

DYALO₃ DISPROZIY ORTOALYUMINATNING FARADEY EFFEKTI XUSUSIYATLARI

<https://doi.org/10.5281/zenodo.10809675>

Soatov H.P. Murtozoyev Z.

Shahrisabz davlat pedagogika instituti

Abstract

In this article, one of the magneto-optical properties of dysprosium orthoaluminate, the Faraday effect is studied. In addition, the Verde constant was determined and its wavelength dependence graph was drawn.

Annotatsiya

Ush bu maqolada, nodir yer elementi disproziy ortoalyuminatning magnito-optik xususiyatlaridan biri Faradey effekti o'rganilgan. Undan tashqari, verdey doimiysi aniqlangan uning to'liq uzunlikka bog'lik grafigi chizilgan.

Kalit so'zlar

rombik kristall, faradey effekti, Verde doimiysi, disproziy ortoalyuminat

Kirish. Turli nodir yer (-NE) birikmalarini tadqiq etishda yuzaga keladigan katta qiziqish, ko'p darajada ularning, optik damlashlardagi ham up-konversion, ham an'anaviy sxemalarda faoliyat olib boruvchi, ko'zga ko'rinuvchi diapazonlar lazerlarida faol muhit sifatida qo'llanilishi mumkinligiga asoslangandir. Nodir yer elementlari zamonaviy spektroskopiyasida, ayniqsa asosiy diqqat quyi simmetrik singoniyalar (rombik, monoklin va b.q.) kristall strukturalariga dopirlangan uch valentli NE-ionov R³⁺ lar energetik spektrlarini tadqiq etish muammosiga qaratilgan, bunda amaliy va ilmiy tomondan muhim bo'lgan masalalarning qator omillari hozirgi kungacha tushunarsiz va ziddiyatli bo'lib qolmoqda.

Shuning uchun optikada quyi simmetrik NE-birikmalari ilovalarining rivojida keyingi istiqbollar quyi simmetrik kristall muhitda (C_s, D₂ simmetriyasi) shakllanuvchi NE-ionlari energetik spektrini chuqurroq o'rganishni talab etadi, bunda ham u yoki bu optik diapazon uchun bunday NE-birikmalaridagi yorug'likning yutilishi va nurlanishining asosiy mexanizmlarini mikroskopik ifodalash xususiyatlariga, ham ulardagi nodir yer ionlari magnit optik faolligi (MOF) mikroskopik mexanizmini ifodalash xususiyatlariga tegishli bo'lgan qator masalalar hozirgi kungacha hali ham nisbatan kam o'rganilganicha qolib ketmoqda. Bu yuqori darajada kramers (to'ldirilmagan 4f-qobig'ida toq sonli

elektronlari bo'lgan) NE-ionlari Dy^{3+} , Er^{3+} deb ataluvchi uyg'otilgan multipletlar elektron energetik strukturalariga va NE- ortoalyuminati AlO_3 deb ataluvchi kuydirilgan perovskit turidagi nokubik birikmalar kristallariga tegishlidir.

Disproziyli ortoalyuminat $DyAlO_3$ ning magnit optik, magnit va optik xossalri haqidagi alohida notizimli ma'lumotlar adabiyotlarda mavjud bo'lsada, berilgan NE-birikmasining makroskopik magnit va optik xossalari haqidagi ma'lumotlargagina tayangan xolda u yoki bu diapazondagi uning magnit optik faolligi (MOF) qiymatini baholab bo'lmaydi. Shuning uchun NE-magnetiklari optik va magnit optik xossalariga javobgar bo'lgan fizik mexanizmlar haqidagi fundamental tasavvurlarning rivojlanishi va amaliy qo'llanilishi nuqtai nazaridan ham yorug'likning yutilishi va nurlanishining asosiy mexanizmlarini, ham ortoalyuminat kristallaridagi nodir yer ionlari Dy^{3+} magnit optik faolliklari mexanizmlarini mikroskopik ifoda etilishining qo'llanilishi o'ta dolzarb xisoblanadi.

Tatqiqod metodologiyasi. NE - ortoalyuminatlari RaO_3 magnit optik xossalari qator xarakterli xususiyatlari bilan farqlanadilar. Birinchidan, ortorombik kristall RaO_3 qalinligi va magnito optik effekt kattaligi orasida, bunday kristallar uchun xarakterli bo'lgan, tabiiy ikki marta sinish tufayli proportsionallikning yo'qligi tufayli, kristall orqali o'tgan yorug'lik nurlanishi qutblanishi ellipsi katta o'qi burilish burchagi θ yetarlicha kichik va absolyut kattaligi jihatidan spektrning ko'zga ko'rinish sohalarida real erishilgan magnit maydonlari ($\sim 10kE$) da bir nechta yoy minuti kattaligidan oshmaydi. Bunga qutblanisho' ellipsining katta o'qi burilish burchagini (1.16) formulaga binoan ushbu xol uchun xarakterli bo'lgan ma'lum qiymatlar n , Δn , λ , V ni qo'llagan xolda [2]: $n \approx 2,0$; $\Delta n \approx 3 \cdot 10^{-2}$; $V \approx 1(\text{min}/\text{cm} \cdot \text{E})$; $\lambda \approx 5 \cdot 10^{-5} \text{cm}$ xisoblashlar olib borib, ishonch xosil qilish mumkin. Bunday yo'l bilan $H \approx 5 \cdot 10^3 \text{ E}$ maydonda topilgan θ kattaligi $\sim 3'$ dan oshmasligini ko'rish qiyin emas. Ikkinchidan, katta tabiiy ikki marta sinishning ($\sim 10^{-2}$) mavjudligi pretsizion optik o'lchashlarni ancha murakkablashtiradi, oxir oqibat yorug'lik nurlanishi qutblanishi ellipsining katta o'qi burilish burchagi θ da kuchli ostsillyatsiyalanuvchi bog'lanishlar (to'lqin uzunligiga va temperaturaga bog'liqlik) yuzaga kelishiga olib keladi. Shuning uchun, yuqorida ko'rsatilgan omillar θ burchakni o'lchash uchun qutblanish tekisligi burilish burchagini dinamik qayd etishning yuqori sezgir usullari qo'llanilib, uning mazmuni quyidagilardan iboratdir [2,4]:

Ushbu usulda qutblanish ellipsining katta o'qi burilish burchagi θ kattaligi qutblagich, namuna va analizatoridan tashkil topgan optik tizimdan o'tuvchi

yorug'lik intensivligining nisbiy o'zgarishi $\delta = \Delta I/I_0$ dan aniqlanadi. Namunaning magnitlanishi shunga olib keladiki, bunda burilish burchagi θ chastotasi o'zgaruvchan magnit maydon H chastotasi bilan mos keluvchi davriy funktsiya bo'ladi. Shunday qilib, foto qabul qilgichga tushuvchi yorug'lik oqimi I da ikkita signal ishtirok etadi: yorug'likning qutblanish tekisligining burilishi $\Delta I = (I - I_0)$ bilan bog'liq bo'lgan o'zgaruvchan ΔI (aniqrog'i, qutblanishning katta ellipsi) va intensivligi $H = 0$ da qutblagich-namuna-analizator tizimidan o'tuvchi yorug'lik oqimi bilan aniqlanuvchi doimiy I_0 . Magnitlangan ortorombik namunadan o'tgan ([1,3] ga qarang) yorug'lik nurlanishi elektr vektori komponentalari nisbiy amplitudalari va fazalarini aniqlovchi Jons matritsasini qo'llab ([5]) va polyarizator (P) va analizator (A) ning ortorombik kristall o'qlariga nisbatan o'tkazish tekisliklari orientatsiyasini xisobga olgan xolda (5b-rasmga qarang), ushbu xolda foto qabul qilgichga tushuvchi yorug'likning intensivligi I quyidagi ifoda bilan aniqlanishini ko'rsatish qiyin emas:

$$I = 1/2 I_0 \cdot (1 \pm \sin \chi \cdot \sin \varphi)$$

Buyerda (\pm) ishoralar - polyarizatorning o'tkazish tekisligining ikkita ortogonal xolatiga mos keladi. Bundan, magnitlangan ortorombik kristalldan o'tgan yorug'lik intensivligining nisbiy o'zgarishi δ uchun ifodani olish mumkin katta tabiiy ikki marta sinish yaqinlashishida $n \cdot \Delta n \gg \varepsilon'$:

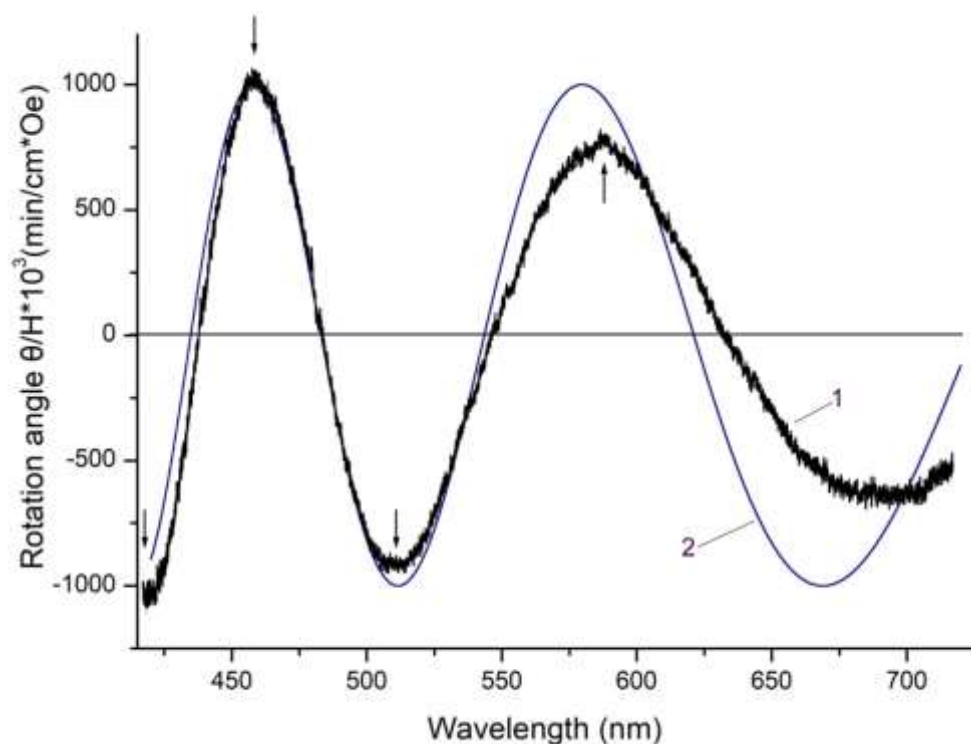
$$\delta = (I - I_0)/I_0 = 2\theta = (\varepsilon_{xy}/n \cdot \Delta n) \cdot \sin(2\pi \cdot \Delta n \cdot e/\lambda)$$

bunda, burilishning kichik burchagi yaqinlashishida, yorug'lik intensivligining nisbiy o'zgarishi δ qutblanish tekisligi burilishining ikkilangan burchagini aniqlaydi (analizator azimuti 45° ga teng bo'lganida). Shunday qilib, eksperimentning bunday geometriyasida yorug'lik intensivligining nisbiy o'zgarishi δ ham to'lqin uzunligiga bog'liq bo'lgan, ham temperaturaga bog'liq bo'lgan ostsillyatsiyalovchi bog'liqlikni ifoda etadi (bunda kristallning tabiiy ikki marta nur sinishi Δn bu parametrlarning funktsional bog'liqligidir), bunda ostsillyatsiya amplitudasi to'g'ridan-to'g'ri faradey aylanishi burchagi kattaligi α_ϕ (bunda $\alpha_\phi \sim \varepsilon_{xy}$) bilan aniqlanadi, ularning davri esa tabiiy kristallografik ikki marta nur sinishi kattaligi Δn bilan aniqlanadi.

Taxlil va natijalar. Rombik singiniyalik kristallarda qutblanish ellipsi katta o'qi burilish burchagi θ kristalning dielektrik singdiruvchanligi tenzori nodiagonal komponentasi bilan quyidagi munosabat bilan bog'langan:

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

$\bar{n} \approx (n_{xx} + n_{yy})/2$ - kristallning o'rtacha sindirish ko'rsatgichi, l - uning qalinligi, λ - vakuumdagi yorug'likning to'lqin uzunligi, $\Delta n = n_{xx} - n_{yy}$ - tabiiy kristallografik ikkilamchi nur sinishi. Burchak θ ning ham to'lqin uzunligiga, ham kristall qalinligiga bog'liqligi ossillyatsiyalovchi xarakterga ega bo'lib, bunda ossillyatsiya amplitudasi ε_{xu} ga proporsional, uning davri esa tabiiy ikkilamchi nur sinishi Δn qiymatiga proporsionaldir.



1-rasm. Qalinligi $l = 0,0145$ sm bo'lgan rombik kristallning kristallografik $[100]$ yo'nalishi bo'yicha tashqi magnit maydon ($H = 7$ kOe) orientatsiyasida yo'zib olingan $TbAlO_3$ dagi θ/H kattalikning spektral bog'liqligi (1). Rasmda yana fazaviy faktor $\sin \Phi$ ning to'lqin uzunligiga bog'liqligi keltirilgan.

Tashqi magnit maydonida NE-ortoalyuminatining optiki xossalari xolatining ko'rgazmali misoli bo'lib, 1- rasmda keltirilgan $TbAlO_3$ kristallning a "yengil" o'qi bo'ylab temperaturaning 300 K da to'lqin uzunligining 430 - 720 nm intervalida yozilgan yorug'lik nurlanishi qutblanishi ellipsi katta o'qi burilish burchagi θ (aniqrog'i, θ/H kattalikning) spektral bog'liqligi keltirilgan.

Taqqoslashlar uchun bu rasmda kristall qalinligi $l = 1.45 \cdot 10^{-2}$ sm va parametri qiymati $\Delta n = 1.5 \cdot 10^{-2}$ bo'lganida xisoblangan fazaviy faktor $\sin \Phi = \sin \frac{2\pi \cdot \Delta n \cdot l}{\lambda}$ ning to'liq uzunligig bog'liqligi keltirilgan. Ushbu taqqoslashlar shuni ko'rsatadiki, fazaviy faktorning xisoblangan bog'liqligi terbiy ortoalyuminatida qutblanish ellipsining katta o'qi burilish burchagi θ ning to'liq uzunligiga bog'liqligini (spektrning uzun to'liqinli qismida bir qancha farq bilan bo'lsada) adekvat tarzda ifoda etadi. $TbAlO_3$ da (berilgan temperatura uchun) Verde doimiysi spektral bog'liqligini tiklash maqsadida burilish burchagi θ ni o'lchash natijalariga ishlov berish quyidagicha olib borildi: avval spektrning ko'rilayotgan sohalarida ikki marta nur sinishi Δn ning to'liqin uzunligiga bog'liqligi aniqlanadi. Buning uchun θ/H kattalik spektral bog'liqliklarining yaqin joylashgan ekstremumlari - manfiy va musbat maksimumlari orasidagi fazaviy siljish mos xolda λ_1 va λ_2 to'liqin uzunliklar uchun π radianni tashkil etadi (1-rasmda bu ekstremumlar strelka bilan belgilangan) U xolda (1) formuladan:

$$\Delta \Phi = \Phi_2 - \Phi_1 = \pi = 2\pi \cdot \Delta n l \cdot \left(\frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{\lambda_1} \right), \text{ ili } \Delta n = \frac{\lambda_2 \cdot \lambda_1}{2l \cdot (\lambda_2 - \lambda_1)} \quad (2)$$

ga ega bo'lamiz. Bu yerda l - kristall qalinligi, λ_1 va λ_2 - burchak θ ning spektral bog'liqligi ekstremumlari to'liqin uzunliklari. (2) formula bo'yicha 1-rasm natijalarini qo'llagan xolda olib borilgan Δn kattaligini xisoblashlar shuni ko'rsatdiki, spektrning uzun to'liqinli qismida $\Delta n = 0.013$ qiymatdan uning qisqa to'liqinli qismida 0.016 gacha monoton tarzda oshar ekan, bu esa ko'rilayotgan kristall uchun tabiiy ikki marta nur sinishining yetarlicha sezilarli dispersiyasi mavjudligini ko'rsatadi.

Endi solishtirma faradey aylanishi burchagi α_F / l (ya'ni namunag birlik uzunligida xisoblangan yorug'lik qutblanishi tekisligining aylanish burchagi) to'g'ridan-to'g'ri muhitning dielektrik singdiruvchanligi tenzorining nodiagonal komponentasi bilan quyidagi ifoda orqali bog'langanligidan foydalanamiz :

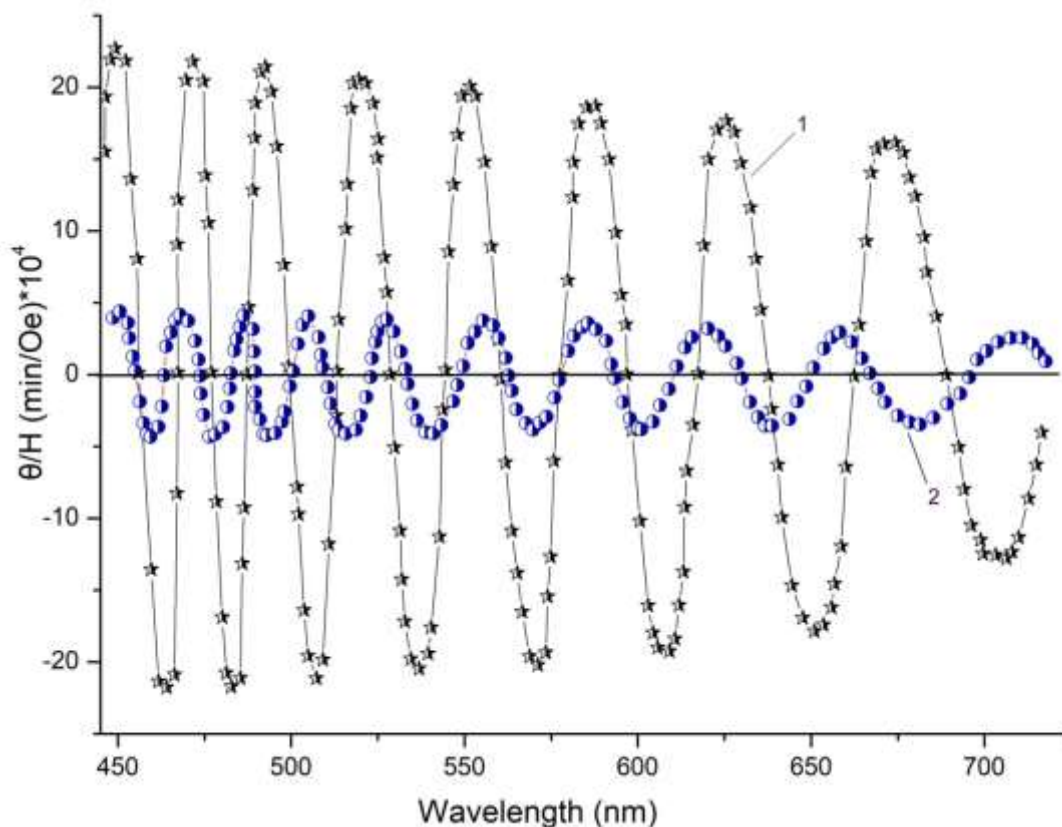
$$\frac{\alpha_F}{l} = \frac{\pi}{\lambda} \cdot \frac{\epsilon_{xy}}{\bar{n}} \quad (3)$$

(1) va (3) larni kombinatsiyalab, hamda faradey aylanishi burchagi ifodasini $\alpha_F = V l H$ kabi yozishimiz mumkinligini xisobga olgan xolda (bu yerda V -Verde doimiysi) ortoalyuminat Verde doimiysi uchun oxirgi ifodani

$$V = 2 \left(\frac{\theta}{H} \right) \cdot \frac{\pi}{\lambda} \Delta n \quad (4)$$

ko'rinishda olishimiz mumkin. Bu ma'lum temperatura va to'lqin uzunligida tekshirilayotgan ortoalyuminat Verde doimiysini tiklashga imkon beradi. Masalan, $\lambda = 632 \text{ nm}$ to'lqin uzunligida (4) formula bo'yicha (1-rasmga qarang) TbAlO_3 ning Verde doimiysini xisoblashlarda
$$\left(\frac{\bar{\theta}}{H}\right) = \frac{1}{2} \left[\left(\frac{|\theta|}{H}\right)_{\lambda_1} + \left(\frac{|\theta|}{H}\right)_{\lambda_2} \right]$$
 kattalikning o'rtacha qiymati qo'llaniladi, bu yerda λ_1 va $\lambda_2 - \left(\frac{\theta}{H}\right)$ kattalikning spektral bog'liqligi mos yaqin joylashgan ekstremumlari (manfiy va musbat) to'lqin uzunliklari, $\Delta n = 1.3 \cdot 10^{-2}$ ko'rilayotgan to'lqin uzunligi uchun ikki marta nur sinishi parametri o'rtacha qiymatidir.

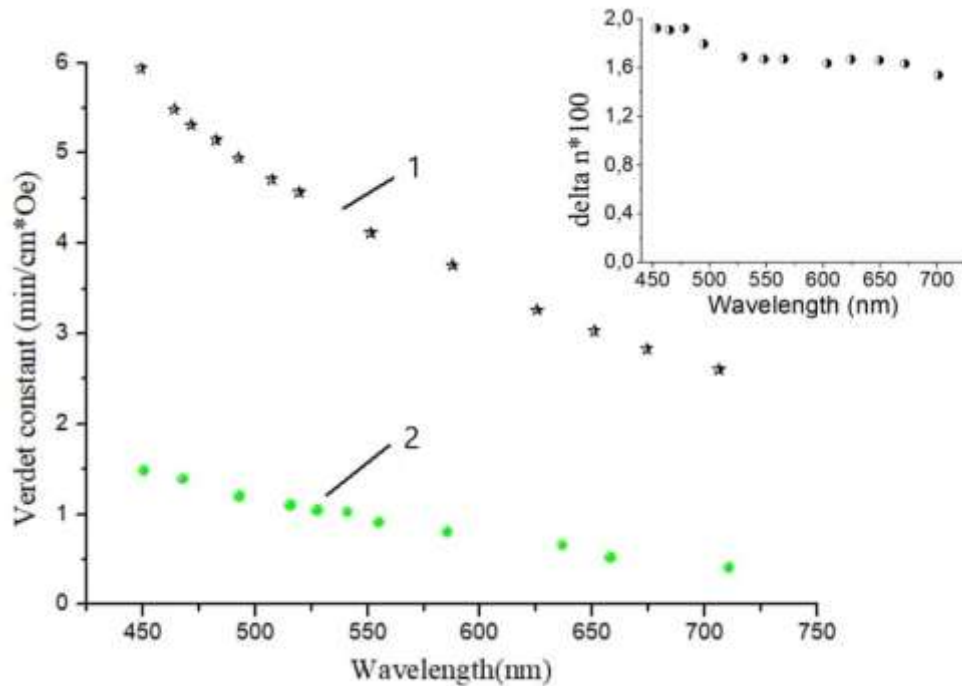
Oxir oqibat, $T = 300\text{K}$ da $0.9 \text{ min/sm} \cdot \text{E}$ ga teng bo'lgan rombik kristallning yengil a o'qi bo'ylab 632 nm to'lqin uzunligida o'lchangan terbiy ortoalyuminatining Verde doimiysiterbiyli granat-gallatning Verde doimiysidan ikki marta katta bo'lishiga erishildi.



2-rasm. Qalinligi $l = 0,42 \text{ sm}$ bo'lgan rombik kristall DyAlO_3 ning $-b$ o'qi bo'yicha $T = 90$ da (1) va 300 K da (2) o'lchangan θ/H kattaligining spektral bog'liqligi.

Avvalgiga analogik xolda faradey aylanishi burchagi uchun $T = 90\text{K}$ va 300K larda rombik kristallning "yengil" $-b$ o'qi bo'ylab o'lchangan spektral

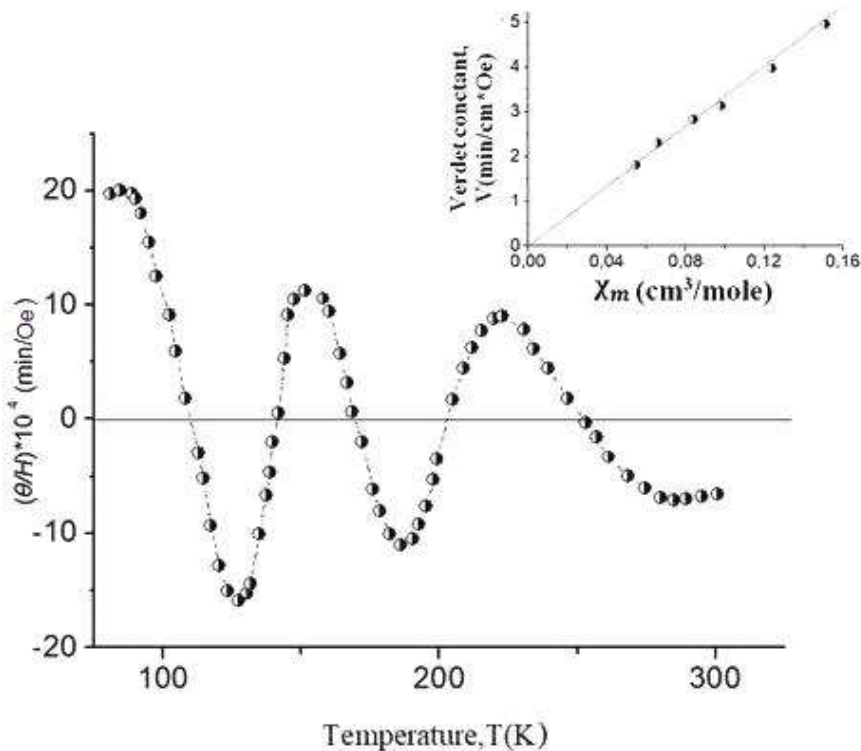
bog'liqlikdan θ/H kattalikni tiklab (2-rasm), Verde doimiysi V spektral bog'liqligini va $DyAlO_3$ ortoalyuminati ikki marta nur sinishi kattaligi Δn ni topish qiyin emas (3-rasm). Bu rasmda keltirilgan eksperimental natijalardan $T = 90K$ da to'lqin uzunligining kamayishi bilan Δn kattalikning monoton oshishi kuzatilishi kelib chiqadi (rasmdagi qo'shimcha rasimga qarang). Bunga qo'shimcha tarzda namuna temperaturasining pasayishi bilan burchak θ ossillyatsiyasi davri kamayishi aniqlangan bo'lib, bunga temperaturaning kamayishi bilan tabiiy kristallografik ikkimarta nur sinishining kuchsiz oshishi sababdir. Bunda burchak θ ossillyatsiyasi amplitudasi kattaligi bo'yicha keskin oshishi ko'rinib turibdi, bu esa (1) formulaga binoan (3) formulaga mos xolda muhitning dielektrik singdiruvchanligi ϵ_{xu} tenzorining nodiagonal komponentasi bilan to'g'ridan-to'g'ri bog'langan solishtirma faradey aylanishi burchagining oshishiga olib keladi.



3-rasm. $T = 90K$ (1) va $300K$ (2) da rombik kristallning b o'qi bo'ylab o'lchangan ortoalyuminati $DyAlO_3$ Verde doimiysining spektral bog'liqligi. Qo'shimcha rasmda: $T = 90K$ da topilgan Δn kattalikning spektral bog'liqligi keltirilgan.

Yuqorida keltirilgan eksperimental natijalarni yaxshilab ko'rib chiqishdan shuni qayd etish mumkinki, $T = 300K$ da to'lqin uzunligining 632 nm da rombik $DyAlO_3$ kristali "yengil" b o'qi bo'ylab o'lchangan Verde doimiysi V qiymati 0.662 min/sm^*E ni tashkil etib, bu terbiyli granat-gallatning Verde doimiysidan deyarli 1,5 marta oshadi. Asosiy qiziqishni $DyAlO_3$ Verde doimiysining to'lqin uzunligi va temperaturaga yetarlicha keskin bog'liqligi namoyon etadi (3-rasm). Bu, bizningcha, disproziy ortoalyuminati kristalli FE ga magnito-optik faollikning

“paramagnit” mexanizmining katta xissa qo’shishi haqida dalolat beradi. Bu mexanizmning chastotaga bog’liqligi chastotaviy faktor $\omega^2 / (\omega_0^2 - \omega^2)$ bilan ifodalanadi. Shuning uchun, ko’rilayotgan NE-birikmasi FE da katta rolni paramagnit mexanizm o’ynaydi, deb (FE ning S -a’zosi), T = 90K da o’lchangan teskari Verde doimiysining chastotaviy bog’liqligidan Dy³⁺ ionidagi ruxsat etilgan optik o’tishlar “effektiv” chastotasini aniqlash qiyin emas. U $\omega_0 = 99 \cdot 10^{14} \text{ sec}^{-1}$ ($\lambda_0 = 190 \text{ nm}$) ga teng ekan. Boshqa tomondan, DyAlO₃ da kuzatiladigan magnito-optik effektning yaqqol namoyon bo’lgan temperaturaviy bog’liqligini xisobga olgan xolda, disproziyli ortoalyuminatning - b o’qi bo’ylab tashqi magnet maydon N yo’nalishida o’lchangan Verde doimiysi V ning magnet qabul qiluvchanlik χ ga bog’liqligini olish mumkin (4-rasmga qarang). 4-rasmni yaxshilab ko’rib chiqishdan, eksperimental xatoliklar chegarasida ushbu bog’liqlik chiziqiy ekanligi kelib chiqadi, bu esa DyAlO₃ dagi FE ning chastotaviy bog’liqligini xisobga olgan xolda Verde konstantasi uchun ifodani quyidagi ko’rinishda yozish imkonini beradi:



4-rasm. $\lambda = 510 \text{ nm}$ to’lqin uzunligida DyAlO₃ ning b o’qi bo’ylab o’lchangan θ/H kattaligining temperaturaviy bog’liqligi. Tadqiq etilayotgan kristall qalinligi $l = 0,42 \text{ sm}$. Qo’shimcha rasmda –berilgan to’lqin uzunligida tiklangan rombik kristallning b o’qi bo’ylab o’lchangan ortoalyuminati DyAlO₃ Verde doimiysining molyar magnet singdiruvchanlik χ ga bog’liqligi

$$V = (C_p \chi + D) \frac{\omega_2}{(\omega_0^2 - \omega^2)} \quad (5)$$

bu yerda V - Verde konstantasi; ω -yorug'lik chastotasi; S_p -Verdening "paramagnit" doimiysi; D - tashqi magnit maydonida NE ioni Dy^{3+} ning asosiy va uyg'otilgan multipletlari aralashuvining xissasi. 4-rasmda (5) formulani qo'llab keltirilgan eksperimental natijalarning tahlili D ning aralashuvi xissasi kattaligi yetarlicha kichik ekanligini ko'rsatdi, keyingi ko'rib chiqishlarda uni xisobga olmasa ham bo'ladi.

Xulosa. Disproziy ortoalyuminat $DyAlO_3$ dagi Faraday effektining (EF) spektral va haroratga bog'liqliklari o'lchanadi, uning magnit sezgirligining haroratga bog'liqligini o'lchash bilan to'ldiriladi. $T = 300$ K da 632 nm to'lqin uzunligida rombsimon $DyAlO_3$ kristalining "oson" o'qi b bo'ylab o'lchangan natijada bir xil to'lqin uzunligida Verdet doimiysi V 0,662 min/sm Oe ni tashkil etdi, bu $Tb_3Ga_5O_{12}$ ning Verdet doimiysidan deyarli 1,5 baravar yuqori, 0,46 min / sm Oe ga teng. Bu esa lazerlarning aktiv muhiti sifatida ishlatsa bo'lishi mumkinligini anglatadi.

ADABIYOTLAR RO'YXATI

1. Писарев Р.В. Магнитное упорядочение и оптические явления в кристаллах: в кн. Физика магнитных диэлектриков. Л., Наука, 1974, с.356-450.
2. Валиев У.В., Ключков А.А., Лукина М.М., Турганов М.М. Магнитооптические свойства ортоалюмината тербия $TbAlO_3$. // Опт. и Спектр., 1987, Т.63, в.3, с.543-546.
3. A. K. Zvezdin and A. V. Kotov, Modern Magneto-Optics and Magneto-Optical Materials (Institute of Physics, Bristol, 1997).
4. S. Geller and V.B. Bala. Acta Cryst., 9, 1019 (1956).
5. Feiyun Guo, Qiyuan Li, Huaimin Zhang, Xiongsheng Yang, Zhen Tao, Xin Chen and Jianzhong Chen. Crystals (MDPI) 9, 245 (2019)