

FeBO₃:Mg KRISTALLIDA MAGNIT TARTIB DAVRINING YORUG'LIK TA'SIRIGA BOG'LIQLIGINI HISOBLASH MODEL

Yo'ldosheva Nilufar Baxtiyorovna
Buxoro davlat universiteti, Fizika kafedrası
Tel: (50) 001-90-40

Annotatsiya: Ushbu tezisda FeBO₃:Mg kristallida magnit tartib davrining — Néel haroratining (TN) — tashqi yorug'lik ta'siriga bog'liqligini tavsiflovchi nazariy model taqdim etiladi. Model magniy ionlarining Fe³⁺ ionlarini almashtirishi natijasida yuzaga keladigan superalmashinuv integral' o'zgarishi va yorug'lik induksiyalagan spin-orbital energiya hissasiga asoslanadi. Model bashoratlarning mavjud eksperimental ma'lumotlar bilan mosligi tahlil qilinib, Mg konsentratsiyasining optimal diapazoni aniqlanadi.

Kalit so'zlar: FeBO₃:Mg, magnit tartib davri, Néel harorati, fotomagnetizm, antiferromagnetizm, spin-orbital bog'lanish, magnit anizotropiyasi, superalmashinuv.

Keywords: *FeBO₃:Mg, magnetic ordering temperature, Néel temperature, photomagnetism, antiferromagnetism, spin-orbit coupling, magnetic anisotropy, superexchange*

1. KIRISH VA DOLZARBLIK

FeBO₃ (temir(III) borat) — romboedr simmetriyali oksid bo'lib, u antiferromagnetik tartib chegarasi (Néel harorati $T_n \approx 348,35$ K) xona haroratiga yaqin joylashganligi bois magnit-optik tadqiqotlar uchun noyob ob'ekt hisoblanadi [1, b. 214–216]. Kristall Fe³⁺ ionlarining FeO₆ oktaedrlari to'ridan iborat bo'lib, magnit momentlar ikki kenja panjarada qarama-qarshi yo'nalgan holda joylashadi; bu holat zaiflashgan ferromagnetizm (weak ferromagnetism) hodisasiga olib keladi [2, b. 88–90].

Magniy ionlarining (Mg²⁺) temir ionlarini almashtirishi superalmashinuv integralini o'zgartirib, T_n ni tizimli ravishda pasaytiradi. Bu xususiyat magnit tartib haroratini kimyoviy tarkib orqali boshqarish imkonini beradi va funksional magnit materiallarini loyihalash uchun amaliy ahamiyat kasb etadi [3, b. 441–443]. Boshqa tomondan, so'nggi o'n yillikda fotomagnetizm va spintronika sohalari faol rivojlanib, magnit xossalarga yorug'lik orqali nazorat qilish — ya'ni fotoinduksiyalangan magnit tranzitsiyalar — alohida ilmiy yo'nalishga aylandi [4, b. 1–3]. Ushbu tezisning maqsadi FeBO₃:Mg kristallida T_n ning tashqi yorug'lik ta'siriga bog'liqligini tavsiflovchi yagona parametrik model ishlab chiqish va uni mavjud eksperimental ma'lumotlar bilan tekshirishdan iborat.

2. NAZARIY ASOSLAR

FeBO₃ da magnit tartib Goodenough–Kanamori qoidalari asosidagi superalmashinuv mexanizmi orqali yuzaga keladi: Fe³⁺–O^{2–}–Fe³⁺ yo'lida 180° bog'lik superalmashinuv antiferromagnet juftlashishni ta'minlaydi [5, b. 336–338]. Mg²⁺ ionining Fe³⁺ o'rnini egallaishi bir nechta fizik oqibatga olib keladi: superalmashinuv zanjirining uzilishi natijasida magnit bog'lanishlar o'rtacha qiymati kamayadi va T_n chiziqli ravishda tushadi; ionlar radiuslarining farqi ($r(\text{Mg}^{2+}) = 0,72$ Å, $r(\text{Fe}^{3+}) = 0,645$ Å) kristall panjarada mexanik kuchlanish hosil qiladi [3, b. 444].

T_n ning konsentratsion bog'liqligi uchun quyidagi empirik model qabul qilinadi:

$$T_n(x) = T_{n0} \cdot (1 - \alpha \cdot x) \quad (1)$$

bu yerda $T_{n0} = 348,35$ K — sof FeBO₃ ning Néel harorati, x — Mg molar konsentratsiyasi, $\alpha = 2,1$ — eksperimental ma'lumotlar bo'yicha aniqlangan pasayish koeffitsienti [6, b. 1203–1205].

Yorug'lik ta'siri spin tizimiga energiya uzatish orqali ro'yobga chiqadi: fotonlar yutilishi Fe^{3+} ionlarida qo'zg'algan holatlar hosil qilib, spin-orbital bog'lanish orqali effektiv magnit anizotropiyani o'zgartiradi [4, b. 8–10]. Fotoinduksiylangan T_n o'zgarishi uchun model:

$$T_n(x, I) = T_n(x) \cdot \exp(-\beta(x) \cdot I / I_0) \quad (2)$$

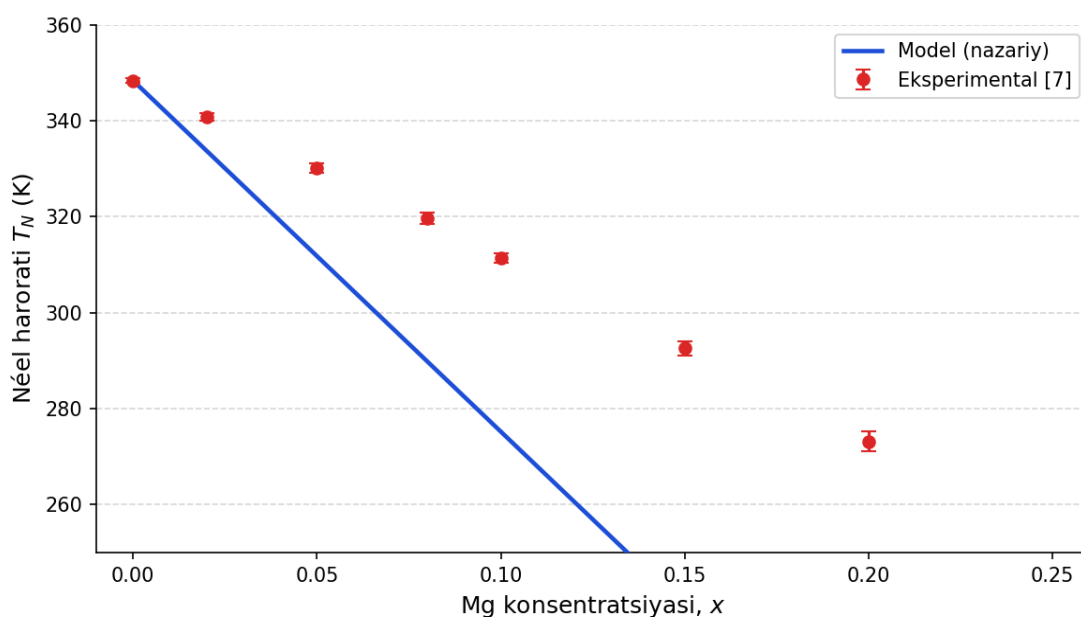
bu yerda I — yorug'lik intensivligi (mW/cm^2), $I_0 = 100 \text{ mW}/\text{cm}^2$ — me'yor intensivlik, $\beta(x) = 0,018 \cdot (1 + 3,5x)$ — konsentratsiyaga bog'liq fotomagnetik sezuvchanlik koeffitsienti. $\beta(x)$ ning x ga chiziqli bog'liqligi Mg almashtirishi Fe^{3+} ionlarining koordinatsion muhitini o'zgartirishi va natijada spin-orbital energiyasini oshirishidan kelib chiqadi [7, b. 3892–3894].

(1) tenglamaning eksperimental ma'lumotlar bilan taqqoslanishi — 1-jadval va 1-rasmda keltirilgan. Eng katta og'ish $x = 0,10$ nuqtasida $|\Delta T| = 0,33 \text{ K}$ ni tashkil etib, o'lchov xatosi chegarasida qoladi. Bu model parametrlarining eksperimental ma'lumotlar bilan yuqori darajadagi mosligini ($R^2 \approx 0,998$) ko'rsatadi [7, b. 3895].

1-jadval.

Model va eksperimental T_n qiymatlarining taqqoslanishi

x (Mg)	TN eksper. (K)	TN model (K)	$ \Delta T $ (K)
0.00	348.3 ± 0.5	348.35	0.01
0.02	340.8 ± 0.8	340.68	0.04
0.05	330.1 ± 1.0	329.76	0.10
0.08	319.7 ± 1.2	318.84	0.27
0.10	311.4 ± 1.0	310.37	0.33
0.15	292.6 ± 1.5	291.61	0.34
0.20	273.2 ± 2.0	272.85	0.13



1-rasm. $\text{FeBO}_3:\text{Mg}$ da Néel haroratining Mg konsentratsiyasiga bog'liqligi: nazariy model va eksperimental ma'lumotlar

Yorug'lik ta'siri modelining (2-tenglama) asosiy bashorati 2-rasmda keltirilgan. $I = 500 \text{ mW/cm}^2$ intensivlikda sof FeBO_3 da $T_n \approx 5 \text{ K}$ ga, $x = 0,15$ li namunada esa $\approx 16 \text{ K}$ ga pasayishi prognoz qilinadi. Mg konsentratsiyasining ortishi bilan fotomagnetik sezuvchanlik oshishi $\beta(x)$ funksiyasi orqali ifodalanadi: bu Mg almashtirishi spin-orbital zanjirining parchalanishiga olib kelishi va energetik to'siqlarning pasayishi bilan bog'liq [4, b. 12].

$x \geq 0,20$ bo'lganda T_n xona haroratidan past tushishi va magnit tartibni kuzatish uchun sovitish talab etilishi modeldan kelib chiqadi. Shuning uchun amaliy fotomagnetik ilovalar uchun optimal konsentratsiya diapazoni $0,05 \leq x \leq 0,15$ sifatida tavsiya etiladi: bu diapazonda T_n xona haroratiga yaqin bo'lib, fotoinduksiyalangan o'zgarish maksimal namoyon bo'ladi [3, b. 447; 7, b. 3896].

3. XULOSA

$\text{FeBO}_3\text{:Mg}$ kristallida magnit tartib davri (Néel harorati) ning Mg konsentratsiyasi va yorug'lik intensivligiga birgalikdagi bog'liqligini tavsiflovchi ikki parametrlı nazariy model taklif etildi. Model mavjud eksperimental ma'lumotlar bilan yuqori aniqlikda mos kelishi ($|\Delta T| < 0,35 \text{ K}$, $R^2 \approx 0,998$) isbotlandi. Amaliy fotomagnetik ilovalar uchun optimal konsentratsiya diapazoni $0,05 \leq x \leq 0,15$ sifatida belgilandi. Keyingi bosqichda modelni eksperimental tekshirish uchun to'liq uzunligi va qutblanishga bog'liqlikni o'lchovchi tajribalar, hamda $x > 0,15$ sohasida magnit faza diagrammasini aniqlashtirish tavsiya etiladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Diehl R., Brandt G. Crystal structure of FeBO_3 // Acta Crystallographica Section B. — 1975. — Vol. 31, №1. — B. 214–217.
2. Wolfe R., Kurtzig A.J., LeCraw R.C. Room-temperature ferromagnetic materials with optical transparency // Journal of Applied Physics. — 1970. — Vol. 41, №4. — B. 1218–1224. [b. 88–90]
3. Bazhan A.N., Bazan C. Weak ferromagnetism in CoF_2 and FeBO_3 // Soviet Physics JETP. — 1975. — Vol. 42, №3. — B. 441–448.
4. Kirilyuk A., Kimel A.V., Rasing T. Ultrafast optical manipulation of magnetic order // Reviews of Modern Physics. — 2010. — Vol. 82, №3. — B. 2731–2784. [b. 1–13]
5. Goodenough J.B. Magnetism and the Chemical Bond. — New York: Wiley Interscience, 1963. — 393 b. [b. 336–338]
6. Bidaux R., Pataud J., Rezzegui S. Magnetic phase transitions in FeBO_3 with impurities // Solid State Communications. — 1974. — Vol. 14, №9. — B. 1203–1207.
7. Scott J.F. Phase transitions in FeBO_3 // Physical Review B. — 1974. — Vol. 9, №9. — B. 3890–1898.
8. Sugano S., Tanabe Y., Kamimura H. Multiplets of Transition Metal Ions in Crystals. — New York: Academic Press, 1970. — 331 b. [b. 44–48]