

5-10-2019

INVESTIGATION OF THE MAGNETO-OPTICAL PROPERTIES OF RARE- EARTH IONS

Anvar Karimovich Muxammadiyev

Karshi branch of Tashkent University of Information Technologies

Nafisa Ineoyatovna Jurayeva

Follow this and additional works at: <https://uzjournals.edu.uz/namdu>



Part of the [Physical Sciences and Mathematics Commons](#)

Recommended Citation

Muxammadiyev, Anvar Karimovich and Jurayeva, Nafisa Ineoyatovna (2019) "INVESTIGATION OF THE MAGNETO-OPTICAL PROPERTIES OF RARE- EARTH IONS," *Scientific Bulletin of Namangan State University*. Vol. 1 : Iss. 5 , Article 4.

Available at: <https://uzjournals.edu.uz/namdu/vol1/iss5/4>

This Article is brought to you for free and open access by 2030 Uzbekistan Research Online. It has been accepted for inclusion in Scientific Bulletin of Namangan State University by an authorized editor of 2030 Uzbekistan Research Online. For more information, please contact sh.erkinov@edu.uz.

INVESTIGATION OF THE MAGNETO-OPTICAL PROPERTIES OF RARE- EARTH IONS

Cover Page Footnote

???????

Erratum

???????

NODIR YER IONLARINING MAGNITOOPTIK XUSUSIYATLARINI TADQIQ QILISH

Muxammadiyev Anvar Karimovich, f-m.f.n., dotsent
Jurayeva Nafisa Ineoyatovna, f-m.f.n.
Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot
texnologiyalari universiteti Qarshi filiali

Annotatsiya: Ushbu maqolada granat-gallatdagi Ho^{3+} nokramers NE-ionida optik va magnitooptik tadqiqotlarning eksperimental natijalari ifodalangan. Ho^{3+} :YGG ni turli haroratlarda olingan lyuminesensiya spektrlari, lyuminesseniyaning magnit sirkulyar qutblanishi spektrlarini keltirilgan.

Tayanch so'zlar: nodir yer ionlari, gollmiy-ittriy galliy granat, magnitooptik aktivlik, kristallik maydon, lyuminesensiya spektrlari, lyuminesseniyaning magnit sirkulyar qutblanishi (LMSQ), multipletlar, shtark ostkisathlari.

ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТООПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ИОНОВ

Мухаммадиев Анвар Каримович, к.ф-м.н., доцент
Жураева Нафиса Инеоятовна, к.ф-м.н.

Каршинский филиал Ташкентского университета информационных технологий

Аннотация: В данной статье показаны результаты оптических и магнитооптических экспериментов редкоземельного некрамерсового иона Ho^{3+} в гранате-галлате. Даны спектры люминесценции и магнитной циркулярной поляризации люминесценции Ho^{3+} :YGG в взятые в различных температурах.

Ключевые слова: редкоземельные ионы, гольмий-иттрий галлий гранат, магнитооптическая активность, кристаллическое поле, спектры люминесценции, магнитная циркулярная поляризация люминесценции, мультиплеты, штарковские подуровни.

INVESTIGATION OF THE MAGNETO-OPTICAL PROPERTIES OF RARE-EARTH IONS

Muxammadiyev Anvar Karimovich, PhD of p-m., docent
Jurayeva Nafisa Ineoyatovna, PhD of p-m.

Karshi branch of Tashkent University of Information Technologies

Abstract: In this paper shows the results of optical and magneto-optical experiments of the rare-earth non-Kramers ion Ho^{3+} in garnet gallate. The spectra of the luminescence and magnetic circular polarization of the luminescence of Ho^{3+} : YGG are given in taken at different temperatures.

Key words: rare-earth ions, holmium-yttrium gallium garnet, magneto-optical activity, crystalline field, luminescence spectra, magnetic circular polarization of luminescence, multiplets, Stark sublevels.

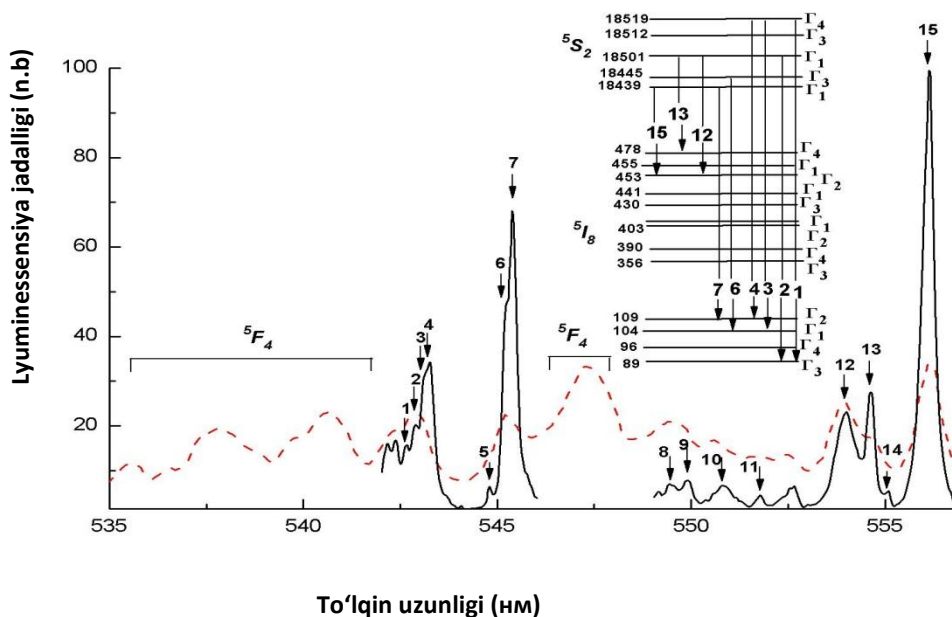
Kirish. Nodir yer elementlari tabiatda birikma ko'rinishida uchraydi. Ular juda kuchli oksidlar, haloid aralashmalar, sulfidlar hosil qiladi. Bu barcha elementlar bir biriga o'xshash ximiyaviy xossalarga ega. Nodirer ionlarni texnika va texnologiyada keng qo'llanish kuzatish mumkin. Neodimiy lazer, cho'g'lanma lampalar va qishloq xo'jaligi uchun ishlatiladi, uning oksidi shisha ishlab chiqarishda qo'llaniladi. Yttrium kosmik sanoatda titan bilan raqobatlashadi. Terbium kompyuterlar ishlab chiqarishda ishlatiladi. Disprosium atom energiyasi va metallurgiyada ajralmas hisoblanadi. Fizik-kimyoviy xususiyatlariga ko'ra, lanthanoidlar bir-biriga juda yaqin. Bu ularning elektron qobiqlari strukturasi o'ziga xosligi bilan izohlanadi.

Hozirgi vaqtda nodirer (NE) elementlar zamonaviy spektroskopiyasida uch valentlik NE ionlar energetik spektrni tadqiq qilish muammosiga katta e'tibor jalb qilinmoqda, chunki ularda spektrni turli sohalarda – yaqin infraqizildan to ultrabinafshagacha ko'pgina nurlanish o'tishlari mavjud. Shuning uchun, NE birikmalari (granatlar, ortoalyuminatlar va h.k) optik xususiyatlariga xos bo'lgan, fizikaviy mexanizmlar to'g'risidagi fundamental tushunchalarning rivojlanishi va amaliy qo'llanishi nuqtai nazaridan, pastsimmetriyali kristallik maydonda (D_2 va C_s simmetriya) ionlashgan NE ionlarni energetik spektrlarini optik sohada chuqurroq o'rganish juda dolzarb vazifa hisoblanadi. Haqiqatdan, bu yoki boshqa optik diapazonidagi o'xshash NE birikmalarda yorug'likning nurlanish va yutilish asosiy mexanizmlarini mikroskopik xususiyatlarining tavsifi va ulardagi nodirer ionlarning magnitooptik aktivligi (MOA) hozirgacha nisbatan kam o'rganilgan. Bu, ayniqsa, NE granat kristallarda ($R_3Ga_5O_{12}$ – gallatlar va $R_3Al_5O_{12}$ - alyuminatlarda, bu yerda R^{3+} - nodirer uch valentlik ion) nokramers NE ionlari deb ataladigan (to'ldirilgan $4f$ – sathida juft bo'lgan ionlar soni) g'alayonlangan multipletlarni elektron energetik strukturasi tegishli[1].

Olingan natijalar amaliy nuqtai nazardan spektrni NE granatlar va NE ortoalyuminatlar asosida turli magnitooptik qutblanishga oid qurilmalar: modulyatorlar, optik izolyatorlar, displeylar yaratish hamda tadqiq qilingan NE birikmalarni ham up-konversion, ham optik damlash an'anaviy sxemalarda, ko'rinadigan diapazonlarda ishlaydigan lazerni aktiv muhitlari sifatida qo'llanish imkonini beradi. Olib borilgan eksperimental tadqiqotlar golmiy-ittriy granatlarda yorug'likning nurlanish va yutilishini asosiy mexanizmlarni va granat kristallarida Ho^{3+} NE ionlarni magnitooptik aktivligi (MOA) makroskopik mexanizmlari to'g'risida ma'lumotlar olishga imkoniyat berdi[2].

Asosiy qism. $Ho^{3+}:YGG$ ni lyuminessensiya spektrining ushbu o'rganilayotgan lyuminessensiyasi "yashil" polosa spektrlari 1-rasmda keltirilgan. Shuni ta'kidlash lozimki, lyuminessensiya "yashil" polosasida (1-rasm) namuna temperaturasini 293K dan 80K gacha pasaytirilishi 564nm dan to 555nm spektral diapazonidagi nurlanish chiziqlar intensivligining o'sishi bilan bir vaqtda ularning turlanishi kuzatiladi. Nurlanish chiziqlari ~547nm atrofida muayyan joylashgan intensivliklarining bunday temperaturaviy o'zgarishi ularning 5S_2 va 5F_4 multipletlarni shtark ostkisathlaridan tashkil topgan, ($^5S_2+^5F_4$) qo'shma multipletni g'alayonlangan holatlaridagi nurlanish o'tishlari bilan bog'liqligini

bevosita ko'rsatadi, 1-7 va 8-15 nurlanish chiziqlari esa, qo'shma multipletni eng past bo'lgan (energiya bo'yicha) holati 5S_2 multipletni shtark ostkisathlaridan o'tishlari bilan bog'liq. Haqiqatdan, ham keltirilgan kristall-maydon hisoblari natijasida 5S_2 multiplet shtark ostkisathlari 18440cm^{-1} dan 18517cm^{-1} energiya diapazoniga to'g'ri keladi, 5F_4 multiplet ostkisathlari esa 18573cm^{-1} dan 18704cm^{-1} gacha bo'lgan energiya intervalida yotadi. Undan tashqari, ushbu hisoblar natijalariga ko'ra, ($^5S_2+^5F_4$) qo'shma multipletida 5S_2 va 5F_4 multipletning shtark ostkisathlari to'lqin funksiyalarining $J-J$ "aralashish"ini talaygina effekti ishtirok etadi.



1-rasm. $\text{Ho}^{3+}:\text{YGG}$ ni $T=80\text{K}$ (uzluksiz chiziq), 293K (punktir) temperaturalarda o'lgan "yashil" lyuminessensiya spektrlari[2].

Lyuminessensiya spektrlari bo'yicha eksperimental ma'lumotlarning to'plami D_2 simmetriyali KMdagi Ho^{3+} ionni energetik spektri son qiymatlar hisoblarini o'tkazishda asos qilib olingan ma'lumotlar sifatida ishlatilgan YGG strukturasi Ho^{3+} NE ionning asosiy $4f^{10}$ konfiguratsiyasini 5I_8 , 5S_2 , 5F_4 va 5G_5 shtark ostkisathlarini energiyasini ancha aniq topishga imkon tug'diradi. YGG dagi Ho^{3+} NE ionning $4f^{10}$ asosiy konfiguratsiyasini tajribada topilgan $^5S_2, ^5F_4, ^5G_5$ va 5I_8 multipletlarini shtark ostki sathlarini simmetriya bo'yicha identifikatsiyasi D_2 simmetriyali KMda Ho^{3+} NE ionni $4f^{10}$ asosiy konfiguratsiyasini energetik sathlar sxemasi orqali nazariy hisoblangan ma'lumotlar bilan taqqoslash natijasida qilingan. Bu yerda $^5S_2, ^5F_4, ^5G_5$ va 5I_8 multipletlarni shtark ostkisathlar (simmetriya bo'yicha) klassifikatsiyasi D_2 simmetriya guruhini Γ_i ($i=1,2,3,4$) keltirilmaydigan tasavvurdan foydalanib bajarilgan, gallat-granat strukturasi Ho^{3+} NE ionni kristallografik noekivalent vaziyatlar (c -o'rin, deb ataladigan) biriga to'g'ri keladigan lokal koordinatalar sistemasi o'qlarining belgilari va yo'nalishlari umumiy qabul qilinganlarga to'g'ri keladi.

Tashqi H magnit maydoniga kiritilgan kristallarda ikkilamchi nurlanish doirasida uyurmaviy anizotropik spektrlar ko'rinishidagi g'alayonlanish (lyuminessensiya,

kombinatsion sochilish va b.q) maydon bo'ylab ko'zatilganda va shuningdek uyurmaviy anizotropik spektrlar o'yg'onish lyuminessensiyasida hosil bo'ladi. Bu holatlar bir-biridan farqlanuvchi va har-xil o'ziga xos ma'lumotlar (yarimo'tkagichlarga xos, dielektrlarda $3d$ - yoki $4f$ – aralash magnitaktiv ionlar bilan) va Feofilovning mashhur ma'ruzalaridan sung eksperimental yaqinlashuv nuqtai nazardan tadqiqot orasida qiziqish o'yg'otdi [3]. Hozirgi vaqtda eng ko'p rivojlanishga ega bo'lgan tadqiqot usullaridan biri bu lyuminessensiyaning magnit sirkulyar qutblanishi (LMSQ) – ya'ni Zeyeman qutblanishidagi lyuminessensiya chizig'i komponentlarini o'zgarishi sababli, ikkilamchi nurlanishning uyurmaviy anizotropik spektri (fluoresensiya) [3]. Bu usul orqali odatda ikkilamchi nurlanish darajasi - $P = \frac{I_+ - I_-}{I_+ + I_-}$ o'lchanadi, bu yerda I_{\pm} - lyuminessensiyaning

qarama-qarshi uyurmaviy-kutblangan komponentasining intensivligi, LMSQ hodisasining ko'zatilishi, lyuminessensiyada polosa kengligi zeyeman kengayishidan yetarlicha katta bo'lganda asosiy rol o'ynaydi va bu narsa turli xil kristallik holatlarda nurlanishlarda o'yg'ongan elektron holatdagi NE -ionlarining spektroskopik parametrlari (energiya, shtark oralig'i, g -faktorlar va b.q) to'g'risidagi muhim axborotlarni olish imkonini beradi. Umumiy holda aytganda, Faradey effekti, magnitaviy aylana dixroizm usullaridan samaraliroq natijaga erishish mumkin.

Ko'p hollarda, yuqori sezgirlikka ega va ruxsat etuvchanligi (optik) yuqori xususiyatlarga ega bo'lgan LMSQ usuli shunday vaziyat bilan bog'liqki, u tashqi magnit maydonida yuqori ruxsat etuvchanlikka ega nurlanish-o'tishlarda modulyatsiyalangan spektroskopiya usullaridan birini xarakterlaydi [4].

Darxaqiqat, LMSQ darajasi P - uchun quyidagi ifodani yozish mumkin bo'ladi.

$$P = \frac{I_+ - I_-}{I_+ + I_-} = \frac{\Delta I}{I} = \Delta(\ln I) \quad (1)$$

Bu yerda $\Delta I = \frac{I_+ - I_-}{2}$ va $I = \frac{I_+ + I_-}{2}$.

Agar gauss konturi formasi ko'rinishiga ega, LMSQ hodisasini lyuminessensiya chizig'i doirasida qarab chiqsak: $I = I_0 \exp\left[-(\nu_0 - \nu)^2 / \tilde{A}^2\right]$, bu yerda ν - to'liqin soni, Γ - nurlanish chizig'ini yarim kengligi ($I = I_0/e$ holatida), ko'rinib turibdiki (1) ifoda qo'yidagi ko'rinishda yozishimiz mumkin.

$$P = \Delta(\ln I) = \left[\Delta(\ln I_0) - 2 \frac{(\nu_0 - \nu)}{\Gamma^2} \cdot \Delta \nu_0 \right] \quad (2)$$

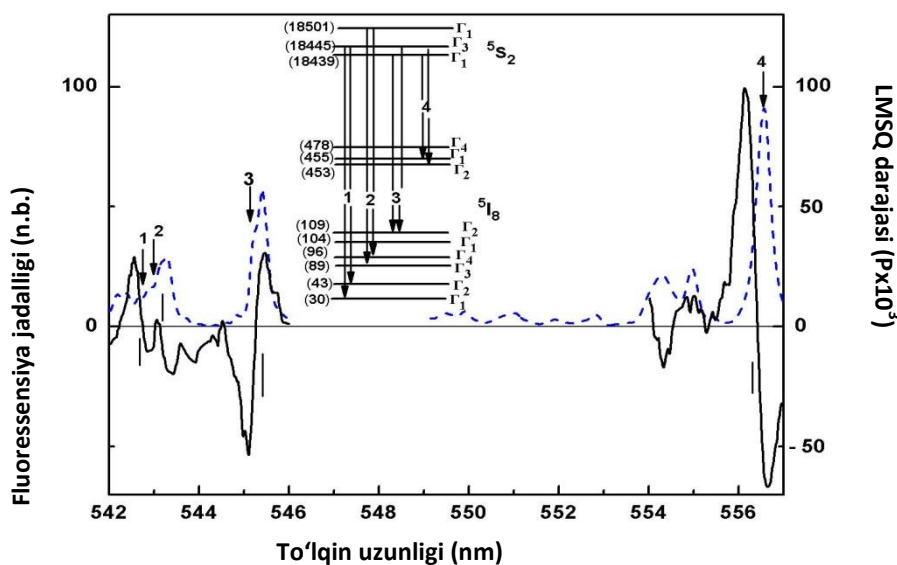
Bu yerda $\Delta \nu_0 = \frac{1}{h} \frac{dE_0}{dH} \Delta H = \mu_0 H$ - nurlanish o'tishlardagi zeyeman chastota o'zgarishlari, ya'ni atom sistemasidagi H bo'ylama magnit maydon ta'siri bilan bog'lik bo'lgan, shuningdek tashqi magnit maydoni ta'sirida lyuminessensiya chizig'i ikkita komponentaga ajralib kengayishini $\omega_0 \Rightarrow \omega_0 \pm \mu_0 H$ xarakterlaydi. Agar nurlanish sathosti holatida bol'sman joylashuvini hisobga olsak I_0 - ikkilamchi nurlanishning intensivlik chizig'i quyidagi ifoda orqali aniqlanadi $I_0 \sim e^{-E'/kT}$, bu yerda E' - nurlanish sathosti

energiyasi, sathosti magnit momenti E' energiya bilan quyidagicha aniqlanadi: $\mu' = \frac{dE'}{dH}$, u holda (2) ifodani quyidagicha ko'rishda qayta yozishimiz mumkin.

$$P = - \left[\frac{\mu'}{kT} + \frac{2(\nu_0 - \nu)}{\Gamma^2} \mu_0 \right] H \quad (3)$$

Bu yerda μ' – nurlanish holatini magnit momenti (nurlanish holatidagi zeyeman komponentalarni shartli farqlangan termik joylashuvi), μ_0 –nurlanish o'tishlar sodir bo'ladigan oxirgi energetik holat magnit momenti [4].

Golmiy-ittriy gally granatni $T=80K$ $^5S_2 \rightarrow ^5I_8$ nurlanish polosasi lyuminessensiya va LMSQ spektrlarning (2-rasm) solishtirilishi, ba'zi ikkilamchi nurlanishi chiziqlarida kuzatilayotgan spektrni LMSQ darajasi dispersiyasi strukturasi murakkabligi ancha oddiy qilib tushuntirilishini ko'rsatadi.



2-rasm. $Ho^{3+}:YGG$ ni $T = 80K$ va $H = 5,0kOe$ tashqi magnit madonda $^5S_2 \rightarrow ^5I_8$ nurlanish polosasidagi LMSQ spektri.[5]

Lyuminessensiya chizig'i chegarasida (markazda effekt ishorasi o'zgaradi) 6- va 15-lyuminessensiya chiziqlarida $P(\nu)$ spektral bog'liqliklar qiya chizikli bog'lanishlar bilan approksimatsiya qilingan bo'lishi mumkin. Shu bilan birga, yaqin joylashgan ikkilamchi nurlanish 1 va 2 - chiziqlarni LMSQ darajasi spektrining o'ziga xos strukturasi, chamasi, berilgan energiyalar sohasida $P(\nu)$ chizikli qiya bog'lanishlar qoplanishi natijasida hosil bo'lgan. LMSQ spektri tahlili, agar bitta holati simmetriyasi ma'lum bo'lsa, $4f \rightarrow 4f$ nurlanish o'tishlarda kombinatsiya qiluvchi 5I_8 va 5S_2 multipletlarning shtark ostkisathlari simmetriyasi to'g'risida qo'shimcha ma'lumot olishga imkon beradi. Haqiqatdan, 1 va 2 - nurlanish chiziqlarida LMSQ darajasini A' xadlarining paydo bo'lishi, 5I_8 va 5S_2 (2-rasm qo'shimchasi) multipletlar shtark ostkisathlari orasidagi "chegaralangan singlet-kvazidublet" turidagi nurlanish o'tishlar natijasida xosil bo'ladi. Unda ma'lum tanlash qoidalriga asosan, $\sim 18450cm^{-1}$ va $\sim 18500cm^{-1}$ energiyalarda, tegishli, to'g'ri keladigan 5S_2 multipletni Γ_3 va Γ_1 ikkita shtark singletlari holatlari simmetriyasi, 5I_8 multipletni (Γ_1, Γ_2) va

(Γ_3, Γ_4) g'alayotlangan yaqin bo'lgan shtark ostkisathlarini simmetriyasi bilan ta'riflanadi. Undan tashqari $\sim 110\text{sm}^{-1}$ energiyaga to'g'ri keladigan $^5\text{I}_8$ multipletni Γ_2 shtark singletni va shu multipletni yuqorisida joylashgan $\sim 460\text{sm}^{-1}$ energiyali Γ_1 va Γ_2 ikkita bir biriga yaqin bo'lgan g'alayonlangan shtark ostkisathlarini simmetriyasi $^5\text{S}_2$ multipleti (Γ_1, Γ_3) asosiy kvazidublet shtark ostkisathlari simmetriyasi bilan aniqlanadi va ushbu dissertatsiya ishida bajarilgan D_2 simmetriyali KM da Ho^{3+} NE ionni $^5\text{I}_8$ va $^5\text{S}_2$ multipletlar energetik spektrining son qiymatlarini hisoblash natijalari bilan yaxshi moslashadi.

Xulosa. Golmiy-ittriy granat-gallatda $\text{HoYGaG } 4f^{(n)}$ asosiy konfiguratsiyasini multipletlar shtark ostkisathlari energiyalari aniqlangan va ular orasidagi optik o'tishlar magnitooptik va optik effektlar spektral bog'lanishlari tahlili asosida identifikatsiyasi o'tkazilgan. Granat-gallatda Ho^{3+} nokramers NE ionni $^5\text{S}_2 \rightarrow ^5\text{I}_8$ nurlanuvchi o'tishda past temperaturada topilgan MOA ni katta qiymati $^5\text{S}_2$ va $^5\text{I}_8$ multipletlarning energetik spektrlarda kvazidublet (demak "kvaziaynigan") holatlari mavjudligi bilan ma'noli bog'liqligi isbot qilingan.

References:

1. E.Lippert, G. Rustnad, and K. Sternerson. *OSA Trends in Optics and Photonics Series, Advanced Solid State Photonics 83*(Optical Society of America, Washington, D.C., 2003)
2. U.V. Valiev, Sh. A. Rakhimov, N.I. Juraeva, R.A. Rupp, L. Zhao, Zh. Wang, Zh. Zhai, J.B. Gruber and G.W. Burdick. Optical and magneto-optical properties of $\text{Ho}^{3+}:\text{YGG}$ // *Phys. Stat. Sol.(b)* – 2010 - Vol.247 - No.1 - P.163–169.
3. Запасский В.С., Feofilov P.P. Razvitie polarizatsionnoy magnitooptiki paramagnitnykh kristallov // *UFN.* – 1975. - T.116. - V.1. - S.41-78.
4. U.V.Valiev, Sh.A.Raximov, A.K.Muxammadiev. Magnitooptika. Uchebnoe posobie. T.:2014.
5. U.V. Valiev, J.B. Gruber, I.R. Gapdulxakov, N.I. Juraeva, A.K. Muxammadiev, Sh.A.Raximov, I.S. Edelman. Magnitooptika izluchatel'nogo perexoda $^1\text{D}_2 \rightarrow ^3\text{F}_4$ v tuliy-ittriyom granate-alyuminate $\text{Tm}^{3+}:\text{YAG}$ // *Opt. i Spektr.* - 2009. - T.106. - № 6. - s. 959-966.