10}$). В редкоземельных ортоалюминатах мы сталкиваемся с нетривиальной проблемой измерения линейных магнитооптических эффектов, таких как эффект Фарадея (ЭФ) или магнитный круговой дихроизм (МКД) на «фоне» большого естественного двулучепреломления, свойственного таким низкосимметричным кристаллам. Из опубликованных данных оптических и магнитооптических исследований известно, что магнитооптические свойства РЗ-ортоалюминатов отличаются рядом характерных особенностей. Во-первых, вследствие отсутствия пропорциональности между толщиной орторомбического кристалла и величиной магнитооптического эффекта из-за большого естественного двулучепреломления, характерного для подобных кристаллов угол поворота большой оси эллипса поляризации светового излучения, прошедшего через кристалл довольно мал и вряд ли превышает по абсолютной величине несколько дуговых минут в реально достижимых магнитных полях (~ 10 кЭ) в видимой области спектра. Во-вторых, наличие большого естественного двулучепреломления ($\sim 10^{-2}$) весьма осложняет прецизионные оптические измерения приводя в конечном итоге к появлению сильно осциллирующих зависимостей (от длины волны и температуры) углов поворота большой оси эллипса поляризации светового излучения.

Этим и объясняется относительно малое количество работ, посвященных исследованию магнитооптической активности РЗ - ионов в низкосимметричных кристаллах обладающих значительным естественным двулучепреломлением. Поэтому отмеченное выше обстоятельство и послужило мотивирующим фактором для проведения как оптических

измерений при низких температурах T (вплоть до 22К), так и магнитооптических исследований РЗ-ортоалюмината $TbAlO_3$ в УФ - и видимой областях спектра. В связи с этим, в данной диссертационной работе была поставлена задача экспериментального исследования влияния кристаллического поля симметрии C_S и C_{4v} на энергетический спектр, оптические и магнитооптические свойства РЗ - ионов в структурах ортоалюминатов и кубическом кристалле со структурой двойного фторида калия-тербия (KTb_3F_{10}).

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ научно-исследовательского учреждения, где выполнена диссертация. Тема диссертационной работы непосредственно связана с фундаментальными исследованиями, проводимыми в настоящее время в НУУз по г/б теме: «Оптические исследования конденсированных сред». Часть результатов получена при выполнении научного проекта Национального Университета Узбекистана по теме: ФЗ-202009143 «Управление оптическими характеристиками оксидных и фторидных кристаллов, активированных редкоземельными элементами, с помощью магнитного поля (2022-2026).

Целью исследования является проведение экспериментальных исследований магнитооптических, магнитных и оптических свойств редкоземельных ионов Tb^{3+} и Dy^{3+} в структуре ортоалюмината AlO_3 и кристалле двойного фторида калия-тербия KTb_3F_{10} (КТФ), а также исследование влияния кристаллического поля симметрии C_S и C_{4v} на энергетический спектр и механизмы магнитооптической активности исследуемых редкоземельных ионов.

Задачи исследования:

1) Экспериментальное исследование спектральных и температурных зависимостей эффекта Фарадея в ортоалюминате диспрозия $DyAlO_3$, установление физической причины отличия их магнитооптических свойств от аналогичных свойств редкоземельных парамагнитных гранатов.

2) Экспериментальное исследование оптических спектров редкоземельного ортоалюмината $TbAlO_3$ в УФ и видимой области спектра в широком температурном интервале с целью обнаружения особенностей строения энергетического спектра исследуемого иона в кристаллическом поле симметрии C_S .

3) Исследование и расчет парамагнитного вклада в эффект Фарадея редкоземельного ортоалюмината $TbAlO_3$ в УФ области спектра.

4) Экспериментальное исследование оптических спектров фторидного кристалла KTb_3F_{10} (КТФ) и идентификация переходов между мультиплетами 5D_4 и 7F_6 ионов Tb^{3+} в кристаллическом окружении симметрии C_{4v} .

5) Из результатов рассмотрения низкотемпературных спектров степени МЦПЛ и ФЛ кристалла KTb_3F_{10} установить наличие дублетных состояний (и их энергий) в энергетическом спектре мультиплета 7F_6 и 5D_4 ионов Tb^{3+} , находящихся в кристаллическом поле симметрии C_{4v} .

б) На основе магнитооптических измерений провести расчет значения фактора расщепления основного дублета мультиплета 7F_6 иона Tb^{3+} кристалла KTb_3F_{10} и сравнить полученные данные с результатами магнитных измерений.

Предметом исследования является определение особенностей строения энергетических спектров ионов Tb^{3+} и Dy^{3+} в монокристаллах фторидов и ортоалюминатов и влияния кристаллического окружения на их оптические и магнитооптические свойства.

Объект исследования являются монокристаллы тербиевого ($TbAlO_3$) и диспрозиевого ортоалюмината $DyAlO_3$, а также кристалл фторида калия-тербия (KTb_3F_{10})

Методы исследований. В экспериментальных исследованиях были использованы методы дифференциальной магнитооптики - МКД, МЦПЛ и эффект Фарадея (ЭФ). Измерения оптических свойств осуществлялись на основе исследований спектров оптического поглощения, спектров флуоресценции и спектров возбуждения люминесценции (СВЛ). Метод модулированной поляризации светового потока, выходящего из намагниченного образца; метод синхронного детектирования, использованный в электронной схеме регистрации вышедшего из оптической схемы сигнала; математические и вычислительные методы обработки экспериментальной информации и др.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

впервые из спектральных и температурных зависимостей ЭФ и магнитной восприимчивости в ортоалюминате диспрозия $DyAlO_3$ было установлено, что измеренная вдоль «легкой» оси b ромбического кристалла константа Верде почти в 2 раза превышает постоянную Верде $Tb_3Ga_5O_{12}$, а ЭФ $DyAlO_3$ существенную роль играет «парамагнитный» механизм МОА, что экспериментально проявилось в сдвиге длин волн разрешенных переходов в коротковолновую область (< 200 нм) по сравнению с РЗ гранатами;

впервые из анализа оптических спектров кристалла $TbAlO_3$ в нижней части основного мультиплета 7F_6 иона Tb^{3+} были обнаружены две группы штарковских подуровней, разделенных энергетическим интервалом ~ 200 cm^{-1} , а также квазидублетная структура самых нижних состояний мультиплета 7F_6 ;

впервые, на основе анализа частотной зависимости постоянной Верде $TbAlO_3$ в УФ-области спектра показано наличие отрицательного экстремума в данной зависимости и существование «парамагнитного» вклада в постоянную Верде, обусловленного разрешенными (по спину и по четности) $4f \rightarrow 5d$ переходами в спектральной области 230 – 250 нм;

впервые из низкотемпературных оптических спектров фторида калия-тербия (KTb_3F_{10}) было получено, что все обнаруженные линии фотолюминесценции при УФ-возбуждении в рассматриваемом кристалле

практически полностью сосредоточены в диапазоне длин волн 482 - 497 nm, определяемом $^5D_4 \rightarrow ^7F_6$ переходом в ионе Tb^{3+} ;

впервые, на основе совместного рассмотрения низкотемпературных спектров степени МЦПЛ и ФЛ кристалла KTb_3F_{10} было установлено наличие трех дублетных состояний (и их энергий) в энергетическом спектре мультиплета 7F_6 и подтверждено наличие двух дублетных состояний (и их энергий) в мультиплете 5D_4 ионов Tb^{3+} , находящихся в кристаллическом поле, что хорошо согласуется с теоретическими предсказаниями.

впервые, из магнитооптических измерений было обнаружено влияние симметрии C_{4v} кристаллического окружения иона Tb^{3+} на энергетический спектр. Было установлено наличие дублетного состояния мультиплета 7F_6 кристалла KTb_3F_{10} , лежащего при энергии 253 см^{-1} и рассчитано значение фактора его расщепления, а также экспериментально было подтверждена дублетная природа основного состояния мультиплета 7F_6 .

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

создание на базе полученных оптических и магнитооптических свойств РЗ-гранатов различных магнитооптических устройств, таких как:

модуляторы светового излучения, оптические изоляторы, дисплеи, функционирующих в видимой и УФ-областях спектра ;

использование исследованных РЗ-соединений в качестве активных и пассивных элементов в фотонике и рентгеновских сцинтилляторах, активных сред в генераторах видимого диапазона с использованием стандартной оптической накачки;

использование исследованных РЗ-соединений в качестве эффективных оптических изоляторов в мощных лазерных системах.

Научная и практическая значимость результатов исследования заключается в получении информации о тонкой структуре энергетического спектра исследуемых редкоземельных ионов Tb^{3+} и Dy^{3+} кристаллических полях симметрии C_S и C_{4v} . А также, в возможности определения различных механизмов магнитооптической активности, которые влияют на величину магнитооптических эффектов. Полученные экспериментальные результаты позволяют рассчитать величины зеемановских расщеплений участвующих в магнитооптических переходах подуровнях мультиплетов.

Результаты поляризационно-оптических и магнитооптических исследований свидетельствуют о том, что кристаллы KTb_3F_{10} и $RAIO_3$ (Tb^{3+} , Dy^{3+} и т.п.) могут быть успешно использованы в практических приложениях вместо используемых в настоящее время кристаллов тербий-галлиевого граната $Tb_3Ga_5O_{12}$. Несомненным преимуществом в данном случае явится использование их постоянных Верде значительно превышающих по абсолютной величине постоянную Верде кристаллов $Tb_3Ga_5O_{12}$ при разработке магнитооптических устройств на их основе.

Достоверность результатов исследования заключается в возможности сопоставления полученных экспериментальных данных с данными, полученными с помощью теоретических расчетов. Обосновывается

проведением параллельных измерений и сопоставлением данных других исследователей, использованием современных методов регистрации и обработки спектральных зависимостей при проведении магнитооптических исследований.

Внедрение результатов исследования. Методы исследования оптических, магнитооптических и энергетических спектров ионов редкоземельных элементов, их магнитооптические свойства, а также результаты расчета величин энергий энергетических уровней ионов в кристаллических полях различной симметрии использовались при решении научно-технических задач в рамках фундаментального Узбекско-Индийского проекта № Uzb-Ind-2021-78 «**Термоэлектрические свойства и процессы самоорганизации в силикатах, легированных оксидами металлов**» (Справка Национального университета Узбекистана №-01/11-13009 от 12-декабря 2024 года). Применение научных результатов позволяет изучать структурные переходы по оптическим свойствам в нанокристаллах, образующихся при легировании силикатного стекла оксидами металлов, по оптическим свойствам, определять влияние оптических свойств легированного силикатного стекла на коэффициент **термоядерного синтеза**, определять электрическую проводимость ионов редкоземельных металлов (La_2O_3 , Nd_2O_3) в легированном силикатном стекле и их влияние на коэффициент **термоядерного синтеза**.

Различные микроскопические механизмы магнитного циркулярного двулучепреломления и магнитооптических эффектов в монокристаллах парамагнитного трифторида и гранатов алюминия применялись при выполнении проекта «**Нелинейные явления, фазовые переходы и анизотропия упругих, фотоупругих и суперионных свойств в диэлектрических и сегнетоэлектрических кристаллах**» в лаборатории «Теплофизика много-фазовых систем» Института ионно-плазменных и лазерных технологий Академии наук Республики Узбекистан в период с 01.01.2022 по 31.12.2022 (справка № 2/1255-2650-sonli от 28 ноября 2024 АН РУз). Применение научных результатов позволило рассчитать коэффициент акустооптического качества (M_2) в трифторидах лантана и тербия.

Основное применение результатов исследования представлено цитированием полученных результатов, экспериментальных и модельных исследований в научных статьях, опубликованных в журналах с высоким импакт-фактором и индексируемых в научных базах данных Web of Science и Scopus:

1. Uygun V.Valiev, Denis N.Karimov, Chong-Geng Ma, Odiljon Z.Sultonov and Vasiliy O.Pelenovich, Tb^{3+} Ion Optical and Magneto-Optical Properties in the Cubic Crystals $\text{KTb}_3\text{F}_{10}$ // Materials, 2022, 15, 7999. <https://doi.org/10.3390/ma15227999>, на статью приведены ссылки в 3-х зарубежных научных журналах: 1) Artem B.Kuznetsov, Yerassyl A.Zholdas, Liudmila A.Gorelova, Anastasiya D.Fedorenko, Alexey A.Ryadun, Yurii V.Seryotkin, Vyacheslav S.Shevchenko, Alexander E.Kokh, Alexandr O.Klimov,

and Konstantin A.Kokh., Synthesis, Growth and Luminescence Properties of Rare Earth Borates $\text{KSrY}(\text{BO}_3)_2$: Tb^{3+} and Tb^{4+} // Cryst. Growth Des. 2024, 24, 5478–5485; 2) Sonia Redhu, Devender Singh, Anjali Hooda, Sofia Malik, Vandana Aggarwal, Swati Dalal, Sumit Kumar, Rajender Singh Malik, Parvin Kumar., Photoluminescence tuning of terbium tris-1,1,1-trifluoro-5,5-dimethyl-2,4-hexanedione complexes: Synthesis, spectroscopic, thermal and electrochemical analyse// Journal of Luminescence 271 (2024) 120588, <https://doi.org/10.1016/j.jlumin.2024.120588>; 3) E.A.Mironov, I.L.Snetkov, A.V.Starobor, and O.V.Palashov, A perspective on Faraday isolators for advanced lasers// Appl. Phys. Lett. 122, 100502 (2023); doi: 10.1063/5.0138031.

2. U.V.Valiev, M.E.Malysheva, Sh.A.Rakhimov, O.Z.Sultonov, Specific Features of the Faraday Effect in Rare-Earth Orthoaluminate DyAlO_3 // Optics and Spectroscopy, 2022, 130(4), 295-301 на статью приведены ссылки в 2-х зарубежных научных журналах: 1) Синьбин Цзяо, Шии Бао, Шуминь Ли., Dynamic responses of garnet-type optical AC sensor based on Faraday effect// IEEE Sensors Journal, 2023, 26,13, 18092 – 18098 с, DOI: 10.1109/JSEN.2023.3287472; 2) В.В.Осипов, А.Н.Орлов, В.В.Лисенков, Р.Н.Максимов, В.А.Шитов, Distribution of the Magnetic Field in the Gap between Two Permanent Magnets: Calculated and Experimental Data and Their Applications// Instrum Exp Tech 66, 995–1002 (2023). <https://doi.org/10.1134/S0020441223060064>

Апробация результатов исследования. Результаты данного исследования обсуждены на 4 международных и республиканских конференциях.

Опубликованность результатов. По теме диссертации опубликовано 11 научных работ, в том числе 4 научные статьи, 3 из них в международных научных журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов диссертации доктора философии (PhD).

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы. Объем диссертации составляет 120 страницы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении аргументируется актуальность темы исследования, формируются цели и задачи исследования, характеризуются объект и предмет, показано соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики, излагаются научная новизна и практические результаты исследования, раскрываются научная и практическая значимость, внедрение в практику полученных результатов. Описана структура диссертации и приведена информация о количестве опубликованных работ по теме диссертационного исследования.

В первой главе диссертации «**Магнитооптические свойства и кристаллографическая структура редкоземельных парамагнитных**

гранатов» рассматриваются магнитные, оптические и магнитооптические свойства, кристаллографическая структура редкоземельных фторидов и алюминатов. Приведены основные положения теории Джадда-Офельта для запрещенных внутриконтинуальных переходов в энергетическом спектре РЗ-ионов, находящихся в кристаллическом поле низкой симметрии. На основе анализа литературных сведений по магнитооптике РЗ-соединений, подробно описаны известные механизмы возникновения магнитооптической активности данных объектов исследования (ЭФ, МЦПЛ, МКД). Дан краткий обзор экспериментальных и теоретических работ, имеющих отношение к теме диссертационного исследования.

Во второй главе «**Методики измерений и экспериментальные установки**» приведено описание экспериментальных установок и методик, необходимых для проведения оптических, магнитных и магнитооптических исследований. Дан анализ погрешностей измерений, приведены характеристики исследованных образцов.

Монокристаллы тербиевого $TbAlO_3$ и диспрозиевого $DyAlO_3$ РЗ – ортоалюминатов были выращены методом спонтанной кристаллизации "из раствора в расплаве". М. Miyazawa в лаборатории роста кристаллов Nirim (Япония). Образцы рентгенографическим методом были ориентированы в кристаллографических плоскостях (111) и (110), соответственно.

Монокристаллы KTb_3F_{10} (КТФ) были выращены в институте кристаллографии имени Шубникова (Россия) из расплава методами направленной кристаллизации.

При проведении оптических, магнитооптических исследований использовались следующие экспериментальные установки:

- 1) Установка для измерения спектров МКД и МЦПЛ
- 2) Установка для измерения спектров люминесценции
- 3) Установка для измерения магнитных свойств РЗ-соединений: вибромагнетометр с колеблющимся образцом.
- 4) Установка для измерения спектров оптического поглощения: дифракционный однолучевой спектрофотометр, выполненный на базе монохроматора МДР-23 с непрерывной регистрацией сигнала оптической плотности D .

5) Установка для измерения эффекта Фарадея.

В третьей главе «**Особенности эффекта Фарадея в редкоземельном ортоалюминате $DyAlO_3$** » приводятся результаты исследования эффекта Фарадея и магнитной восприимчивости в редкоземельном ортоалюминате $DyAlO_3$. Исследование эффекта Фарадея (ЭФ) монокристаллических образцов $DyAlO_3$ проводилось в температурном интервале 78–300 К вдоль кристаллографической оси «легкого» намагничивания b ромбического кристалла.

На рис. 1 представлены спектральные зависимости угла θ , измеренные при $T = 90$ (1) и (2) 300 К вдоль оси b орторомбического кристалла $DyAlO_3$. Угол поворота большой оси эллипса θ описывается следующим выражением:

$$\operatorname{tg} 2\theta = \sin \chi \sin \Phi = \frac{\varepsilon_{xy}}{\bar{n} \cdot \Delta n} \cdot \sin \frac{2\pi \cdot \Delta n \cdot l}{\lambda} \quad (1)$$

где ε_{xy} - компонента тензора диэлектрической проницаемости среды,

$\bar{n} \approx (n_{xx} + n_{yy})/2$ - средний показатель преломления кристалла, l - его толщина, λ - длина волны света в вакууме, $\Delta n = n_{xx} - n_{yy}$ - величина естественного кристаллографического двулучепреломления.

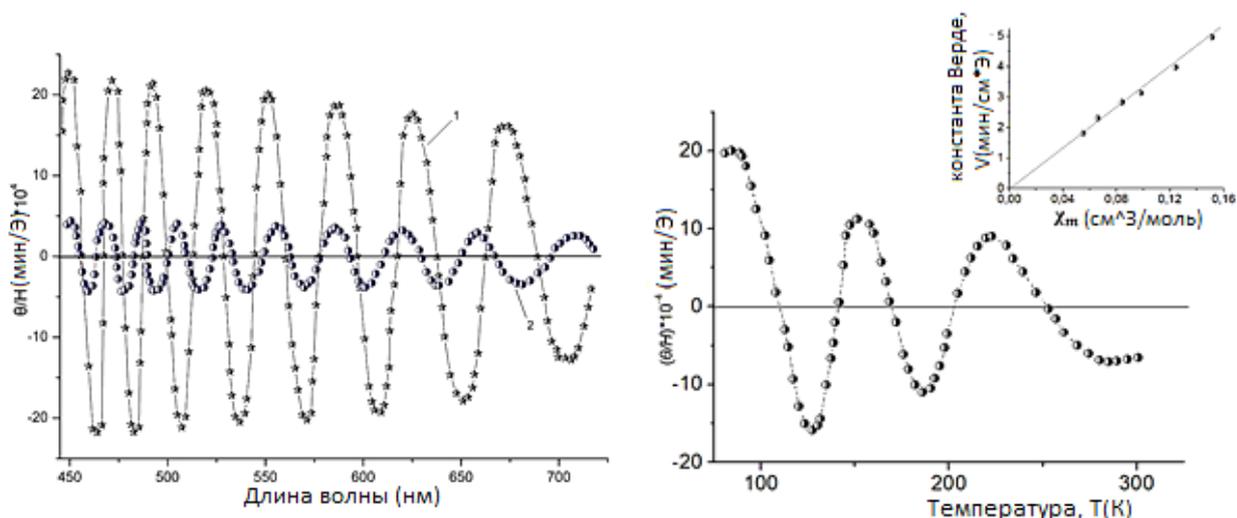


Рис.1. Спектральные зависимости величины θ/H , измеренные при $T = 90$ (1) и 300 К (2) вдоль оси - b ромбического кристалла DyAlO_3 толщиной $l = 0,42$ см.

Рис.2. Температурная зависимость величины θ/H , измеренная вдоль оси b в DyAlO_3 на длине волны $\lambda = 506$ нм. На вставке: на данной длине волны зависимость постоянной Верде V DyAlO_3 от молярной магнитной восприимчивости χ , измеренной вдоль оси b орторомбического кристалла.

Хорошо видно, что зависимости угла θ , как от длины волны, так и от толщины кристалла и температуры имеют осциллирующий вид, причем амплитуда осцилляций пропорциональна ε_{xy} , а их период — величине естественного двулучепреломления Δn .

На рис.2 представлена температурная зависимость угла поворота большой оси эллипса поляризации θ , измеренные вдоль оси - b в DyAlO_3 на длине волны $\lambda = 506$ нм. Из анализа температурной зависимости угла поворота большой оси эллипса поляризации θ было обнаружено (см. рис.2), что при понижении температуры образца период осцилляций угла θ уменьшается вследствие слабо возрастающего с понижением температуры естественного кристаллографического двулучепреломления. При этом отчетливо видно, что амплитуда самих осцилляций угла θ резко возрастает по величине. Из температурных и спектральных зависимостей угла θ на основе формулы:

$$V = 2 \left(\frac{\theta}{H} \right) \cdot \frac{\pi}{\lambda} \Delta n \quad (2)$$

можно рассчитать спектральную зависимость постоянной Верде V РЗ-ортоалюмината $DyAlO_3$ (Рис.3).

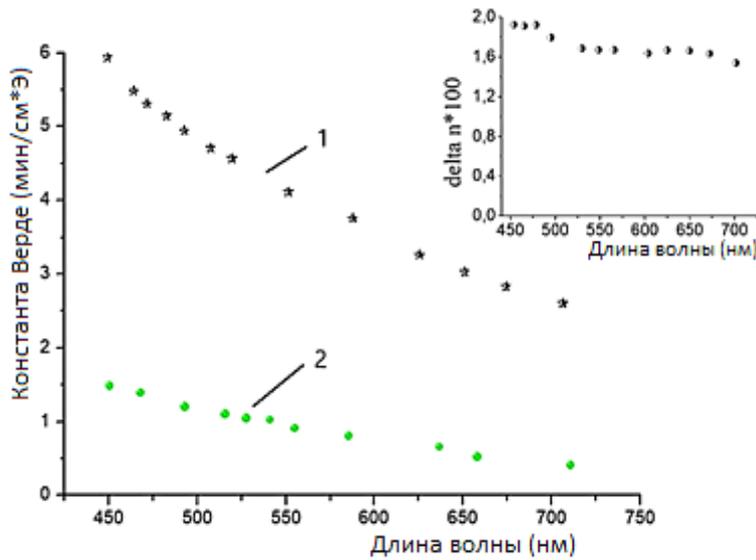


Рис.3. Спектральные зависимости постоянной Верде ортоалюмината $DyAlO_3$, измеренные при $T = 90K$ (1) и $300K$ (2) вдоль оси b ромбического кристалла. На вставке: приведена спектральная зависимость величины Δn , найденная при $T = 90K$.

Из приведенных на рис.3 экспериментальных данных следует, что с уменьшением длины волны наблюдается монотонное возрастание величин Δn при $T = 90K$.

На вставке к рис.2 приведена восстановленная на данной длине волны зависимость постоянной Верде V $DyAlO_3$ от молярной магнитной восприимчивости χ , измеренной вдоль оси b орторомбического кристалла.

В пределах экспериментальной погрешности, данная зависимость оказывается линейной, что позволяет с учетом частотной зависимости ЭФ в $DyAlO_3$, представить выражение для константы Верде V в следующем виде:

$$V = (C_p \chi + D) \frac{\omega_2}{(\omega_0^2 - \omega^2)} \quad (3)$$

где V - константа Верде; ω - световая частота; C_p - «парамагнитная» постоянная Верде; D - вклад «смешивания» основного и возбужденного мультиплетов РЗ-иона Dy^{3+} во внешнем магнитном поле. Величина вклада «смешивания» D оказывается довольно малой, и в дальнейшем рассмотрении его можно не учитывать. В табл.1 выполнено сопоставление величин C_p и ω_0 , найденных из измерений ЭФ как в РЗ-ортоалюминатах $DyAlO_3$ и $TbAlO_3$, так и в РЗ-гранатах $Dy_3Al_5O_{12}$ и $Tb_3Al_5O_{12}$.

Из сравнения «эффективных» частот ω_0 (а точнее, длин волн λ_0), найденных в РЗ-ортоалюминатах, с аналогичными данными, полученными в РЗ-гранатах, видно, что в структуре $RAIO_3$ длины волн разрешенных переходов сдвигаются в более коротковолновую область спектра (< 200 нм) по сравнению с РЗ-гранатами. Кроме того «парамагнитные» постоянные Верде C_p РЗ-соединений прямо пропорциональны силам осцилляторов разрешенных переходов f и обратно пропорциональны частотам ω_0 в них.

Таблица 1.

Параметры C и λ_0 РЗ-ионов Tb^{3+} и Dy^{3+} в кристаллах гранатов и ортоалюминатов

РЗ-соединение	λ_0 (нм)	$C \cdot 10^3$ (мин/см·Э)
$TbAlO_3$	192 ± 3	$5,5 \pm 0,2$
$Tb_3Al_5O_{12}$	264 ± 2	$4,0 \pm 0,05$
$DyAlO_3$	190 ± 5	$6,8 \pm 0,3$
$Dy_3Al_5O_{12}$	210 ± 3	$3,78 \pm 0,04$

Величины произведений $C_p \cdot \omega_0$, с одной стороны, позволяют оценить изменения сил осцилляторов ионов Tb^{3+} и Dy^{3+} , возникающие при переходе от одного иона к другому в одном и том же кристаллическом окружении. С другой, оценить возможное изменение параметра f для одного и того же иона, вызванное понижением симметрии его кристаллического окружения от симметрии D_2 (гранат) к симметрии C_5 (ортоалюминат). Проведенные оценки демонстрируют почти двукратное возрастание величин сил осцилляторов рассматриваемых выше РЗ-ионов в структуре ортоалюмината по сравнению с гранатом.

В четвертой главе «**Оптические и магнитооптические свойства иона Tb^{3+} в кристаллах со структурой ортоалюмината и двойного фторида калия-тарбия**» приведены спектры поглощения и фотолюминесценции в ультрафиолетовой области спектра, спектральная зависимость угла поворота большой оси эллипса поляризации в $TbAlO_3$ (эффект Фарадея), дисперсионная зависимость константы Верде кристалла $TbAlO_3$, а также оптические и магнитооптические спектры иона Tb^{3+} в кубическом кристалле KTb_3F_{10} . Спектры возбуждения люминесценции для разных температур кристалла $TbAlO_3$ исследовались в спектральной области 220 – 350 нм. Особенность спектра ВСЛ в интервале длин волн 220 – 250 нм связана с полосой интенсивного оптического поглощения, приводящая к сильной реабсорбции излучения возбуждаемой ей. (рис.4.) Данная полоса обусловлена разрешенным (в электродипольном приближении) $4f^{(8)}(^7F_6) \rightarrow 4f^{(7)}5d(e_g)$ переходом реализующемся в структуре ортоалюмината в ионах Tb^{3+} . Возбуждение $4f \rightarrow 5d$ полос поглощения в $TbAlO_3$ приводит к возникновению полос интенсивной люминесценции (флуоресценции), приведённых на рис. 5 и связанных с эмиссионными запрещёнными (в электродипольном приближении - ЭД), т.н. «вынужденными» $4f \rightarrow 4f$ переходами типа $4f^{(8)}(^5D_4) \rightarrow 4f^{(8)}(^7F_J)$, где $J = 6,5,4,3$. хорошо видно, что в коротковолновой части полосы люминесценции $4f^{(8)}(^5D_4) \rightarrow 4f^{(8)}(^7F_6)$ наблюдаются две хорошо изолированные линии люминесценции - 1 и - 2 на длинах волн 485.59 нм (20588 см^{-1}) и 490.33 нм (20388 см^{-1}) и обозначенных стрелками на рис.5. Возникновение данных линий связано с излучательными переходами осуществляющихся между нижайшими шарковскими подуровнями возбужденного мультиплета 5D_4 и соответствующими подуровнями основного мультиплета 7F_6 рз-иона Tb^{3+} .

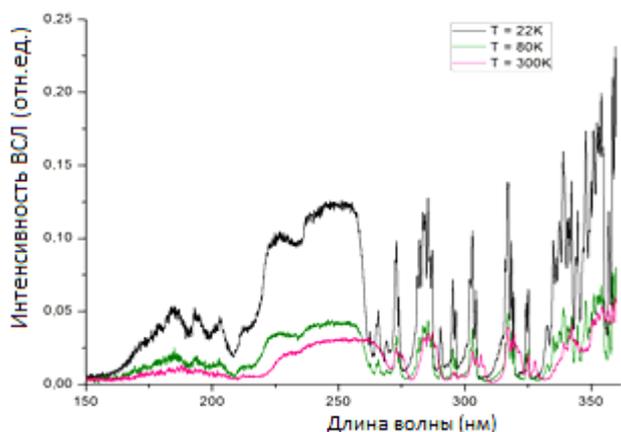


Рис. 4. Спектры возбуждения люминесценции кристалла $TbAlO_3$, измеренные в интервале температура 20 – 300К. Толщина исследуемого образца составляла 200 мкм.

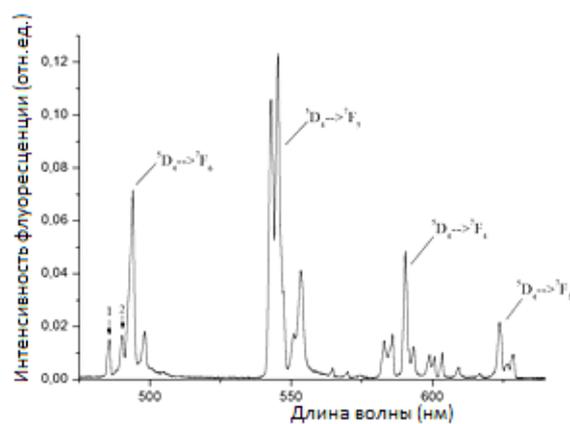


Рис. 5. Спектры полос люминесценции кристалла $TbAlO_3$, связанные с «вынужденными» $4f \rightarrow 4f$ переходами измеренных при температуре 22 К на длинах волн из спектрального диапазона 450 – 700 нм. Интенсивности разных полос даны в одном и том же масштабе.

Вследствие этого можно утверждать, что в нижней части мультиплета 7F_6 располагаются только две группы штарковских подуровней разделенных энергетическим интервалом $\sim 200 \text{ см}^{-1}$, причем два самые нижних синглета формируют «квазидублет», являющийся основным состоянием некрамерсовского иона Tb^{3+} в КП симметрии C_s , характерной для симметрии кристаллического окружения РЗ-иона в структуре ортоалюмината.

Результаты измерений спектров возбуждения люминесценции, проведенные в $TbAlO_3$ в УФ-области спектра однозначно свидетельствуют о наличии полосы интенсивного оптического поглощения в диапазоне длин волн 230 – 250 нм. На рис.6 приведена спектральная зависимость угла поворота большой оси эллипса поляризации в ближней УФ-области спектра, измеренная при $T = 300\text{K}$ на образце кристалла тербиевого ортоалюмината толщиной 0.0145 см при ориентации внешнего поля H вдоль кристаллографической оси $[100]$ орторомбического кристалла. Уменьшение амплитуды осцилляций сопровождается уменьшением их периода по длине волны, что свидетельствует о некотором возрастании величины естественного двулучепреломления Δn в УФ-области спектра. Из приведенных спектральных зависимостей можно восстановить спектральную зависимость постоянной Верде ЭФ кристалле $TbAlO_3$ при $T=300\text{K}$ и построить частотную зависимость. На рис. 7 приведена частотная зависимость постоянной Верде $TbAlO_3$ в УФ-области спектра демонстрирующая наличие отрицательного экстремума в данной зависимости при $\omega^* = 66,5 \cdot 10^{14} \text{ сек}^{-1}$ ($\lambda^* = 285 \text{ нм}$).

Подобный характер поведения частотной зависимости ЭФ в области полосы поглощения характерен именно для «парамагнитного» вклада в постоянную Верде, обусловленного разрешенными (по спину и по четности)

4f → 5d переходами, поэтому предсказываемое по результатам измерений спектров возбуждения люминесценции TbAlO₃ (рис. 4) возникновение полосы поглощения в спектральной области 230 – 250 нм может быть обусловлено именно ЭД-переходами происходящими со штарковских подуровней основного мультиплета ⁷F₆ в состоянии смешанной возбужденной 4f⁽⁷⁾5d конфигурации РЗ-иона Tb³⁺ в ортоалюминате тербия.

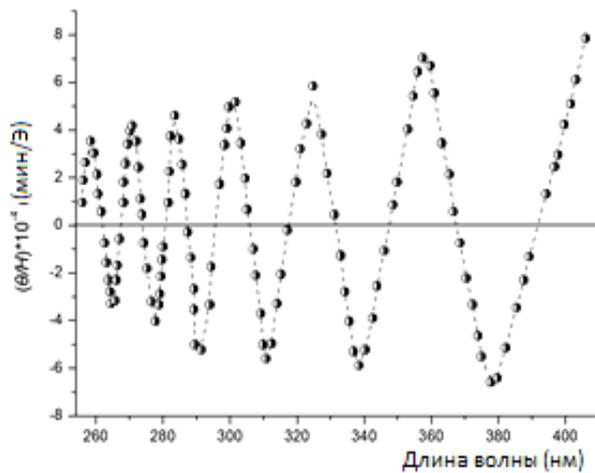


Рис. 6. Спектральная зависимость угла поворота большой оси эллипса поляризации в ближней УФ-области спектра, измеренная при T = 300К на образце кристалла тербиевого при ориентации внешнего поля вдоль кристаллографической оси [100] орторомбического кристалла.

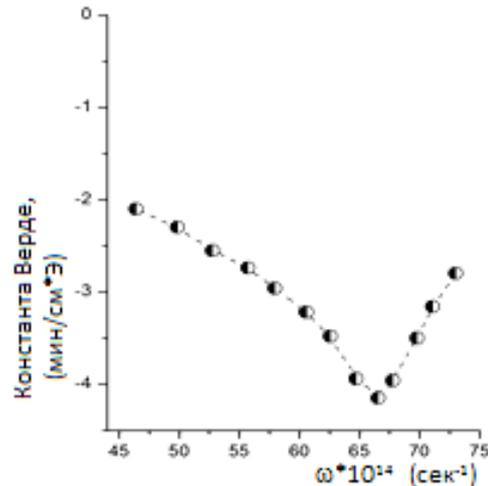


Рис. 7. спектральная зависимость постоянной Верде V РЗ-ортоалюмината TbAlO₃, измеренная при T = 300К во внешнем магнитном поле ориентированном вдоль кристаллографической оси [100] ромбического кристалла.

На рис. 8 представлены спектры ФЛ и поглощения кристалла KТb₃F₁₀, связанные с оптическими переходами между мультиплетом ⁵D₄ и ⁷F₆ иона Tb³⁺ при 90 К. Наблюдаемые в спектрах ФЛ длины волн перекрывающихся линий 3', 4', 5', 6', 7', 8' и 9' совпадают с длинами волн линий 3, 4, 5, 6, 7, 8 и 9, обнаруженные соответственно в спектрах поглощения. Отмеченное выше совпадение энергий некоторых линий облегчает построение схемы оптических переходов в спектрах поглощения и ФЛ в исследуемом кристалле (см. рис. 9), позволяет нам определить энергии большинства штарковских подуровней основного ⁷F₆ и возбужденного ⁵D₄ мультиплетов иона Tb³⁺, расщепленного окружением кристаллической симметрии C_{4v}.

Результаты низкотемпературных измерений МКД в исследуемом кристалле в видимой области спектра приведены на рис. 10. Характерные особенности МКД и спектров поглощения указаны в соответствии со схемой перехода (рис. 9). Переменная по знаку форма сигнала МКД на линии поглощения 2 на рис. 10 определяется так называемой дисперсионной формой контура магнитооптической линии поглощения, которая определяет так называемый "диамагнитный" вклад (А-член) в МКД магнитоактивного иона.

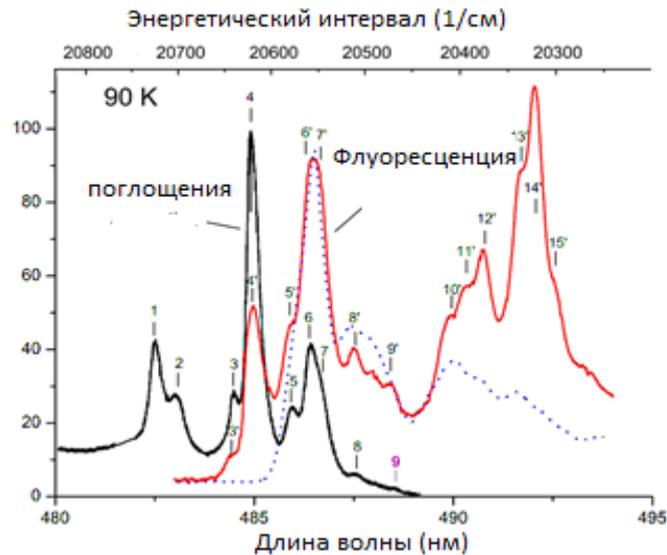


Рис. 8. Спектры низкотемпературного поглощения (черный) и ФЛ (красный) кристалла $\text{KTb}_3\text{F}_{10}$ при возбуждении ртутной лампой. Данные ФЛ, измеренные при $T = 3\text{K}$ показаны для сравнения и обозначены пунктирной линией. Характерные особенности оптических спектров обозначены цифрами.

Особенность МКД 4'', наблюдаемая в районе линии поглощения 4, полуширина которой уменьшается с понижением температуры кристалла от 300 до 90 К может быть смоделирована суперпозицией двух противоположных по знаку спектральных зависимостей МКД, соответствующих «диамагнитным» вкладам в МКД в этой области спектра (см. вставку к рис. 10).

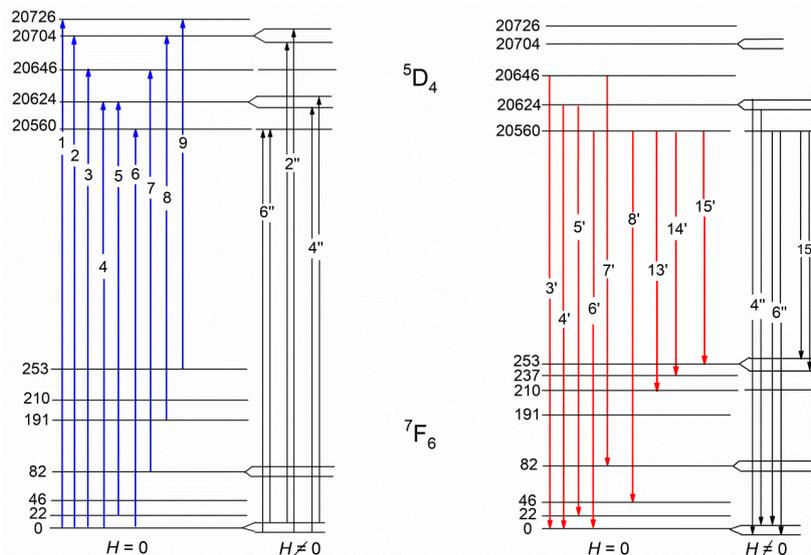


Рис. 9. Схема оптических переходов Tb^{3+} в кристалле КТФ, построенная по спектрам поглощения (синие стрелки) и ФЛ (красные стрелки) при $T = 90\text{K}$. Диаграммы магнито-оптически активных переходов в Tb^{3+} ионах, реализующиеся в магнитном поле H в низкотемпературных спектрах МКД и МЦПЛ, показаны в правых частях.

«Диаманитные» вклады 2", 4" и 6" реализуются между состояниями зеемановских подуровней основного дублета основного мультиплета 7F_6 и штарковские подуровни дублетного и синглетного состояний, лежащие в возбужденном мультиплете 5D_4 (см. схему на рис. 9). Таким образом, результаты совместного исследования низкотемпературных спектров МКД и оптического поглощения кристалла КТФ позволили установить наличие дублетных состояний (и их положение) в энергетических спектрах мультиплетов 5D_4 и 7F_6 иона Tb^{3+} .

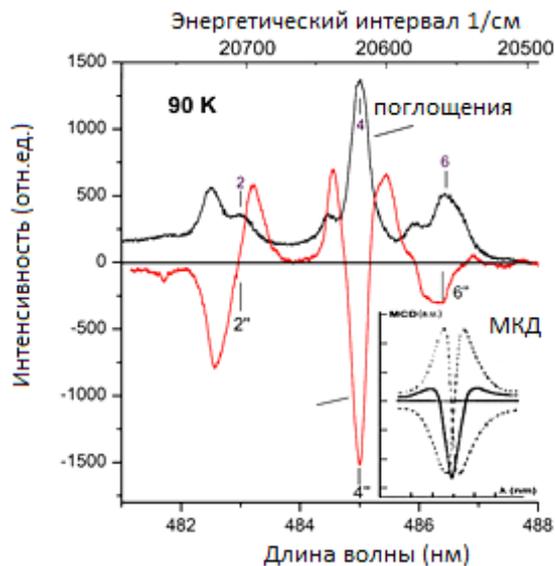


Рис. 10. Спектральные зависимости МКД (красная линия) и оптического поглощения (черная линия) кристалла КТФ при $T = 90$ К. Спектр МКД записан в магнитном поле $H = 5$ кЭ.

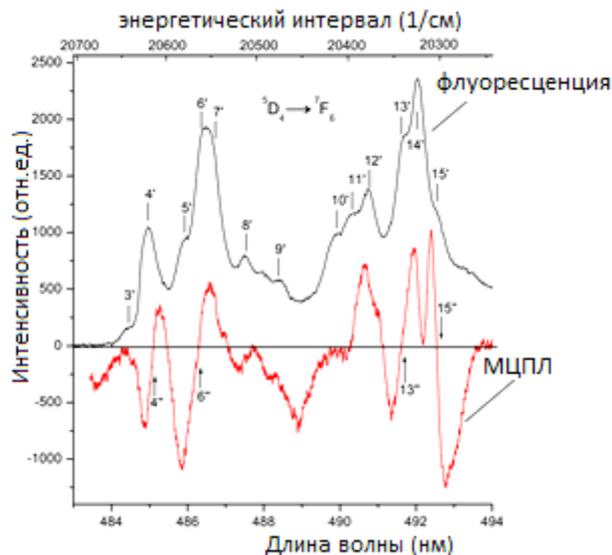


Рис. 11. Спектры степени МЦПЛ (красная линия) и ФЛ (черная линия) кристалла КТФ при температуре $T = 90$ К в видимой области спектра. Спектр МЦПЛ регистрируется в магнитном поле $H = 5$ кЭ.

На рис. 11 представлены спектры степени МЦПЛ (красная линия) и ФЛ (черная линия) кристалла КТФ при температуре $T = 90$ К в видимой области спектра на переходе ${}^7F_6 \rightarrow {}^7F_6$. Особенности спектра МЦПЛ на линиях 4" и 6" можно аппроксимировать наклонными линейными зависимостями внутри линий люминесценции - 4' и 6'. Это свидетельствует о вкладе в эффект МЦПЛ зависящего от температуры «парамагнитного» члена С. Особенности степени МЦПЛ на этих линиях обусловлены магнитооптически-активными переходами, происходящими между дублетными состояниями, принадлежащими состояниям 5D_4 и 7F_6 соответственно (см. рис. 9).

Что касается особенности на линии 15" степени МЦПЛ на длине волны 492,5 нм (20314 см^{-1}), то в этом случае спектр МЦПЛ демонстрирует обычную «диаманитную» дисперсию и может быть однозначно связана с излучательным переходом, происходящим со штарковского синглета с энергией 20560 см^{-1} , расположенным в нижней части мультиплета 5D_4 в дублетное состояние мультиплета 7F_6 , лежащего при энергии 253 см^{-1} (см. рис. 9). В этом случае «эффективное» зеемановское расщепление

интересующего нас дублетного состояния при 253 см^{-1} в мультиплете 7F_6 , оказывается равным $g_{\mu_b}H = 1,1 \text{ см}^{-1}$ во внешнем поле $H = 5 \text{ кЭ}$. Причем величина коэффициента расщепления ($g' = 3,3$) в магнитном поле дублетного состояния, локализованного при энергии 253 см^{-1} в мультиплете 7F_6 , хорошо согласуется по порядку величины с экспериментальным значением, равным 4,7. Что касается основного состояния мультиплета 7F_6 , дублетная природа которого подтверждается данными магнитооптических и магнитных исследований, то расчет его коэффициента расщепления в магнитном поле приводит к значению $g' = 6,94$, что оказывается значительно ниже по сравнению с его значением ($g_0 = 9,54$), полученным из магнитных измерений кристалла КТФ, проведенных в условиях насыщения намагниченности кристалла КТФ, когда исследуемый кристалл находился в магнитном поле $H = 80 \text{ кЭ}$ при $T = 3 \text{ К}$. Такое расхождение может быть связано с отсутствием учета вклада в результирующую намагниченность кристалла КТФ Ван-Флековского вклада, заключающегося в "смешивании" волновых функций основного дублета с волновой функцией близлежащего синглета, лежащего выше на расстоянии 22 см^{-1} , внешним магнитным полем H (см. рис. 9).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе проведенных выше исследований, выполненных в диссертации на соискание степени доктора философии (PhD) по физико-математическим наукам на тему: «Особенности магнитооптики редкоземельных ионов в кристаллическом окружении различной симметрии» были сделаны следующие выводы:

1. Из анализа спектральных и температурных зависимостей ЭФ и магнитной восприимчивости в кристалле DyAlO_3 было установлено, что в эффекте Фарадея в кристаллической структуре симметрии C_s ортоалюмината диспрозия существенную роль играет «парамагнитный» механизм МОА, что экспериментально проявилось в сдвиге длин волн в коротковолновую область ($< 200 \text{ нм}$) по сравнению с РЗ гранатами, так и в двукратном возрастании сил осцилляторов разрешенных переходов в ионах Tb^{3+} и Dy^{3+} в структуре ортоалюмината по сравнению с гранатом.

2. Впервые из анализа оптических спектров кристалла TbAlO_3 при температуре 20К в нижней части основного мультиплета 7F_6 иона Tb^{3+} были обнаружены две группы штарковских подуровней, разделенных энергетическим интервалом $\sim 200 \text{ см}^{-1}$, а также квазидублетная структура самых нижних состояний мультиплета 7F_6 .

3. Впервые, на основе анализа частотной зависимости постоянной Верде TbAlO_3 в УФ-области спектра показала наличие отрицательного экстремума в данной зависимости при $\omega^* = 66,5 \cdot 10^{14} \text{ sec}^{-1}$ ($\lambda^* = 285 \text{ нм}$) и существование «парамагнитного» вклада в постоянную Верде, обусловленного разрешенными (по спину и по четности) $4f \rightarrow 5d$ переходами в спектральной области 230 – 250 нм.

4. Впервые из оптических спектров фторидного кристалла двойного фторида калия-тербия $\text{KTb}_3\text{F}_{10}$ (КТФ) было получено, что все обнаруженные при $T = 90$ и 300 К линии ФЛ при УФ-возбуждении в рассматриваемом кристалле практически полностью сосредоточены в диапазоне длин волн $482 - 497$ нм, определяемом ${}^5\text{D}_4 \rightarrow {}^7\text{F}_6$ переходом в ионе Tb^{3+} .

5. Из результатов совместного рассмотрения низкотемпературных спектров степени МЦПЛ и ФЛ кристалла $\text{KTb}_3\text{F}_{10}$ было установлено наличие трех дублетных состояний (и их энергий) в энергетическом спектре мультиплета ${}^7\text{F}_6$ и подтверждено наличие двух дублетных состояний (и их энергий) в мультиплете ${}^5\text{D}_4$ ионов Tb^{3+} , находящихся в кристаллическом поле симметрии C_{4v} , что хорошо согласуется с теоретическими предсказаниями.

6. Впервые из магнитооптических измерений кристалла $\text{KTb}_3\text{F}_{10}$ было обнаружено влияние симметрии C_{4v} кристаллического окружения иона Tb^{3+} на энергетический спектр. Было установлено наличие дублетного состояния мультиплета ${}^7\text{F}_6$ кристалла $\text{KTb}_3\text{F}_{10}$, лежащего при энергии 253 см^{-1} и рассчитано значение фактора его расщепления, а также экспериментально было подтверждена дублетная природа основного состояния мультиплета ${}^7\text{F}_6$.

**SCIENTIFIC COUNCIL ON AWARD OF THE SCIENTIFIC DEGREES
OF DOCTOR OF PHILOSOPHY PhD.03/30.12.2019.FM.02.04 AT THE
SAMARKAND STATE UNIVERSITY NAMED AFTER
SHAROF RASHIDOV**

**NATIONAL UNIVERSITY OF UZBEKISTAN NAMED AFTER MIRZO
ULUGBEK**

SULTONOV ODILJON ZIYOMIDDINOVICH

**THE RARE-EARTH IONS MAGNETOOPTICS FEATURES IN
CRYSTALLINE ENVIRONMENTS OF THE DIFFERENT SYMMETRIES**

01.04.05 – Optics

**DISSERTATION ABSTRACT
of the Doctor of Philosophy (PhD) on Physical and Mathematical Sciences**

Samarkand – 2025

The theme of dissertation of doctor of philosophy (PhD) on physical and mathematical sciences was registered by the Supreme Attestation Commission at the Ministry of Higher Education, Science and Innovation of the Republic of Uzbekistan under № B2022.4.PhD/FM806.

Dissertation has been prepared at the National university of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek.

The abstract of the dissertation is posted in three languages (uzbek, russian, english (resume)) on the website (www.samdu.uz) and the "Ziyonet" information and educational portal (www.ziyonet.uz).

Scientific supervisor: **Valiev Uygun Vakhidovich**
Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor

Official opponents: **Kurtaliyev Eldar Nuriyevich**
Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Docent

Niyazov Laziz Nurxonovich
Doctor of Philosophy (PhD) on Physical and Mathematical Sciences, Docent

Leading organization: **Bukhara State University**

Dissertation defense will be held on «27» 03 2025 at 10⁰⁰ at the meeting of Scientific Council number PhD.03/30.12.2019.FM.02.04 at Samarkand State University named after Sh.Rashidov. (Address: University Boulevard 15, Samarkand, 140104, Uzbekistan, Ph.: (99866) 239-13-87, 239-11-40; fax: (99866) 239-11-40; e-mail: rektor@samdu.uz. cabinet 63, ground floor, the Engineering Physics Institute, Samarkand State University named after Sh.Rashidov).

Dissertation is possible to review in Information Resource Centre at Samarkand State University named after Sh.Rashidov (is registered № 10) (Address: University Boulevard 15, Samarkand, 140104, Uzbekistan, Ph.: (99866) 239-13-87, 239-11-40; fax: (99866) 239-11-40).

Abstract of dissertation sent out on «15» 02 2025 year
(Registry record № 10 on «15» 02 2025 year)



M.Kh.Ashurov
Chairman of scientific council
on award of scientific degrees,
DSc in physics and mathematics, academician

R.M.Radjabov
Scientific secretary of scientific council
on award of scientific degrees,
CSc in physics and mathematics, docent

D.I.Semenov
Chairman of scientific seminar under scientific
council on award of scientific degrees,
DSc in physics and mathematics, docent

INTRODUCTION (abstract of PhD dissertation)

The study goal is to conduct experimental studies of the magneto-optical, magnetic and optical properties of rare-earth ions Tb^{3+} and Dy^{3+} in the structure of orthoaluminate $RAIO_3$ and in the crystal of double potassium-terbium fluoride KTb_3F_{10} (KTF), as well as to study the influence of the crystal field of symmetry C_s and C_{4v} on the energy spectrum and mechanisms of magneto-optical activity of the rare-earth ions under study.

Study objectives:

1) Experimental study of spectral and temperature dependences of the Faraday effect (FE) in dysprosium orthoaluminate $DyAlO_3$, establishing physical causes of the difference in their magneto-optical properties from similar properties of rare-earth paramagnetic garnets.

2) Experimental study of the optical spectra of rare-earth orthoaluminate $TbAlO_3$ within the UV and visible spectral range in a wide temperature interval to detect structural features of the energy spectrum of the ion under study in the crystal field of C_s symmetry.

3) Study and calculation of the paramagnetic contribution to the Faraday effect of rare-earth orthoaluminate $TbAlO_3$ within the UV spectral range.

4) Experimental study of the optical spectra of fluoride crystal KTb_3F_{10} (KTF) and identification of the transitions between the 5D_4 and 7F_6 multiplets of the Tb^{3+} ions in the crystal environment of C_{4s} symmetry.

5) From the results of considering the low-temperature spectra of the MCPL and PL degree of the KTb_3F_{10} crystal, establishing the presence of doublet states (and their energies) in the energy spectrum of the 7F_6 and 5D_4 multiplets of the Tb^{3+} ions in the crystalline field of C_{4s} symmetry.

6) Based on the magneto-optical measurements, calculation of the splitting factor of the ground doublet of the 7F_6 multiplet of the Tb^{3+} ion of the KTb_3F_{10} crystal and comparison of the obtained data with the results of magnetic measurements.

The study subject is the structural features of the energy spectra of the Tb^{3+} and Dy^{3+} ions in single crystals of fluorides and orthoaluminates and the influence of the crystalline environment on their optical and magneto-optical properties.

The study objects are single crystals of terbium ($TbAlO_3$) and dysprosium ($DyAlO_3$) orthoaluminates and crystals of potassium-terbium fluoride (KTb_3F_{10}).

The scientific novelty of the study is as follows.

For the first time, from the spectral and temperature dependences of the EF and magnetic susceptibility in dysprosium orthoaluminate $DyAlO_3$, it has been established that the Verdet constant measured along the “easy” axis b of the rhombic crystal is almost 1.5 times higher than the Verdet constant of $Tb_3Ga_5O_{12}$, and the FE of $DyAlO_3$ is significantly affected by the “paramagnetic” mechanism of MOA, which was experimentally manifested in a shift in the wavelengths of the permitted transitions to the short-wave range (< 200 nm) as compared to rare-earth garnets;

For the first time, from the analysis of the optical spectra of the TbAlO₃ crystal, the two groups of the Stark sublevels separated by an energy interval of ~ 200 cm⁻¹ have been discovered in the lower part of the ground multiplet ⁷F₆ of the Tb³⁺ ion, as well as a quasi-doublet structure of the lowest states of the multiplet ⁷F₆;

For the first time, based on the analysis of the frequency dependence of the Verdet constant of TbAlO₃ within the UV spectral range, it has been shown that there is a negative extremum in this dependence and the Verdet constant has a “paramagnetic” component caused by permitted (by spin and by parity) 4f → 5d transitions within the spectral range of 230-250 nm;

For the first time, it has been found from the low-temperature optical spectra of potassium-terbium-fluoride (KTb₃F₁₀) that under UV excitation all the photoluminescence lines detected in the crystal under consideration are almost entirely concentrated within the wavelength range of 482-497 nm determined by the ⁵D₄→⁷F₆ transition in the Tb³⁺ ion;

Based on a joint consideration of the low-temperature spectra of the MCPL and PL degree of the KTB₃F₁₀ crystal, it has been established that there are three doublet states (and their energies) in the energy spectrum of the ⁷F₆ multiplet and the existence of two doublet states (and their energies) in the ⁵D₄ multiplet of Tb³⁺ ions located in the crystalline field is confirmed, which is in good agreement with theoretical predictions.

For the first time, a value of the splitting factor of the ground doublet of the ⁷F₆ state of the KTb₃F₁₀ crystal has been calculated from magneto-optical measurements, which turned out to be significantly smaller as compared to that found from magnetic measurements of the crystal. Such a discrepancy may be due to the lack of consideration of the contribution of the Van Fleck effect of "mixing" of the wave functions of the ground doublet with the wave function of the nearby singlet by an external magnetic field to the resulting magnetization of the KTb₃F₁₀ crystal.

Implementation of the study results. Obtained within the framework of this dissertation, the study results of the magneto-optics features of rare-earth ions in a crystalline environment of different symmetry were used:

by foreign researchers for studies of the crystalline structure of terbium-containing fluoride crystals, energy spectrum interpretation and calculations of the wave functions of the energy levels of RE ions in the crystalline structures (references in international journals: Applied Physics Letters, Vol 122, 100502, 2023; Crystal Growth & Design, Vol 24 №13, 2024). The results obtained on the absorption spectra, magnetic circular dichroism and magnetic circular polarization of luminescence in the KTb₃F₁₀ crystal were used to develop Faraday isolators for high-power laser radiation. Interpretation of the energy spectrum of the Tb⁺³ RE ions in the KTb₃F₁₀ crystalline structures and study of the magneto-optical properties of this crystal made it possible to determine the energy structure of the Tb⁺³ ions in the new synthesized magnetoactive crystal KSrY_{1-x}Tb_x(BO₃)₂.

Approbation of the study results. The results of this study were discussed at 5 international and national conferences.

Publication of the results. On the topic of the dissertation, 11 scientific works were published, including 4 scientific papers, 3 of them in international scientific journals recommended by the Higher Attestation Commission of the Republic of Uzbekistan for publication of the main scientific results of the dissertation of a Doctor of Philosophy (PhD).

Structure and volume of the dissertation. The dissertation consists of Introduction, four Chapters, Conclusion and List of references. The dissertation volume is 120 pages.

CONCLUSION

Based on the above-stated studies carried out in the dissertation for the degree of Philosophy Doctor (PhD) in physical and mathematical sciences on the topic “Features of magneto-optics of rare-earth ions in a crystalline environment of different symmetry”, the following results have been obtained.

1. From the analysis of the spectral and temperature dependences of the FE and magnetic susceptibility in dysprosium orthoaluminate DyAlO_3 , it has been established that the “paramagnetic” mechanism of MOA plays a significant role in the FE of DyAlO_3 , which is experimentally manifested in a wavelength shift to the short-wave range (< 200 nm) as compared to rare-earth garnets and in a twofold increase in the oscillator strengths of permitted transitions in the Tb^{3+} and Dy^{3+} ions in the orthoaluminate structure as compared to garnet.

2. For the first time, from the analysis of the optical spectra of the TbAlO_3 crystal, at a temperature of 20K the two groups of Stark sublevels separated by an energy interval of ~ 200 cm^{-1} have been discovered in the lower part of the ground multiplet 7F_6 of the Tb^{3+} ion, as well as a quasi-doublet structure of the lowest states of the multiplet 7F_6 .

3. For the first time, based on the analysis of the frequency dependence of the Verdet constant of TbAlO_3 within the UV spectral range, it has been shown that there is a negative extremum in this dependence at $\omega^* = 66.5 \cdot 10^{14}$ sec^{-1} ($\lambda^* = 285$ nm) and a “paramagnetic” contribution to the Verdet constant, caused by permitted (by spin and by parity) $4f \rightarrow 5d$ transitions in the spectral region of 230 – 250 nm.

4. For the first time, from the optical spectra for the fluoride crystal of double potassium-terbium fluoride $\text{KTb}_3\text{F}_{10}$ (KTF), it has been found that all PL lines detected at $T = 90$ and 300 K under UV excitation in the crystal under consideration are almost completely concentrated within the wavelength range of 482 - 497 nm determined by the ${}^5D_4 \rightarrow {}^7F_6$ transition in the Tb^{3+} ion.

5. From the results of joint consideration of the low-temperature spectra of the MCPL and PL degree of the $\text{KTb}_3\text{F}_{10}$ crystal, it has been established that there are three doublet states (and their energies) in the energy spectrum of the 7F_6 multiplet and the presence of two doublet states (and their energies) in the 5D_4 multiplet of Tb^{3+} ions in the crystalline field is confirmed, which is in good agreement with theoretical predictions.

6. For the first time, magneto-optical measurements of the $\text{KTb}_3\text{F}_{10}$ crystal revealed the influence of the C_{4v} symmetry of the crystal environment of the Tb^{+3} ion on the energy spectrum. The presence of a doublet state of the ${}^7\text{F}_6$ multiplet of the $\text{KTb}_3\text{F}_{10}$ crystal, lying at an energy of 253 cm^{-1} , was established and the value of its splitting factor was calculated, and the doublet nature of the ground state of the ${}^7\text{F}_6$ multiplet was experimentally confirmed.

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

I bo'lim (I часть; I part)

1. Valiev U.V., Malysheva M.Ye., Pelenovich V.O., Bing Yang, Sultonov O.Z., Special features of the Faraday effect in rare earth orthoaluminate TbAlO₃// Optical Materials, 2021, 111623.

<https://doi.org/10.1016/j.optmat.2021.111623> (Scopus) IF 3,8.

2. Valiev, U. V., Malysheva, M. E., Rakhimov Sh.A., Sultonov, O.Z., Specific Features of the Faraday Effect in Rare-Earth Orthoaluminate DyAlO₃// Optics and Spectroscopy, 2022, Vol.130 , No.4. – pp. 295-301. DOI: [10.1134/S0030400X22040117](https://doi.org/10.1134/S0030400X22040117) (Scopus) IF 0,8.

3. Valiev U.V., Karimov D.N., Chong-Geng Ma, Sultonov O.Z., Pelenovich V. O., Tb³⁺ Ion optical and magneto-optical properties in the cubic crystals KTb₃F₁₀ . // Materials, 2022, № 15(22).

<https://doi.org/10.3390/ma15227999> (Scopus) IF 3,1.

4. Валиев У.В., Малышева М., Султонов О., Особенности магнитооптики иона Tb³⁺ в низкосимметричной структуре ортоалюмината. // «Узбекский физический журнал», 2022, Том 24, 3 (сен. 2022), 163–170. DOI:<https://doi.org/10.52304/.v24i3.358>.

II bo'lim (II часть; II part)

5. Olimjonova N.S, Valiyev U.V., Karimov D.N., Sultonov O.Z., Kubik kristallar KTb₃F₁₀ optik spektrlari // “Fizika fani rivojida iste’dodli yoshlarning o‘rni” respublika ilmiy-amaliy konferensiyasi to‘plami, Toshkent, 2022. – pp. 21-24.

6. Соатов Х., Валиев У.В., Султонов О.З., Магнитные свойства редкоземельного ортоалюмината диспрозия DyAlO₃ // “Fizika fani rivojida iste’dodli yoshlarning o‘rni” respublika ilmiy-amaliy konferensiyasi to‘plami, Toshkent, 2022. – pp. 48-51.

7. Абдуллаева Д., Валиев У.В., Каримов Д.Н., Султонов О.З., О применении метода коноскопических фигур к измерению постоянной Верде редкоземельного ортоалюмината тербия TbAlO₃, “Fizika fani rivojida iste’dodli yoshlarning o‘rni” respublika ilmiy-amaliy konferensiyasi to‘plami, Toshkent, 2022. – pp. 44-47.

8. Султонов О.З., Олимжонова Н, Абдуллаева Д., Особенности оптических и магнитооптических спектров в кристаллах KTb₃F₁₀ //Сборник Международная научная конференция Молодых учёных «Наука и инновации», Ташкент, 2023 – pp. 355-356.

9. Султонов О.З., Малышева М.Е., Исследование магнитной восприимчивости монокристалла DyAlO₃ // “Физикада фундаментал ва амалий тадқиқотлар” халқаро конференцияси материаллари, Тошкент, 2024 – pp. 49-51.

10. Султонов О.З., Малышева М.Е., Особенности эффекта Фарадея в редкоземельном ортоалюминате $TbAlO_3$ // “Физикада фундаментал ва амалий тадқиқотлар” халқаро конференцияси материаллари, Тошкент, 2024 – pp. 52-55.

11. Султонов О.З., Малышева М.Е., Туротов Ф.Қ., Спектры магнитного кругового дихроизма кристалла KTb_3F_{10} // “Физиканинг замонавий муаммолари ва ривожланиш истикболлари” I халқаро илмий-амалий конференция тўплами, Наманган, 2024 – pp. 196-197.

Avtoreferat Sharof Rashidov nomidagi Samarqand davlat universitetining
“Ilmiy axborotnoma” jurnali tahririyatida tahrirdan o‘tkazilidi (11.02.2025-yil).

Bosmaxona tasdiqnomasi:



4268

2025-yil 12-fevralda bosishga ruxsat etildi:
Ofset bosma qog‘ozi. Qog‘oz bichimi 60x84_{1/16}.
“Times new roman” garniturasini. Ofset bosma usuli.
Hisob-nashriyot t.: 3,1. Shartli b.t. 2,6.
Adadi 100 nusxa. Buyurtma №12/02.

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