TERBIY IONINING ORTOALYUMINAT KRISTALLARDAGI MAGNITOOPTIK XOSSALARI

Saidov Qurbon Sayfullayevich

Buxoro davlat universiteti, Fizika kafedrasi

Annotatsiya. Tezisda perovskitsimon tuzilishli ortoalyuminat kristallarida ($TbAlO_3$ va Tb^{3+} bilan faollashtirilgan $YAlO_3$) Tb^{3+} ionining magnitooptik xossalari nazariy jihatdan tahlil qilinadi. Past simmetriyali (Cs) kristall maydonida $^7F_6$ asosiy multipletning ajralishi natijasida hosil bo‘ladigan kvazidublet modeli asosida Faradey effektining paramagnit, Van Vlek va diamagnit hissalarining harorat va magnit maydonga bog‘liqligi, uning kuchli anizotropiyasi va spektral dispersiyasi asoslab beriladi.

Kalit so‘zlar: terbiy ioni, ortoalyuminat, $TbAlO_3$, kristall maydon, kvazidublet, Faradey effekti, Verde doimiysi, Van Vlek paramagnetizmi, Izing anizotropiyasi, magnit sirkulyar dixroizm.

Dolzarbligi. Tb^{3+} ionini saqlovchi kristallar ko‘rinadigan va yaqin IQ sohada eng yuqori Verde doimiysiga ega bo‘lgan paramagnit materiallar qatoriga kiradi. $Tb_3Ga_5O_{12}$ (TGG) granati lazer texnikasida Faradey izolyatorlari uchun standart material hisoblanadi; terbiyning alyuminiy saqlovchi birikmalari esa yuqori issiqlik o‘tkazuvchanligi va optik shaffoflik sohasining kengligi tufayli yuqori quvvatli lazerlar uchun istiqbolli muqobil sifatida o‘rganilmoqda. $RAlO_3$ ortoalyuminatlarida esa Tb^{3+} ioni pastroq simmetriyali pozitsiyani egallaydi, bu kuchli magnitooptik anizotropiyani yuzaga keltiradi va ularni fundamental tadqiqotlar uchun model obyektga aylantiradi.

1. Kristall tuzilishi va Tb^{3+} ionining energetik spektri

$RAlO_3$ ortoalyuminatlari (R = Y, Tb va b.) rombik buzilgan perovskit tuzilishida, Pbnm (D_{2h}^{16}) fazoviy guruhida kristallanadi, elementar yacheykada $Z = 4$ formula birligi mavjud. Nodir yer ioni lokal simmetriyasi C_s bo‘lgan

pozitsiyani egallaydi, ko‘zgu tekisligi kristallning ab tekisligi bilan mos tushadi. Tb^{3+} ionining $4f^8$ konfiguratsiyasida asosiy holat $^7F_6$ ($L = 3,\ S = 3,\ J = 6$) bo‘lib, uning Lande faktori

$$g_J = 1 + \frac{J(J+1)+S(S+1)-L(L+1)}{2J(J+1)} = \frac{3}{2} \quad (1)$$

ga teng. Ion Kramers bo‘lmagan (juft sonli elektronli) bo‘lgani sababli C_s simmetriyali kristall maydoni $^7F_6$ multipletni $2J + 1 = 13$ ta singlet sathga to‘liq ajratadi. Kristall maydon gamiltoniani Stivens ekvivalent operatorlari orqali

$$\hat{H}_{CF} = \sum_{k=2,4,6} \sum_{q=-k}^{k} B_q^k \hat{O}_q^k \quad (2)$$

ko‘rinishida yoziladi; C_s simmetriyada noldan farqli parametrlar soni 15 ta bo‘lib, bu ularni faqat optik spektrlardan aniqlashni qiyinlashtiradi va magnitooptik ma’lumotlarni jalb qilishni talab etadi. Eng past ikki singlet $|a\rangle$ va $|b\rangle$ bir-biriga yaqin joylashib (oraliq Δ — bir necha sm^{-1}), *kvazidublet* hosil qiladi; keyingi sathlar esa o‘nlab–yuzlab sm^{-1} yuqorida joylashadi. Shu tufayli past haroratlarda ionning magnit va magnitooptik xossalari asosan kvazidublet bilan belgilanadi.

Kvazidubletning eng muhim xususiyati — uning keskin anizotropiyasi (Izing xarakteri): magnit momentning matritsaviy elementi $\langle a|\hat{J}_{z'}|b\rangle$ faqat ab tekisligida yotuvchi va a o‘qi bilan $\pm\varphi$ burchak tashkil etuvchi lokal “oson” o‘q z' bo‘ylab noldan farqli bo‘lib, effektiv g-faktor

$$g_{\parallel} = 2g_J\left|\langle a|\hat{J}_{z'}|b\rangle\right| \le 2g_J J = 18, g_c \approx 0 \quad (3)$$

nazariy chegaraga yaqin qiymatga ega. Elementar yacheykadagi to‘rtta Tb^{3+} ioni ikkita magnitnoekvivalent bo‘lmagan pozitsiyaga ajraladi (lokal o‘qlar $+\varphi$ va $-\varphi$). $TbAlO_3$ da ionlararo o‘zaro ta’sir natijasida taxminan 4 K atrofida antiferromagnit tartiblanish sodir bo‘ladi.

2. Faradey effektining mikroskopik nazariyasi

Tashqi maydon H lokal oson o‘qqa θ_i burchak ostida qo‘yilganda kvazidublet sathlari

$$E_{\pm} = \pm\frac{1}{2}\sqrt{\Delta^2 + (g_{\parallel}\mu_B H\cos\theta_i)^2} \quad (4)$$

qonuniyat bo‘yicha ajraladi. i-pozitsiyadagi ionning maydon yo‘nalishidagi o‘rtacha magnit momenti:

$$m_i = \frac{g_{\parallel}\mu_B\cos\theta_i}{2}\cdot\frac{g_{\parallel}\mu_B H\cos\theta_i}{\sqrt{\Delta^2+(g_{\parallel}\mu_B H\cos\theta_i)^2}}\cdot\tanh\frac{E_+}{k_BT} \quad (5)$$

Paramagnit kristallning Faradey burilishi uchta hissaning yig‘indisi sifatida yoziladi:

$$\theta_F = \sum_i C_i(\omega)m_i(H,T) + A_{VV}(\omega)H + B_d(\omega)H \quad (6)$$

bunda birinchi had — asosiy holat sathlari bandligining farqi hisobiga yuzaga keladigan *paramagnit (“C”-term)* hissa, ikkinchisi — kristall maydoni va magnit maydon tomonidan to‘lqin funksiyalarining aralashuvi bilan bog‘liq *Van Vlek (“B”-term)* hissa, uchinchisi — uyg‘ongan holatlarning zeyeman ajralishiga bog‘liq *diamagnit (“A”-term)* hissa. Kuchsiz maydon va $\Delta \ll k_BT$ sharoitida (5) dan Kyuri qonuniga yaqin

$$\theta_F \approx \left[\sum_i C_i(\omega)\frac{g_{\parallel}^2\mu_B^2\cos^2\theta_i}{4k_BT} + A_{VV}(\omega)\right]H \quad (7)$$

bog‘lanish kelib chiqadi; past haroratlarda ($k_BT \le \Delta$) esa Kyuri qonunidan og‘ish va kuchli maydonlarda to‘yinish kuzatiladi. Bu bog‘lanishlarni tajriba bilan solishtirish Δ, $g_{\parallel}$ va φ parametrlarini mustaqil aniqlash imkonini beradi.

Modeldan muhim xulosa kelib chiqadi: $\mathbf{H} \parallel c$ bo‘lganda ($g_c \approx 0$) paramagnit hissa amalda yo‘qoladi va Faradey effekti haroratga deyarli bog‘liq bo‘lmagan Van Vlek mexanizmi bilan belgilanadi; $\mathbf{H}$ ab tekisligida bo‘lganda esa effekt kuchli haroratga bog‘liq bo‘lib, maydon yo‘nalishiga ko‘ra burchak

anizotropiyasiga ega bo‘ladi ($\cos\theta_1$ va $\cos\theta_2$ hissalar ustma-ust tushadi). Magnit tartiblangan holatda maydon ta’sirida metamagnit o‘tishlar sodir bo‘lib, Faradey burilishining sakrashsimon o‘zgarishi kuzatilishi kutiladi.

3. Spektral dispersiya va magnit sirkulyar dixroizm

Ko‘rinadigan sohada Faradey burilishining dispersiyasi asosan Tb^{3+} ionining ultrabinafsha sohadagi ruxsat etilgan $4f^8 \rightarrow 4f^75d$ elektr-dipol o‘tishlari bilan belgilanadi va bir ossillyatorli yaqinlashuvda

$$V(\lambda) = \frac{\theta_F}{Bl} \approx \frac{A}{\lambda^2 - \lambda_0^2} \qquad (8)$$

ko‘rinishida tavsiflanadi, bu yerda l — namuna qalinligi, λ_0 — effektiv o‘tish to‘lqin uzunligi, A — (6) dagi paramagnit hissa orqali haroratga bog‘liq bo‘lgan koeffitsiyent. Taqiqlangan $^7F_6 \rightarrow {}^5D_4$ ($\approx$ 485–490 nm) kabi f–f o‘tishlar sohasida esa rezonans magnitooptik effektlar — magnit sirkulyar dixroizm (MSD), $\Delta k = k_+ - k_-$, va Faradey burilishining anomal dispersiyasi kuzatiladi. Ushbu chiziqlarning zeyeman ajralishi va MSD spektrlari kristall maydon sathlarining simmetriyasi va g-faktorlarini bevosita aniqlash, natijada (2) dagi B_q^k parametrlarini aniqlashtirish imkonini beradi.

Xulosa. Ortoalyuminat kristallaridagi Tb^{3+} ionining magnitooptik xossalari C_s simmetriyali kristall maydonida hosil bo‘ladigan kuchli anizotrop (Izing tipidagi) kvazidublet bilan belgilanadi. Kvazidublet modeli Faradey effektining paramagnit va Van Vlek hissalarini ajratish, uning harorat, maydon kattaligi va yo‘nalishiga bog‘liqligini miqdoriy tavsiflash hamda tajriba ma’lumotlaridan Δ, $g_\parallel$, φ mikroskopik parametrlarini aniqlash imkonini beradi. Olingan natijalar Tb^{3+} saqlovchi alyuminatlar asosida yuqori Verde doimiysiga ega va boshqariladigan anizotropiyali magnitooptik elementlar (Faradey izolyatorlari, modulyatorlar, magnit maydon optik datchiklari) yaratish uchun ilmiy asos bo‘lib xizmat qiladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Geller S., Bala V.B. Crystallographic studies of perovskite-like compounds. II. Rare earth aluminates // Acta Cryst. – 1956. – Vol. 9. – P. 1019–1025.

2. Dieke G.H. Spectra and Energy Levels of Rare Earth Ions in Crystals. – New York: Interscience, 1968. – 401 p.

3. Van Vleck J.H., Hebb M.H. On the paramagnetic rotation of tellurite glass // Phys. Rev. – 1934. – Vol. 46. – P. 17–32.

4. Zvezdin A.K., Kotov V.A. Modern Magnetooptics and Magnetooptical Materials. – Bristol: IOP Publishing, 1997. – 386 p.

5. Белов К.П., Звездин А.К., Кадомцева А.М., Левитин Р.З. Ориентационные переходы в редкоземельных магнетиках. – М.: Наука, 1979. – 320 с.

6. Звездин А.К., Матвеев В.М., Мухин А.А., Попов А.И. Редкоземельные ионы в магнитоупорядоченных кристаллах. – М.: Наука, 1985. – 296 с.