



## MAGNETIC PROPERTIES OF RARE EARTH PARAMAGNETIC GARNETS

Saidov Kurbon Sayfulloevich <sup>1</sup>, Umedov Shokir Kamolovich <sup>2</sup>

Saidlonova Madina Shukhratovna <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Bukhara State University

<sup>2</sup> TIQXMMI Bukhara branch

<sup>3</sup> BuxDU Master

<https://doi.org/10.5281/zenodo.4718259>

### ARTICLE INFO

Received: 21<sup>th</sup> April 2021

Accepted: 23<sup>rd</sup> April 2021

Online: 25<sup>rd</sup> April 2021

### KEY WORDS

Zeeman effekti,  
kristall maydon, Shtark  
effekti, kramers  
singletlari, granat  
struktura, ortoalyuminat,  
kvazidublet, kvaziizing.

### ABSTRACT

The magnetic properties of the rare earth  $TbAlO_3$  orthoaluminate have been studied in detail in the wavelength range 420-750 nm, the temperature and spectral relationships in the temperature range 90-300 K. The temperature dependence of the Verdet constant measured along the axis of the  $TbAlO_3$  crystal [110], the contribution of the Van-Flax "mixing" mechanism electronic states of the  $Tb^{3+}$  - RE-ion in the Faraday rotation (in an external field  $H$ ) in a given geometry of the experiment.

## NODIR YER ELEMENTLI PARAMAGNIT GRANATLARNING MAGNIT

### XOSSALAR

Saidov Qurbon Sayfulloyevich <sup>1</sup>, Umedov Shokir Kamolovich <sup>2</sup>

Saidlonova Madina Shuxratovna <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Buxoro davlat universiteti

<sup>2</sup> TIQXMMI Buxoro filiali

<sup>3</sup> BuxDU magistr

### MAQOLA TARIXI

Qabul qilindi: 17-aprel 2021

Ma'qullandi: 21-aprel 2021

Chop etildi: 23-aprel 2021

### KALIT SO'ZLAR

Zeeman effect, crystal field,  
Stark effect, Kramers  
singlets, garnet structure,  
orthoaluminate, quasi-  
doublet, quasizing, Zeeman  
effekti, kristall maydon,  
Shtark effekti, kramers  
singletlari, granat struktura,  
ortoalyuminat, kvazidublet,  
kvaziizing

### ANNOTATSIYA

Terbiy nodir yer ionli ortoaluminatning magnit xossalari 420 – 750nm to'lqin uzunliklari intervalida, 90 - 300K temperatura oralig'ida harorat va spektral bog'liqliklari batafsil tadqiqot qilingan.  $TbAlO_3$  kristallning [110] o'qi bo'ylab o'lchangan Verde doimiysining haroratga proporsionalligi, tajribaning berilgan geometriyasida Faradey aylanishida (tashqi  $H$  maydonda)  $Tb^{3+}$  - NY-ion elektron holatlarining Van-flek "qo'shilishlari" mexanizmining hissasi o'rganilgan.



## KIRISH

Yaxshi ma'lumki, yetarlicha past uyg'otish energiyalarida ( $E < 40000 \text{cm}^{-1}$ ) uch valentli nodir yer elementlarining kristallardagi ionlarining optik spektrlari  $4f - 4f$  taqiqlangan o'tishlar bilan bog'liq bo'lganligi uchun muhim energetik ma'lumotlarga egadir. Bunda o'tishlar nodir yer ioning asosiy  $4f^{(n)}$ -konfiguratsiyasi multipletlarning shtark sathlari orasida sodir bo'ladi. Hozirgi kunda qator nodir yer ionlarining ( $Tb^{3+}$ ,  $Dy^{3+}$  va b.) granatlar va ortoalyuminatlar strukturalarda uyg'ongan sathlarining ( $E < 10000 \text{sm}^{-1}$ ) energetik spektrlari, spektroskopik parametrlari va to'lqin funksiyalari muhimdir. Past simmetriyali kristall maydonlarda alohida nodir yer ionining shtark bo'linishlari o'ziga xos tavsifga ega bo'lishi ularni o'rganilishini qiyinlashtiradi.

Granat strukturada nodir yer (NY) ionining energetik spektri ortorombik simmetriyali ( $D_2$ ) kristall maydon (KM) shakllanadi. Shuning uchun granat strukturalardagi nokramers ionlarining (to'lmagan  $4f$  qobig'chada juft sonli elektronlar bo'lgan  $Tb^{3+}$ ,  $Dy^{3+}$  ionlar) spektrlaridagi o'ziga xoslik ehtimoliy dubletlarning kvazidublet deb ataluvchi holati bilan tushintiriladi. Kvazidubletlar  $\sim 1 \text{sm}^{-1}$  energetik interval bilan ajralgan ikkita juda yaqin joylashgan shtark singletlari sistemasidan iborat, hamda ularni optik tajribalarda bevosita kuzatib bo'lmaydi. Bunday hollarda NY-birikmalarning odatdagi spektroskopiyasida optik spektrlarni aniqlashda yetarlicha qiyinchiliklar paydo bo'ladi va nazariy hisob qilinadigan komponentalardan kam chiqadi. Buning natijasida nokramers NY ionlarining asosiy  $4f^{(n)}$ -konfiguratsiyasining uyg'ongan

multipletining shtark sathchalari tabiatini aniqlash hozirgi kunda qismlardan iborat hatto ziddiyatli tavsifga egadir.

## ADABIYOTLAR TAHLILI VA METODOLOGIYA

NY-ionlarining spektrlarini aniqlashda ananaviy zeeman spektroskopiyasi usulida izlanish olib borish mumkin. Bunda elektrodipol yaqinlashishdagi  $4f - 4f$  taqiqlangan o'tishlarni o'rganish imkoniyati bo'ladi. Tadqiqotlarning magnitoptik usullarining yuqori informatsion usuli bo'lishiga sabab nokramers nodir yer ionlarining multipletlarining energetik spektrlaridagi shtark bo'linishlar bilan Zeeman effekti spektrlarida  $4f - 4f$  o'tishlar sohasida bir qiymatli munosabat hosil bo'ladi. Shuning uchun Zeeman effekti spektrlaridagi eksperimentda kuzatiladigan o'ziga xoslikni tahlil qilib NY-ionining energetik spektridagi kvazidublet holatlarni aniq pozitsiyalash va identifikatsiyalash imkoniyati tug'iladi. NY-granatlardagi optik o'tishlardagi matrisa elementlarini tanlash qoidasi bilan olinganda, amaliy ilovalarda qo'llaniladigan  $4f - 4f$  o'tishlar sodir bo'ladigan kvazidubletlarning to'lqin funksiyalarining simmetriyasini aniqlash imkoniyati paydo bo'ladi[1].

Kristallardagi nodir yer ionlarining shtark bo'linishlarining tabiatini tadqiq etish usuli sifatida Zeeman effekti spektrini modellashtirish va interpretatsiya qilish uslubi, optik va magnit o'lchashlar usullaridan shubhasiz ustundir. Magnit maydonga kiritilgan nodir yer birikmalaridagi ruxsat etilgan optik o'tishlar soni optik spektrlardagi o'tishlardan kamroq bo'ladi va nazariy yondashish bilan etarlicha yaqin keladi. Ichki  $4f$ -elektronlarning NY-ionning  $5s^2$  va  $5p^6$  - qobig'lar bilan kuchli ekranlanishi, ularning kristall maydoni bilan ta'sirlashish kattaligini aniqlaydi. Bu kattalik spin-orbital ta'sirning



kattaligidan yetarlicha kattadir. Bu holda erkin NY-ioni energetik spektrini qurish sxemasi buzilmaydi va kristall maydonni g'alayonlanish deyish mumkin. Bu g'alayonlanish multipletlarning va har xil  $J$  sonli sust aralashadigan (g'alayonlanish nazariyasining ikkinchi tartibida) holatlarning  $(2J + 1)$  - karrali ayniganligini qisman yoki to'liq yo'qotadi.

Bu holatda  $J$  to'liq burchakli moment taxminan «yaxshi» kvant sonligicha qoladi. Granatlarda NY-ionlarning kristall maydon bilan o'zaro ta'siri NY-ionlarning o'zaro almashinish va dipol-dipol o'zaro ta'siridan miqdor bo'yicha ancha katta bo'ladi. Granatlarda kristall maydon ta'sirida NY-ion asosiy multipletining ajralish  $\approx 10^2 \div 10^3 \text{ sm}^{-1}$  ni tashkil etadi, shu vaqtning o'zida dipol-dipol va almashinish o'zaro ta'siri yuzaga keltirgan ajralish  $\approx 1 \text{ sm}^{-1}$  ga teng bo'ladi. Shuning uchun bu birikmalardagi NY-ionlarning energetik spektrini o'rganishda, almashinish va dipol-dipol o'zaro ta'sirlar, yuqori temperaturalar ( $T \approx 100 \text{ K}$ ) sohasida hisobga olinmaydi.

Yuqorida aytilgandek, granatlardagi NY-ionlardagi  $D_2$  nuqtaviy guruh simmetriyasi bilan ifodalanadigan, (c - o'rinlar) dodekaedrik vaziyatlarni egallaydi. NY-ionlar atrofidagi kristalli simmetriyaning past darajasi asosiy sath multipletlarning ayniganligini maksimal kamayishiga olib keladi. Bu sathlar juft sonli  $4f$  - elektronlarning (nokramers ionlari) ionlari uchun  $(2J + 1)$  singlet sathlarga va toq sonli  $4f$  - elektronlarning (kramers ionlari) ionlari uchun  $(J + 1/2)$  dublet sathlarga ajraladi. Kramers teoremasining bu asosiy natijasi NE-birikmalarning magnetizmida katta rol o'ynaydi. Bevosita optik o'lchovlar bilan yoki magnit, magnitoptik magnitoeastik tekshirishlar ma'lumotlaridan (natijalardan)

bilvosita metodlar bilan aniqlangan. Bunday yondashish granat kristallaridagi NY-ionlarning kristall maydon ta'sirida shakllangan energetik holati strukturasi bir qiymatli rasshifrovka qilish va ifodalashga imkon beradi.

## NATIJALAR

NY-granatlarda yutilish spektrlarini, lyuminesstenstiyani, Roman sochilishini va boshqa effektlarni o'lchash, kristall maydondagi NY-ionlar multipletlarining ajralishi tavsifi haqida ma'lumotlar olishga, ularning energetik sathlari joylashishi va sonini aniqlashga imkon berdi. Ishonchli aniqlanishicha, granatlar strukturasi ( $Dy^{3+}$ ,  $Er^{3+}$  va h.z.) kramers ionlarning asosiy holati dublet bo'lib, u NY-ion asosiy multipletining birinchi uyg'ongan sathchasidan  $\sim 30 \div 500 \text{ sm}^{-1}$  energetik interval bilan ajratilgan. Shu vaqtning o'zida, nokramers NY-ionlarining asosiy holatlari etarlicha yaxshi izolyastiyalangan ( $Pr^{3+}$ ,  $Ho^{3+}$ ) shtark singletlarini tashkil etadi. Yoki kvazidublet deb nomlanuvchi yaqin joylashgan shtark singletlaridan («tirqish») kengligi  $\sim 1 \text{ sm}^{-1}$  dan oshmaydi) shakllanadi.

Xuddi shunday ( $Tb^{3+}$ ,  $Ho^{3+}$ ) NY-ioni asosiy multipletining uyg'otilgan shtark sathchasidan etarlicha aniq ajratilgan va  $Gd^{3+}$  ion asosiy holati bo'lib (S - ion, bu holda  $L=0$ ) orbital singlet hisoblanadi. Nodir yer granatlari-gallatlari va alyuminatlarining magnit xossalarini asosiy holatidagi Rassel-Saunders bog'lanishiga bo'ysinadigan NY-ionlarning tugallanmagan  $4f$  -qobig'i belgilaydi. Shu bilan birga  $4f$  - elektronlarning to'liq funksiyalari yaxshi lokallashtirilgan, ya'ni  $4f$  - qobiqlarning radiuslarini panjara doimiysiga nisbatan ancha kichik deb hisoblash mumkin, bu esa kristallardagi NY-ionlarni magnit ma'nosida



erkin va o'zaro bir-biri bilan ta'sirlashmaydigan deb hisoblashga imkon beradi ( $R^{3+} - R^{3+}$  magnitodipol o'zaro ta'sir faqatgina  $T \sim 1K$  temperaturada ahamiyatga ega bo'ladi). Shuning uchun, NY-granatlar – gallatlar va alyuminatlar temperaturaning keng sohalorida parametrik hisoblanadi va faqat  $\sim 2K$  dan past temperaturalarda antiferromagnit holatda bo'ladi. Lekin oxirgi vaqtlarda NY-birikmalar (granatlar ortoalyuminatlar va boshqalar) magnetizmida quyidagi asosiy faktdan aktiv foydalaniladilar. NY-granatlarning magnit qabul qiluvchanligi  $\chi$  (asosan  $T$  ning past sohalari) ning temperaturaga bog'liqligini (o'zini tutishini) aniq ifodalash uchun  $D_2$  simmetriyaga ega bo'lgan past (kam) simmetrik kristall maydonning NY-ionlar energetik spektriga ta'sirini hisobga olish zarur. Bu holat past temperaturalarda hisobga olinsa past simmetriyali ( $D_2, C_s$  va h.k.z. simmetriyani) o'zini notreval tutadi. Birinchidan, NY-granat magnit qabul qiluvchanligi anizotropiyasiga, ikkinchidan, NY-ionlar ( $Dy^{3+}, Er^{3+}$ ) qatori asosiy dubletining  $g$ - faktori kuchli darajada anizotrop bo'lib – uning yagona  $g$ -parallel komponentasi noldan farqli bo'ladi va ion faqat bir yo'nalishda magnitlanadi.

Past simmetriyasi KM effekti va ancha katta bo'lgan kristallografik anizotrop magnit energiyasi – kristall panjara bilan magnit momentning o'zaro ta'sir energiyasi  $R^{3+}$  NY-ion magnit momentlarini «izing» magnetikka aylantirib, granat kristallida aniq bir yo'nalish bo'yicha joylashtiradi. Kramers NY-ionlari holida, atrof simmetriyasi va KM ning aniq parametrlari, NY-ion o'zini «izing» magnitdek tutishda katta rol o'ynaydi. Kramers dubletining aniq to'lqin funksiyalaridagina  $g$  - tenzor anizotrop bo'ladi. Bundan tashqari KM NY-ioni qabul

qiluvchanligining ancha katta anizotropiyasiga olib keladi va buning natijasida tajriba ma'lumotlari mos keladi. Turli kristallografik yo'nalishlar bo'yicha  $\chi(T)$  temperatura bog'lanishining sifat jihatdan farqli xarakterini aniqlaydi. Ishga asosan  $H_{kr} = \alpha_2 B_2^0 O_2^0$  ko'rinishdagi sodda gamiltonian bilan bir o'qli KM da kramers NY-ionining NY-ionining asosiy dublet holatini qarab chiqish mumkin. Ancha yuqori  $T$  da qabul qiluvchanlik izotrop bo'lishini ko'rsatish mumkin:

$$\chi_{//}^0 = \chi_{zz}^0 = \frac{2g_{j_0}^2 \cdot \mu_B^2 \cdot N}{3kT}$$

(1)

Bunda  $g_{j_0}$  - NY-ion asosiy multipli Lande faktori. Shu vaqtning o'zida, temperatura pasayishi bilan  $z$  o'qi bo'yicha qabul qiluvchanlik  $\frac{1}{T}$  ko'rinishda o'sib boradi va  $KT \gg \Delta_1$  ( $\Delta_1$  -kramers ioni asosiy va birinchi qo'zg'olgan holatlari orasidagi masofa) shart bajarilganda ikki sathli sistemaning  $\chi$  qabul qiluvchanligi ga mos keladi:

$$\chi_{//}^0 = \frac{M_{//}^0}{H} \quad M_{//}^0 = \frac{1}{2} \mu_B \cdot g_{//} \cdot N \cdot th\left(\frac{\mu_B \cdot g_{//} \cdot H}{2kT}\right)$$

(2)

Bu holda «izing» o'qiga perpendikulyar bo'lgan, kristallografik yo'nalishga mos keladigan  $\chi_{\perp}^0$  ko'ndalang qabul qiluvchanlik Van-Flek qo'shilishi kelib chiqishiga ega va temperatura pasayishi bilan doimiy (chegarada) limitga intiladi:

$$\chi_{\perp}^0 = \frac{g_{j_0}^2 \cdot \mu_B^2 \cdot N}{\Delta_1}$$

(3)



«Izing» NY-ioni qabul qiluvchanligiga qoʻshiladigan bu ulush tashqi N magnit maydon qoʻyilganda ionning asosiy holatiga qoʻzgʻolgan holatlarning «aralashishi» bilan Bogʻliq. Umuman aytganda u, kristall magnitlanganda kramers dubletlarining ogʻirlik markazi siljishi bilan belgilanadi.

Asosiy holati singlet boʻlgan ( $Pr^{3+}, Eu^{3+}, Tm^{3+}$ ) nokramers NY-ionlari uchun gʻalayonlanish nazariyasi boʻyicha faqatgina asosiy holatga qoʻzgʻolgan sathchalarning «aralashishi» ni hisobga olganda noldan farqli magnit momenti yuzaga keladi (Van-Flek mexanizmi).

**MUHOKAMA**

Granat kristall maydonidagi ( $Tb^{3+}, Ho^{3+}$ ) nokramers NY-ionlarining asosiy holati ikkita yaqin joylashgan singlet-kvazidublet koʻrinishida boʻladi.  $D_2$  simmetriyali joy egallagan NY-ion uchun «izing» oʻqi orientastiyasi (nokramers NY-ionlari holidagidek) KM parametrlarining aniq kattaligiga bogʻliq emas. Ammo, berilgan kvazidublet hosil qilgan shtark singletlari funksiyalari simmetriyasi bilan aniqlanadi.

Umuman aytganda,  $D_2$  simmetriya holatida, «izing» oʻqi yoʻnalishi 2-tartibli burish oʻqlarining biri bilan mos keladi (yaʼni kristallografik koordinatalar sistemasining oʻqlaridan biri bilan). N tashqi magnit maydon tomonidan ajratilgan. NY-ionining (granat strukturasida -noekivalent pozistiyani egallagan) kvazidublet energiya sathlarini quyidagicha ifodalash mumkin:

$$E_n^{(\pm)2} = E_n^{(0)r} \pm \frac{1}{2} \Delta_n^{(r)};$$

$$\Delta_n^{(r)} = \sqrt{\Delta_0^2 + (\mu_a H)^2}$$

(4)

Bu erda  $\mu_a = g_0 \cdot \langle a | j_a | b \rangle \cdot \mu_B$  - kvazidublet magnit momenti;  $E_n^{(0)}$  - kvazidubletning «ogʻirlik markazi;  $|a\rangle, |b\rangle$  - singletlarning toʻlqin funksiyalari;  $\Delta_0$  -past simmetik KM da kvazidubletning boshlangʻich ajralishi» («parchalanish»);  $\mu_a$  parametrlar ( burchakli moment operatori komponentasi)  $j_k$  operator matrasta elementlari kattaliklari bilan aniqlanadi, xuddi shunday boʻlar g - tenzor simmetriya oʻqi (yaʼni «izing» oʻqi) yoʻnalishini aniqlaydi.  $Tb^{3+}$  va  $Ho^{3+}$  ionli granatlar – gallatlar va alyuminatlar uchun  $\Delta_0$  da parametrlar KM nazariyasi boʻyicha hisoblangan. Shuni takidlash kerakki odatda granat strukturasida  $Tb^{3+}$  va  $Ho^{3+}$  ionlar keskin anizotrop g - faktorga ega (g-faktor komponentalardan biri boshqa ikkitasiga nisbatan ancha katta boʻladi), bu esa ular magnitlanishning «kvaziizing» xarakterini ifodalaydi.

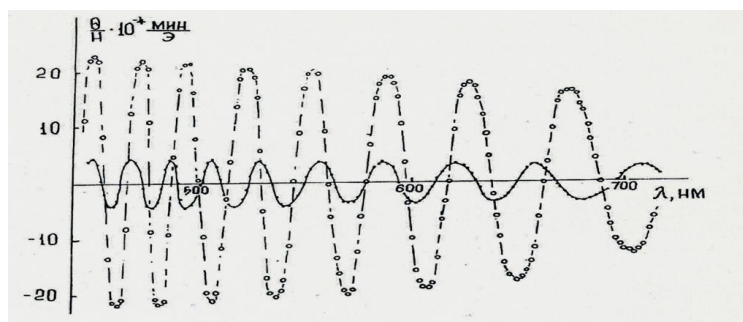
Haqiqatdan, agar nokramers NY-ionining asosiy holati kvazidublet boʻlsa va asosiy multiplet qoʻzgʻolgan shtark sathchalaridan etarlicha katta energetik interval bilan ajratilgan holatlarning (gʻalayonlanish nazariyasi ikkinchi tartibda) «aralashishi» Van-Flek taklifi yordamida NE-sistemani magnitlanishi past temperaturada hisoblanganda, u ikki sathli sistema magnitlanishiga mos keladi. Xuddi shunday asosiy holatga ega nokramers NY-ionlar z - oʻqiga perpendikulyar yoʻnalishida (maydon boʻyicha chiziqli yaqinlashishida) magnitlanmaydilar.

Turli xil kristall pozistiyalarda joylashgan magnitoaktiv ionlarning spektrini farqlash uchun turli kristallografik yoʻnalishlarda magnitlash kerak boʻladi. Bunda ionning optik spektridan farqli ravishda, qoʻyiladigan tashqi magnit maydon

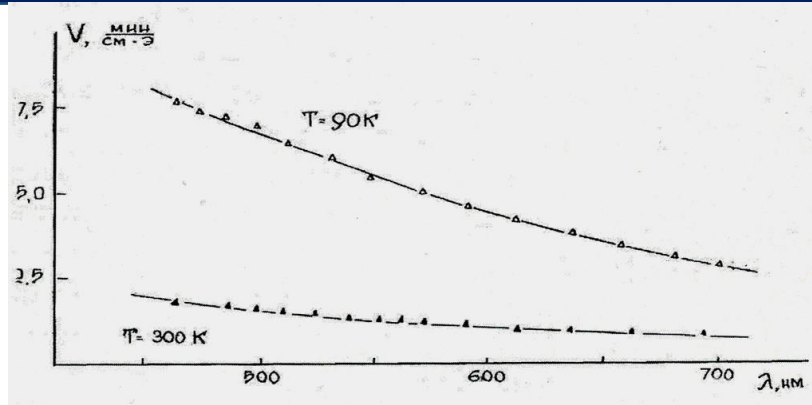
kristalldagi aynishni pasaytiradi va ionning elektron holatlarini «qo'shilishini» ta'minlaydi. Shuningdek magnit maydondagi kristalldagi NY-ioni uchun tanlash qoidasiga binoan ruxsat etilgan o'tishlar soni kamayishiga olib keladi. NY-granatlardagi optik o'tishlarning matrasta elementlari uchun tanlash qoidasini hisobga olish etarlicha soddalanadi hamda shtark sathchalarning to'lqin funksiyalari simmetriyasini aniqlash imkonini beradi. Bunda shtark sathlarda  $4f - 4f$  taqiqlangan (elektrodipol yaqinlashishda) o'tishlar sodir bo'ladi.

NY –ortaluminat tuzilishga ega bo'lgan birikmalar optik nuqtai nazardan ikki o'qli kristallardir va ularni o'rganishda chiziqli magnitoptik effektlarni o'rganishda katta tabiiy ikkilamchi sinish uchun ( $\Delta n \sim 10^{-2}$ ) jiddiy muammo yuzaga keladi [1,3]. Shuning uchun TbAlO<sub>3</sub> dagi polarizatsiya ellipsining katta o'qi burilish  $\theta$  burchaklarining to'lqin uzunligiga  $\lambda$  bog'liqligi tebranuvchi xarakterga ega (1-rasm), va tebranishlar amplitudasi Faradeyning burilish burchagiga  $\alpha_f$ , davri esa tabiiy ikkilamchi sinishi qiymatiga  $\Delta n$  mutanosib. Eksperimental ma'lumotlardan aniq ko'rinib turibdiki (1-rasmga) haroratning pasayishi bilan

tebranishlar amplitudasi keskin oshadi, bu  $V = 2\Delta n \cdot \pi \cdot \theta / \lambda \cdot H$  formulaga muvofiq V doimiyning oshishiga to'g'ri keladi. Bundan tashqari, burchakning T haroratiga tebranish bog'liqligi haroratning pasayishi bilan tebranish davrining pasayishini aniq ko'rsatadi, bu esa past temperaturalarda  $\Delta n$  o'sishini ko'rsatadi. TbAlO<sub>3</sub> da Verde doimiysi V ning spektral o'zgarishini tahlil qilish  $V \sim \omega^2 / (\omega_0^2 - \omega^2)$  chastotaviy bog'liqligi yaxshi aniqlik darajasi bilan yaqinlashtirilganligini ko'rsatdi. Bu erda  $\omega$  - yorug'lik chastotasi,  $\omega_0 = 99 \times 10^{14} \text{ s}^{-1}$  - ortalüminat strukturasi tuzilishidagi Tb<sup>3+</sup> ionlaridagi 4f-5d elektr dipol ruxsat etilgan o'tishlarining (spini va juftligi bo'yicha) "effektiv" chastotasi. Shu bilan birga, 90-300K harorat oralig'ida [110] o'qi bo'ylab TbAlO<sub>3</sub> da t FE ning haroratga bog'liqligini o'rganish  $\lambda = 506 \text{ nm}$  to'lqin uzunligida teskari Verdet doimiysining  $1/V$  T haroratga bog'liqligi chiziqli bo'lib chiqadi (eksperimental xato chegarasida ichida  $\sim 5 \div 7\%$ ). Shunday qilib, [110] o'qi yo'nalishi bo'yicha TbAlO<sub>3</sub> ortoaluminatining Verde doimiysi  $V_{[110]}$  temperaturaga teskari proporsional ( $V \sim 1/T$ ), bu an'anaviy bog'liqlikdan ( $V \sim \chi$ ) sezilarli darajada farq qiladi [22].



**Rasm 1. TbAlO<sub>3</sub> kristalli qutblanish ellipsi katta o'qining burilish burchagi spektral xarakteristikasi: (-o-) – 90K; (-.-) - 300K; H||[110].**



Rasm 2. Verde doimiysining turli temperalardagi (90K va 300K) spektral xarakteristikalarini.

### XULOSA

1. NE - ortaluminat  $TbAlO_3$  ning Verde doimiysining 4200 - 7500 Å to'lqin uzunliklari oralig'ida, 90 - 300K harorat oralig'ida harorat va spektral bog'liqligi batafsil o'rganildi. Magnit kirituvchanligi  $\chi$  ning haroratga bog'liqligidan, [110] o'qi

bo'ylab o'lchangan Verde doimiysi haroratga teskari proporsional.

2.  $TbAlO_3$  kristallning [110] o'qi bo'ylab o'lchangan Verde doimiysining haroratga teskari proporsionalligi, tajribaning berilgan geometriyasida Faradey aylanishida (tashqi H maydonda)  $Tb^{3+}$  - NY-ion elektron holatlarining Van-flek "aralashishlari" mexanizmining hissasi yo'qligi bilan bog'liq.

### Foydalanilgan adabiyotlar:

1. Saidov Q.S., Bekmurodova M.B. Complex movement of object.// International Scientific Journal. 85:5 (2020), pp. 316-322.
2. Очиллов Л.И., Арабов Ж.О., Ашурова У.Д. Измерение преобразования потенциальной энергии в поступательную и вращательную энергию с помощью колеса максвелла.// Вестник науки и образования. (2020) № 18(96) Часть 2 С 18-21.
3. Shavkatovich S.F., Baxtiyrovna N.Y. Changes occurring in ferromagnets by adding some mixture.// Scientific reports of Bukhara State University. (2020), pp8-13
4. Dzhuraev D.R., Turaev A.A. Features of key parameters of field transistors.// Scientific reports of Bukhara State University, (2020) №2 PP7-10.
5. Файзиев Ш.Ш., Саидов К.С., Аскарлов М.А. Зависимость магнитно модулированной структуры от ориентации поля в кристалле.// Вестник науки и образования. (2020) № 18(96) Часть 2 С 6-9.
6. Файзиев Ш.Ш., Саидов К.С. Электронная структура основного мультиплета иона диспрозия в ортоалюминате.// Academy, (2020) С 4-6.
7. Turaev A.A. Термочувствительный параметр полевого транзистора в режиме ограничения токов.// №2 С 81-84.
8. Valiev U.V., Dzhuraev D.R., Malyshev E.E., Saidov K.S. Electronic structure of the ground multiplet of the  $Dy^{3+}$  ion in the  $DyAlO_3$  orthoaluminum.// Optics and Spectroscopy. (1999) PP 703-706.
9. U.V. Valiev., V. Nekvasil., Sh.I Mukhamedhanova., D.R. Dzhuraev., K.S.Saidov. Experimental Definition of Zeeman Splitting of Excited States of  $Tb^{3+}$  Ion in  $Y_3Al_5O_{12}$ .// Physica status solidi (b) (1999). PP 493-501.



10. Файзиев Ш.Ш., Саидов К.С. Электронная структура основного мультиплета иона диспрозия в ортоалюминате.// Academy, (2020). С 4-6.
11. Saidov.Q.S. , Bekmurodova.M.B. The problem of teaching heat transfer and heat exchange in schools and lyceums.// JournalNX-A Multidisciplinary Peer Reviewed Journal 6:9 (2020), pp. 176-183.
12. Boidedaev S.R., Dzhuraev D.R., Sokolov B.Y., Faiziev S.S. Effect of the transformation of the magnetic structure of a FeVO<sub>3</sub>:Mg crystal on its magneto-optical anisotropy.// Optics and Spectroscopy 107:4 (2009), pp. 651.
13. Шарипов М.З., Соколов Б.Ю. Файзиев Ш.Ш. Влияние перестройки магнитной структуры кристалла FeVO<sub>3</sub>:Mg на его магнитооптическую анизотропию.// Наука, техника и образование 10:4 (2015), С. 15-18.
14. Astanov S., Niyazkhonova B.E. Luminescent properties of vitamins in monomeric and associated states in a polar solvent.// Journal of Applied Spectroscopy. 55:5 (1991), pp. 1103-1106.
15. Nasirova N.K. Bound and ground states of a spin-boson model with at most one photon: non-integer lattice case.// Journal of Global Research in Mathematical Archives (JGRMA) 6 , (2019) PP 22-24.
16. Файзиев Ш.Ш., Саидов К.С. Электронная структура основного мультиплета иона диспрозия в ортоалюминате.// Academy, (2020) С 4-6.
17. Ибрагимов С.С., Кодиров Ж.Р., Хакимова С.Ш.. Исследование усовершенствованной сушилки фруктов и выбор поверхностей, образующих явление естественной конвекции.// Вестник науки и образования. (2020). №20 (98). С 6-9.
18. Кодиров Ж.Р., Хакимова С.Ш., Мирзаев Ш.М. Анализ характеристик параболического и параболоцилиндрического концентраторов, сравнение данных, полученные на них.// Вестник ТашИИТ №2 2019 С 193-197.
19. Кодиров Ж.Р., Мавлонов У.М., Хакимова С.Ш. Аналитический обзор характеристик параболического и параболоцилиндрического Концентраторов.// Наука, техника и образование 2021. № 2 (77). С 15-1
20. С.С.Ибрагимов. Проектирование двухскатной теплицы с эффективным использованием солнечного излучения.// Молодой ученый, (2016) С 103-105.
21. С.С.Ибрагимов. Результаты испытания водоопреснителя парникового типа.// Молодой ученый, (2016) С 67-69.
22. Ахатов Ж.С., Самиев К.А., Мирзаев М.С., А.Э.Ибрагимов А.Э. Исследование теплотехнических характеристик солнечной комбинированной опреснительно-сушильной установки.// Гелиотехника. 2018. № 1. С.20 -29.
23. Мирзаев М.С., Самиев К.А., Мирзаев Ш.М. Экспериментальное исследование расстояния между испарителем и конденсатом наклонно-многоступенчатой опреснительной установки.// Гелиотехника. 2018. № 6. С.27 -34.
24. Juraev Kh. Ways of using educational materials on alternative energy sources at natural lessons.// European science review. – Austria, 2018. № 1-2. –P. 177-180.
25. Juraev Kh. Training materials on sources of the alternative energy in integration of natural sciences.// Humanities and Social Sciences in Europe: Achievements and Perspectives. – Vienna, 2015. – P. 32–35.
26. Juraev Kh.O., Khamdamova N.M. Using alternative energy sources in education.// Modern humanitarian research. – Moscow, 2015. №3. – P. 42–48.
27. Juraev Kh. Ways of using educational materials on alternative energy sources at natural lessons.// European science review. – Austria, 2018. № 1-2. –P. 177-180.
28. Kahhorov S.K., Juraev Kh.O. Use of alternative energy sources at the natural sciences lessons.// The Way of Science. 2017. №2 (36).–P. 148-150.