

**O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY VA O'RTA MAXSUS
TA'LIM VAZIRLIGI**

SAMARQAND DAVLAT UNIVERSITETI

Qo'l yozma huquqida

UDK: 538.214.538.222

JO'LANOV XASAN KOMIL O'G'LI

**Kamyob Yer metallarining alyumini, indiy[KYeM-(Al, In)] bilan
birikmalarida paramagnit Kyuri temperaturasi va almashinuv o'zaro
ta'sir orasidagi bog'lanishni yarim empirik o'rganish**

**Mutaxassislik: 5A140204- "Kondensatsiyalangan muhitlar
fizikasi va materialshunoslik (magnit hodisalar fizikasi va magnit
materiallari)"**

**MAGISTR
AKADEMIK DARAJASINI OLIH UCHUN YOZILGAN
D I S S E R T A T S I Y A**

Ish ko'rib chiqildi va himoyaga qo'yildi.

**«Umumiy fizika» kafedrası mudiri,
fizika – matematika fanlari nomzodi,**

dots. R.M. Rajabov _____

«____» _____ 2017 yil

Ilmiy rahbar: fizika –

**matematika fanlari nomzodi,
dots. X.O. Shakarov**

«____» _____ 2017 yil

Samarqand – 2017

MUNDARIJA

KIRISH.....	3
I-BOB. KYeM VA ULARNING ALYUMINIY HAMDA INDIY BILAN BIRIKMALARI KONDENSIRLANGAN HOLATINING ELEKTRON TUZILISHI VA MAGNIT XOSSALARIGA OID TADQIQOTLARNING HOLATI.....	7
1.1. Kamyob Yer metallarining(KYeM) elektron tuzilishi.....	7
1.2. KYeM uchun paramagnetizmning Van-Flek nazariyasi.....	11
1.3. KYeMda amal qiladigan bilvosita almashinuv o'zaro ta'sir nazariyasi....	14
I-bobga doir xulosalar.....	17
II-BOB. KYeM-NOMAGNIT METALL SISTEMASIDAGI PARAMAGNIT KYURI TEMPERATURASI VA BILVOSITA ALMASHINUV O'ZARO TA'SIRI ORASIDAGI BOG'LANISH	18
2.1. Og'ir KYeM-(Al,In) sistemalarining tajribaviy paramagnit Kyuri temperaturasining qiymatlarini aniqlash.....	18
2.2. KYeM-(Al,In) sistemalarida amal qiladigan bilvosita almashinuv o'zaro ta'sirni o'rganishning yarim empirik usuli.....	35
II-bobga doir xulosalar.....	38
III-BOB. OG'IR KYeM-(Al,In) SISTEMALARIDA AMAL QILADIGAN BILVOSITA ALMASHINUV O'ZARO TA'SIRNI YARIM EMPIRIK USULDA O'RGANISH NATIJALARI VA ULARNING MUHOKAMASI.....	39
3.1. Toza og'ir KYeMda (KYeM=Gd,Tb,Dy,Ho,Er,Tm) amal qiladigan bilvosita almashinuv o'zaro ta'sir parametrini hisoblash	39
3.2. Og'ir KYeM-Al (OKYeM=Gd, Dy,Ho,Er) sistemalaridagi birikmalarda amal qiladigan bilvosita o'zaro ta'sir parametrini hisoblash.....	42
3.3. Og'ir KYeM-In (OKYeM=Gd,Tb,Dy,Ho,Er,Tm) sistemalaridagi birikmalarda amal qiladigan bilvosita o'zaro ta'sir parametrini hisoblash....	48
III-bobga doir xulosalar.....	55
XULOSALAR.....	56
FOYDALANGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI.....	57

KIRISH

Mavzuning asoslanishi va dolzarbligi. Bugungi kunda kamyob Yer metallari(KYeM) va ular asosidagi birikmalarning fizik xossalarini shu jumladan magnit xossalarini o'rganishga bo'lgan qiziqish ularning elektron tuzilishining o'ziga xosligi va amalda keng qo'llanilishi bilan bevosita bog'liqdir. Bu ob'ektlarda kechikib to'ladigan 4f – elektron qobiqning mavjud bo'lishi, ularning kinetik, optik, magnit va boshqa fizikaviy, kimyoviy xossalarining o'ziga xosligini aniqlaydi. Ulardan doimiy magnitlar, transformator va drossellarning o'zaklari tayyorlashda, axborotlarni yozishda va qayta eshittirish texnikasining xotirlash qismlari sifatida hamda boshqa o'ziga xos magnit xossali yangi magnit materiallari yaratishda keng qo'llaniladi. Bu ob'ektlarning fizik xossalarini o'rganish ilmiy jihatdan ham ahamiyatlidir. Chunki, bu ob'ektlardagi almashinuv o'zaro ta'sir tabiati hali to'la aniqlanmagan. Ularning o'ziga xos magnit xossalarini 4f - elektronlar bilan bog'lab tushuntiradigan yangi nazariy modellar yaratilgan [1-4] va yaratilishi zarur.

Ilmiy va amaliy ahamiyatga ega bo'lgan bu masalani hal etish uchun ularning elektron, kristall va magnit tuzilishi haqida to'la ma'lumotga ega bo'lish kerak bo'ladi. Hozirgi kunda mavjud bo'lgan bunday ma'lumotlar yetarli emas. Ayniqsa, KYeMning nomagnit metallar bilan birikmalarning magnit xossalari haqidagi ma'lumotlar ularning magnit tartiblangan holati uchun yetarli darajada bo'la 4turib, magnit tartibsiz-paramagnit holati uchun, ya'ni qattiq va suyuq holatlarini qamraydigan yuqori temperaturalardagi ma'lumotlar bugungi kundagi adabiyotlarda kam uchraydi. Bu yuqori temperaturalarda magnit o'lchashlar tajribasini o'tkazishning qiyinchiliklari va olingan natijalarni talqin qiladigan tugal nazariyaning hali yo'qligi bilan bog'liqdir.

Ma'lumki, kechikib to'ladigan elektron qobiqli, shu jumladan 4f- qobiqli materiallarning magnit xossalari (qabul qiluvchanligi) shu qobiqning elektronlar bilan to'lish xususiyatlarini va bu elektronlarning kristall panjara tugunlarida o'troqlashish(lokalashish) darajasini bevosita o'zida aks ettiradi. Bundan tashqari,

magnit qabul qiluvchanlikning temperaturaga bog'lanishi[$\chi(T)$] natijalaridan foydalanib shu materiallarda amal qiladigan almashinuv o'zaro ta'sir energiyasi haqida ma'lumot olish mumkin. Bugungi kunda KYeM bilan nomagnit metallar orasidagi intermetallik birikmalarining paramagnit Kyuri temperaturasining tajribaviy qiymatlaridan foydalanib ularda amal qiladigan bilvosita almashinuv o'zaro ta'sirni o'rganishga bag'ishlangan ishlar yetarli emas.

Tadqiqotning maqsadi: Yuqorida aytilganlaridan kelib chiqqan holda ushbu magistrlik dissertatsiyasida og'ir KYeM(KYeM=Gd,Dy,Ho,Er) va ularning alyumini hamda indiy bilan birikmalarida amal qiladigan bilvosita almashinuv o'zaro ta'sirni yarim empirik usulda o'rganish.

Tadqiqotning vazifalari: 1. KYeMning elektron tuzilishi, KYeM paramagnetizmi uchun Van-Flek va bilvosita almashinuv o'zaro ta'sir nazariyalarini o'rganish;

2. Og'ir KYeM va ularning alyuminiy hamda indiy bilan birikmalarining magnit qabul qiluvchanligini qattiq va suyuq holatlarda o'lchash bilan bog'liq ishlarni o'rganib, ulardan paramagnit Kyuri temperaturasining tajribaviy qiymatlarini aniqlash;

3. KYeM va ularning nomagnit metallar bilan birikmalarida amal qiladigan bilvosita almashinuv o'zaro ta'sir parametrini hisoblashning yarim empirik usulini o'rganish;

4. Toza og'ir KYeM va ularning alyuminiy hamda indiy bilan birikmalarining tajribaviy paramagnit Kyuri temperaturasi qiymatlaridan foydalanib ularda amal qiladigan bilvosita almashinuv o'zaro ta'sir parametrini yarim empirik usulda hisoblash;

5. Ishda olingan natijalarni chuqur tahlil qilib tegishli xulosalar chiqarish.

Tadqiqod obyekti: KYeM-Al(KYeM=Gd,Dy,Ho,Er) va KYeM-In (KYeM=Gd,Tb,Dy,Ho,Er,Tm) binar sistemalarida xosil bo'ladigan intermetallik birikmalar.

Tadqiqot pretmeti: KYeM-Al(KYeM=Gd,Dy,Ho,Er) va KYeM-In (KYeM=Gd,Tb,Dy,Ho,Er,Tm) binar sistemalarida hosil bo'ladigan intermetallik birikmalarda amal qiladigan bilvosita o'zaro ta'sir parametirini ularning paramagnet Kyuri temperaturasiining tajribaviy qiymatlaridan foydalanib hisoblash.

Tadqiqod usuli: KYeM va ularning nomagnit metallar bilan birikmalarda amal qiladigan bilvosita o'zaro tasirni o'rganishning yarim emperik usuli.

Tadqiqodning ilmiy yangilidi: Bu magistrlik dissertatsiyasida KYeM-Al (KYeM=Gd,Dy,Ho,Er) va KYeM-In (KYeM=Gd,Tb,Dy,Ho,Er,Tm) binar sistemalarida amal qiladigan bilvosita almashinuv o'zaro ta'sirni yarim empirik usul bilan birinchi marta o'rganildi.

Tadqiqoning nazariy va amaliy ahamiyati: Ushbu magistrlik dissertatsiyasida olingan natijalar KYeMning nomagnit metallar bilan hosil qiladigan birikmalarida amal qiladigan ilvosita o'zaro ta'sir nazariyasini yuqori temperaturalarda takomillashtirishga va ulardan yangi magnit materiallari yaratishga xizmat qiladi.

Himoya qilinadi: 1. KYeM va uning nomagnit metallar bilan birikmalarida amal qiladigan bilvosita almashinuv o'zaro ta'sirini o'rganishning yarim empirik usuli;

2. Toza og'ir KyeM, KYeM-Al(KYeM=Gd,Dy,Ho,Er) va KYeM-In (KYeM=Gd,Tb,Dy,Ho,Er,Tm) binar sistemalaridagi birikmalarning tajribaviy paramagnet Kyuri temperaturasi qiymatlaridan foydalanib, ularda amal qiladigan bilvosita almashinuv o'zaro ta'sirning parametrini hisoblash bo'yicha olingan natijalar.

Bitiruv ishning tuzilishi va hajmi. Malakaviy bitiruv ishi kirish, uchta bob, xulosalar va 41 ta nomdagi ilmiy adabiyotlar ro'yxatidan tashkil topgan bo'lib, 62 bet lotin alifbosida, bosma shaklda bayon qilingan. Uning mazmuni 16 ta rasm va 10 ta jadval yordamida ko'rgazmali bayon qilingan.

Ishning qisqacha mazmuni: Kirish qismida dissertatsiya mavzusining dolzarbligi asoslangan; tadqiqot obekti, predmeti va usuli, tadqiqotning maqsadi va vazifalari, ilmiy yangiligi, nazariy va amaliy ahamiyati hamda ishning tuzilishi va hajmi bayon qilingan. Bob oxirida tegishli xulosalar qilingan.

Birinchi bobda dissertatsiya mavzusiga oid, bugungi kunda adabiyotlarda mavjud bo'lgan, nazariy va tajribaviy ishlarga (KYeMning elektron tuzilishi, KYeM uchun paramagnetizmning Van-Flek va bilvosita almashinuv o'zaro ta'sir nazariyalari bayon qilingan. Bob oxirida tegishli xulosalar qilingan.

Ikkinchi bobda KYeM va KYeM-(Al,In) binar sistemalaridagi birikmalar magnit qabul qiluvchanligining temperaturaga bog'lanishini va shu bog'lanishdan foydalanib paramagnit Kyuri temperaturasini aniqlash natijalari va shu ob'ektlarda amal qiladigan bilvosita almashinuv o'zaro ta'sirni yarim empirik o'rganish usuli bayon qilingan. Bob oxirida tegishli xulosalar qilingan.

Uchinchi bobda toza KYeM va KYeM-(Al,In) binar sistemalaridagi birikmalarda amal qiladigan bilvosita almashinuv o'zaro ta'sir parametrlarini yarim empirik usulda hisoblash va ularni tushuntirish natijalari bayon qilingan. Hisoblash natijalari tegishli jadvallar va grafiklar ko'rinishida ko'rgazmali tarzda rasmiylashtirilgan. Bob oxirida tegishli xulosalar qilingan.

Dissertatsiya ishining oxiridagi xulosalarda ishda olingan natijalar umumlashtirilgan.

**I-BOB. KYeM VA ULARNING ALYUMINIY HAMDA INDIY BILAN
BIRIKMALARI KONDENSIRLANGAN HOLATINING ELEKTRON UZILISHI VA
MAGNIT XOSSALARIGA OID TADQIQOTLARNING HOLATI**

1.1. Kamyob Yer metallarining(KYeM) elektron tuzilishi.

Kechikib to'ladigan elektron qobig'larga (3d,4d,5d,6d,4f,5f) ega bo'lgan atomlardan tashkil topgan metallar o'tkazuvchan metallar nomi bilan ataladi. KYeM ga, 4f-elektron qobig'i kechikib to'ladigan, lantandan (z=57) boshlab lyutetsiygacha (z=71) bo'lgan, lantanoyidlar ham deb ataladigan elementlar kiradi.

KYeM atomlarida elektronlarning qobiqlar bo'yicha joylashishi, 4f,5d va 6s-qobiqlarni hisobga olmaganda, xuddi ksenon atomidagidek bo'ladi. KYeM atomlarida 4f-gacha bo'lgan ichki qobiqlar elektronlar bilan to'lgan bo'lib, ular quyidagi elektron konfiguratsiyaga egadir: $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^6 4d^{10}$; tashqi elektron qobiqlar esa, quyidagi elektron konfiguratsiyasi ega: $4f^n 5s^2 5p^6 5d^{0-1} 6s^2$ [1-4]. Bundagi n-4f qobiqdagi elektronlar soni bo'lib, n=0 (La) dan n=14 (Lu) gacha o'zgaradi.

Kristal holatda KYeM atomlari uch karra ionlashgan holatda, kristall panjara tugunlarida joylashadilar. $5d^1 6s^2$ -qobiqlardagi elektronlar, kristall panjara hosil bo'lish jarayonida, panjara ichida umumlashgan, ya'ni elektr tok hosil qilishda ishtirok etadigan elektronlarga aylanadi. Bu metallarda 4f-qobig'ning effektiv radiusi (r_{4f}) kristall panjara tugunlari orasidagi eng qisqa masofa – a panjara davridan ancha kichikdir, ya'ni, $r_{4f} \gg a/2$. Ulardagi 4f-qobiqlardagi elektronlar kristall panjara tugunida o'troqlashgan bo'lib, tashqi $5s^2 5p^6$ -to'lgan qobiqlar bilan atrofdagi ionlar maydonidan ekranlashgandir. Shuning uchun ham 4f-elektronlar KYeM da xuddi erkin atom va ionlardek energetik holatda bo'ladi. KYeM ning "Erkin ion" modelining mohiyati shundan iboratdir. KYeM uchun bu modelning o'ziga xos tomoni shundaki, birinchidan, 4f-elektronning tugunlararo bevosita ta'siri (f-f) mavjud emas deb qaraladi; ikkinchidan esa, tugunlardagi 4f-elektronlar

orasida spin-orbital (*) o`zaro ta`sir deb ataladigan ta`sir kuchli bo`lib, bunda 4f-elektronning S-spin va L-orbital momentlari Russel-Saunders bog`lanishi bo`yicha qo`shilib, ionning to`la mexanik momenti – Jxundning uchinchi qoidasiga asosan topiladi: 4f-qobiq yarmigacha to`lganda (yengil KYeMuchun)  $J=L-S$ , yarmidan ortig`iga to`lganda (og`ir KYeMuchun) $J=L+S$ kabi topiladi.

Spin-orbital bog`lanish energiyasi 4f-elektronlarning birinchi uyg`ongan va asosiy holat energiyalarining farqi(ΔE) orqali aniqlanadi. KYeM ionlaridagi eng past energiya sathlarining joylashish tartibi bu elementlarning magnit xossalarini belgilaydi. Energetik sathlar haqidagi malumotlar esa fluorestent va infraqizil nurlarning optik yutilish spektridan tajribada aniqlanadi. Nazariy jihatdan energetik sathlar sxemasi Gaudsmit [5] va Landening intervallar qoidasi [6] yordamida aniqlanadi. Gaudsmit formulasi bo`yicha ΔE quyidagicha aniqlanadi:

$$\Delta E = \frac{8\pi^4 m e^2}{c^3 n^5 h^3 l} \frac{2L+1}{l+1} \frac{2L+1}{2L+1} (Z - \sigma)^4 . \quad (1.1)$$

Bunda, ΔE -asosiy va uyg`ongan sathlar energiyalarining farqi, e -elektronning zaryadi, m-elektronning massasi, h-Plank doimiysi, n - va l – mos ravishda, bosh va orbital kvant sonlari, L-4f-qobiqdagi elektronlarning to`la orbital kvant soni, z-atomning tartib nomeri, σ -ekranlash doimiysi.

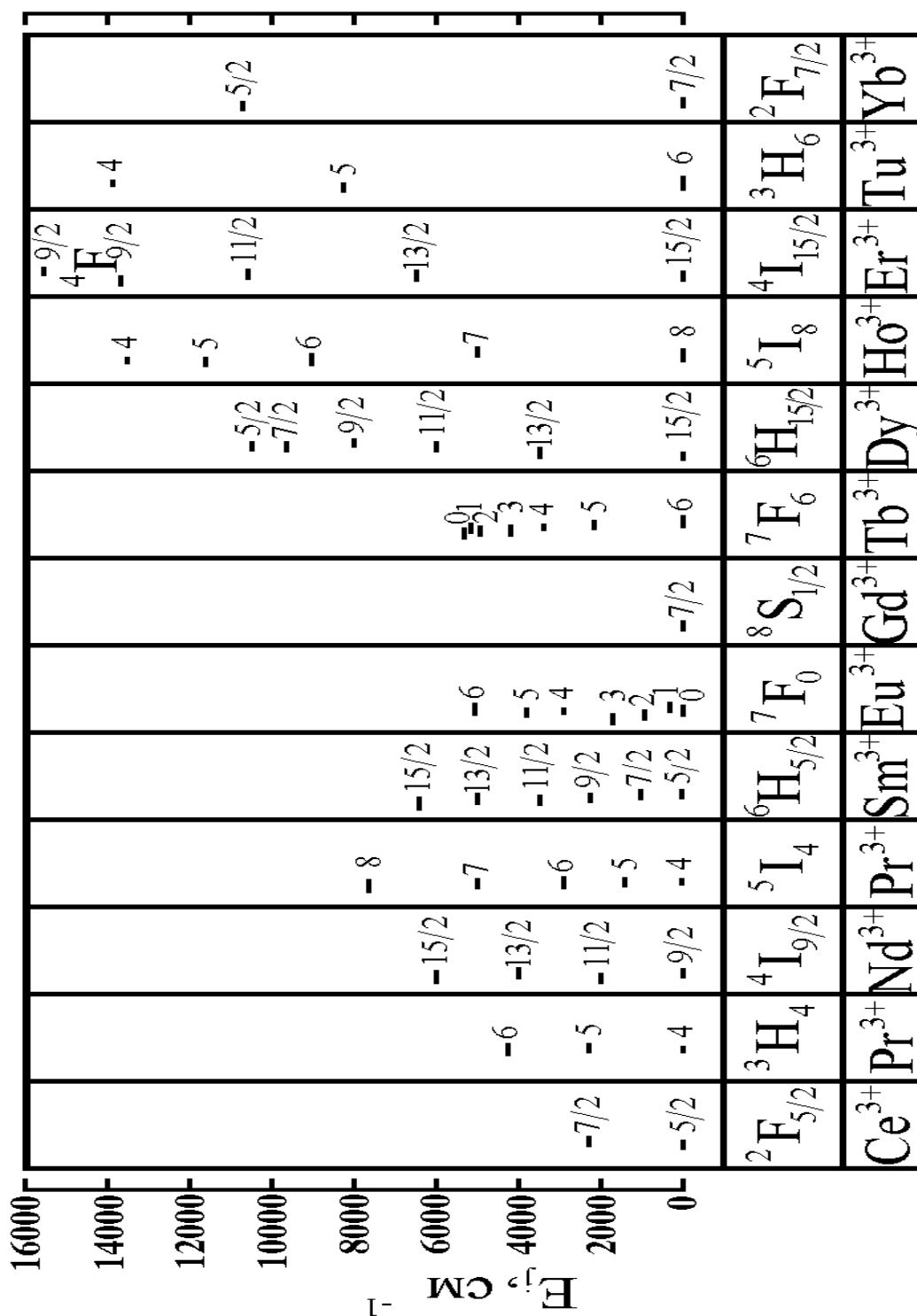
Landening intervallar qoidasining mohiyati quyidagicha:

$$E_J - E_{J-1} = A E_J . \quad (1.2)$$

Bunda, $E_J - J$ ga mos energetik sath energiyasi, A – spin orbital bog`lanish doimiysi.

(1.1) ifodada $35 \leq 36$ deb qabul qilib va (1.2) ifoda bilan hisoblash natijalari (1.1.rasm) va spektrokopik tajribalarning natijalari shuni ko`rsatadiki, og`ir KYeM uchun $E \geq 1000 \text{ sm}^{-1}$. Issiqlik energiyasi (kT) 300K da $208,5 \text{ sm}^{-1}$ ga, 1500K da esa $1042,25 \text{ sm}^{-1}$ ga tengdir. Bu esa og`ir KYeM uchun $\Delta E \gg kT$ shart bajariladi deb

aytishga imkon beradi. KYeM atomlari va ionlarining elektron tuzilishi haqidagi malumotlar 1.1 – jadvalda keltirilgan.



1.1-rasm. KYeM³⁺ erkin ionlaridagi 4f-elektronlarning energetik sathlari

1.1.jadval

KYeM atomlari va ionlarining elektron tuzilishi

Z	Element	Atomlar uchun		K ⁺ YeM ³⁺ ionlari uchun					
		Elektron konfiguratsiya	Term	Elektron konfigur-ya	S	L	J	Term	E _{J+1} , sm ⁻¹
57	La	$4f^0 5s^2 5p^6 5d^1 6s^2$	$^2D_{3/2}$	$4f^0 5s^2 5p^6$	0	0	0	1S_0	-
58	Ce	$4f^1 5s^2 5p^6 5d^1 6s^2$	3H_4	$4f^1 5s^2 5p^6$	1/2	3	5/2	$^2F_{5/2}$	2253
59	Pr	$4f^2 5s^2 5p^6 6s^2$	$^6I_{9/2}$	$4f^2 5s^2 5p^6$	1	5	4	3H_4	2171
60	Nd	$4f^3 5s^2 5p^6 6s^2$	4I_4	$4f^3 5s^2 5p^6$	3/2	6	9/2	$^4I_{9/2}$	2028
61	Pm	$4f^4 5s^2 5p^6 6s^2$	$^6H_{5/2}$	$4f^4 5s^2 5p^6$	2	6	4	5I_4	-
62	Sm	$4f^5 5s^2 5p^6 6s^2$	7F_0	$4f^5 5s^2 5p^6$	5/2	5	5/2	$^6H_{5/2}$	1100
63	Eu	$4f^6 5s^2 5p^6 6s^2$	$^8S_{7/2}$	$4f^6 5s^2 5p^6$	3	3	0	7F_0	350
64	Gd	$4f^7 5s^2 5p^6 5d^1 6s^2$	9D_2	$4f^7 5s^2 5p^6$	7/2	0	7/2	$^8S_{7/2}$	-
65	Tb	$4f^8 5s^2 5p^6 5d^1 6s^2$	$^8H_{17/2}$	$4f^8 5s^2 5p^6$	3	3	6	7F_6	2101
66	Dy	$4f^9 5s^2 5p^6 6s^2$	5I_8	$4f^9 5s^2 5p^6$	5/2	5	15/2	$^6H_{15/2}$	3200
67	Ho	$4f^{10} 5s^2 5p^6 6s^2$	$^8I_{15/2}$	$4f^{10} 5s^2 5p^6$	2	5	8	5I_8	5050
68	Er	$4f^{11} 5s^2 5p^6 6s^2$	3H_6	$4f^{11} 5s^2 5p^6$	3/2	6	15/2	$^4I_{15/2}$	8000
69	Tm	$4f^{12} 5s^2 5p^6 6s^2$	$^2F_{7/2}$	$4f^{12} 5s^2 5p^6$	1	5	6	3H_6	8250
70	Yb	$4f^{14} 5s^2 5p^6 6s^2$	1S_0	$4f^{14} 5s^2 5p^6$	1/2	3	7/2	$^2F_{7/2}$	10300

71	Lu	$4f^{14}5s^25p^65d^16s^2$	$^{22}D_{3/2}$	$4f^{14}5s^25p^6$	0	0	0	1S_0	-
----	----	---------------------------	----------------	-------------------	---	---	---	---------	---

1.2. KYeM uchun paramagnetizmning Van-Flek nazariyasi.

Ionlardagi kechikib to'ladigan elektron qobiqdagi elektronlarning energetik sathlari energiyasi E-ni bilgan holda Van-Flek tomonidan ishlab chiqilgan paramagnetizmning kvant-mexanik nazariyasi natijalaridan [1,7,8] foydalanib, shunday ionlar sistemasidagi paramagnit qabul qiluvchanlikning temperaturaga bog'liqligini hisoblash mumkin.

Sistema og'ir KYeM ionlaridan tashkil topgan deb faraz qilaylik. Sistemadagi har bir ionning asosiy va birinchi uyg'ongan holat energiyasi farqi issiqlik energiyasidan katta bo'lganda ($\Delta E \gg k_B T$) Van-Flek nazariyasi shu sistemaning solishtirma magnit qabul qiluvchanligi uchun quyidagi ifodani beradi:

$$\chi = \frac{N_A}{M} \frac{g_J^2 \mu_B^2 J(J+1)}{3k_B T} + \frac{N_A}{M} \alpha_J, \quad (1.3)$$

bu yerda: N_A -Avagadro soni; M-berilgan KYeM ning atom massasi; k_B -Boltsman doimiysi; T-Absolyut temperature; μ_B -Bor magnetoni; g_J -Lande sektori

Lande sektori quyidagicha aniqlanadi:

$$g_J = 1 + \frac{S(S+1) + J(J+1) - L(L+1)}{2J(J+1)} \quad (1.4)$$

(1.3) dagi ikkinchi qo'shiluvchi temperaturaga bog'liq bo'lgan Van-Flek paramagnetizmi. Undagi α_J quyidagicha aniqlanadi:

$$\alpha_J = \frac{\mu_B^2}{6(2J+1)} \left[\frac{F_{J+1}}{E_{J+1}} - \frac{E_J}{E_J - E_{J-1}} \right] \quad (1.5)$$

Bu ifodadagi F quyidagicha aniqlanadi:

$$F_J = \frac{1}{3} [(S + L + 1)^2 - J^2][J^2 - (S - 1)^2] \quad (1.6)$$

(1.3) ifodadagi birinchi qo`shiluvchi magnit qabul qiluvchanlikning temperaturaga bog`liq qismini $\chi(T)$ aniqroq qilib aytganda KYeM ning kristall panjarasi tugunlarida o`rtoqlashgan 4f-qobiq elektronlarining magnit qabul qiluvchanligini, ikkinchi qo`shiluvchi $\frac{N_A}{M} \alpha_J = \chi_0$ temperaturaga bog`liq bo`lmagan qismini ifodalaydi. Demak (1.3) ifodadan ko`rinadiki  $\Delta E \gg k_B T$  shart bajarilganda yuqori temperatura va kuchsiz magnit maydonda ( $\frac{\mu_B H}{k_B T} \ll 1$ ) KYeM ning erkin ionlari sistemasining magnit qabul qiluvchanligi, ionlar asosiy holatining to`la mexanik moment kvant soni J ga temperaturasi T bilan aniqlanar ekan. $\chi_0 = \frac{N_A \alpha_J}{M} = 0$. Bo`lganda (1.3) ifoda quyidagi klassik Xund formulasiga aylanadi:

$$\chi = \frac{N_A}{M} g_J^2 J(J+1) \mu_B^2 / 3k_B T. \quad (1.7)$$

Agar

$$C = \frac{N_A}{M} g_J^2 J(J+1) \mu_B^2 / 3k_B = \frac{N_A \mu_{eff}^2}{M 3k_B} \quad (1.8)$$

belgilash kiritilsa, (1.7) ifoda Kyuri imperik qonuninig analitik ifodasiga aylanadi:

$$\chi = \frac{C}{T}. \quad (1.9)$$

(1.8) ifodada belgilangan μ_{eff} kattalik

$$\mu_{eff} = g_J [J(J+1)]^{1/2} \mu_B \quad (1.10)$$

KYeM erkin ioni effektiv magnit momentining nazariy qiymatini aniqlaydi. Bu kattalikning tajribaviy qiymatini aniqlash uchun (1.8) dan quyidagi ifodani olish mumkin:

$$\mu_{eff}^{taj} = \frac{1}{\mu_B} \left[\frac{3k_B}{N_A} \right]^{1/2} (M * C)^{1/2} \mu_B = 2.83 (M * C)^{1/2} \mu_B. \quad (1.11)$$

KYeM ionlarning magnit o`zaro ta`siri, energiyaga proportsional bo`lgan, Kyurining paramagnit temperaturasi deb ataladigan, θ_p kattalikni (1.3) ifodaning birinchi hadi maxrajida $T \rightarrow (T - \theta_p)$ almashtira olish bilan hisobga olish mumkin

[1,5]. Buni hisobga olganda (1.9) ifoda Kyuri-Veyss qonunining analitik ifodasiga aylanadi:

1.2-jadval

KYem³⁺ ionlarining asosiy magnit xarakteristkalari[1-3,5,9]

KYem ³⁺	J (asosiy sath)	g _J	g _J [J(J+1)] ^{1/2} μ _B nazariy	μ _{eff} , μ _B Van-Flek para. bilan, nazariy	μ _{eff} , μ _B tajr.	E _{J+1} , sm ⁻¹
La	0	0	0	0	diam.	-
Ce	5/2	6/7	2,54	2,56	2,39	2253
Pr	4	4/5	3,58	3,62	3,60	2171
Nd	9/2	8/11	3,62	3,68	3,62	2028
Pm	4	3/5	2,68	2,83	-	-
Sm	5/2	2/7	0,84	1,55	1,54	1100
Eu	0	0	0	3,4	3,61	350
Gd	7/2	2	7,94	7,94	8,2	-
Tb	6	3/2	9,72	9,72	9,60	2101
Dy	15/2	4/3	10,63	10,63	10,5	3200
Ho	8	5/4	10,60	10,60	10,5	5050
Er	15/2	6/5	9,59	9,59	9,5	5000
Tm	6	7/6	7,57	7,57	7,2	8250
Yb	7/2	8/7	4,54	4,54	4,4	10300

Lu	0	0	0	0	diam.	-
----	---	---	---	---	-------	---

$$\chi = \frac{C}{T - \theta_p} \quad (1.12)$$

Bazi KYeM, xususan yengil kamyob yer metallari uchun χ_0 ning qiymatini hisobga olmasligi mumkin emasligini hisobga olsak (1.3) dan Kyuri-Veyss qonunining umumlashgan ifodasini olamiz:

$$\chi = \frac{C}{(T - \theta_p)} + \chi_0 \quad (1.12A)$$

KYeM ionlarining asosiy magnit xarakteristikalarini 1.2 – jadvalda keltirilgan.

1.3. KYeMda amal qiladigan bevosita almashinuv o'zaro ta'sir nazariyasi.

Kechikib to'ladigan qobiqqa(3d,4f) ega bo'lgan atomlardan, aniqrog'i, kristall panjara tugunlarida o'troqlashgan, ionlardan tashkil topgan metallarning kuchli magnit xossasini (magnit tartiblangan holatini) shu qobiq elektronlarning tugunlararo magnit o'zaro ta'siri hosil qiladi. Bunday o'zaro ta'sir **almashinuv o'zaro ta'sir** nomi bilan ataladi.

Kamyob Yer metallari(KYeM)(yoki lantanoidlar) kristall panjarasi tugunlarida, 4f – kechikib to'ladigan elektron qobiqqa ega bo'lgan, KYeM³⁺ ionlari joylashadilar.4f qobiq elektronlari tashqi 5s²5p⁶ qobiqlardagi elektronlar bilan tashqi ta'sirlardan himoyalangan bo'ladi.Shu sababga ko'ra ularning tugunlararo bevosita o'zaro ta'siri (f – f o'zaro ta'sir deb ham ataladigan o'zaro ta'sir) amalga oshmaydi. Demak ularning magnit tartiblangan holatini bunday bevosita o'zaro ta'sir hosil qila olmaydi. Tajribalar ko'rsatadiki, bunday holat past

temperaturalarda (masalan Gd uchun – 292 Kda) hosil bo'lar ekan. Bunday tartiblangan holatni $4f$ – qobiq elektronlarning o'tkazuvchan - $5d^1$ va $6s^2$ - elektronlar (ya'ni tugunlar orasida umumlashgan elektronlar) orqali o'zaro ta'siri hosil qilar ekan. Bunday o'zaro ta'sir $f - s - f$, qisqacha $s-f$ o'zaro ta'sir yoki **bilvosita almashinuv o'zarota'sir** deyiladi [1]. Bunday o'zaro ta'sir nazariyasi KYEM uchun birinchi marta Ruderman, Kittel, Kasuya va Iosidalar tomonidan ishlab chiqilgani uchun bilvosita almashinuv o'zaro ta'siri **RKKI o'zaro ta'siri**, bunga oid nazariya **RKKI nazariyasi** ham deb yuritiladi. Bu nazariya [1,10-12]da batafsil yoritilgan.

RKKI o'zaro ta'siri quyidagicha yuz beradi[2,4]: Kristal panjaraning, holati R_n -radius vektor bilan aniqlanadigan, ixtiyoriy n -tugunida joylashgan $4f$ elektronlar umumlashgan (“erkin” yoki o'tkazuvchan) elektronlarga ta'sir qiladi va ularni magnit qutblaydi. Bunday qutblangan umumlashgan elektronlar, o'z navbatida, panjaraning, holati R_m -radius vektor bilan aniqlanadigan, m -tugunida joylashgan $4f$ elektronlarga ta'sir qiladi. Natijada n va m -tugunlarda joylashgan $4f$ qobiqlardagi elektronlarning magnit momentlari tartibga keladi.

“Erkin” elektronlarning magnit qutblanishi quyidagicha yuz beradi: “erkin” elektronlar modelidan ma'lumki, odatdagi sharoitlarda umumlashgan elektronlarni, spini (magnit momenti) “yuqoriga” (+) va “pastga” (-) yo'nalgan elektronlarga bo'lish mumkin. Odatdagi sharoitlarda spini “yuqoriga” va “pastga” yo'nalgan elektronlarning konsentratsiyasi o'zaro teng bo'ladi. Shu sababli erkin elektronlar sistemasi magnitlanmagan bo'ladi. Ixtiyoriy n -tugunda joylashgan $4f$ -qobiq elektronlarining magnit ta'siri natijasida spini “yuqoriga” yo'nalgan erkin elektronlarning magnit momentlari shu $4f$ -qobiqning magnit momentiga parallel joylashadi. Spini “yuqoriga” yo'nalgan elektronlar tartiblangan magnit momentlarining yo'nalishi bo'ylab, spini “pastga” yo'nalgan elektronlarning magnit momentlari ham qisman (yoki to'la) tartibga keladi. Natijada erkin elektronlar sistemasining natijaviy magnit momenti no'ldan farqli bo'lib qoladi, ya'ni ular magnit qutblanadilar.

Ma'lumki, $T=\theta_p$ temperaturada KYeMning magnit tartibli holati buzilib magnit tartibsiz holat-paramagnit holatga o'tadi. Demak, KYeMning paramagnit Kyuri temperaturasi - θ_p RKKI o'zaro ta'sir energiyasining o'lchovi hisoblanadi. KYeM uchun θ_p ning tajribaviy qiymatini tushuntirish uchun quyidagi ifoda olingan[1,10-12]:

$$\theta_p = \frac{3\pi^2}{k_B \Omega^2 E_F} A_{sf}^2(0) (g_J - 1)^2 J(J+1) \sum_{n \neq m} F(2\vec{k}_F(\vec{R}_n - \vec{R}_m)), \quad (1.13)$$

bu yerda n – umumlashgan elektronlar konsentratsiyasi; $A_{sf}(0)$ - bilvosita s-f o'zaro ta'sir doimiysi (integrali); E_F -Fermi sathi energiyasi; k_F – Fermi sirtining to'lqin vektori; $(\vec{R}_n - \vec{R}_m)$ – n- va m-tugunlar orasidagi masofa;

$$F(x) = F(2\vec{k}_F(\vec{R}_n - \vec{R}_m)) = (x \cos x - \sin x) / x^4 \quad (1.14)$$

– Ruderman – Kittel funksiyasi. (1.13) ifodadagi

$$G = (g_J - 1)^2 J(J+1) \quad (1.15)$$

kabi aniqlanuvchi G – kattalikka de Jen faktori deyiladi. Bu ifodadagi g_J -Lande faktori deyilib quyidagicha aniqlanadi:

$$g_J = 1 + \frac{J(J+1) + S(S+1) - L(L+1)}{2J(J+1)}, \quad (1.16)$$

bundagi L , S va J 4f -qobiqdagi elektronlarning to'la orbital, to'la spin va to'la mexanik moment kvant sonlari.

KYeM dagi almshinuv o'zaro ta'sirni tafsiflovchi parametr(integral) ni hisoblash uchun RKKI nazariyasi doirasida quyidagi ifoda olingan[1,4,10]:

$$A = \frac{9\pi^2}{k_B \Omega^2 E_F} A_{sf}^2(0) \sum_{n \neq m} F(2\vec{k}_F(\vec{R}_n - \vec{R}_m)). \quad (1.17)$$

Buni hisobga olgan holda (1.13)dan quyidagi ifodani olamiz:

$$\theta_p = \frac{1}{3k_B} AG . \quad (1.18)$$

I-bobga doir xulosalar

Magistrlik dissertatsiyasida tadqiq qilinadigan obektlardagi bilvosita almashinuv o'zaro ta'siriga dahildor bo'lgan, ularning quyidagi xossalarini adabiyotlarda o'rganilganlik darajasiga sharh berilgan:

1. KYeMning elektron tuzilishi;
2. KYeM uchun paramagnetizmning Van-Flek va almashinuv o'zaro ta'sir nazariyalari.

**II-BOB. KYeM-NOMAGNIT METALL SISTEMASIDAGI PARAMAGNIT
KYURI TEMPERATURASI VA BILVOSITA ALMASHINUV O'ZARO TA'SIRI
ORASIDAGI BOG'LANISH**

**2.1. Og'ir KYeM–(Al,In) sistemalarining tajribaviy paramagnit Kyuri
temperaturasining qiymatlarini aniqlash.**

Toza og'ir KYeM(OKYeM) va ularning alyuminiy bilan birikmalarining magnit xossalari, ularning magnit tartiblangan holatida, ya'ni 300°Kdan past temperaturalarda bugungi kunda yetarli darajada o'rganilgan. Bu yo'nalishdagi ishlarga[2,4,13] ishlarda batafsil sharh berilgan.

Toza OKYeMning magnit xossalari 300 Kdan -1500 K yuqori temperaturalar oralig'ida, ularning faqat qattiq holatida [5,14-17] ishlarda o'rganilgan. Bu ishlarning natijalari bo'yicha toza OKYeMning $\chi(T)$ bog'lanishlari chiziqli tabiatga ega bo'lib (1.12) ko'rinishdagi chiziqli Kyuri – Veyss qonuniga bo'sinadi. $\chi^{-1}(T)$ tajribaviy bog'lanishlardan topilgan bitta OKYeM atomiga to'g'ri keladigan effektiv magnit momentning (μ_{eff}) qiymati, OKYeM³⁺ erkin ionining magnit momentiga juda yaqin bo'lib chiqqan. OKYeM uchun $\chi(T)$ bog'lanishlar §1.2da qaralgan Van-Flek nazariyasi bo'yicha tushuntirilgan.

OKYeM va alyuminiy orasidagi birikmalarining magnit xossalarini, ularning qattiq holati, erish jarayoni va suyuq holatini qamraydigan yuqori temperaturalar oralig'ida (20-1700°C) birinchi marta [18-23] ishlarda Faradey usuli bilan o'lchangan. Shu ishlarda OKYeM – Al (OKYeM=Gd,,Dy,Ho,Er) sistemalardagi toza OKYeM va ularning alyuminiy bilan hosil qiladigan birikmalarining $\chi^{-1}(T)$ bog'lanishlarini o'lchash va ularning muhokamasi bo'yicha [18-23] ishlarda olingan natijalar haqida qisqacha to'xtalamiz. Na'munalarning tajribaviy $\chi^{-1}(T)$ bog'lanishlar Gd-Al,Dy-Al,Ho-Al va Er-Al sistemalari uchun 2.1-1.4 rasmlarda keltirilgan. Bu rasmlardagi $\chi^{-1}(T)$ bog'lanishlarni tahlil qilish shuni ko'rsatadiki,

Gd-Al sistemasidagi na'munalardan boshqa barcha na'munalar uchun bu bog'lanishlar (2.2-2.4 rasmlar) qattiq holda ham, suyuq holda ham chiziqli tabiatga ega va ular (1.12) ko'rinishdagi Kyuri-Veyss qonuniga bo'ysinadi. Gd-Al sistemasidagi na'munalarning $\chi^{-1}(T)$ bog'lanishlari (2.1-rasm) (1.13) ko'rinishdagi umumlashgan Kyuri-Veyss qonuniga bo'ysinadi.

2.1-2.4 – rasmlardagi $\chi^{-1}(T)$ bog'lanishlarni tahlil qilish yana shuni ko'rsatadiki, toza KYeM va ularning alyuminiy bilan birikmalarining erish jarayonida, bu bog'lanishlarda kata o'zgarish yuz bermaydi. ErAl, ErAl₂ va ErAl₃ birikmalardan boshqa barcha na'munalarning erish jarayonida $\chi^{-1}(T)$ bog'lanishlarda sinish kuzatiladi; ErAl, ErAl₂ va ErAl₃ birikmalarning erish jarayonida esa, kuchsiz sakrash yuz beradi.

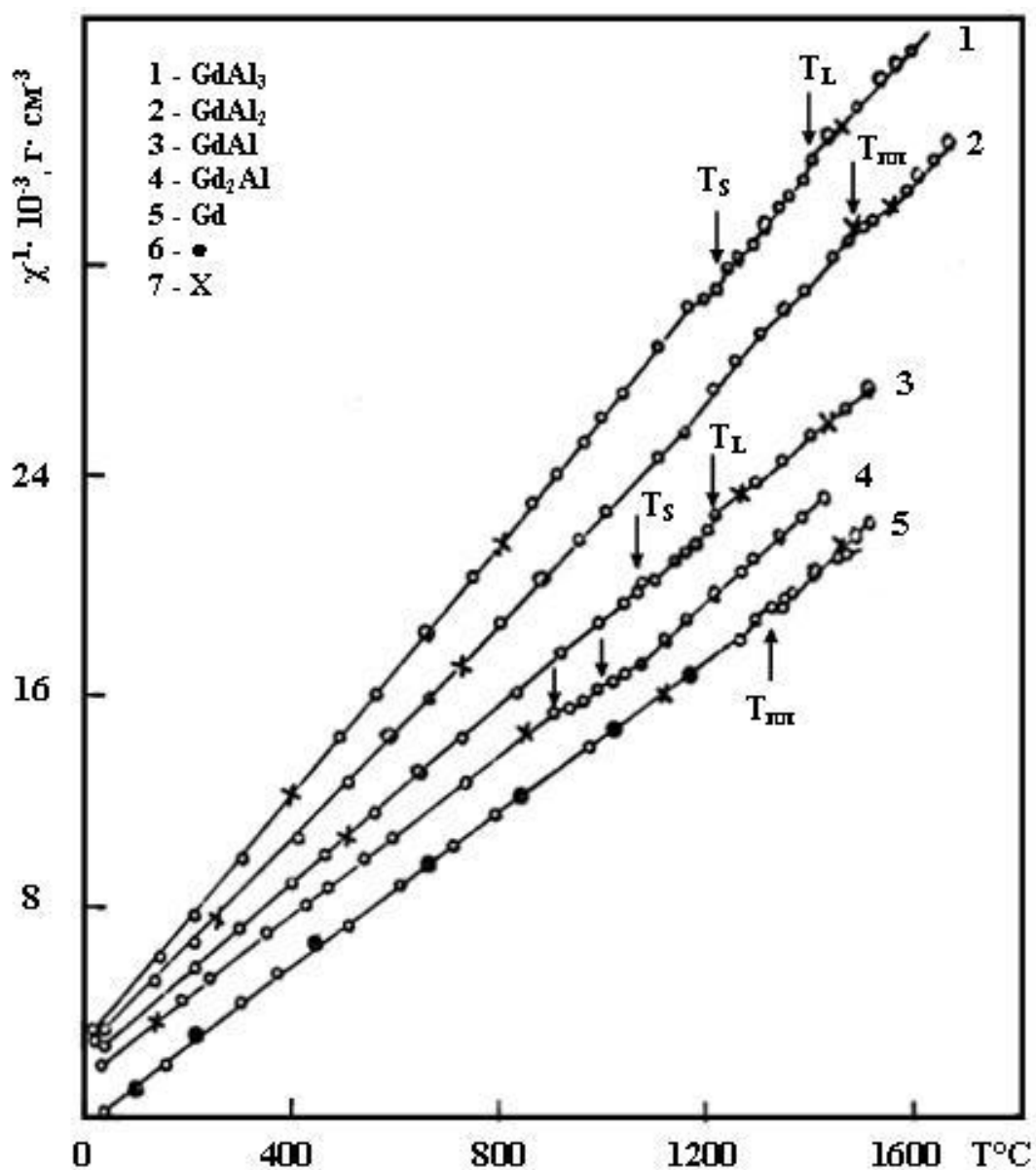
$\chi^{-1}(T)$ tajribaviy bog'lanishlardan, toza KYeM va ularning alyuminiy bilan birikmalarining asosiy magnit xarakteristikalarini – paramagnit Kyuri temperaturasi (θ_p), Kyuri-Veyss doimiysi (C) va bitta KYeM atomiga to'g'ri keladigan effektiv magnit moment (μ_{eff}) hisoblab topilgan.

Toza KYeM uchun μ_{eff} (1.11) ifoda bo'yicha hisoblangan. O'rganilgan birikmalarda bitta KYeM atomiga to'g'ri keladigan effektiv magnit moment quyidagi ifoda bo'yicha hisoblangan[24]:

$$\mu_{eff} = 2.83 \sqrt{C(M_1 + \frac{xM_2}{100-x})} \mu_B, \quad (2.1)$$

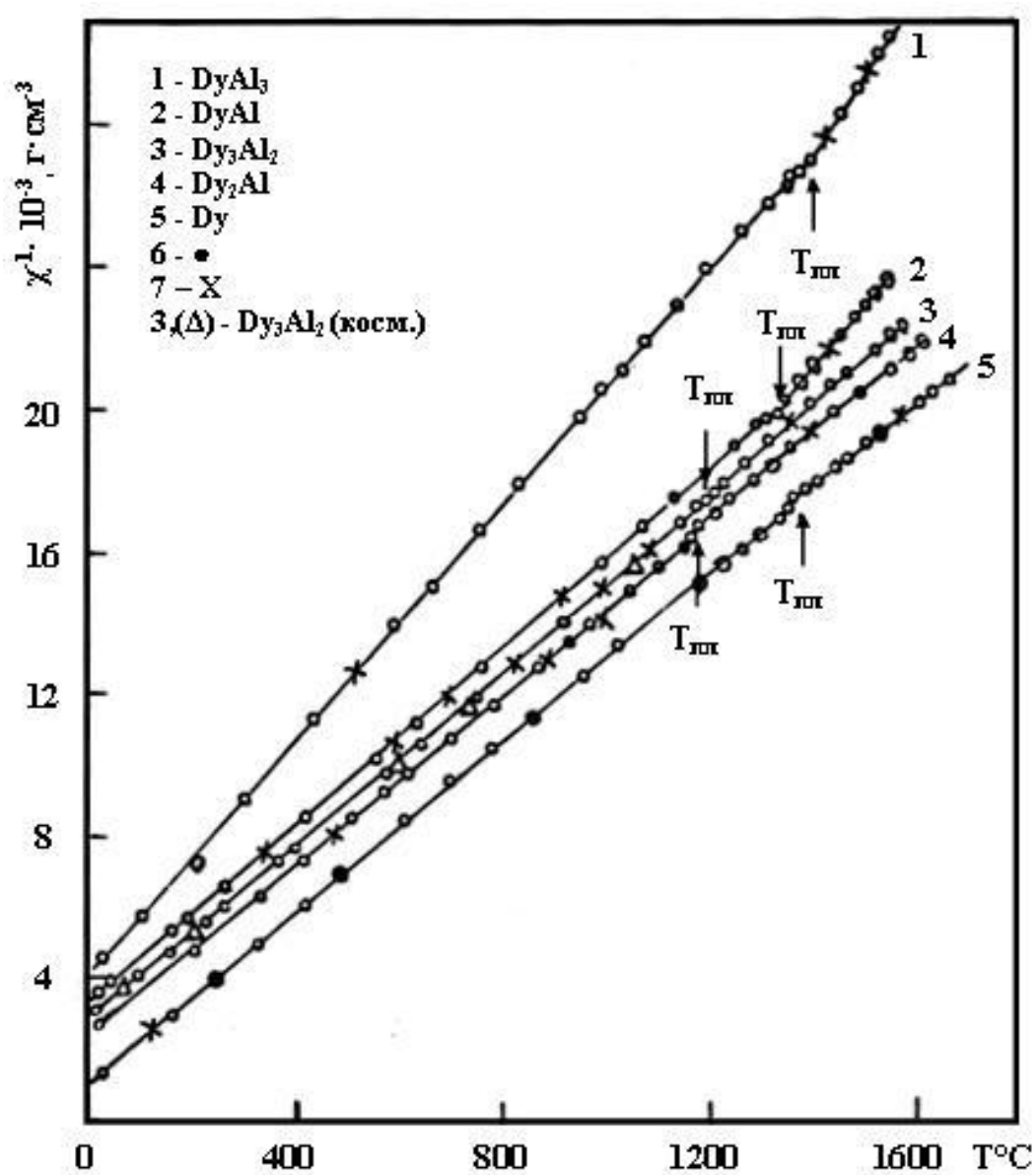
bundagi M_1 va M_2 – mos ravishda, KYeM va alyuminiyning atomar massalari; x – alyuminiyning at.%lardagi konsentratsiyasi. Hisoblash natijalari 2.1-jadvalda keltirilgan. 2.1-jadvalni tahlil qilib, toza KYeM va o'rganilgan na'munalardagi 4f-elektronlarning energetik holatiga, alyuminiy va yuqori temperatura deyarlik ta'sir ko'rsatmaydi. Bu dalilga tayanib o'rganilgan birikmalarda 4f – elektronlarning energetik holati erkin KYeM³⁺ ionlarining asosiy energetik holatiga yaqin bo'ladi degan muhim xulosaga kelingan. Shunga asoslanib o'rganilgan na'munalarning

$\chi(T)$ bog'lanishlarini, erkin ionlar modeliga asoslangan paramagnitizmning Van-Flek nazariyasi bo'yicha tushuntirilgan.



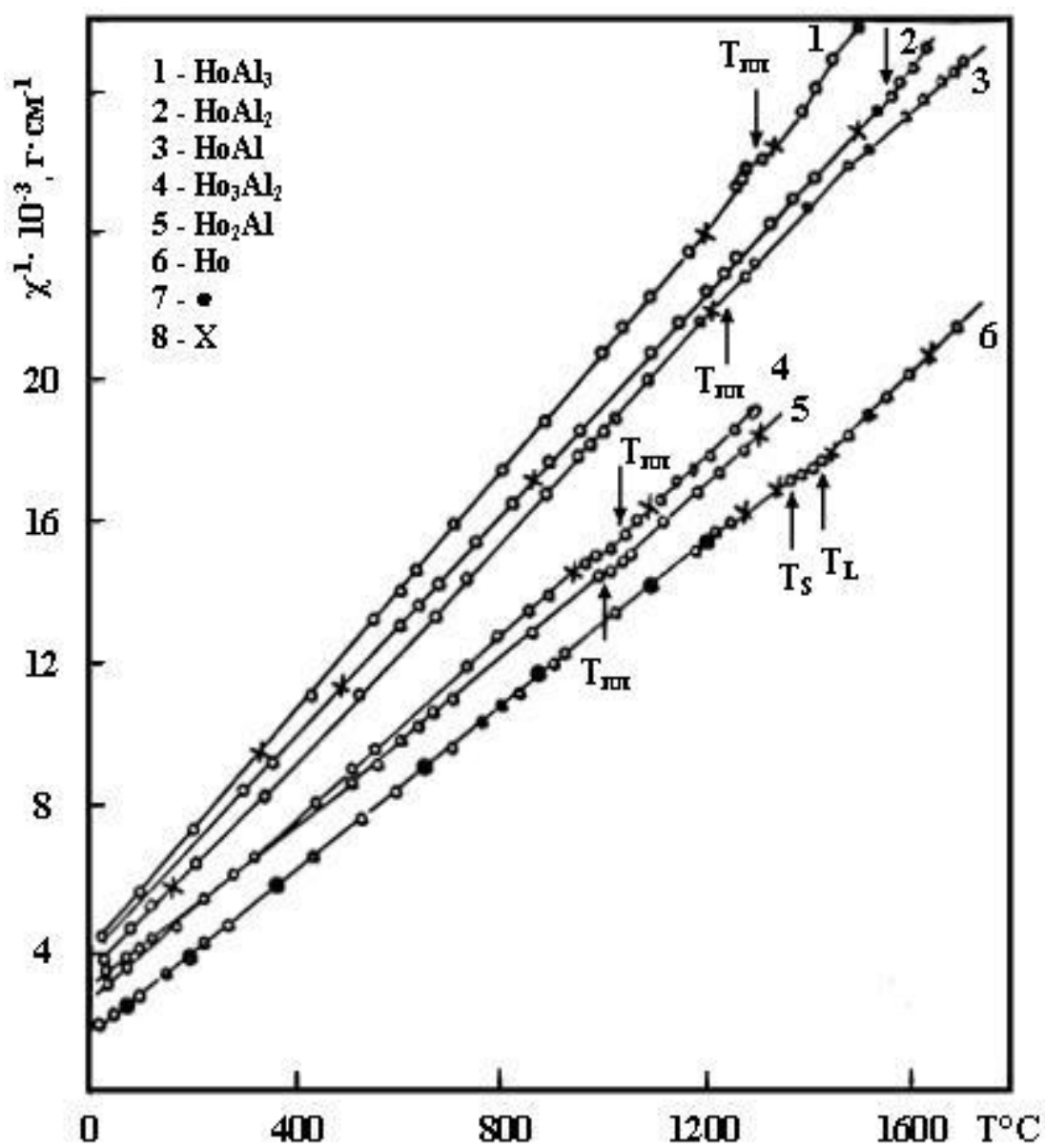
2.1-rasm Gd-Al sistemasi uchun $\chi^{-1}(T)$ bog'lanishlar. 6-[16]-ishning

natijasi, 7-sovutish jarayonida o'lgan.

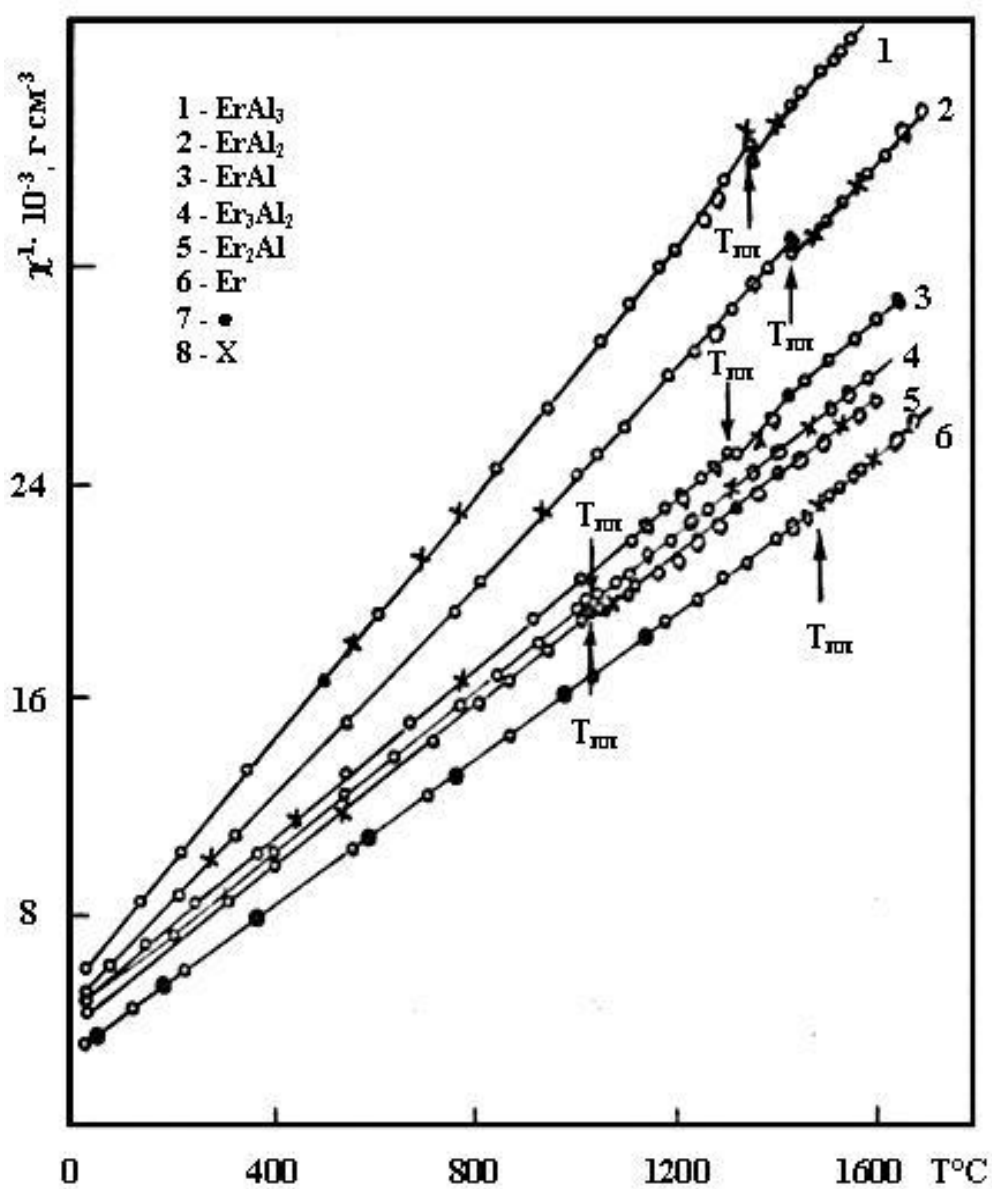


2.2-rasm Dy-Al sistemasi uchun $\chi^{-1}(T)$ bog'lanishlar. 6-[16]-ishning

natijasi, 7-sovutish jarayonida o'lchangan.



2.3-rasm Ho-Al sistemasi uchun $\chi^{-1}(T)$ bog'lanishlar. 7-[14]-ishning natijasi, 8-sovutish jarayonida o'lchangan.



2.4-rasm Er-Al sistemasi uchun $\chi^{-1}(T)$ bog'lanishlar. 7-[14]-ishning natijasi, 8-sovutish jarayonida o'lchangan.

2.1-jadval

(Gd, Dy, Ho, Er)-Al sistemalaridagi na'munalarning asosiy magnit xarakteristikalari.

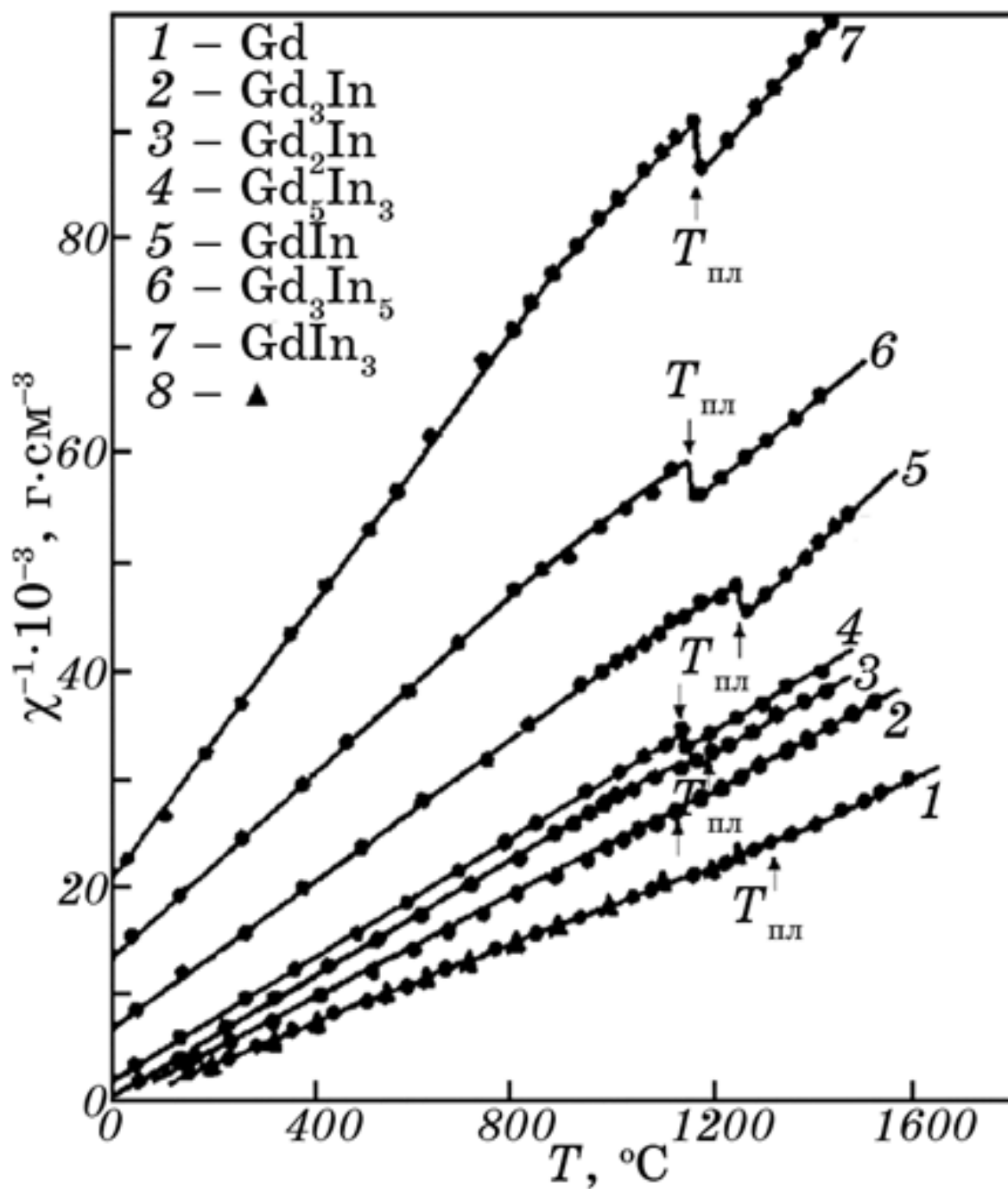
Na'muna	Qattiq holat		Suyuq holat	
	θ_p, K	$\mu_{эфф}, \mu_B$	θ_p, K	$\mu_{эфф}, \mu_B$
Gd	313	8,10	323	8,60
Gd ₂ Al	145	8,05	195	8,45
Gd ₃ Al ₂	272	8,25	190	8,50
Gd Al	145	8,50	173	8,30
Gd Al ₂	165	8,10	243	7,80
Gd Al ₃	168	8,26	138	8,20
Tb	233	9,60	339	9,17
Dy	160	10,58	180	10,48
Dy ₂ Al	73	10,94	75	10,40
Dy ₃ Al ₂	80	10,66	120	10,82
Dy Al ₂	33	10,98	370	9,40

Dy Al ₃	23	10,91	440	9,50
Ho	90	10,70	500	9,60
Ho ₂ Al	8	11,15	180	10,30
Ho ₃ Al ₂	11	11,20	110	10,70
Ho Al	23	10,05	95	9,65
Ho Al ₂	35	10,80	170	10,10
Ho Al ₃	6	11,00	260	10,05
Er	58	9,71	110	9,51
Er ₂ Al	52	9,61	98	9,47
Er ₃ Al ₂	-14	9,52	96	9,41
Er Al	19	9,68	95	9,35
Er Al ₂	3	9,50	112	9,19
Er Al ₃	6	9,49	174	9,02
Tm	18	7,63		

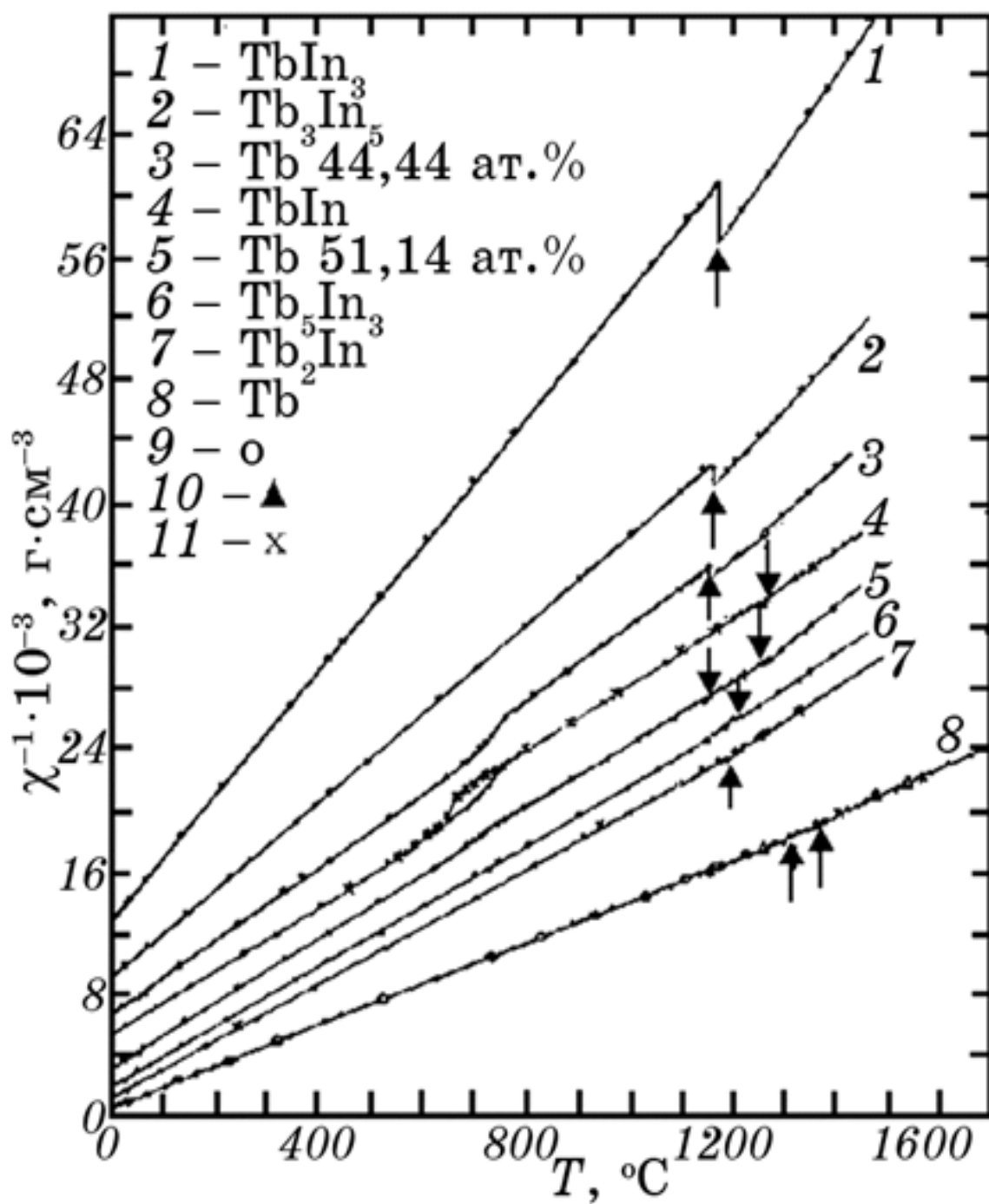
Og'ir KYeM (OKYeM) va indiy orasidagi birikmalarning magnit xossalarini, ularning qattiq holati, erish jarayoni va suyuq holatini qamraydigan yuqori temperaturalar oralig'ida (20-1700°C) birinchi marta [25-28] ishlarda Faradey usuli bilan o'lchangan. Shu ishlarda OKYeM – In (OKYeM=Gd,Tb,Dy,Ho,Er,Tm) sistemalardagi toza OKYeM va ularning indiy bilan hosil qiladigan birikmalarining $\chi^{-1}(T)$ bog'lanishlarini o'lchash va ularning muhokamasi bo'yicha [28] ishda olingan natijalar haqida qisqacha to'xtalamiz. Na'munalarning tajribaviy $\chi^{-1}(T)$

bog'lanishlar Gd-In,Tb-In,Dy-In,Ho-In,Er-In va Tm-In sistemalari uchun 2.5-2.10 rasmlarda keltirilgan.

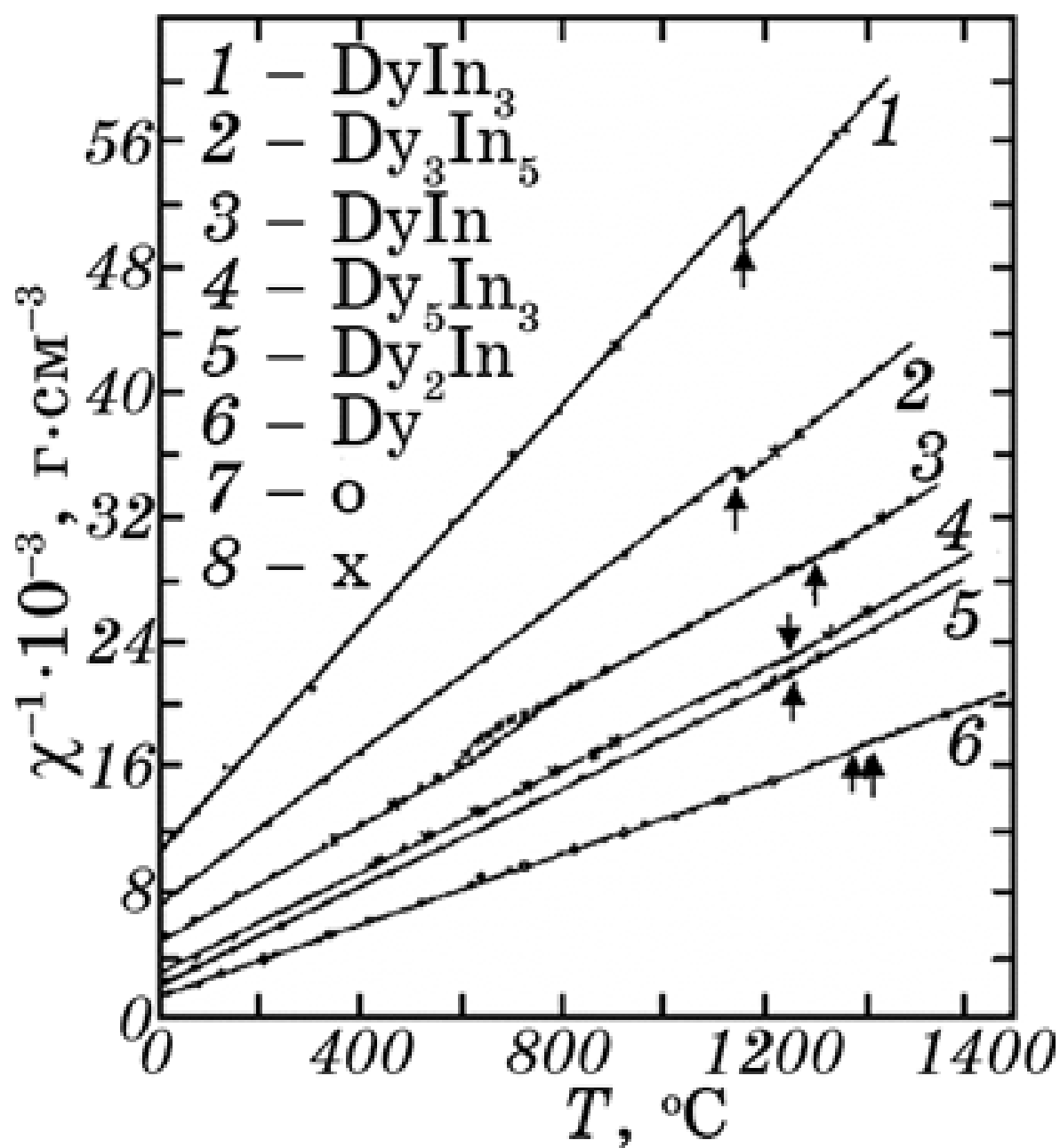
Bu rasmlardagi $\chi^{-1}(T)$ bog'lanishlarni tahlil qilish shuni ko'rsatadiki, Gd-In sistemasidagi na'munalardan boshqa barcha na'munalar uchun bu bog'lanishlar (2.6-2.10 rasmlar) chiziqli tabiatga ega va ular (1.12) ko'rinishdagi Kyuri-Veyss qonuniga bo'ysinadi. Gd-In sistemasidagi na'munalarning $\chi(T)$ bog'lanishlari (2.5-rasm) (1.12A) ko'rinishdagi umumlashgan Kyuri-Veyss qonuniga bo'ysinadi.



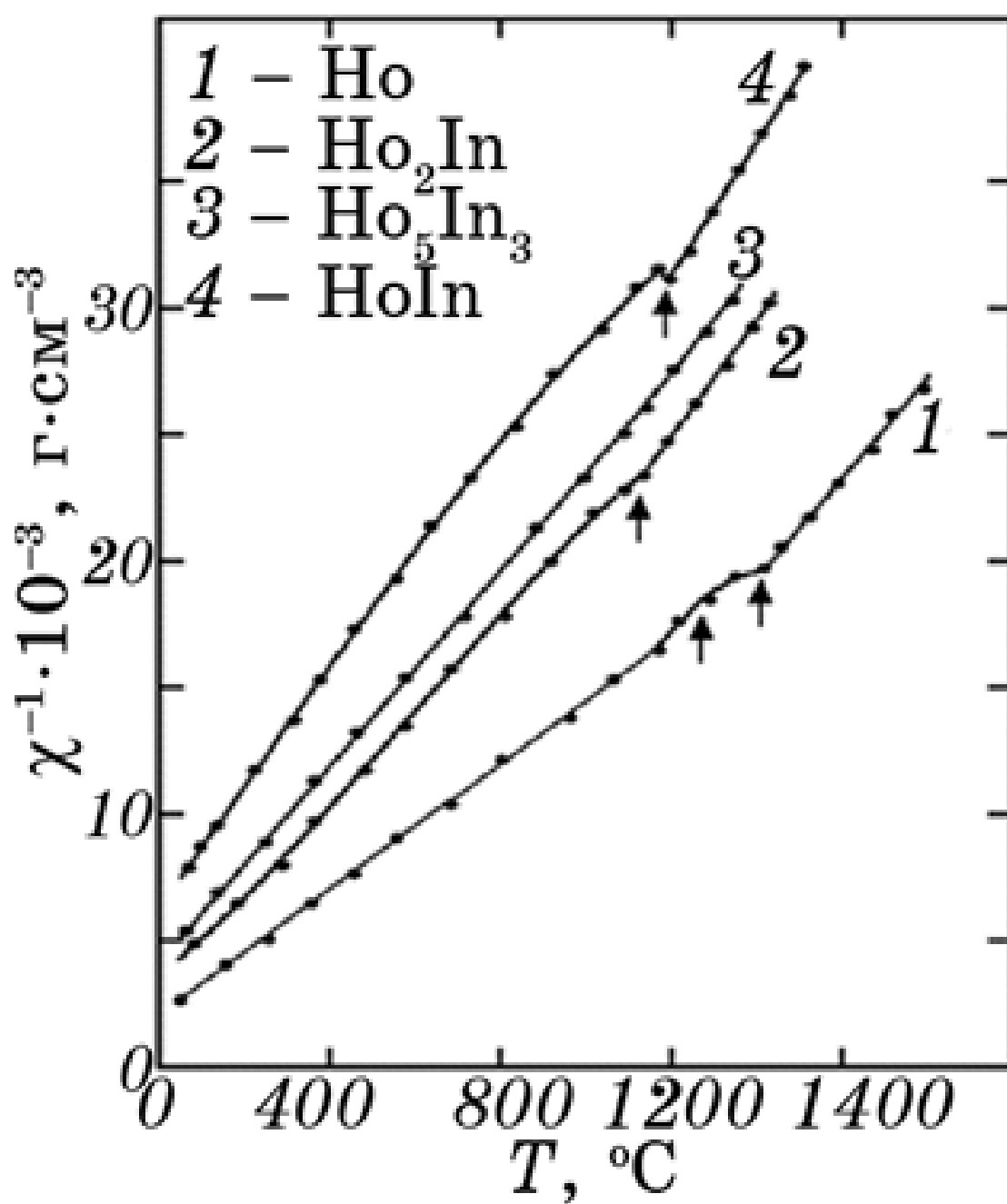
2.5-rasm. Gd-In sistemasi uchun $\chi^{-1}(T)$ bog'lanishlar.



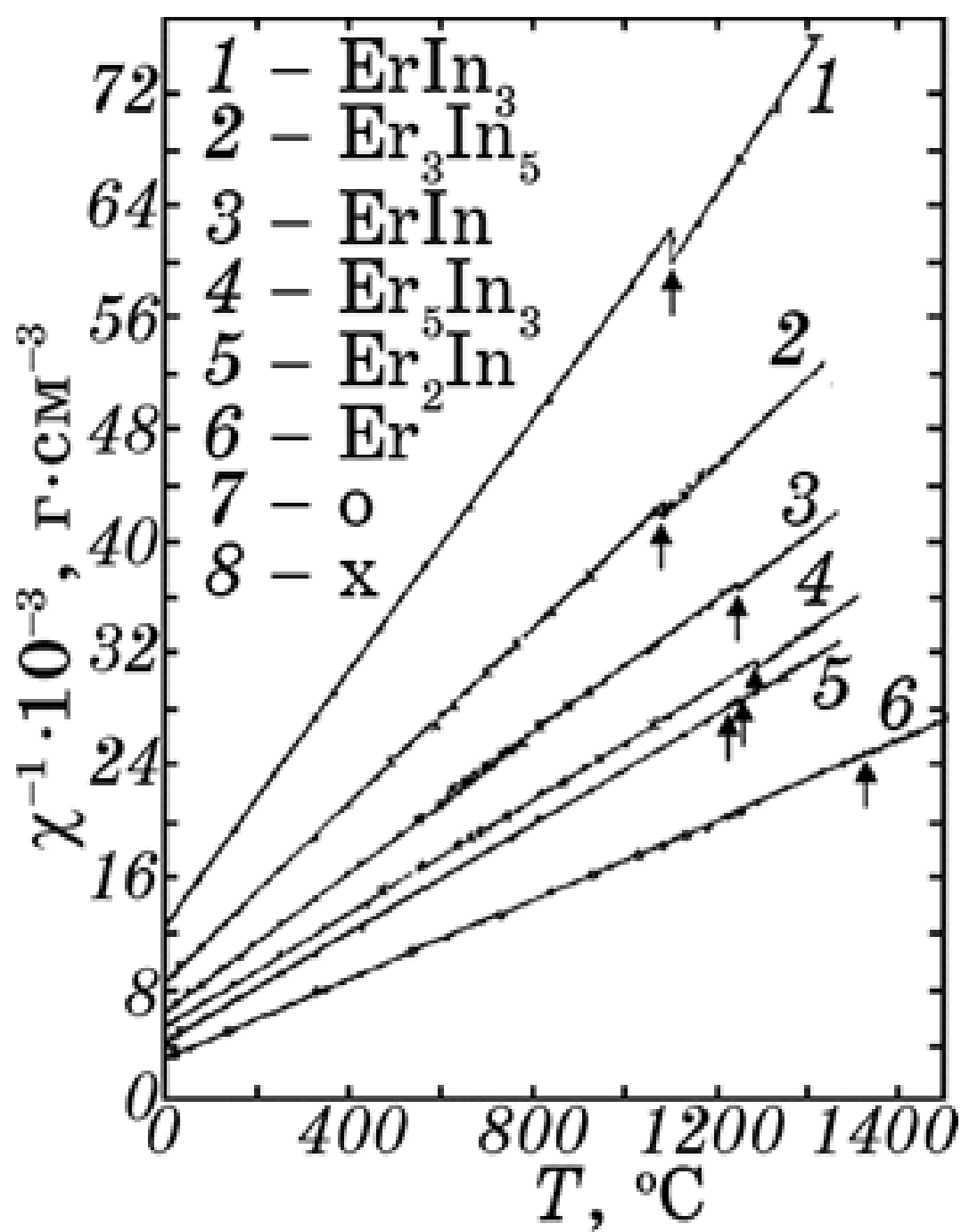
2.6-rasm. Tb-In sistemasi uchun $\chi^{-1}(T)$ bog'lanishlar.



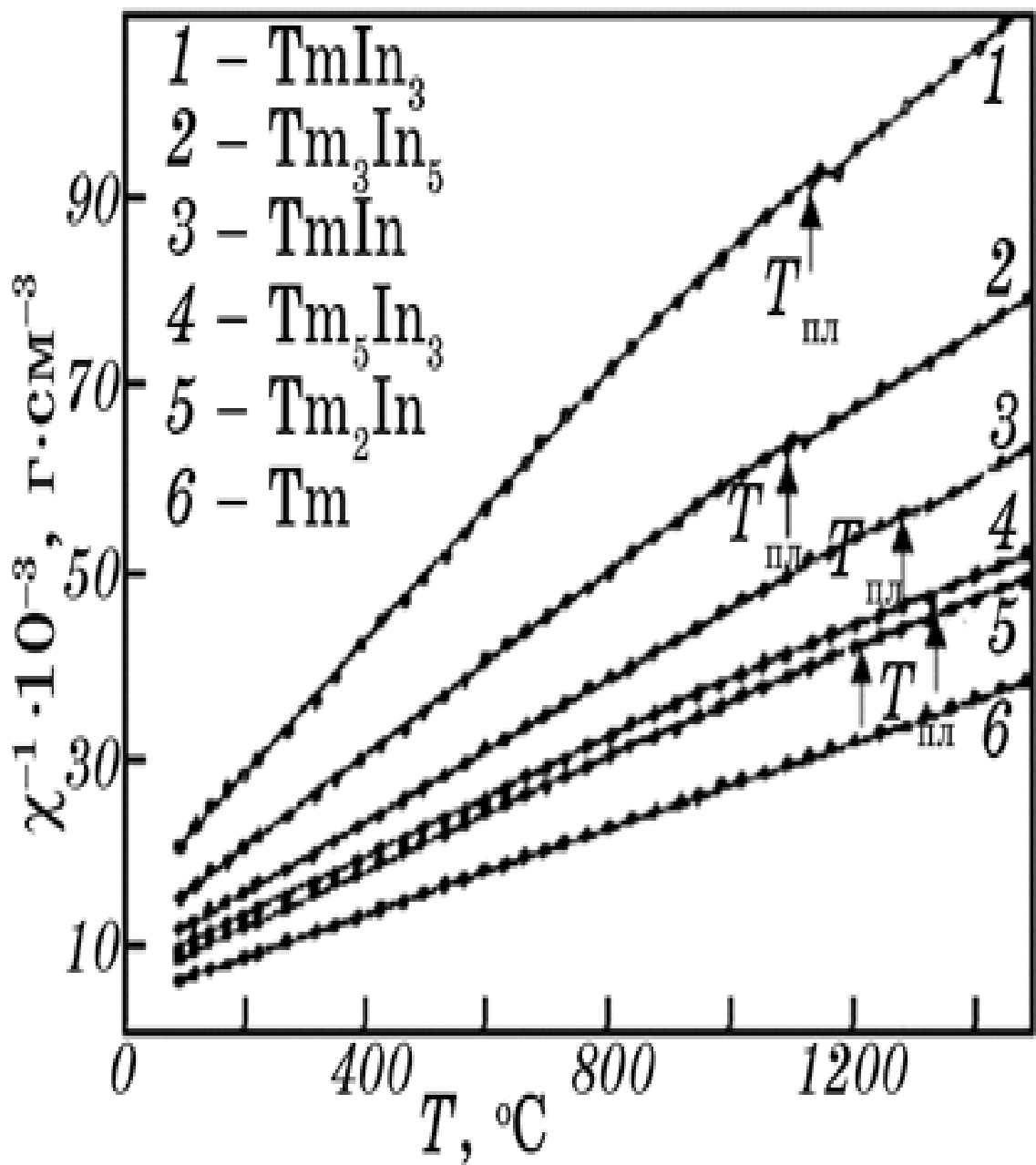
2.7-rasm. Dy-In sistemasi uchun $\chi^{-1}(T)$ bog'lanishlar.



2.8-rasm. Ho-In sistemasi uchun $\chi^{-1}(T)$ bog'lanishlar.



2.9-rasm. Er-In sistemasi uchun $\chi^{-1}(T)$ bog'lanishlar.



2.10-rasm. Tm-In sistemasi uchun $\chi^{-1}(T)$ bog'lanishlar.

TbIn, DyIn va ErIn birikmalarining $\chi^{-1}(T)$ bog'lanishlarida (2.6, 2.7, 2.9-rasmlar) 600-700°C temperaturalar oralig'ida issiqlik gisterезisi kuzatilgan. Bu

xodisa birikmalarning kristall panjarasida polimorf fazaviy o'tish bilan tushuntirilgan.

2.5-2.10–rasmlardagi $\chi^{-1}(T)$ bog'lanishlarni tahlil qilish yana shuni ko'rsatadiki, toza KEM va ularning indiy bilan birikmalarining erish jarayonida, bu bog'lanishlarda kata o'zgarish yuz bermaydi. KEMIn , KEM_3In_5 va KEMIn_3 birikmalardan boshqa barcha na'munalarning erish jarayonida $\chi^{-1}(T)$ bog'lanishlarda sinish kuzatiladi; KEMIn , KEM_3In_5 va KEMIn_3 birikmalarning erish jarayonida esa, kuchsiz sakrash yuz beradi.

$\chi^{-1}(T)$ tajribaviy bog'lanishlardan, toza KEM va ularning indiy bilan birikmalarining asosiy magnit xarakteristikalarini – paramagnit Kyuri temperaturasi (θ_p), Kyuri-Veyss doimiysi (C) va bitta KEM atomiga to'g'ri keladigan effektiv magnit moment (μ_{eff}) hisoblab topilgan.

Toza KEM uchun μ_{eff} (1.11) ifoda bo'yicha hisoblangan. O'rganilgan birikmalarda bitta KEM atomiga to'g'ri keladigan effektiv magnit moment (2.1) ifoda bo'yicha hisoblangan[24]. Hisoblash natijalari 2.2 – jadvalda keltirilgan.

2.2-jadvalni tahlil qilib, toza KEM va o'rganilgan na'munalardagi 4f-elektronlarning energetik holatiga, indiy va yuqori temperature deyarlik ta'sir ko'rsatmaydi; bu holat erkin KEM^{3+} ionlarining asosiy energetik holatiga yaqin bo'ladi degan muhim xulosaga kelingan. Shunga asoslanib o'rganilgan na'munalarning $\chi(T)$ bog'lanishlarini, erkin ionlar modeliga asoslangan, paramagnitizmning Van-Flek nazariyasi bo'yicha tushuntirilgan.

2.2-jadval

(Gd,Tb,Dy,Ho,Er,Tm)-In sistemalaridagi na'munalarning asosiy magnit

xarakteristikaları.

Birikma	Qattiq holat			Suyuq holat		
	θ_p, K	$C \cdot 10^{-2},$ $sm^3 \cdot K \cdot g^{-1}$	μ_{eff}, μ_B	θ_p, K	$C \cdot 10^{-2},$ $sm^3 \cdot K \cdot g^{-1}$	μ_{eff}, μ_B
1	2	3	4	5	6	7
Gd	313	4,25	8.10	323	5,33	8,60
Gd ₃ In	278	5,70	9,40	378	3,41	7,30
Gd ₂ In	238	3,70	8,00	223	3,69	7,95
Gd ₅ In ₃	228	3,51	7,95	305	3,48	7,90
GdIn	53	3,04	8,15	173	2,98	8,05
Gd ₃ In ₅	-27	2,35	8,00	58	2,47	8,30
GdIn ₃	-40	1,55	7,90	68	1,62	6,70
Tb	233	7,3	9,60	339	6,64	9,17
Tb ₂ In	210	5,25	9,54	325	4,74	9,06
Tb ₅ In ₃	175	4,98	9,53	273	4,41	8,97
α -TbIn	15	4,50	9,93	-	-	-
β -TbIn	-30	4,46	9,89	277	2,63	8,92
Tb ₃ In ₅	-38	3,43	9,80	258	2,81	8,87
TbIn ₃	-40	2,40	9,83	275	2,01	9,00
Dy	160	8,60	10,58	180	8,44	10,48
Dy ₂ In	150	6,23	10,47	268	5,66	9,98
1	2	3	4	5	6	7
Dy ₅ In ₃	88	6,21	10,73	310	5,23	9,85

α -DyIn	15	5,31	10,86	-	-	-
β -DyIn	-91	5,61	11,16	182	4,73	10,25
Dy ₃ In ₅	-23	4,11	10,79	121	3,77	10,28
DyIn ₃	-25	2,78	10,63	100	2,67	10,40
Ho ₅ In ₃	8	9,20	10,81	225	7,89	10,00
HoIn	-30	9,55	10,70	91	8,49	10,09
Er	58	7,04	9,71	110	6,76	9,51
Er ₂ In	52	5,13	9,61	98	4,98	9,47
Er ₅ In ₃	23	4,89	9,63	160	4,47	9,20
α -ErIn	5	4,04	9,56			
β ErIn	-19	4,15	9,68	95	3,87	9,35
Er ₃ In ₅	-3	3,14	9,50	80	3,04	9,35
ErIn ₃	-6	2,20	9,49	174	1,99	9,02
Tm	18	4,31	7,63			
Tm ₂ In	7	4,78	7,60	-196	5,73	8,32
Tm ₅ In ₃	-7	4,83	7,58	-34	4,64	7,43
TmIn	-11	5,06	7,58	125	4,94	7,49
Tm ₃ In ₅	-10	5,27	7,55	-197	6,33	8,27
TmIn ₃	-5	5,48	7,50	-3,6	7,20	8,60

2.2. KYeM-(Al,In) sistemalarida amal qiladigan bilvosita almashinuv o'zaro ta'sirni o'rganishning yarim empirik usuli.

§1.3 da aytilganidek, KYeMning magnit xossasini, kristall panjara tugunlarida o'troqlashgan 4f-elektronlar hosil qiladi. §1.1 da aytilganidek, 4f-

elektronlar, kristall panjara tugunlarida o'troqlashgan holatda joylashgan, K Y e M^{3+} ionlari ichida $5s^2 5p^6$ elektronlar bilan kristall panjara maydoni ta'siridan himoyalangan bo'ladi. K Y e Mda magnit tartiblangan holatni 4f-elektronlarning, panjara tugunlari orasida erkin harakatlanuvchi, $5d^1$ va $6s^2$ elektronlar orqali o'zaro ta'siri hosil qiladi. Bunday o'zaro ta'sirga **bilvosita almashinuv o'zaro ta'siri** deyiladi. Bunday o'zaro ta'sirining energetik o'lchovi vazifasini, magnit tartiblanish - magnit tartibsizlik(paramagnit holat) fazaviy o'tish temperaturasi-paramagnit Kyuri temperaturasi- θ_p bajaradi. θ_p va bilvosita almashinuv o'zaro ta'sir parametri (yoki integrali) A orasida, §1.3da keltirilgan, (1.18) bog'lanish, ya'ni toza K Y e M uchun quyidagi bog'lanish mavjud:

$$\theta_p = \frac{AG}{3k_B}. \quad (2.2)$$

Bu ifodadan quyidagini olamiz:

$$\frac{A}{k_B} = \frac{3\theta_p}{G}. \quad (2.3)$$

Bu ifodadagi de Jen faktori G toza K Y e M uchun (1.15) ifoda bo'yicha, ya'ni quyidagicha aniqlanadi:

$$G=(g_J - 1)^2 J(J+1). \quad (2.4)$$

Bundagi Lande fanktori g_J (1.16) ifoda bo'yicha, ya'ni quyidagicha aniqlanadi:

$$g_J=1 + \frac{[J(J+1)+S(S+1)-L(L+1)]}{2J(J+1)}. \quad (2.5)$$

Bundagi L, S va J- 4f-elektronlarning, Xund qoidalari bo'yicha aniqlanadigan, to'la orbital, to'la spin va to'la mexanik moment kvant sonlari.

K Y e M-NM(NM=Al,In) sistemalarida amal qiladigan bilvosita o'zaro ta'sir uchun (2.2) dagi de Jen faktori additivlik qoidasiga asosan quyidagicha aniqlanadi:

$$G=(1-x)G_{\text{K Y e M}} + xG_{\text{NM}}, \quad (2.6)$$

bundagi x -alyuminiyning (yoki indiyning) atom ulushlardagi konsentratsiyasi, $G_{\text{KYE}M}$ va G_{NM} -mos ravishda $\text{KYE}M$ va Al yoki In uchun de Jen faktorlari. Uch valentli Al va In ionlari asosiy energetik holatining terimi 1S_0 bo'lgani uchun $G_{\text{NM}}=(g_J-1)^2J(J+1)=0$ bo'ladi. Buni va (2.6)ni hisobga olib o'rganiloyotgan birikmalarning paramagnit Kyuri temperaturasi uchun (2.2)dan quyidagini olamiz:

$$\theta_p = \frac{A}{k_B}(1-x)(g_J-1)^2J(J+1). \quad (2.7)$$

Geksogonal tipdagi kristall panjara tugunlarida joylashagan $\text{KYE}M^{3+}$ ionlarining tashqi elektron qobiqlari ($5s^25p^6$) amalda bir xil bo'lib, bir metall dan ikkinchi metallga o'tganda deyarlik o'zgarmaydi. Almashinuv o'zaro ta'sir integrali A (1.17)ga asosan n , $A_{\text{sf}}(0)$, Ω , E_F va panjara yig'indisi $\sum_{n \neq m} F(2\vec{k}_F(\vec{R}_n - \vec{R}_m)) = F(y)$ larga bog'liq. Bu kattaliklarning barchasini deyarlik o'zgarmas deb qarash mumkin[29]. Shuning uchun ham, (2.2) va (2.7) ifodalarga asosan toza $\text{KYE}M$ va ularning Al yoki In bilan birikmalarining paramagnit Kyuri temperaturasi de Jen faktoriga to'g'ri proporsional bo'ladi deyish mumkin. Bu ifodalar RKKI nazariyasining ushbu bashoratini yarim empirik usul bilan tekshirib ko'rish imkoniyatini beradi.

[20-23]-ishlarda toza $\text{KYE}M$ va ularning Al bilan birikmalarida va [25-28]-ishlarda esa $\text{KYE}M$ ning In bilan birikmalarida $\text{KYE}M^{3+}$ ioniga to'g'ri keladigan effektiv magnit momentning qiymatlari (2.1 va 2.2-jadvallardagi) $\text{KYE}M^{3+}$ erkin ionlari magnit momentining qiymalariga(1.2-jadvaldagi) qoniqarli darajada mos keladi degan xulosa olingan. Bu dalil toza $\text{KYE}M$ va o'rganilayotgan birikmalarning magnit xossasiga sababchi bo'lgan 4f-elektronlar ularning kristall panjarasi tugunlarida, xuddi toza $\text{KYE}M$ dagidek, o'troqlashgan bo'ladi. Paramagnit metallar - Al , In va yuqori temperatura 4f-elektronlar o'rganilgan birikmalarda ham deyarlik erkin $\text{KYE}M^{3+}$ ionlaridagidek energetik holatda bo'ladilar. Bu elektronlarning asosiy va birinchi uyg'ongan energetik sathlari energiyalarining farqi issiqlik energiyasi- $k_B T$ dan ancha kattaligicha qoladi.

Shuning uchun KYeM va uning Al hamda In bilan birikmalari uchun de Jen faktori G ni mos ravishda (2.4) va (2.6) ifodalar bo'yicha hisoblashda $KYeM^{3+}$ erkin ionlari uchun J va g_J larning qiymatlaridan [$Gd^{3+}(J=7/2, g_J=2)$; $Tb^{3+}(J=6, g_J=3/2)$; $Dy^{3+}(J=15/2, g_J=4/3)$; $Ho^{3+}(J=8, g_J=5/4)$; $Er^{3+}(J=15/2, g_J=6/5)$; $Tm^{3+}(J=6, g_J=7/6)$] (1.2-jadval) foydalanish mumkin.

Toza KYeMda amal qiladigan bilvosita o'zaro ta'sir uchun (2.3) ifoda quyidagi ko'rinishda yoziladi:

$$\frac{A}{k_B} = \frac{3\theta_p}{G_{KYeM}}. \quad (2.8)$$

Bundagi G_{KYeM} –KYeM uchun de Jen faktori bo'lib, (2.4) ifoda yordamida hisoblanadi.

KYeM-(Al,In) sistemalaridagi o'rganilayotgan birikmalar uchun, (2.6)ni va yuqoridagi fikrlarni hisobga olib, (2.7)dan bilvosita almashinuv o'zaro ta'sir parametrini hisoblash uchun, quyidagini olamiz:

$$\frac{A}{k_B} = \frac{3\theta_p}{(1-x)G_{KYeM}}. \quad (2.9)$$

Shunday qilib, (2.2) va (2.7) ifodalar yordamida toza KYeM va ularning Al yoki In bilan birikmalari paramagnit Kyuri temperaturasi va de Jen faktori orasida proporsionallik mavjudligi haqidagi RKKI nazariyasining xulosasini tekshirib ko'rish imkoniyatiga ega bo'lsak, (2.8) va (2.9) ifodalar yordamida esa toza KYeM va ularning Al yoki In bilan birikmalarida amal qiladigan bilvosita almashinuv o'zaro ta'sir parametrini (A_{k_B}) yarim empirik usulda hisoblash imkoniyatiga ega bo'lamiz. Bunday hisoblash usulining yarim empirik deb atalishiga sabab shuki, shu ifodalarda θ_p ning tajribaviy(empirik) qiymatlaridan, de Jen faktorining esa nazariy qiymatlaridan foydalaniladi.

II-bobga doir xulosalar

II-bobning mazmunidan kelib chiqqan holda quyidagi xulosalarni aytish mumkin:

1. Og'ir KYeM va ularning alyuminiy hamda indiy bilan birikmalarining magnit qabul qiluvchanligini yuqori temperaturalarda (qattiq va suyuq holatlarda) o'lchash va o'lchash natijalaridan foydalanib ularning asosiy magnit xarakteristikalarini aniqlash natijalari bayon qilindi;
2. OKYeM-(Al,In) sistemalarida amal qiladigan bilvosita almashinuv o'zaro ta'sirni o'rganishni yarim empirik usulining mohiyati bayon qilindi;
3. Og'ir KYeM va ularning Al hamda In bilan birikmalarining tajribaviy paramagnit Kyuri temperaturasi bilan de Jen faktori orasidagi to'g'ri proporsionallik(RKKI nazariyasining bashorati) va shu tadqiqot ob'ektlarida amal qiladigan bilvosita almashinuv o'zaro ta'sir parametrlarini aniqlash ifodalari keltirib chiqarildi.

III-BOB. OG'IR KYeM-(Al,In) SISTEMALARIDA AMAL QILADIGAN BILVOSITA ALMASHINUV O'ZARO TA'SIRNI YARIM EMPIRIK USULDA O'RGANISH NATIJALARI VA ULARNING MUHOKAMASI

3.1.Toza og'ir KYeMda (KYeM=Gd,Tb,Dy,Ho,Er,Tm) amal qiladigan bilvosita almashinuv o'zaro ta'sir parametrini hisoblash.

§2.2da bayon qilingan, toza og'ir KYeM (OKYeM)da amal qiladigan bilvosita almashinuv o'zaro ta'sirining energetik o'lchovi(xarakteristikasi) hisoblanadigan, paramagnit Kyuri temperaturasi θ_p ning de Jen faktoriga G chiziqli proporsional bo'lishi haqidagi RKKI nazariyasining bashoratini va almashinuv o'zaro ta'sir parametri toza OKYeM uchun ushbu paragrfd o'rganiladi.

θ_p va G orasidagi proporsionallikni, ya'ni RKKI nazariyasining bashoratini tekshirish (2.2) ifoda, ya'ni

$$\theta_p = \frac{AG_{KYeM}}{3k_B}$$

ifoda bo'yicha, almashinuv o'zaro ta'sir parametrini hisoblash esa (2.8) ifoda bo'yicha, ya'ni

$$\frac{A}{k_B} = \frac{3\theta_p}{G_{KYeM}}$$

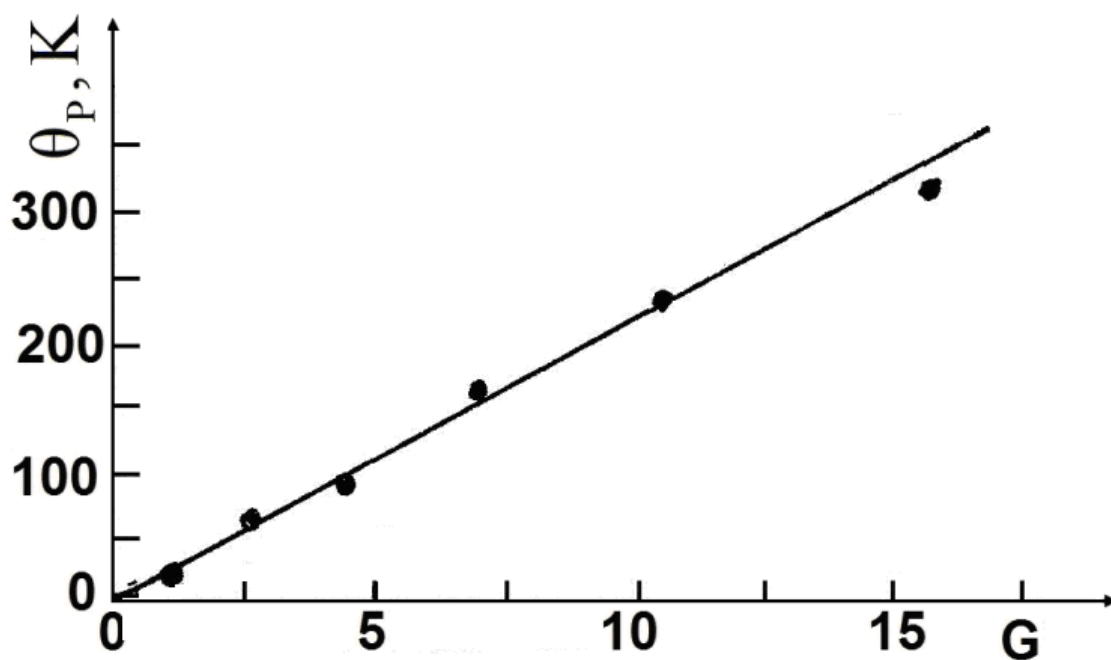
ifoda bo'yicha bajarildi. Bu ifodalardagi de Jen faktori G_{KYeM} ni (2.4) ifodadan foydalanib hisoblandi. (2.4) ifodadagi g_J va J lar uchun §2.2da (yoki 1.2 jadvalda) keltirilgan qiymatlar, θ_p ning tajribaviy qiymatlari esa 2.1 va 2.2 - jadvallardan olindi.

Toza OKYeM uchun RKKI nazariyasining bashoratini tekshirish va almashinuv o'zaro ta'sir parametrini hisoblash bo'yicha olingan natijalar, mos ravishda, 3.1 va 3.2-jadvallarda keltirilgan. 3.1-jadvaldan foydalanib ko'rgazmali ravishda chizilgan θ_p va G orasidagi bog'lanish 3.1-rasmda tasvirlangan[30-32].

3.1-jadval

Toza OKYeM uchun θ_p va de Jen faktorining qiymatlari.

OKYEM	θ_p, K	g_J	J	$(g_J-1)^2 J(J+1)$
Gd	313	2	7/2	15.75
Tb	233	3/2	6	10.50
Dy	160	4/3	15/2	7.08
Ho	90	5/4	8	4.5
Er	58	6/5	15/2	2.55
Tm	18	7/6	6	1.16



3.1-rasm KYeM (KYeM=Gd,Tb,Dy,Ho,Er,Tm) uchun $\theta_p(G)$ bog'lanish.

3.1- jadvaldan va 3.1-rasmdan ko'rinib turibdiki OKYeM uchun $\theta_p(G)$ bog'lanish chiziqli ko'rinishga ega. Demak, RKKI nazariyasining θ_p va $G=(g_J-1)^2 J(J+1)$ orasidagi proporsionallik haqidagi bashorati haqiqatdan ham toza

OKYeM uchun bajariladi. Bu shundan dalolat beradiki OKYeMning magnit tartiblangan holatini RKKI tipidagi o'zaro ta'sir hosil qiladi.

3.2-jadval

Toza OKYeM uchun bilvosita almashinuv o'zaro ta'sir parametri qiymatlari

KYeM	Qattiq holat		Suyuq holat	
	θ_p, K	$A/k_B, K$	θ_p, K	$A/k_B, K$
Gd	313	59.62	323	61.52
Tb	233	66.57	339	96.86
Dy	160	67.77	180	76.24
Ho	90	60.00	500	333.33
Er	58	68.24	110	129.41
Tm	18	46.55		

3.2-jadvalni tahlil qilish shuni ko'rsatadiki, A/k_B parametirning qiymati, Tmdan boshqa OKYeMning qattiq holati uchun taxminan bir xil. OKYeM qattiq holatdan suyuq holatga o'tganda A/k_B parametirning qiymati oshadi. Buni qattiq holat – suyuq holat fazaviy o'tishda θ_p qiymatining oshishi bilan tushuntirish mumkin.

3.2. Og'ir KYeM-Al (OKYeM=Gd, Dy, Ho, Er) sistemalaridagi birikmalarda amal qiladigan bilvosita o'zaro ta'sir parametrini hisoblash.

Ushbu paragrafda OKYeM-Al (OKYeM=Gd,Dy,Ho,Er) sistemalaridagi birikmalarda amal qiladigan almashinuv o'zaro ta'sirni yarim empirik usulda o'rganish natijalari keltirilgan[30-32].

Dastlab, o'rganilayotgan birikmalarda θ_p ning de Jen faktoriga proporsionalligi haqidagi RKKI nazariyasining bashorati tekshirildi va so'ngra birikmalarda amal qiladigan bilvosita almashinuv o'zaro ta'sir parametri hisoblandi. RKKI nazariyasining bashorati (2.7) ifodadan, ya'ni

$$\theta_p = \frac{A}{k_B} (1-x)(g_J - 1)^2 J(J+1)$$

ifodadan foydalanib tekshirildi. Tekshirish natijalari 3.3-jadvalda va ko'rgazmali ravishda 3.2-rasmda keltirilgan.

Bilvosita o'zaro ta'sir parametri- A/k_B ning qiymatlari (2.9) ifodadan, ya'ni

$$\frac{A}{k_B} = \frac{3\theta_p}{(1-x)G_{\text{KYeM}}} = \frac{3\theta_p}{(1-x)(g_J - 1)^2 J(J+1)}$$

ifodadan foydalanib hisoblandi. Hisoblash natijalari 3.4-jadvalda va ko'rgazmali ravishda 3.3-rasmda keltirilgan[30-32].

Birikmalar uchun θ_p va A/k_B larning qiymatlarini hisoblash ifodalaridagi g_J va J larning qiymatlarini 1.2- jadvaldan, θ_p ning qiymatlarini esa 2.1-jadvaldan olindi.

3.3-jadval va 3.2-rasmni tahlil qilib quyidagilarni aytish mumkin: 3.2-rasmning yuqori qismidagi 1-grafik orqali toza KYeM(KYeM=Gd,Tb,Dy,Ho,Er, Tm) uchun va 2-3-grafiklar orqali esa, mos ravishda, KYeM_2Al (KYeM=Gd,Dy,Ho,Er) va KYeMAl (KYeM=Gd,Ho,Er) birikmalar uchun $\theta_p(G)$ bog'lanish tasvirlangan. 1-grafikdan ko'rinib turibdiki, yuqorida (§3.1da) aytilganidek u chiziqli ko'rinishga ega. 2 va 3-grfiklardan ko'rinib turibdiki, ular ham, toza OKYeM uchun 1-grafikga o'xshab chiziqli ko'rinishga ega. 3.3-rasmning pastgi qismidagi 4,5 va 6-grafiklar orqali, mos ravishda, KYeM_3Al_2 (KYeM=Dy,Ho,Er), KYeMAl_2 (KYeM=Gd,Dy,Ho,Er) va KYeMAl_3 (KYeM=Dy,Ho,Er) birikmalar uchun $\theta_p(G)$ bog'lanish tasvirlangan. Bu grafiklarni

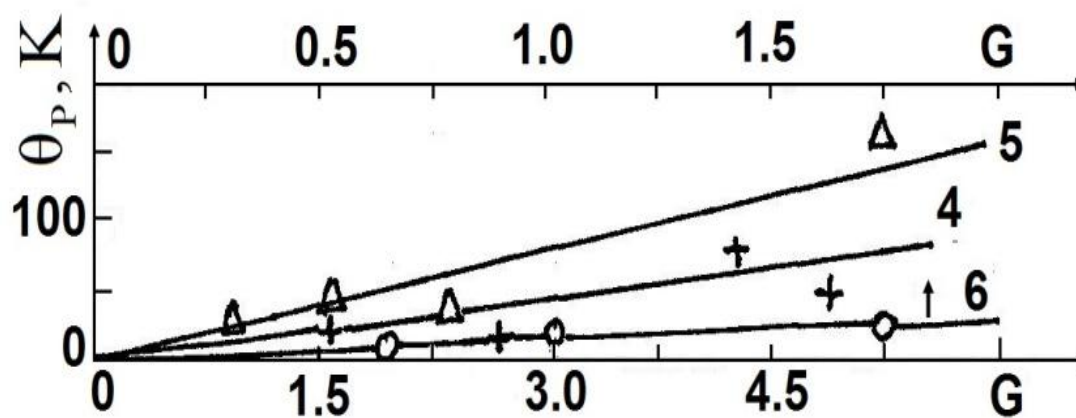
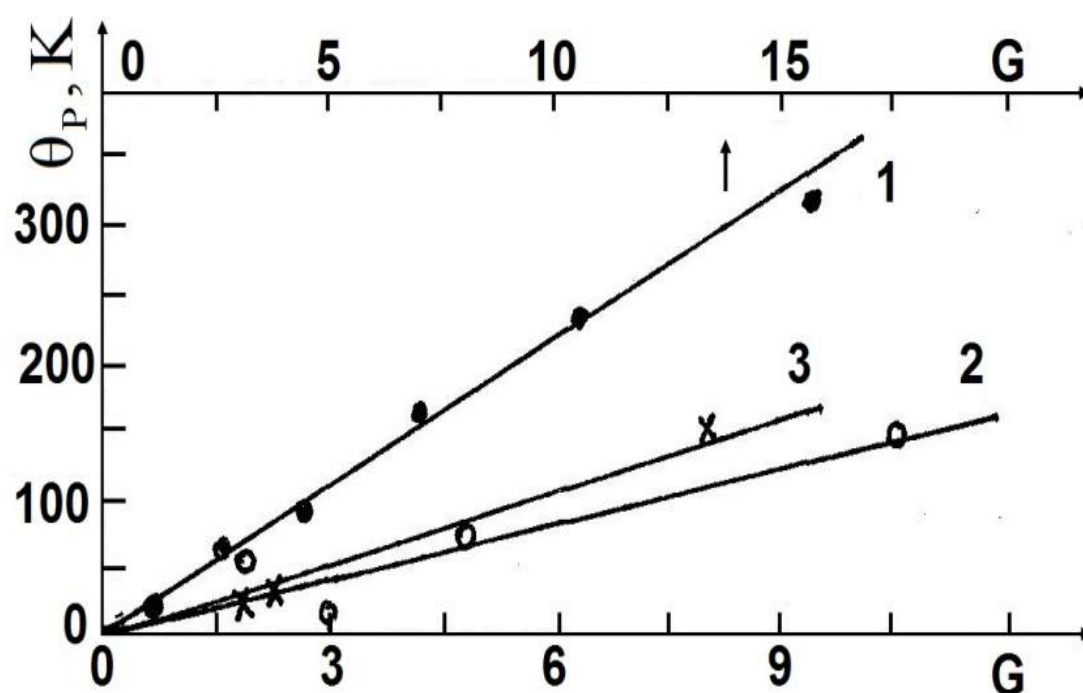
diqqat bilan kuzatsak, ular ham, toza OKYeM uchun 1-grafikga o'xshab, chiziqli ko'rinishga ega.

Shunday qilib, 3.2-rasmdagi 2-6- $\theta_p(G)$ bog'lanishlar, toza KYeM uchun 1- $\theta_p(G)$ bog'lanishga o'xshab chiziqli ko'rinishga ega. Bu dalil o'rganilgan birikmalar uchun $\theta_p(G)$ bog'lanishlar(2-6-grafiklar) toza OKYeM uchun $\theta_p(G)$ bog'lanishning(1-grafik) tabiati bilan qoniqarli darajada mos keladi. Ekviatomli ($x = \text{const}$) birikmalar uchun ham bunday moslikni, ya'ni $\theta_p(G)$ bog'lanishning chiziqli bo'lishini quyidagicha izohlash mumkin: §2.2da qayd qilinganidek, birikma kristall panjara tugunlarida joylashagan KYeM³⁺ ionlarining tashqi elektron qobiqlari ($5s^25p^6$) amalda bir xil bo'lib, bir birikmadan ikkinchi birikmaga o'tganda deyarlik o'zgarmaydi(toza KYeMdagidek). Almashinuv o'zaro ta'sir integrali A (1.17)ga asosan n , $A_{sf}(0)$, Ω , E_F va panjara yig'indisi $\sum_{n \neq m} F(2\vec{k}_F(\vec{R}_n - \vec{R}_m)) = F(y)$ larga bog'liq. Bu kattaliklarning barchasini deyarlik o'zgarmas deb qarash mumkin[29]. Shuning uchun ham, (2.7) ifodaga asosan o'rganilgan birikmalarining paramagnit Kyuri temperaturasi de Jen faktoriga to'g'ri proporsional bo'ladi deyish mumkin. Bu ifodalar RKKI nazariyasining ushbu bashoratini birikmalar uchun yarim empirik usul bilan tekshirib ko'rish imkoniyatini beradi. Demak, o'rganilgan birikmalarda θ_p ning o'zgarishi RKKI nazariyasi bashoratiga juda yaqindir. Bu shundan guvohlik beradiki, OKYeMning Al bilan birikmalarida amal qiladigan almashinuv o'zaro ta'sir, toza OKYeMda amal qiladigan RKKI tipidagi bilvosita almashinuv o'zaro ta'sirning o'zidir. 3.4-jadval va 3.3-rasmni tahlil qilish shuni ko'rsatadiki, A/k_B pametrning qiymati birikmalarda alyuminiy konsentratsiyasining o'zgarishiga sezilarli darajada bog'liq. A/k_B parametrning alyuminiy konsentratsiyasiga bog'lanishida, Dy-Al sistemasidan boshqa sistemalar uchun, biror bir umummiy qonuniyat kuzatilmaydi. Dy-Al sistemasi uchun A/k_B ning qiymati alyuminiy atomlari konsentratsiyasining oshishi bilan chiziqli ravishda oshadi. Shuni alohida qayd etish kerakki, A/k_B parametrning qiymati, Er_2Al , $GdAl_2$, $HoAl_2$ va $GdAl_3$ birikmalardan boshqa,

3.3-jadval

OKYeMning Al bilan birikmalari uchun θ_p va de Jen faktorining qiymatlari.

Birikma	θ_p, K	g_J	J	$(1-x)(g_J-1)^2 J(J+1)$
Gd ₂ Al	145	2	7/2	10.55
Dy ₂ Al	73	4/3	15/2	4.75
Ho ₂ Al	8	5/4	8	3.02
Er ₂ Al	52	6/5	15/2	1.71
Dy ₃ Al ₂	80	4/3	15/2	4.25
Ho ₃ Al ₂	11	5/4	8	2.70
Er ₃ Al ₂	-14	6/5	15/2	1.53
GdAl	145	2	7/2	7.88
HoAl	23	5/4	8	2.25
ErAl	19	6/5	15/2	1.88
GdAl ₂	165	2	7/2	5.20
DyAl ₂	33	4/3	15/2	2.34
HoAl ₂	35	5/4	8	1.49
ErAl ₂	3	6/5	15/2	0.84
DyAl ₃	23	4/3	15/2	1.77
HoAl ₃	6	5/4	8	1.13
ErAl ₃	6	6/5	15/2	0.64



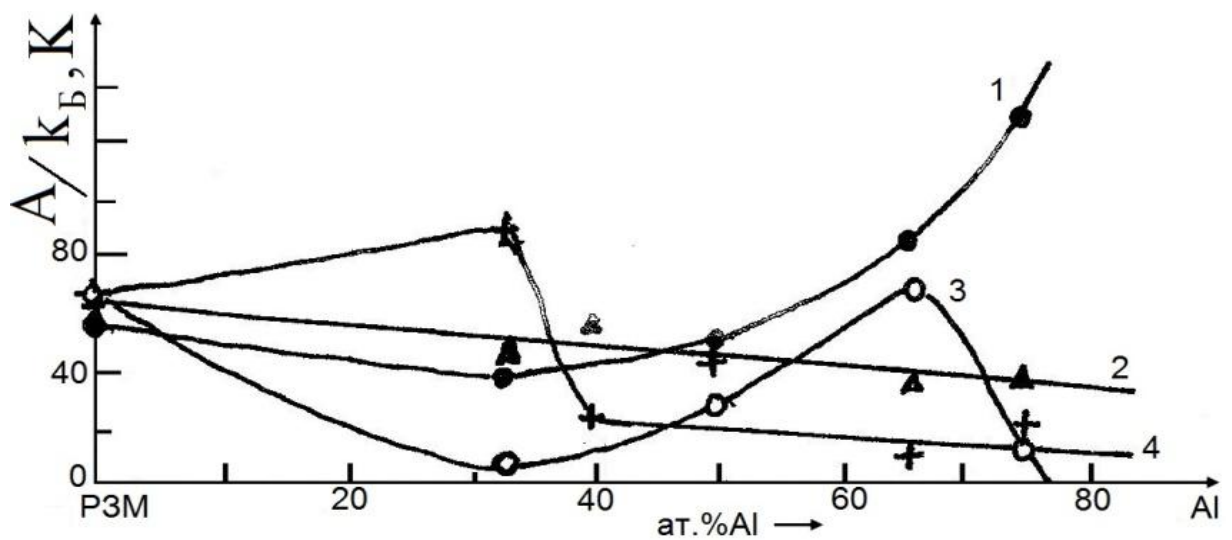
3.2-rasm (Gd,Dy,Ho,Er)-Al sistemasi uchun $\theta_p(G)$ bog'lanishlar:
 1-OKYeM (OKYeM=Gd,Tb,Dy,Ho,Er,Tm); 2-OKYeM₂Al; 3-OKYeMAl;
 4-OKYeM₃Al₂; 5-OKYeMAl₂; 6-OKYeMAl₃.

3.4-jadval

**(Gd,Dy,Ho,Er)-Al sistemasidagi na'munalar uchun bilvosita almashinuv
o'zaro ta'sir parametrlarining qiymatlari.**

Na'muna	Qattiq holat		Suyuq holat	
	θ_p, K	$A/k_B, K$	θ_p, K	$A/k_B, K$
1	2	3	4	5
Gd	310	59,04	343	65,33
Gd ₂ Al	145	41,41	195	55,69
Gd ₃ Al ₂	272	86,36	190	60,33
Gd Al	145	55,25	173	65,91
Gd Al ₂	165	94,39	243	139,0
GdAl ₃	168	128,0	138	105,1
Dy	160	67,76	180	76,24
Dy ₂ Al	73	46,35	75	47,61
Dy ₃ Al ₂	80	56,47	120	84,70
Dy Al ₂	33	38,50	370	470,5
Dy Al ₃	23	38,96	440	445,3
Ho	90	60	500	333
Ho ₂ Al	8	8,0	180	180
Ho ₃ Al ₂	11	12,22	110	122,2
Ho Al	23	30,66	95	126,6
Ho Al ₂	35	70,07	170	340,7

1	2	3	4	5
Ho Al ₃	6	16,00	260	693,4
Er	58	68,24	110	129,4
Er ₂ Al	52	91,68	98	172,8
Er ₃ Al ₂	-14	-27,44	96	188,2
Er Al	19	44,69	95	223,4
Er Al ₂	3	10,69	112	399,1
Er Al ₃	6	28,22	174	818,5



3.3-rasm.OKYeM-Al(OKYeM=Gd,Dy,Ho,Er) sistemalarida

A/k_B parametrining Al konsentrasiyasiga bog'lanishlari.1-Gd-Al; 2-Dy-Al; 3-Ho-Al; 4-Er-Al.

barcha o'rganilgan birikmalarda magnit matritsa(OKYeM) uchun A/k_B parametrning qiymatiga nisbatan kamayadi; sanalgan birikmalarda esa oshadi. 3.4-jadvaldan ko'rinib turibdiki o'rganilgan sistemalardagi na'munalar qattiq holatdan suyuq holatga o'tganda A/k_B parametrning qiymati oshadi.

§1.3dan malumki [(1.17) ifoda], A/k_B parametrning kattaligi va ishorasi, (1.14) ifoda bilan aniqlanadigan, Ruderman-Kittel funksiyasi - $F(x)$ ning magnit ionlar orasidagi masofaga($R_n - R_m$) bog'liqligi bilan aniqlanadi. Demak OKYeM kristall panjarasida paramagnit matritsa- Al^{3+} ionlari joylashganda magnit matritsa OKYeM $^{3+}$ ionlari orasidagi masofa o'zgaradi. Bu sabab va Al^{3+} ionlari konsentratsiyasining oshishi o'z navbatida A/k_B parametrining o'zgarishiga olib keladi. Shunday qilib, o'rganilgan OKYeM-Al sistemalarda, toza OKYeMdagidek, RKKI turdagi almanishinuv o'zaro ta'siri amal qiladi deyishimiz mumkin. Demak bu sistemalardagi birikmalar magnit tartiblangan holatini ham, toza OKYeM dagidek, RKKI turdagi bilvosita o'zaro ta'sir hosil qiladi degan xulosaga kelish mumkin.

3.3. Og'ir KYeM-In (OKYeM=Gd,Tb,Dy,Ho,Er,Tm) sistemalaridagi birikmalarda amal qiladigan bilvosita o'zaro ta'sir parametrini hisoblash.

Ushbu paragrfdan OKEM-In(OKEM=Gd,Tb,Dy,Ho,Er,Tm) sistemasidagi birikmalarda amal qiladigan almashinuv o'zaro ta'sirni yarim empirik usulda o'rganish natijalari keltirilgan[33-36].

Dastlab, o'rganilayotgan birikmalarda θ_p ning de Jen faktoriga proporsionalligi haqidagi RKKI nazariyasining bashorati va so'ngra birikmalarda amal qiladigan bilvosita almashinuv o'zaro ta'sir parametri o'rganildi.RKKI nazariyasining bashorati (2.7) ifodadan, ya'ni

$$\theta_p = \frac{A}{k_B} (1-x)(g_J - 1)^2 J(J + 1)$$

foydalanib tekshirildi. Tekshirish natijalari 3.5-jadvalda va ko'rgazmalilik uchun 3.4-rasmda keltirilgan.

Bilvosita o'zaro ta'sir parametri- A/k_B ning qiymatlari (2.9) ifodadan, ya'ni

$$\frac{A}{k_B} = \frac{3\theta_p}{(1-x)G_{\text{KYE}M}} = \frac{3\theta_p}{(1-x)(g_J - 1)^2 J(J+1)}$$

foydalanib hisoblandi. Hisoblash natijalari 3.6-jadvalda va ko'rgazmalilik uchun 3.5-rasmda keltirilgan.

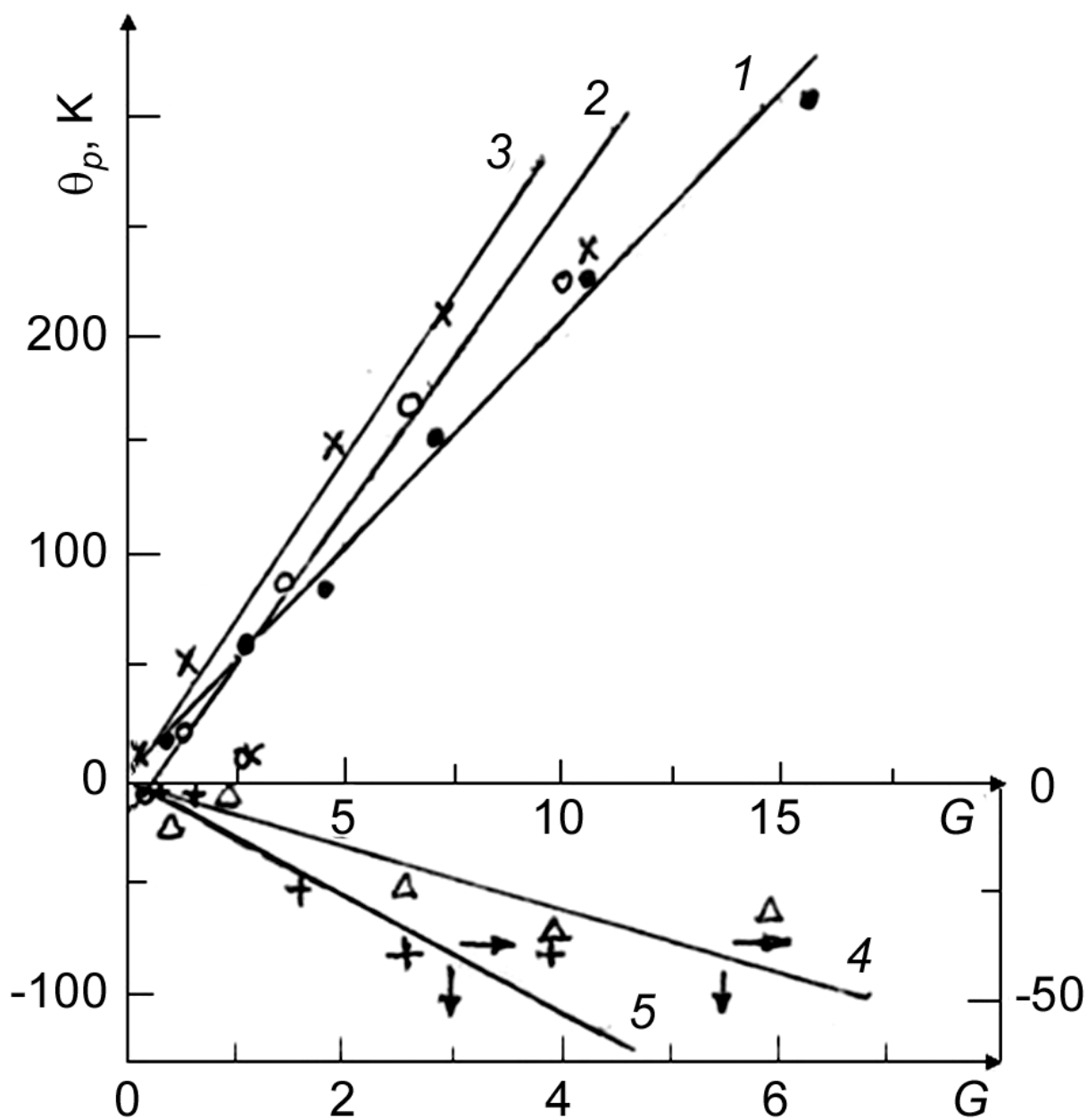
3.5-jadval va 3.4-rasmni (2-5 chiziqlarni) tahlil qilish shuni ko'rsatadiki θ_p ning de Jen faktoriga bog'lanishlari deyarlik chiziqli tabiatga ega va OKYeMning $\theta_p(G)$ chiziqli bog'lanish(3.4-rasmdagi 1-chiziq) tabiati bilan qoniqarli darajada mos keladi. Demak, o'rganilgan birikmalarda θ_p ning o'zgarishi RKKI nazariyasi bashoratiga juda yaqindir. Bu shundan guvoxlik beradiki o'rganilgan birikmalarda amal qiladigan almashinuv o'zaro ta'siri, toza OKYeMda amal qiladigan RKKI tipidagi bilvosita almashinuv o'zaro ta'siridir.

3.6-jadval va 3.5-rasmni tahlil qilish shuni ko'rsatadiki, A/k_B pametrning qiymati birikmalarda indiy konsentratsiyasining o'zgarishiga sezilarli darajada bog'liq. A/k_B ning qiymati, Gd-In,Tb-In,Dy-In va Er-In sistemalaridagi birikmalarining qattiq holati uchun, indiy konsentratsiyasining oshishi bilan dastlab tez oshadi(toza Gd,Tb,Dy,Er magnit matritsalar uchun A/k_B qiymatlariga nisbatan), so'ngra keskin kamayadi, magnit matritsaning qiymatidan kichik bo'lib qoladi va indiyning konsentratsiyasi 50at.% dan oshganda ishorasini musbatdan manfiyga o'zgartiradi, so'ngra yana kamayadi. Ho-In va Tm-In sistemalari uchun A/k_B parametr indiy konsentratsiyasini oshishi bilan kamayadi va Ho-In sistemasida indiyning konsentratsiyasi 37.5at.%dan oshganda, Tm-In sistemasida esa 37.5at.%da ishorasini musbatdan manfiyga o'zgartiradi. O'rganilgan KYeM-In sistemalaridagi birikmalar qattiq holatdan suyuq holatga o'tganda A/k_B ning qiymati oshadi.

3.5-jadval

OKEMning In bilan birikmalari uchun θ_p de Jen faktorining qiymatlari.

Birikma	θ_p, K	g_J	J	$(1-x)(g_J-1)^2 J(J+1)$
Gd ₂ In	238	2	7/2	10.51
Tb ₂ In	210	3/2	6	7.00
Dy ₂ In	150	4/3	15/2	4.72
Ho ₂ In	8	5/4	8	3.00
Er ₂ In	52	6/5	15/2	1.70
Tm ₂ In	7	7/6	6	0.77
Gd ₅ In ₃	2.28	2	7/2	9.84
Tb ₅ In ₃	175	3/2	6	6.56
Dy ₅ In ₃	88	4/3	15/2	4.43
Ho ₅ In ₃	8	5/4	8	2.81
Er ₅ In ₃	29	6/5	15/2	1.59
Tm ₅ In ₃	-7	7/5	6	0.625
GdIn ₃	-40	2	7/2	3.94
TbIn ₃	-40	3/2	6	2.63
Dy ₃ In ₃	-25	4/3	15/2	1.77
ErIn ₃	-6	6/5	15/2	0.64
TmIn ₃	-5	7/6	6	0.29



3.4-rasm. (Gd,Tb,Dy,Ho,Er,Tm)-In sistemasi uchun $\theta_p(G)$ bog'lanishlar:
 1-OKEM (OKEM= Gd,Tb,Dy,Ho,Er,Tm); 2- OKEM_5In_3 ; 3- OKEM_2In ;
 4- OKEM_3In_5 ; 5- OKEMIn_3 .

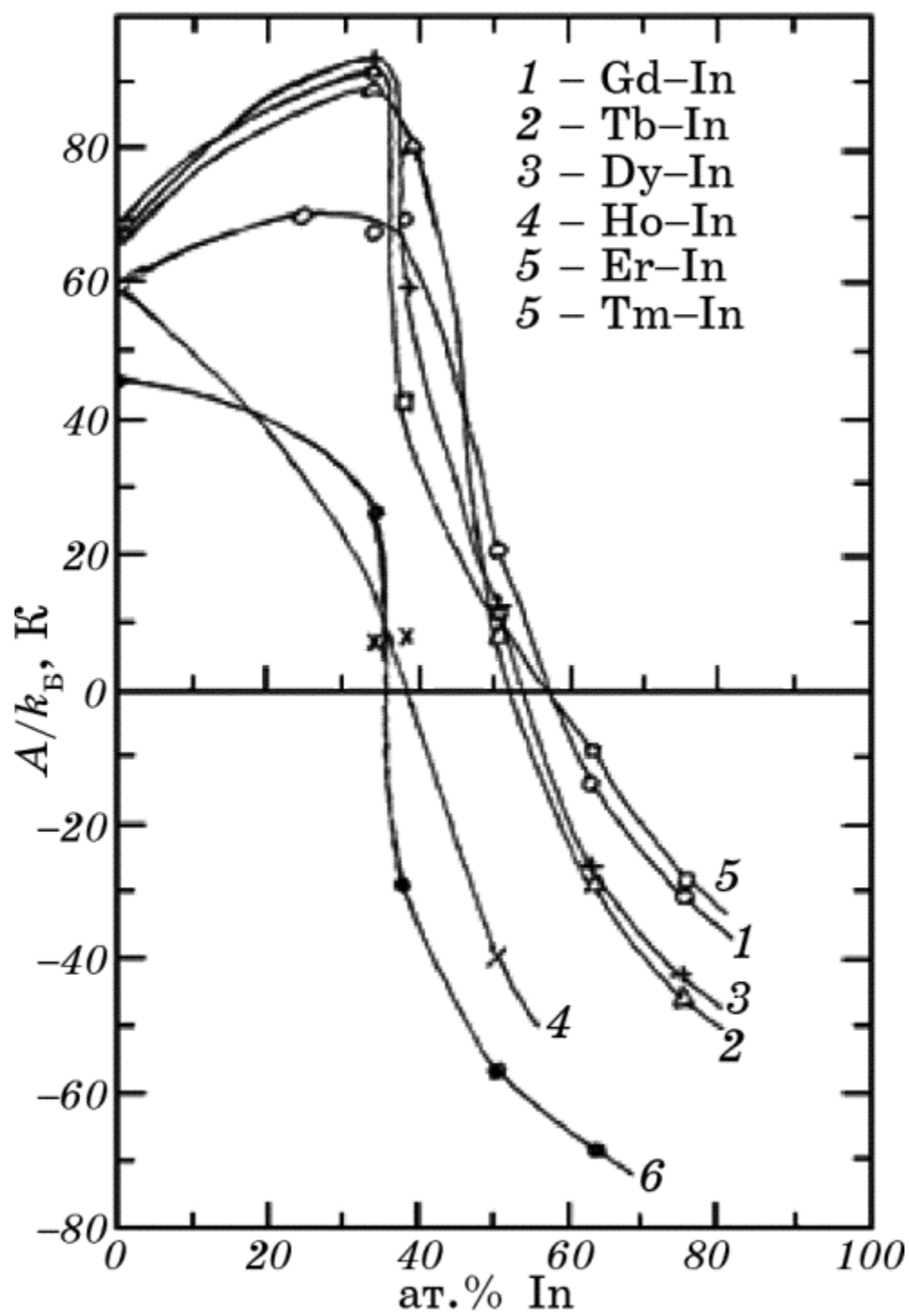
3.6-jadval

**(Gd,Tb,Dy,Ho,Er,Tm)-In sistemasidagi na'munalar uchun bilvosita
almashinuv o'zaro ta'sir parametrining qiymatlari.**

Na'muna	Qattiq holat		Suyuq holat	
	θ_p, K	$A/k_B, K$	θ_p, K	$A/k_B, K$
1	2	3	4	5
Gd	313	59.62	323	61.52
Gd ₃ In	278	70.62	378	96.02
Gd ₂ In	238	67.68	223	63.41
Gd ₅ In ₃	228	69.51	305	92.99
GdIn	53	20.12	173	65.86
Gd ₃ In ₅	-27	-13.71	58	-29.44
GdIn ₃	-40	-30.46	68	-51.78
Tb	233	66.57	339	96.86
Tb ₂ In	210	89.45	325	122.79
Tb ₅ In ₃	175	80.03	273	126.68
α -TbIb	15	8.57	277	158.28
Tb ₃ In ₅	-38	-28.93	258	-196.45
TbIn ₃	-40	-45.63	275	-313.69
Dy	160	67.77	180	76.24
Dy ₂ In	150	94.74	268	169.26
Dy ₅ In ₅	88	59.59	310	209.93
α -DyIn	15	12.71	182	154.24
Dy ₃ In ₅	-23	-25.94	121	-136.47
DyIn ₃	-25	-42.37	100	-106.76
Ho	90	60	500	333.33
Ho ₂ In	8	7.95	325	322.85
Ho ₅ In ₃	8	8.54	225	240.21

1	2	3	4	5
HoIn	-30	-40	91	-121.33
Er	58	68.2	110	129.41
Er ₂ In	52	91.22	98	171.93
Er ₅ In ₃	23	43.40	160	301.89
α -ErIn	5	11.72	95	222.66
Er ₃ In ₅	-3	-9.38	80	-250.00
ErIn ₃	-6	-28.10	174	-815.63
Tm	18	46.27		
Tm ₂ In	7	26.92	-196	-3520.96
Tm ₅ In ₃	-7	28.77	-34	-130.77
TmIn	-11	-56.90	125	513.70
Tm ₃ In ₅	-10	-68.18	-197	-1018.96
TmIn ₃	-5	-51.72	-36	-245.45

§1.3dan malumki[(1.17) ifoda], A/k_B parametrning kattaligi va ishorasi Ruderman-Kittel funksiyasi $F(x)$ ning magnit ionlar orasidagi masofaga($R_n - R_m$) bog'liqligi bilan aniqlanadi. A -parametr ishorasining o'zgarishi $F(x)$ funksiyaning osillatsion xarakteri, yani uning ishorasining o'zgarishi bilan bog'liq. OKYeM-In sistemasidagi birikmalar kristall panjarasining davrlari toza OKYeMnikidan katta ekanligi [37]-ishda aniqlangan. Demak OKYeM kristall panjarasida diamagnit matritsa- In^{3+} ionlari joylashganda magnit matritsa OKYeM³⁺ ionlari orasidagi masofa oshadi. Bu o'z navbatida In konsentratsiyasi oshishi bilan A/k_B parametrining kamayishiga olib keladi. Shunday qilib, o'rganilgan sistemalarda, toza OKYeMdagidek, RKKI turdagi almanishinuv o'zaro ta'siri amal qiladi deyishimiz mumkin.



3.5-rasm. OKEM-In(OKEM=Gd,Tb,Dy,Ho,Er,Tm) sistemalarida

A/k_B parametrining In konsentrasiyasiga bog'lanishlari.

III-bobga doir xulosalar.

III-bobda bajarilgan ishlarni umumlashtirib quyidagi xulosalarni aytish mumkin:

1. Toza OKYeM uchun RKKI nazariyasining, paramagnet Kyuri temperaturasi θ_K de Jen faktoriga proporsionalligi haqidagi bashorati tasdiqlandi va bilvosita almashinuv o'zaro ta'sir parametri hisoblandi.
2. OKYeM-(Al,In) (OKYeM=Gd,Dy,Ho,Er) sistemalaridagi birikmalar uchun ham RKKI nazariyasining, paramagnet Kyuri temperaturasi θ_K de Jen faktoriga proporsionalligi haqidagi bashorati, toza OKYeMdagidek bajarilishi tasdiqlandi va bilvosita almashinuv o'zaro ta'sir parametri hisoblandi.
3. Hisoblash natijalariga tayanib OKYeM bilan Al hamda In orasida hosil bo'ladigan birikmalarda ham toza OKYeMda amal qiladigan RKKI tipidagi almashinuv o'zaro ta'sir amal qilishi aniqlandi.

XULOSALAR.

Ushbu magistrlik dissertatsiyasida olingan natijalarga asoslanib quyidagi xulosalarni aytish mumkin:

1. OKYeM-Al(OKYeM=Gd,Dy,Ho,Er) sistemalarida amal qiladigan bilvosita almashinuv o'zaro ta'sir parametrini(integralini), yarim empirik usulida o'rganishga aloqador bo'lgan, bugungi kunda ilmiy adabiyotlarda mavjud bo'lgan, nazariy va tajribaviy ishlar o'rganib chiqildi.
2. Toza OKYeM uchun paramagnet Kyuri temperaturasi tajribaviy qiymatining de Jen faktoriga proporsional bo'lishi haqidagi RKKI nazariyasi bashoratining bajarilishi aniqlandi. O'rganilgan ekviatomli birikmalar uchun ham RKKI nazariyasining shu bashorati, ya'ni birikmalar paramagnit Kyuri temperaturasi tajribaviy qiymatining de Jen faktoriga proporsional bo'lishi haqidagi bashoratining o'rinli ekanligi birinchi marta isbotlandi.
3. Toza OKYeM va OKYeM-(Al,In) sistemalaridagi birikmalarda amal qiladigan bilvosita almashinuv o'zaro ta'sir parametrini, namunalar paramagnit Kyuri temperaturasining tajribaviy qiymatidan foydalanib, yarim empirik usulda hisoblandi. Bu ish o'rganilgan birikmalar uchun birinchi marta bajarildi.
4. Hisoblash natijalariga tayanib, OKYeM bilan alyuminiy hamda indiy birikmalarida ham, toza OKYeMda amal qiladigan, RKKI tipidagi almashinuv o'zaro ta'sir, ya'ni birikmalar kristall panjarasining tugunlarida o'troqlashgan 4f-qobiqlardagi elektronlarning panjara tugunlari orasida umumlashgan elektronlar orqali o'zaro ta'siri amal qilishligi aniqlandi. Aynan mana shu tipdagi o'zaro ta'sir o'rganilgan birikmalar magnit tartiblangan holatining hosil bo'lishida hal qiluvchi rol o'ynashi asoslab berildi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI.

1. Вонсовский С.В. «Магнетизм». – М.: Наука, 1971 – 1032с,
2. Тейлор К. , Дарби М. «Физика редкоземельных соединений».-М.: Мир, 1974 – 374с.
3. Белов К.П. , Велянчикова М. «Редкоземельные ферромагнетики и антиферромагнетики». –М.: Наука, 1965 – 320с.
4. Тейлор К. Интерметаллических соединений редкоземельных металлов. – М.: Мир, 1974 – 374с.
5. Аражис С., Колвин Р. Парамагнитная восприимчивость редкоземельных металлов при повышенных температурах. В.Сб.: «Новые исследования редкоземельных металлов». – М.: Мир, 1984. с.100-135.
6. Кондон Е. , Шортли Г. «Теория атомных спектров». – М.: И.Л. 1949, с. 189-191.
7. Van Flack J.H. The theory of electric and magnetic suscrtibilities. – Oxford: Univ. pess, 1932 – 384p.
8. Сельвуд П.И. Магнетохимия. – М.: И.Л. 1958 – 460с.
9. Кринчик Г.С. Физика магнитных явлений.-М: Изд-во МГУ, 1976.-367 с.
10. Ruderman M.A. and Kittel C. Indirect Exchange Coupling of Nuclear Magnetic moments of conduction Electrons.- Phys. Rev.–1954.–Vol.96.– N1.– pp. 99-102.
11. Kasuya T. A Theory of Metallic Ferro-and Antiferromagnetism on Zener's Model.//Prog. Theor. Phys. (Kyoto).– 1956.– V.16.– №1.– pp. 45-55; Electrical lesistance of Ferromagnetic Metals//Prog.Theor. Phys. (Kyoto).– 1966.– V.16.– pp. 58-63.
12. Yosida K. Magnetic properties of Cu-Mn Alloy//Phys.Rev.–1957.– V.106.– N5.– pp. 893-898.
13. Buschov K.H.J. Intermetallic compound of Rare Earths and non-magnetic metals//–Rep.Progres Phys.–1979.–vol. 42.–8. –pp.1373-1405.

14. Arajs S., Miller D.S. Magnetic Behavior of Polyocrystalline neodymium, holmium and erbium from 300 to 1500⁰K//J.Appl.Phys..– 1960.–Vol.31.– N5.–pp.325S-326S.
15. Arajs S. Paramagnetic Susceptibility of Polycrystalline Thulium from 300 to 1500K//J.Chem.Phys.–1960.–Vol.32.– №3.–pp. 951-952.
16. Arajs S. and Colvin R.V. Paramagnetism of Polycrystalline Gadolinium, Terbium and Dysprosium Metals// J. Appl. Phys..– 1961.– Vol.32.– №3.–pp. 336S -337S.
17. Müller M., Huber E.,Güntherodt H.J. Magnetic susceptibility of liquid heavy Rare Earth Metals//J.de Physique.–1979.–T.40.– Suppl.N5.–pp. c5-260-c5-261.
18. Кувандиков О.К., Шакаров Х.О., Хамраев Н.С., Усанов Ш.Х. Магнитная восприимчивость интерметаллических соединений диспрозия и эрбия с алюминием при высоких температурах//В сб. научных статей: «Физика магнитных материалов». Калинин, из-во Калининского государственного университета.– 1986.– с.34-36.
19. Кувандиков О.К., Шакаров Х.О., Усанов Ш.Х., Сайфуллаева Д. Магнитные свойства интерметаллидов в бинарных системах R-Al (R=Gd, Dy, Ho, Er) в твердом и жидком состояниях//В сб. научных статей: «Спектроскопия конденсированных сред». –Самарканд, из-во СамГУ.– 1990.– с.83-87.
20. Кувандиков О.К., Шакаров Х.О. Магнитные свойства интерметаллических соединений редкоземельных металлов с алюминием при высоких температурах//Узб. физ. журнал.– 1998.– №3.– с.62-67.
21. Кувандиков О.К., Шакаров Х.О. Магнитная восприимчивость интерметаллидов в системе РЗМ-Al при высоких температурах// Известия вузов.– Физика.– №3.– 2004.– с.78-81.

22. Kuvandikov .O.K, Shakarov. Kh.Magnetic Susceptivisity of intermetallic compounds in REM –Al sytem at higt temperatures// Russian physics journal. -2004.-V.-47. -№. 3.-PP.315-318.
23. Кувандиков О.К., Шакаров Х.О. Исследования магнитных свойств интерметаллидов в системе РЗМ-Al в твердом и жидком состояниях. Металлофизика и новейшие технологии, Украина.– 2004.– т.26.– №10.– с.1323-1331.
24. Антропов В. А., Радовский Н. З., Довгополь С. П., Гельд П. В. Магнитная восприимчивость никель – кремневых сплавоф при высоких температурах.//УФЖ.– 1976.–№3.– с.360-364.
25. Шакаров Х.О. Магнитная восприимчивость интерметаллических соединений лантаноидов с индием при высоких температурах.// Кандидатская диссертация, Самарканд, 1983.
26. Шакаров Х.О. Магнитная восприимчивость интерметаллидов в системе Er-In при высоких температурах//Известия вузов. Россия, Физика. 2004.– №12.– с.7-10.
27. Шакаров Х.О. Магнитная восприимчивость интерметаллидов в системе Dy-In при высоких температурах//Известия вузов. Россия.– Физика. 2005.– №1.– с.88-89
- 28.. Кувандиков О.К, Шакаров Х.О., Абдурахмонов А.. Исследование магнитных свойства интерметаллидов в системе РЗМ-In в твёрдом и жидком состояниях. – Металлофизика и новейшие технологии. Украина(г. Киев), 2013, Т. 35, №7, сс.879-888.
29. Никитин С. А. Температура магнитного упорядочения и интеграл косвенного обмена в редкоземельных сплавах тербий – иттрий и тербий – гадолиний// ЖЭТФ.– 1979.– т.77.– вып.1.– с.343-351.
30. Турсункулова Г.К., Жуланов Х.К., Садуллаев Т.И.. (Научные руководитель: Х.О.Шакаров) Полуэмпирические исследование

косвенное обменное взаимодействие в системе РЗМ-Al. Материалы 53-й между народной научной студенческой конференции. (МНСК – 2015), 11-17 апреля 2015 г. Физические методы в естественных науках .Г. Новосибирск - 2015.-с.39

31. Кувондиқов О.К., Шақаров Х.О., Шодиев З.М., Амонов Б.У., Жуланов Х.. Полужемпирические исследование косвенного взаимодействия в системе РЗМ-Al. “Физика фанининг ривожиди истеъдодли ёшларнинг ўрни ” мавзусида академик Р.Б.Бекжанов таваллудининг 85-йиллиги муносабати билан ўтказилган республика илмий-амалий конференция мақолалар тўплами . 1-жилд “ИАК-VIII” , 2015-йил 24-25-апрел. Ташкент-2015 -,с.206-212.
32. ШақаровХ.О., Шодиев З.М., Амонов Б.У., Жуланов Х.. Парамагнитная температура кюри и косвенное обменное взаимодействие в системе РЗМ-Al. // СамДУ илмий ахборотномаси. – 2015. -104-109 б.
33. Нуримов У.Э., Жўланов Х. К. (илмий раҳбар: Шақаров Х.О.). КЕМ-In системасида парамагнит Кюри температура ва билвосита ўзаро таъсир. “Ёш олимлар” республика илмий-амалий коференцияси. Аниқ фанлар ва табиий фанлар. 2016-йил 29-30 январ, Термиз: “Тафаккур” нашриёти- 579-580б.
- 34.Усаров У.Т., Шақаров Х.О., Жуланов Х.К., Кодирова Н.И. Полужемпирическое исследование косвенного обменного взаимодействия в системе РЗМ – In. “Ўзбекистонда архитектура-қурилиш соҳаларини ривожлантиришнинг долзарб муаммолари ва истиқболлари” мавзусида вазирлик миқёсидаги илмий-техник конференция материаллари (Самарқанд давлат архитектура-қурилиш институтининг 50-йиллигига бағишланган), с.131-136, Самарқанд, 2016 йил 24 декабр

35. Жуланов Х., Шакаров Д. КЕМ-In системасининг Кюри температураси билан алмашинув ўзаро таъсир интегралли орасидаги боғланиш. «Ёш олимлар» Республика илмий-амалий конференция материаллари. Аниқ фанлар ва табиий фанлар. III-қисм, 213-215 б. Термиз, 2017 йил 31 март - 1 апрель
36. Шакаров Х.О., Ниёзов Ш.К., Жуланов Х.К. КЕМ-(Al,In) системаларида парамагнит Кюри температура ва алмашинув ўзаро таъсир. “Узлуксиз таълим тизимида физикани ўқитишни такомиллаштиришнинг долзарб муаммолари” мавзусидаги Республика илмий-амалий анжумани материаллари тўплами. 131-134 б. Гулистон, 2017 й., 29-апрель.
37. Yatsenko S.P., Semyanikov S.S., Shakarov A.O., Fedorova E.G. Phase diagrams of binary rare earth metal-indium systems//J.Less-Comm. Metals.– 1983.– v.90.– №1.– pp.95-108.
38. www.ziyonet.uz
39. www.lex.uz
40. www.idu.com
41. www.lebrare.uz