

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

**ALISHER NAVOIY NOMIDAGI SAMARQAND DAVLAT
UNIVERSITETI**

Qo'l yozma huquqida

UDK: 538.214.538.222

XUJAYAROV FARXOD

**KYeM-TGM(KYeM=Gd,Dy,Ho;TGM=Fe,Co,Ni) sistemalaridagi
birikmalarda amal qiladigan almashinuv o'zaro ta'sir parametrini yarim
empirik hisoblash**

Mutaxassislik: 5A140202 "Fizika(yo'nalishlar bo'yicha)"

**MAGISTR
AKADEMIK DARAJASINI OLIISH UCHUN YOZILGAN**

DISSERTATSIYA

Ish ko'rib chiqildi va himoyaga qo'yildi.

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

dots. R.M. Rajabov _____

«____» _____ 2016 yil

Ilmiy rahbar: fizika –

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

«____» _____ 2016 yil

Samarqand – 2015

Mundarija

KIRISH.....	4
I.BOB. KAMYOB YeR METALLARI(KYeM), TEMIR GURUHI METALLARI(TGM) VA ULARNING BIRIKMALARINING ELEKTRON TUZILISHI VA MAGNIT XOSSALARIGA OID TADQIQOTLARNING HOLATI.....	8
1.1.KYeMva TGMning elektron tuzilishi.....	8
1.2. KYeMva TGM uchun paramagnetizmning Van-flek nazariyasi.....	12
1.3.KYeM va TGM uchunbilvosita almashinuv o'zaro ta'sir nazariyasi.....	19
1.4.Toza KYeM, TGM va KYeM-TGM(KYeM=Gd,Ho,Dy;TGM=Fe,Ni,Co) sistemalaridagi birikmalarining magnit xossalarini yuqori temperaturalarda o'rganish natijalari.....	22
I-bobga doir xulosalar.....	36
II.BOB.KYeM-TGM(KYeM=Gd,Ho,Dy;TGM=Fe,Ni,Co)SISTEMALARIDA AMAL QILADIGAN BILVOSITA ALMASHINUV O'ZARO TA'SIRNI YARIM EMPIRIK USULDA O'RGANISH NATIJALARI VA ULARNING MUHOKAMASI.....	37
2.1. Bilvosita almashinuv o'zaro ta'sirni yarim empirik o'rganish usuli.....	37
2.2.Toza KYeMda amal qiladigan bilvosita almashinuv o'zaro ta'sirni o'rganish.....	40
2.3. Gd-TGM(TGM=Fe,Ni,Co) sistemalarida amal qiladigan almashinuv o'zaro ta'sirni yarim empirik usilda o'rganish.....	43
2.4. Ho-TGM(TGM=Fe,Co) sistemalarida amal qiladigan almashinuv o'zaro ta'sirni yarim empirik usilda o'rganish.....	48

2.5. Dy-TGM(TGM=Fe,Ni,Co) sistemasida amal qiladigan almashinuv o'zaro ta'sirni yarim empirik usilda o'rganish.....	52
II-bobga doir xulosalar.....	55
XULOSALAR.....	56
FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI.....	58

KIRISH

Mavzuning asoslanishi va dolzarbligi. Bugungi kunda kamyob Yer metallari(KYeM), temir guruhi metallari (TGM) va ular orasida hosil bo'ladigan 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 materiallarda kechikib to'ladigan 4f va 3d – elektron qobiqlarning 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 xossalari yangi magnit materiallari yaratishda keng qo'llaniladi. Bu materiallarning fizik xossalarini o'rganish ilmiy jihatdan ham ahamiyatlidir.Chunki, bu materiallardagi almashinuv o'zaro ta'sir tabiati hali to'la aniqlanmagan. Ularning o'ziga xos magnit xossalarini 4f va 3d- elektronlar bilan bog'lab tushuntiradigan yangi nazariy modellar yaratildi [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, TGM vaKYeM orasidagi birikmalarning magnit xossalari haqidagi ma'lumotlar ularning magnit tartiblangan holati uchun yetarli darajada bo'la turib, magnit tartibsiz-paramagnit holati uchun, ya'ni qattiq va suyuq holatlarini qamraydigan yuqori temperaturalardagi ma'lumotlar adabiyotlarda bugungi kunda 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 (3d-, 4f-, va h.z.) materiallarning magnit xossalari (magnit qabul qiluvchanligi) shu qobiqning elektronlar bilan to'lish xususiyatlarini va bu elektronlarning kristall panjara tugunlarida o'troqlashish (lokallashish) darajasini bevosita o'zida aks ettiradi.

Bundan tashqari, magnit qabul qiluvchanlikning temperaturaga bog'lanishi [$\chi(T)$] bu materiallarning kristall panjarasida yuz beradigan strukturaviy, allotropik va magnit fazoviy o'tishlarni ham sezadigan fizik xossa hisoblanadi.

Tadqiqotning obyekti- KYeM-TGM(KYeM=Gd,Ho,Dy;TGM=Fe,Ni,Co) sistemalaridagi toza metallar va intermetallik birikmalar.

Tadqiqotning predmeti-KYeM-TGM(KYeM=Gd,Ho,Dy;TGM=Fe,Ni,Co) sistemalaridagi intermetallik birikmalarda amal qiladigan bilvosita almashinuv o'zaro ta'sir parametrini paramagnit kyuri temperaturasining tajribaviy qiymatlaridan foydalanib hisoblash.

Tadqiqot usuli – Bilvosita almashinuv o'zaro ta'sirni yarim empirik o'rganish usuli.

Tadqiqotning maqsadi - KYeM-TGM(KYeM=Gd,Ho,Dy;TGM=Fe,Ni,Co) binar sistemalaridagi namunalarda amal qiladigan bilvosita almashinuv o'zaro ta'sir parametrini ularning paramagnit kyuri temperaturasining tajribaviy qiymatlaridan foydalanib hisoblash.

Tadqiqotning vazifalari - qo'yilgan maqsadni amalga oshirish uchun quyidagi vazifalarni bajarish zarur deb hisoblandi.

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

KYeMTGM(KYeM=Gd,Ho,Dy;TGM=Fe,Ni,Co) sistemalaridagi namuna-larning magnit qabul qiluvchanligini temperaturaga bog'lanishini o'rganish va ulardan foydalanib shu namunalar paramagnit Kyuri temperaturasining tajribaviy qiymatlarini aniqlash;

Bilvosita almashinuv o'zaro ta'sir parametrini hisoblashning yarim empirik usulini o'rganish;

Toza og'ir KYeM va KYeM-TGM(KYeM=Gd,Ho,Dy;TGM=Fe,Ni,Co) binar sistemalaridagi intermetallik birikmalarda amal qiluvchi bilvosita almashinuv o'zaro ta'sir parametrlarini yarim empirik usulda hisoblash;

Ishda olingan natijalarni chuqur tahlil qilib tegishli xulosalar chiqarish.

Tadqiqotningilmiy yangiligi:Bu magistrlik dissertatsiyada KYeM-

TGM(KYeM=Gd,Ho,Dy;TGM=Fe,Ni,Co) sistemalaridagi intermetallik birikmalarda amal qiladigan bilvosita almashinuv o'zaro ta'siri yarim empirik usul bilan birinchi marta o'rganilgan.

Tadqiqotning nazariy va amaliy ahamiyati: Ushbu ishda olingan natijalar TGMning KYeM bilan hosil qiladigan birikmalarida amal qiladigan almashinuv o'zaro ta'sir nazariyasini yuqori temperaturalarda takomillashtirishga va ulardan yangi magnit materiallari yaratishga xizmat qiladi.

Himoya qilinadi: 1. KYeM va uning TGMbilan intermetallik birikmalarida amal qiladigan bilvosita almashinuv o'zaro ta'sirni o'rganishning yarim empirik usuli;

2. Toza KYeM va KYeM-TGM(KYeM=Gd,Ho,Dy;TGM=Fe,Ni, Co) sistemalaridagi birikmalarning tajribaviy paramagnit Kyuri temperaturasi qiymatlaridan foydalanib, ularda amal qiladigan bilvosita almashinuv o'zaro ta'sirning parametrini yarim empirik usul bilan hisoblash bo'yicha olingan natijalar.

Ishning tuzilishi va hajmi. Magistrlik dissertatsiyasi kirish, ikkita bob, xulosalar va 49-ta nomdagi foydalanigan adabiyotlar ro'yxatidan tashkil topgan bo'lib, 62bet lotin alifbosida, bosma shaklda bayon qilingan. Uning mazmuni 16- ta rasm va 11- 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.

Birinchi bobda dissertatsiya mavzusiga oid, bugungi kunda adabiyotlarda mavjud bo'lgan, nazariy va tajribaviy ishlarga (KYeM va TGMning elektron tuzilishi, KYeM va TGM uchun paramagnetizmning Van-Flek va bilvosita almashinuv o'zaro ta'sir nazariyalari, toza KYeM, TGM va KYeM-TGM(KYeM=Gd,Ho,Dy;TGM=Fe,Ni,Co) sistemalaridagi birikmalarning magnit xossalari yuqori temperaturalarda o'rganish natijalari) sharh berilgan. Bob oxirida tegishli xulosalar qilingan.

Ikkinchi bobda bilvosita almashinuv o'zaro ta'sirni yarim empirik o'rganish usuli, toza KYeMda va -TGM(KYeM=Gd,Ho,Dy;TGM=Fe,Ni,Co) 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. KAMYOB YeR METALLARI(KYeM), TEMIR GURUHI METALLARI(TGM) VA ULARNING BIRIKMALARINING ELEKTRON TUZILISHI VA MAGNIT XOSSALARIGA OID TADQIQOTLARNING HOLATI

1.1. KYeMva TGMning elektron tuzilishi.

Kechikib toʻladigan elektron qobigʻlarga (3d,4d,5d,6d,4f,5f) ega boʻlgan atomlardan tashkil topgan metallar oʻtkazuvchan metallar nomi bilan ataladi. KYeM ga 4f-elektron qobigʻi kechikib toʻladigan lantandan ($z=57$) lyutetsiygacha ($z=71$) boʻlgan elementlar kiradi.

KYeM da elektronlarning qobiqlar boʻyicha joylashishi, 4f,5d va 6s-qobiqlarni hisobga olmaganda xuddi ksenondagidek boʻladi. KYeM atomlarida 4f-gacha boʻlgan ichki qobiqlar elektronlar bilan toʻlgan boʻlib, ularning elektron konfiguratsiyasi $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^6 4d^{10}$, tashqi elektron qobiqlar konfiguratsiyasi esa $4f^n 5s^2 5p^6 5d^{0-1} 6s^2$ kabi aniqlanadi [1-4]. Bundagi n -4f qobiqdagi elektronlar soni boʻlib, $n=0$ (La) dan $n=14$ (Lu) gacha oʻzgaradi. Kristall holatda KYeM atomlari uch karra ionlashgan holatda, kristall panjara tugunlarida joylashadilar. $5d^1 6s^2$ -qobiqlardagi elektronlar esa kristallda umumlashgan, yaʼni elektr tok hosil qiladigan elektronlarga aylanadi. Bu metallar 4f-qobiqning effektiv radiusi (r_{4f}) kristall panjara tugunlari orasidagi eng qisqa masofa – a panjara davridan ancha kichikdir, yaʼni, $r_{4f} \gg a/2$. Ulardagi 4f-qobigʻidagi elektronlar kristall panjara tugunida oʻtroqlashgan boʻlib, tashqi $5s^2 5p^6$ -toʻlgan qobiqlar bilan ionlar maydonidan ekranlashgandir. Shuning uchun ham 4f-elektronlar KYeM da xuddi erkin atom va ionlardek energetik holatda boʻladi. KYeM ning “Erkin ion” modelining mohiyati shundan iboratdir. KYeM uchun “Erkin ion” modelining oʻziga xos tomoni shundaki, birinchidan, 4f-elektronning tugunlararo bevosita taʼsiri (f-f) mavjud emas deb qaraladi; ikkinchidan esa, tugunlardagi 4f-elektronlar orasida spin-orbital ($L \cdot S$) oʻzaro taʼsir deb ataladigan taʼsir kuchli boʻlib, bunda 4f-elektronning S-spin va L-orbital momentlari Rassel-Saunders tipida qoʻshilib,

ionning to'la mexanik momenti - J Xundning uchinchi qoidasiga asosan topiladi: 4f-qobiq yarmigacha to'lganda (yengil KYeM uchun) $J=L-S$, yarmidan ortig'iga bo'lganda (og'ir KYeM uchun) $J=L+S$ kabi topiladi.

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

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

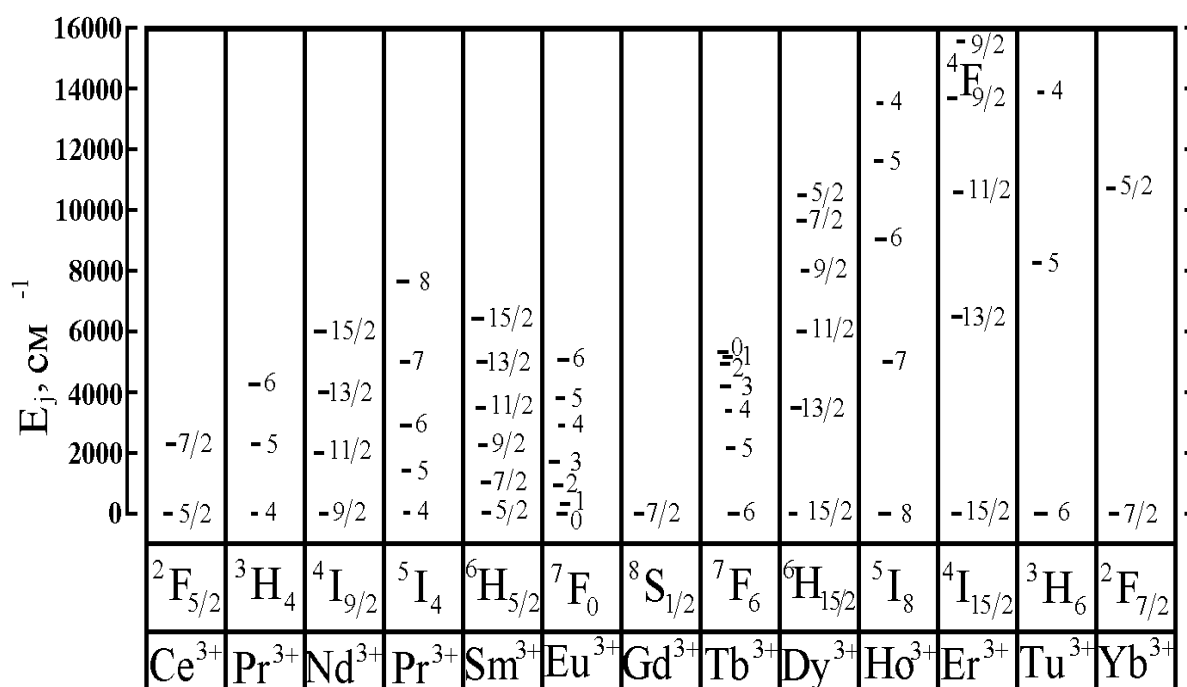
Bunda, ΔE -asosiy va uyg'ongan sathlar energiyalarining farqi, e - elektronning zaryadi, m - elektronning massasi, h - Plank doimiysi, n - va l – mos ravishda, bosh va orbital kvant sonlari, L - 4f - qobiqdagi elektronlarning to'la orbital kvant soni, z - atomning tartib nomeri, σ - ekranlash doimiysi.

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 $35 \leq \sigma \leq 36$ deb qabul qilib va (1.2) ifoda bilan hisoblash natijalari (1.1.rasm) va spektroskopik tajribalarning natijalari shuni ko'rsatadiki, og'ir KYeM uchun $\Delta E \geq 1000 \text{ sm}^{-1}$. 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 $\Delta E \geq kT$ 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		KYeM ³⁺ ionlari uchun					
		Elektron konfiguratsiya	Term	Elektron konfiguratsiya	S	L	J	Term	E _{J+1} , sm ⁻¹
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
57	La	4f ⁰ 5S ² 5P ⁶ 5d ¹ 6S ²	² D _{3/2}	4f ⁰ 5S ² 5P ⁶	0	0	0	¹ S ₀	-
58	Ce	4f ¹ 5S ² 5P ⁶ 5d ¹ 6S ²	³ H ₄	4f ¹ 5S ² 5P ⁶	1/2	3	5/2	² F _{5/2}	2253
59	Pr	4f ³ 5S ² 5P ⁶ 6S ²	⁶ I _{9/2}	4f ³ 5S ² 5P ⁶	1	5	4	³ H ₄	2171
60	Nd	4f ⁴ 5S ² 5P ⁶ 6S ²	⁵ I ₄	4f ⁴ 5S ² 5P ⁶	3/2	6	9/2	⁴ I _{9/2}	2028

61	Pm	$4f^5 5s^2 5p^6 6s^2$	$^6H_{5/2}$	$4f^5 5s^2 5p^6$	2	6	4	5I_4	-
62	Sm	$4f^6 5s^2 5p^6 6s^2$	7F_0	$4f^6 5s^2 5p^6$	5/2	5	5/2	$^6H_{5/2}$	1100
63	Eu	$4f^7 5s^2 5p^6 6s^2$	$^8S_{7/2}$	$4f^6 5s^2 5p^6$	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	$4f^{10} 5s^2 5p^6 6s^2$	5I_8	$4f^9 5s^2 5p^6$	5/2	5	15/2	$^6H_{15/2}$	3200
67	Ho	$4f^{11} 5s^2 5p^6 6s^2$	$^8I_{15/2}$	$4f^{10} 5s^2 5p^6$	2	5	8	5I_8	5050
68	Er	$4f^{12} 5s^2 5p^6 6s^2$	3H_6	$4f^{11} 5s^2 5p^6$	3/2	6	15/2	$^4I_{15/2}$	8000
69	Tm	$4f^{13} 5s^2 5p^6 6s^2$	$^2F_{7/2}$	$4f^{12} 5s^2 5p^6$	1	5	6	3H_6	8250
70	Yb	$4f^{14} 5s^2 5p^6 6s^2$	1S_0	$4f^{13} 5s^2 5p^6$	1/2	3	7/2	$^2F_{7/2}$	1030 0
71	Lu	$4f^{14} 5s^2 5p^6 5d^1 6s^2$	$^{22}D_{3/2}$	$4f^{14} 5s^2 5p^6$	0	0	0	1S_0	-

Temir guruhi metallari o'tuvchan metallar sinfiga mansub bo'lib, Mendeleyev davriy sistemasidagi skandiydan ($Z=21$) misgacha ($Z=29$) bo'lgan metallar kiradi. Ularning erkin atomlarida 3d – elektron qobiq kechikib to'ladi.

TGM atomlarida 3d qobiqqacha bo'lgan qobiqlar elektronlar bilan to'lgan argon ($Z=18$) atomining elektron konfiguratsiyasiga egadir [1]: $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$. Bu atomlarning tashqi elektron qobiqlari $3d^n 4s^2$ qonuniyat bo'yicha to'ladi, bunda $n=1$ dan (Sc, $Z=21$) $n=10$ gacha (Cu, $Z=29$) o'zgaradi.

Temir guruhi atomlaridan kristall panjara hosil bo'lish jarayonida ularning 4s – qobiqlardagi barcha elektronlar va qisman 3d – qobiq elektronlari kristall panjara tugunlari orasidadagi umumlashgan “erkin” elektronlarga aylanadi va ion holatiga o'tgan atomlar panjara tugunlarida joylashadi. Bu metallarning qattiq holatida tugunlarda o'troqlashgan 3d – qobiqning radiusi (r_{3d}) kristall panjara

davrining yarmiga ($a/2$) yaqindir ($r_{3d} \approx \frac{a}{2}$). Shu sababga ko'ra, 3d – elektronlar kristall panjara tugunlarida „yalong'och" holatda, ya'ni tashqi ta'sirlardan xususan, kristall panjara elektr maydonidan ekranlashmagan (himoyalanmagan) holatda bo'ladilar. TGM metallaridan Cr, Mn, Fe, Co va Ni kuchli magnit xossaga (magnit tartiblangan holatga) ega bo'lgan metallar bo'lib hisoblanadi.

Temir guruhi metallari atomlari va ionlarining elektron tuzilishi haqida asosiy ma'lumotlar 1.2 – jadvalda keltirilgan.

1.2– jadval

TGM atomlari va ionlarining elektron tuzilishi.

Z	Element	Atomlar uchun		Ionlar uchun					
		Elektron konfiguratsiya	Term	Ion	Elektron konfiguratsiya	S	L	J	Term
21	Sc	$3d^1 4s^2$	$^3D_{3/2}$	Sc^{3+}	$3d^0$	0	0	0	1S_0
22	Ti	$3d^2 4s^2$	3F_2	Ti^{3+}	$3d^1$	$\frac{1}{2}$	2	$\frac{3}{2}$	$^3S_{3/2}$
23	V	$3d^3 4s^2$	$^3F_{3/2}$	V^{3+}	$3d^2$	1	3	2	3F_2
24	Cr	$3d^5 4s^1$	7F_9	Cr^{3+}	$3d^3$	$\frac{3}{2}$	3	$\frac{3}{2}$	$^3F_{3/2}$
25	Mn	$3d^5 4s^2$	$^6S_{5/2}$	Mn^{3+}	$3d^4$	2	2	0	5D_0
		$3d^5 4s^2$	$^6S_{5/2}$	Mn^{2+}	$3d^5$	$\frac{5}{2}$	0	$\frac{5}{2}$	$^6S_{5/2}$
26	Fe	$3d^6 4s^2$	5D_4	Fe^{3+}	$3d^5$	$\frac{5}{2}$	0	$\frac{5}{2}$	$^6S_{5/2}$
		$3d^6 4s^2$	5D_4	Fe^{2+}	$3d^6$	2	2	4	5D_4
27	Co	$3d^7 4s^2$	$^4F_{9/2}$	Co^{2+}	$3d^7$	$\frac{3}{2}$	3	$\frac{9}{2}$	$^4F_{9/2}$
28	Ni	$3d^8 4s^2$	3F_4	Ni^{2+}	$3d^8$	1	3	4	3F_4
29	Cu	$3d^{10} 4s^1$	$^5S_{1/2}$	Cu^{1+}	$3d^9$	$\frac{1}{2}$	2	$\frac{5}{2}$	$^2D_{5/2}$
		$3d^{10} 4s^1$			$3d^{10}$	0	0	0	1S_0

1.2. KYeM va TGM 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 erkin 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 juda katta bo'lganda ($\Delta E \gg k_B T$) Van-Flek nazariyasi shu sistemaning solishtirma magnit qabul qiluvchanligi uchun quyidagi ifodani beradi:

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

Bunda, N_A -Avagadro soni; M -berilgan KYeM ning atom massasi; k_B -Boltsman doimiysi; T -Absolyut temperatura; μ_B -Bor magnetoni; g_J -Lande faktori.

Lande faktori quyidagicha aniqlanadi:

$$g_J = 1 + [S(S+1) + J(J+1) - L(L+1)] / 2J(J+1). \quad (1.4)$$

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

$$\alpha_J = \frac{\mu_B^2}{6(2J+1)} \left[\frac{F_{J+1}}{E_{J+1} - E_J} - \frac{F_J}{E_J - E_{J-1}} \right]. \quad (1.4)$$

Bu ifodadagi F quyidagicha aniqlanadi:

$$F_J = \frac{1}{J} [(S+L+1)^2 - J^2] \cdot [J^2 - (S-L)^2]. \quad (1.5)$$

(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 $\left(\frac{\mu_B H}{k_B T} \ll 1 \right)$ 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

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

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

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

(1.8) ifodada belgilangan μ_{eff} kattalik

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

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

$$\mu_{\phi\phi} = \frac{1}{\mu_B} \left(\frac{3k_B}{N_A} \right)^{1/2} (MC)^{1/2} \mu_B = 2,83 (MC)^{1/2} \mu_B. \quad (1.11)$$

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:

$$\chi = C / (T - \theta_p). \quad (1.12)$$

Yengil kamyob yer metallari uchun χ_0 ning qiymatini hisobga olmaslig mumkin emasligini hisobga olsak (1.3) dan Kyuri-Veyss qonunining umumlashgan ifodasini olamiz:

$$\chi = \frac{C}{(T - \theta_p)} + \chi_0. \quad (1.13)$$

Temir guruhi metallari atomlari(ionlari)ning 3d-qobiq elektronlarining uyg`ongan va asosiy energetik sathlar energiyalarining farqi ( $\Delta E \ll k_B T$ ) (T- absolyut temperatura) bo`lgani uchun Van – Flek nazariyasidan bu elementlar magnit qabul qiluvchanligining temperaturaga bog`lanishini hisoblash uchun quyidagi ifodani olish mumkin [8]:

$$\chi = \frac{N_A}{M} \frac{\mu_B^2}{3k_B T} [4S(S+1) + L(L+1)], \quad (1.14)$$

bu ifodada ham quyidagicha belgilash kiritamiz:

$$C = \frac{N_A}{M} \frac{\mu_B^2}{3k_B T} [4S(S+1) + L(L+1)] = \frac{N_A}{M} \frac{\mu_{ef}^2}{3k_B}. \quad (1.15)$$

$$\text{Bundagi} \quad \mu_{ef} = [4S(S+1) + L(L+1)]^{\frac{1}{2}} \mu_B. \quad (1.16)$$

(1.15) ga asosan (1.14)dan (1.12) ko`rinishdagi quyidagi Kyuri-Veyss qonunining empirik ifodasini olish mumkin.

Shuni alohida qayd etish kerakki, (1.16) ifoda bo`yicha nazariy hisoblangan  $\mu_{ef}$  ning qiymati, TGM bitta atomiga to`g`ri keladigan magnit momentning

tajribaviy qiymatidan ancha katta bo'lib chiqadi. Buning sababi quyidagicha: temir guruhi elementlarining kristall holatida panjara tugunidagi 3d elektronlar, shuningdek ularning orbital magnit momenti, qo'shni tugunlardagi ionlarning kuchli elektr maydoni ta'siridan yaxshi himoya qilinmagan. Shu ta'sir natijada ionlar magnit momentlarining orbital tashkil etuvchisi, kristallda aniq bir yo'nalish olib, qotib („muzlab“) qoladi. Orbital momentning kristall maydoni bilan o'zaro ta'sir energiyasi ion ichidagi spin – orbital bog'lanish energiyasidan ancha katta bo'ladi. Shu tufayli magnit momentning (1.16) ifodadagi orbital tashkil etuvchisini hisobga olmaydigan darajada kichik deb qarash mumkin ($L \approx 0$). U holda (1.16) ifodani quyidagicha yozish mumkin.

$$\mu_{ef} = 2[S(S+1)]^{\frac{1}{2}} \mu_B. \quad (1.17)$$

Agar multipletlik - $2S+1$, yoki 3d qobiqdagi juftlashmagan elektronlar soni - N aniq bo'lsa, μ_{ef} ning qiymatini (1.17) dan kelib chiqadigan quyidagi ifoda yordamida ham topish mumkin ($S = \frac{N}{2}$):

$$\mu_{ef} = \sqrt{N(N+2)} \mu_B. \quad (1.18)$$

TGM bitta atomiga to'g'ri keladigan magnit moment-effektiv magnit momentning tajribaviy qiymatini ham (1.15) dan olinadigan (1.11) ifodada foydalanib topiladi. Shuni alohida qayd etish lozimki, TGM ionlari uchun (1.17) yoki (1.18) ifodalar bo'yicha hisoblash natijalar tajriba natijalari bilan yaxshi mos tushadi. KYeM va TGM ionlarining asosiy magnit xarakteristikalarini mos ravishda 1.3 va 1.4 – jadvallarda keltirilgan.

K_YeM³⁺ ionlarining asosiy magnit xarakteristikalari[1-3,5,9]

K _Y eM ₃₊	J (asosiy sath)	g _J	$g_J[J(J+1)]^{1/2}\mu_B$ 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.	-

TGM (Fe, Co, Ni) ionlarining asosiy magnit xarakteristikalari [1].

Ion	3d elektronlar soni	N	μ_{eff}, μ_B , nazariy		$\mu_{\text{eff}},$ μ_B tajr.	Spin orbital yoyilish parametri, (E_{3d}) sm^{-1}
			$\sqrt{N(N+2)}$	$g_J \sqrt{J(J+1)}$		
Sc^{3+}	0	0	0	0	diam.	-
Ti^{3+}	1	1	1.73	1.55	1.8	154
Y^{3+}	2	2	2.83	1.63	2.8	105
Cr^{3+}	3	3	3.87	0.77	3.8	91
Mn^{3+}	4	4	4.9	0	4.9	88
Mn^{2+}	5	5	5.92	5.92	5.9	0
Fe^{3+}	5	5	5.92	5.92	5.9	0
Fe^{2+}	6	4	4.9	6.7	5.4	-103
Co^{2+}	7	3	3.87	6.63	4.8	-178
Ni^{2+}	8	2	2.83	5.59	3.2	-325
Cu^{2+}	9	1	1.73	3.55	1.9	-829
Cu^{1+}	10	0	0	0	diam.	-

1.3. KYeMda amal qiladigan bilvosita 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 - 5d¹va 6s² - 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]:

$$\theta_p = \frac{3\pi n^2}{k_B \Omega^2 E_F} A_{sf}^2(0) (g_I - 1)^2 I(I+1) \sum_{n \neq m} F(2\vec{k}_F(\vec{R}_n - \vec{R}_m)), \quad (1.19)$$

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;

$$F(x) = F(2\vec{k}_F(\vec{R}_n - \vec{R}_m)) = (x \cos x - \sin x) / x^4 \quad (1.20)$$

– Ruderman – Kittel funksiyasi.(1.14) ifodadagi

$$G = (g_J - 1)^2 J(J+1) \quad (1.21)$$

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

$$g_J = 1 + \frac{J(J+1) + S(S+1) - L(L+1)}{2J(J+1)}, \quad (1.22)$$

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

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

$$A = \frac{9\pi^2}{k_B \Omega^2 E_F} A_{sf}^2(0) \sum_{n \neq m} F(2\vec{k}_F(\vec{R}_n - \vec{R}_m)). \quad (1.23)$$

Buni hisobga olgan holda (1.14)dan quyidagi ifodani olamiz:

$$\theta_p = \frac{1}{3k_B} AG. \quad (1.24)$$

1.1. dan ma'lumki, TGM ionlaridagi 3d qobiq elektronlari kristall panjara tugunlarida „yalang'och" qoladi. Shu tufayli bu qobiq elektronlarining bevosita magnit o'zaro ta'siri yuz berishiga halaqit beradigan, ya'ni ularni ekranlovchi elektron qobiqlar (KYeMdagi $5s^2 5p^6$ larga o'xshash) yo'q. Demak, TGMda faqat bilvosita emas, balki bevosita ta'sir ham amalga oshadi. Bunga $d-d$ o'zaro ta'sir ham deyiladi. TGMda magnit tartiblangan holatni mana shu bevosita almashinuv o'zaro ta'sir hosil qiladi. Shunday o'zaro ta'sirning energetik o'lchovi, TGMda ham, Kyuri temperaturasi hisoblanadi. Bevosita almashinuv o'zaro ta'sir nazariyasi TGMning paramagnit Kyuri temperaturasi uchun quyidagi ifodani beradi [1]:

$$\theta_p = \frac{zA}{k_B}. \quad (1.25)$$

Bunda z -koordinatsiya soni.

1.4. Toza KYeM, TGM va KYeM-TGM(KYeM=Gd,Ho,Dy;TGM=Fe,Ni,Co) sistemalaridagi birikmalarining magnit xossalarini yuqori temperaturalarda o'rganish natijalari.

1.4.1. Toza KYeM va TGMning yuqori temperaturalardagi magnit xossalari.

Bugungi kunda, toza KYeMlarning magnit xossalarini 300K dan past temperaturalarda, ya'ni ularning magnit tartiblangan holatida, yetarli darajada o'rganilgan. Bu ishlarga [1,3,4] adabiyotlarda sharh berilgan. 300K dan yuqori temperaturalarda, ya'ni bu metallarning paramagnit holatini o'rganishga

bag'ishlangan ishlar uncha ko'p emas. Gadoliyning kandinsirlangan paramagnit xolatining magnit xossasi [5,13-20] ishlarida o'rganilgan.

[13,14,16,19] ishlarda gadoliyning $\chi(T)$ bog'lanishi 300-1500 K temperaturalar intervalida, ya'ni Gd ning qattiq holatida o'lchangan. $\chi(T)$ bog'lanish Van-Flek nazariyasi bo'yicha tushintirilgan.

[15,17,19] ishlarda disprozining $\chi(T)$ bog'lanishi 300-1500 K temperaturalar intervalida, ya'ni Gd ning qattiq holatida o'lchangan. $\chi(T)$ bog'lanish Van-Flek nazariyasi bo'yicha tushintirilgan.

[18-20] ishlarda gol'mining $\chi(T)$ bog'lanishi 300-1500 K temperaturalar intervalida, ya'ni Gd ning qattiq holatida o'lchangan. $\chi(T)$ bog'lanish Van-Flek nazariyasi bo'yicha tushintirilgan.

Toza temir, nikel va kobalt metallarning $\chi(T)$ bog'lanishi ularning suyuq holatini ham qaraydigan yuqori temperaturalarda o'lchash natijalari [21-27] ishlarda bayon qilingan. Bu ishlarning natijalari bo'yicha temirning $\chi(T)$ bog'lanishida, unda yuz beradigan polimor fazaviy o'tishlarning (α - γ va γ - δ) va erish temperaturalariga mos temperaturalarda, sakrab o'zgarishi yuz beradi. Har bir fazaning $\chi(T)$ bog'lanishi Kyuri-Veyss qonuniga bo'ysinadi. Kobaltning $\chi(T)$ bog'lanishida, erishiga nos keladigan temperaturada χ kichik sakrab kamayadi. Nikilning magnit qabul qiluvchanligi ham, kobaltniki kabi, temperature ortishi bilan kamayadi. Uning $\chi(T)$ bog'lanishi umumlashgan Kyuri-Vyess qonuniga bo'ysinadi. Nikilning erishida, uning magnit qabul qiluvchanligi sezirarli darajada o'zgarmaydi.

1.4.2. Gd-TGM(TGM=Fe, Ho, Ni) sistemalari

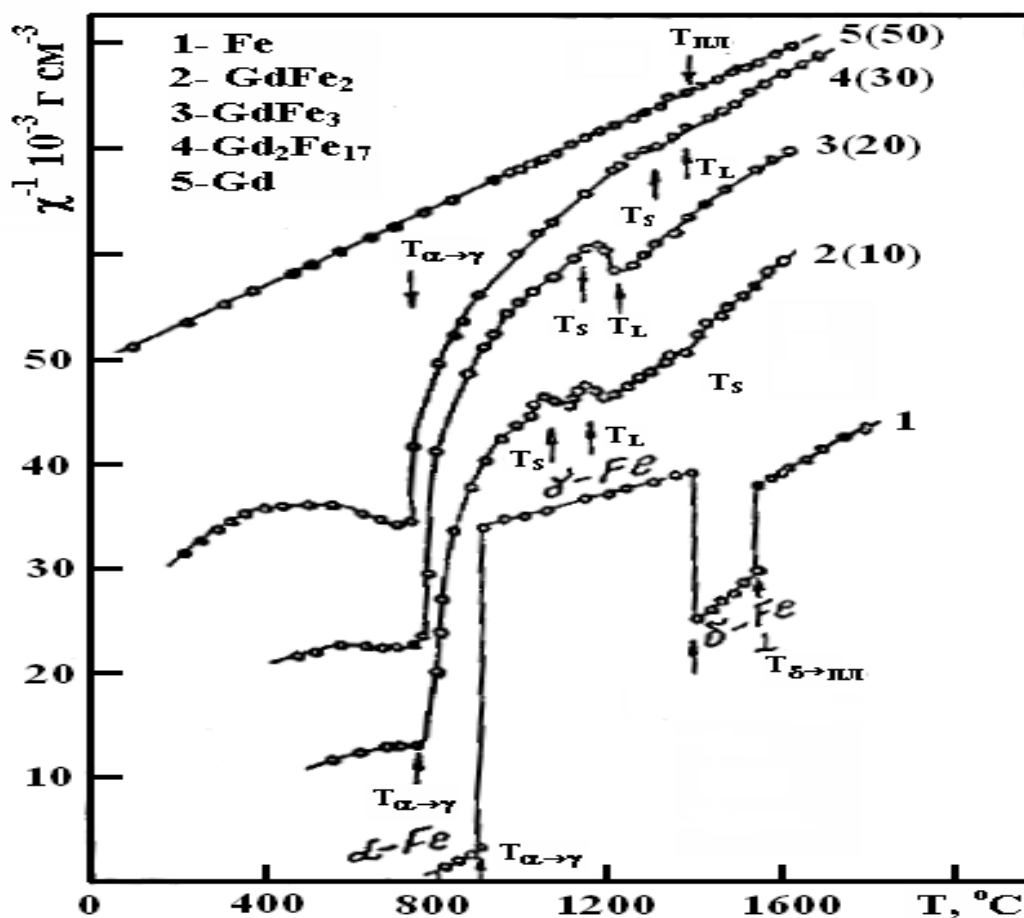
Gd-Fe sistemasi. Gd- Fe sistemasidagi birikmalarning magnit qabul qiluvchanligini 20–1700⁰C temperaturalar oralig'ida, ularning qattiq va suyuq holatlarida, o'lchash natijalari [28-32] ishlarda chop etilgan.

O'lchash natijalari, $\chi^{-1}(T)$ bog'lanishlar ko'rinishida, 1.2 -rasmda keltirilgan.

1.2-rasmdan ko'rinib turibdiki, o'rganilgan birikmalarning $\chi^{-1}(T)$ bog'lanishlari murakkab tabiatga ega. Temirda 910⁰ C, 1395⁰C va 1539⁰

Temperaturalarda, mos ravishda yuz beradigan $\alpha(\text{X.M.K.})-\delta(\text{Yo.M.K.})$, $\delta(\text{Yo.M.K.})-\gamma(\text{H.M.K.})$ va erish fazaviy o'tishlar uning $\chi^{-1}(T)$ bog'lanishida sakrashlar ko'rinishida aks etadi. 910°C dagi fazaviy o'tishda va 1395°C dagi erishda χ^{-1} sakrab oshadi, 1395°C dagi fazaviy o'tishda esa-sakrab kamayadi. 3.1-rasmdan yana shu narsa ko'rinish turibdiki, temirning har bir qattiq fazasi va suyuq fazasi uchun $\chi^{-1}(T)$ bog'lanish chiziqli tabiatga ega. Bu tajribaviy dalil shu fazalarning $\chi(T)$ bog'lanishlari (1.12) ko'rinishdagi Kyuri-Veyss qonuniga bo'ysinishidan dalolat beradi.

1.2-rasmdan ko'rinish turibdiki, Gd uchun $\chi^{-1}(T)$ bog'lanishi, uning qattiq holatida ham, suyuq holatida ham chiziqli tabiatga ega va erish jarayonida sezilarli o'zgarmaydi. Demak, Gd ning $\chi(T)$ bog'lanishi ham Kyuri-Veyss qonuniga bo'ysinadi.



1.2-rasm. $Gd - Fe$ va ular orasidagi birikmalarning qattiq va suyuq holatlari uchun $\chi^{-1}(T)$ bog'lanishlar. χ^{-1} ning haqiqiy qiymatlarini topish uchun, uning χ^{-1} o'q bo'yicha aniqlangan qiymatidan qavsichida yozilgan sonlarni ayirish kerak.

1.2-rasmdan yanashunarsa ko'rinib turibdiki, $GdFe_2$, $GdFe_3$, Gd_2Fe_{17} birikmalar χ^{-1} qiymatlari 750-780⁰

C temperaturalar oralig'ida sakrashsimon oshadi.

Bunish birikmalarning temirpanjarasida $\alpha \rightarrow \gamma$ (Yo.M.K $\rightarrow$ H.M.K)

polimorf fazaviy o'tishning ta'sirida yuz beradidebiz ohlangan. Temperaturaning 780⁰

C dan ortib borishi bilan χ^{-1} ning o'zgarishi quyidagi ko'rinishdagi Neel qonuni bo'yicha tushuntirilgan:

$$\frac{1}{\chi} = \frac{T}{C} + \frac{1}{\chi_0} - \frac{\delta}{T - \theta_1} \quad (1.26)$$

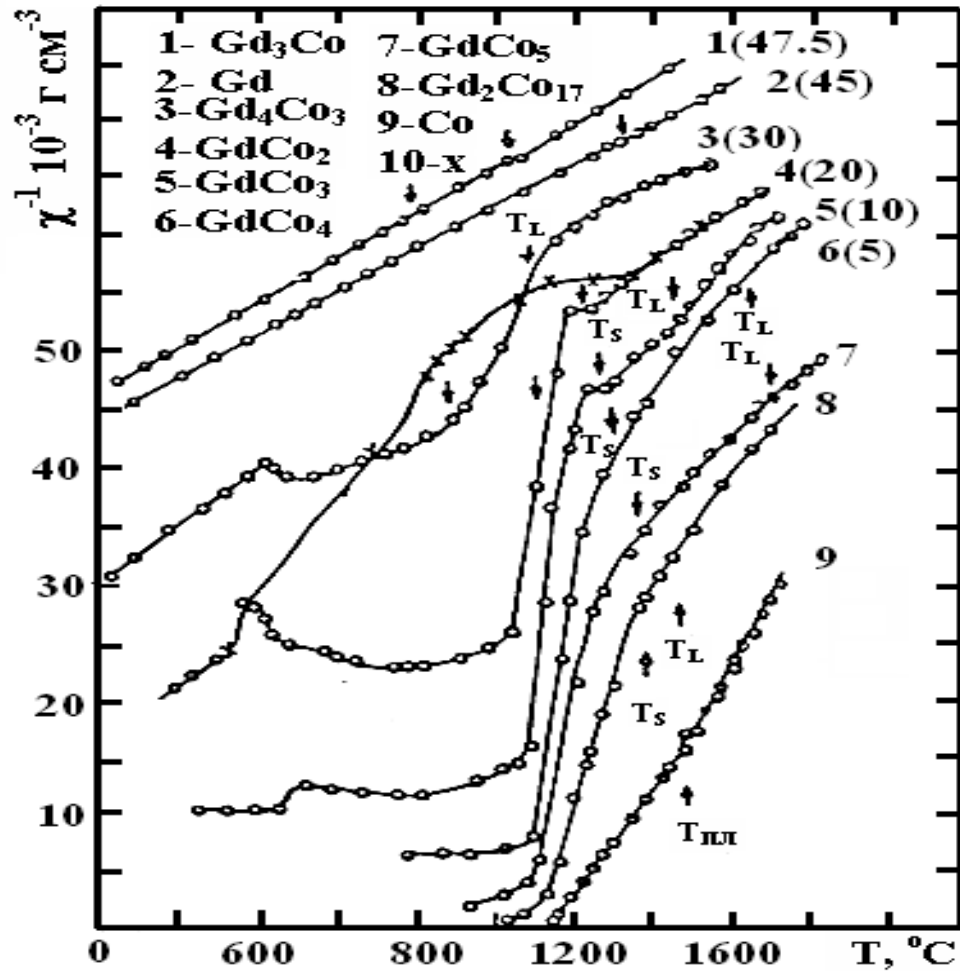
bundagi C, χ_0 , δ , θ_1 Neel nazariyasidagi molekulyar maydon koeffitsientlari (doimiylari). Bu birikmalarning erish jarayonida $\chi^{-1}(T)$ bog'lanish (toza gadoliniydagidek) sezilarli o'zgarmaydi. Bu 4f-elektronlar birikmalarning magnit xossasini hosil bo'lishida hal qiluvchi rol o'ynashidan dalolat beradi.

$GdFe_2$, $GdFe_3$, Gd_2Fe_{17} birikmalarning $\chi^{-1}(T)$ bog'lanishlari suyuq holat uchun chiziqli tabiatga ega va demak, bu bog'lanishlar (1.12) ko'rinishdagi Kyuri-Veyss qonuniga bo'ysinadi.

Gd-Co sistemasi. Gd-Co sistemasida hosil bo'ladigan Gd_3Co , Gd_4Co_3 , $GdCo_2$, $GdCo_3$, $GdCo_4$, $GdCo_5$ va $GdCo_{17}$ birikmalarning magnit qabul qiluvchanlagini 20-1700⁰C temperaturalar oralig'ida o'lchash natijalari [29,30,32] ishlarda chop etilgan. O'lchash natijalari $\chi^{-1}(T)$ bog'lanishlar ko'rinishida 1.3-rasmda keltirilgan.

1.3-rasmdan ko'rinib turibdiki, Gd, Co toza metallar va Gd_3Co birikma uchun $\chi^{-1}(T)$ bog'lanish, qattiq va suyuq holatlarda, chiziqli tabiatga ega. Demak bu namunalar uchun $\chi(T)$ bog'lanish (1.12) ko'rinishdagi Kyuri-Veyss qonuniga bo'ysinadi.

Bu namunalarning polimorf o'tish va erishish jarayonlarida $\chi^{-1}(T)$ bog'lanishda sezilarli o'zgarishi kuzatilmaydi. Bu dalil shu namunalarning magnit xossasi lokal (o'troqlashgan) tabiatga egaligidan dalolat beradi.



1.3-rasm.Gd-Co va ular orasidagi birikmalarning qattiq va suyuq holatlari uchun $\chi^{-1}(T)$ bog'lanishlar. χ^{-1} ning haqiqiy qiymatini topish uchun 1.2-rasmostidagi yozuvga qarang.

1.3-rasmda tahlil qilish shuni ko'rsatdiki, boshqaroqanilgan birikmalarning, ayniqsa GdCo_2 , GdCo_3 va Gd_4Co_3 birikmalarning $\chi^{-1}(T)$ bog'lanishlari taxminan 400°C gacha chiziqli tabiatga ega; ularning qattiq holatida $\chi^{-1}(T)$ bog'lanish $400-900^\circ\text{C}$ temperaturalar oralig'ida samurakkabi tabiatga ega; keyin $T > 900^\circ\text{C}$ temperaturalarda (1.26) ko'rinishdagi Neel qonuniga bo'ysinadi. GdCo_4 , $\text{Gd}_2\text{Co}_{17}$, GdCo_5 birikmalarning

$\chi^{-1}(T)$ bog'lanishlari ham $T > 900^{\circ}\text{C}$ temperaturalarda (1.26) ko'rinishdagi Neel qonuniga bo'ysunadi. Neel qonuni ifodasi-(1.26) Kyuri-Veyss qonuni ifodasi-(1.12)dan $\frac{\delta}{T - \theta}$ qo'shiluv bilan farq qiladi. Shu tufayli bu birikmalarning $\chi^{-1}(T)$ bog'lanishlari (1.3-rasm) $T > 900^{\circ}\text{C}$ temperaturalarda chiziqli emas, balki giperbolik tabiatga ega bo'lib qoladi.

Shuni alohida qayd etish muhimki, GdCo_2 birikmaning $\chi^{-1}(T)$ bog'lanishida (1.3-rasm) $400 - 1100^{\circ}\text{C}$ temperaturalar oralig'ida temperatura gisterezisi yuz beradi: birikma qizishida uning magnit qabul qiluvchanligining (χ^{-1}) sakrashsimon oshishi, sovishida esa bu jarayonning shu temperatura intervalida bajarilmasligi kuzatiladi. Bunday gisterezisning sababini, ferritlarda shunga o'xshash gisterezisni kuzatgan tadqiqotchilar fikricha[3], peritektik reaksiya temperaturasidan past temperaturada birikmaning kristall panjarasida vakansiyalarning qayta taqsimlanishi bilan bog'liq deb tushuntirish mumkin. Bunday qayta taqsimot diffuzion xarakterga ega bo'lar ekan.

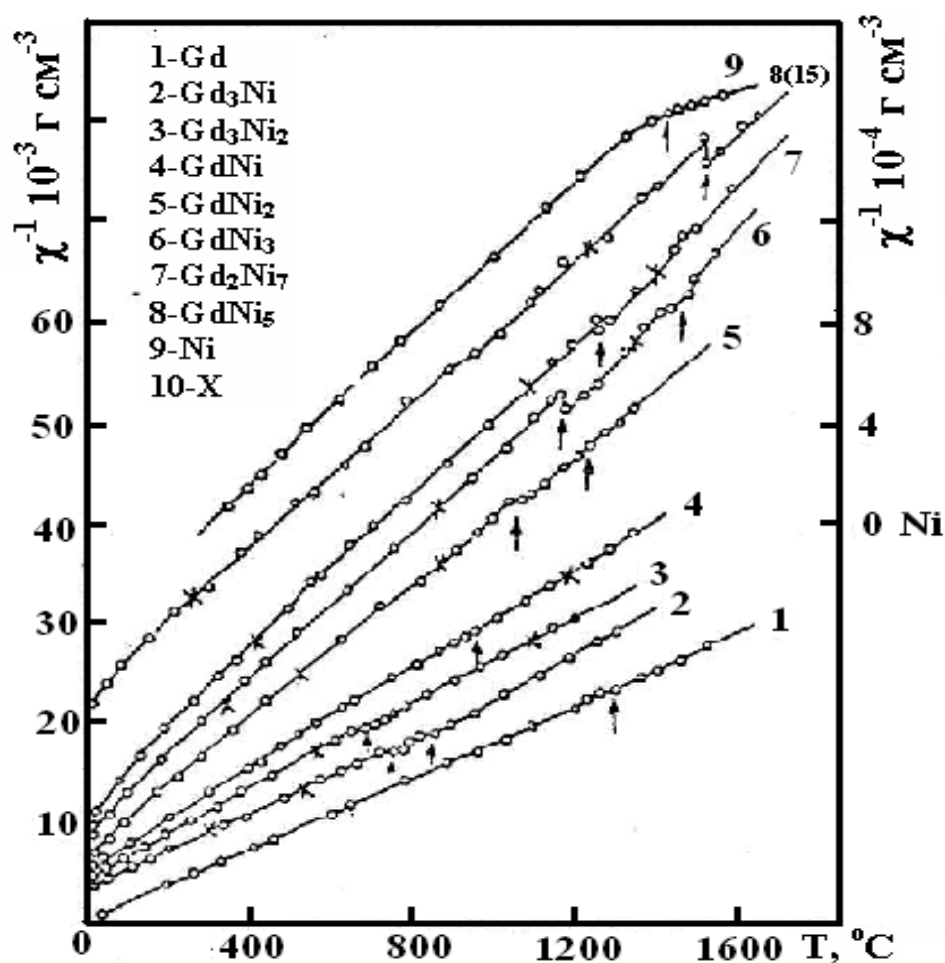
1.3-rasmdan ko'rinib turibdiki GdCo_2 , Gd_4Co_3 , GdCo_3 birikmalarning $\chi^{-1}(T)$ bog'lanishlari, taxminan, $T > 1100^{\circ}\text{C}$ temperaturalarda (1.26) ko'rinishdagi Neel qonuniga bo'ysunadi.

Gd-Ni sistemasi. Gd-Ni sistemasidagi namunalarning magnit qabul qiluvchanligini, ularning qattiq va suyuq holatlarida, ya'ni kandensirlangan holatida $20 - 1700^{\circ}\text{C}$ temperaturalar oralig'ida o'lchash natijalari[30-32] ishlarda chop etilgan. Toza Gd, Ni va ular orasida hosil bo'ladigan Gd_3Ni , Gd_3Ni_2 , GdNi , GdNi_2 , GdNi_3 , Gd_2Ni_7 , GdNi_5 birikmalarning magnit qabul qiluvchanligini o'lchash natijalari $\chi^{-1}(T)$ bog'lanishlar ko'rinishida 1.4-rasmda keltirilgan. Shu toza metallar va birikmalarning $\chi^{-1}(T)$ bog'lanishlarida aks etgan fazaviy o'tishlarning temperaturalari Gd- Ni sistemasining holat diagrammasiga asosan tushuntirilgan.

1.4- rasmni tahlil qilish shuni ko'rsatdiki, barcha o'rganilgan birikmalarning $\chi^{-1}(T)$ bog'lanishlari (1.13) ko'rinishdagi umumlashgan Kyuti-Veyss qonuniga

bo'ysinadi. Namunalar uchun χ_0 -ning qiymatlari, ularning har birining tajribaviy

$\chi\left(\frac{1}{T}\right)$ bog'lanishlaridan aniqlangan ($T = \infty, \chi = \chi_0$).

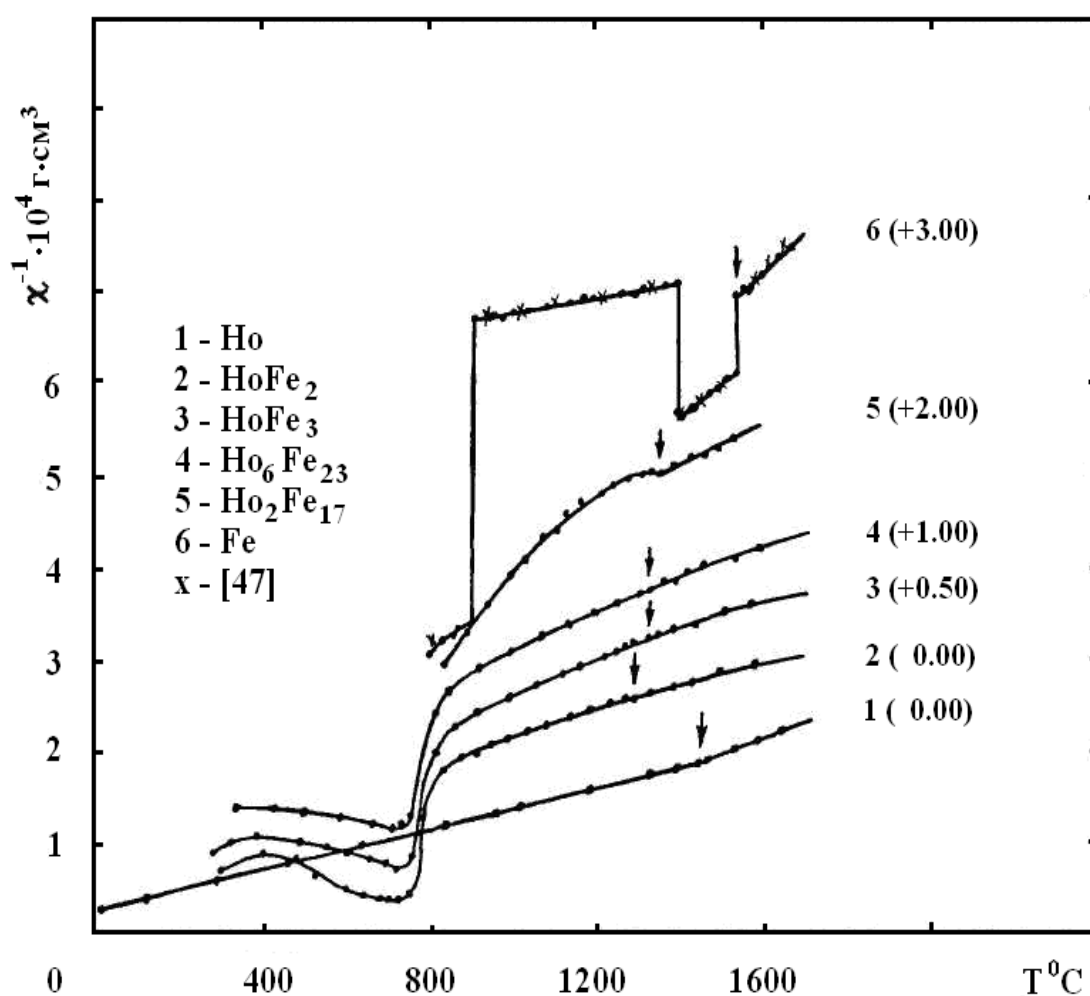


1.4-rasm. Gd, Ni va ular orasidagi birikmalarning qattiq va suyuq holatlari uchun $\chi^{-1}(T)$ bog'lanishlar. (χ^{-1})ning haqiqiy qiymatini topish uchun 1.2-rasm ostidagi yozuvga qarang.

1.4-rasmni tahlil qilish shuni ko'rsatdiki, Gd_3Ni , Gd_3Ni_2 , $GdNi$ va $GdNi_2$ birikmalarning erish jarayonida $\chi^{-1}(T)$ bog'lanishlari sezilarli o'zgarish kuzatilmagan, faqat sinish kuzatiladi; $GdNi_3$, Gd_3Ni_2 va $GdNi_5$ birikmalarning erishida esa kichik sakrashlar yuz beradi. Bu tajribaviy dalil Gd-Ni sistemasidagi o'rganilgan namunalarning magnit xossasi, lokal (o'troqlashgan) tabiatga ega ekanligini dalolat beradi.

1.4.3. Ho-TGM(TGM=Fe,Co) sistemasi.

Ho-Fe sistemasi. Ho-Fe sistemasidagi namunalarning magnit qabul qiluvchanligini, ularning qattiq va suyuq holatlarida, ya'ni kandensirlangan holatida 20- 1700°C temperaturalar oralig'ida o'lchash natijalari[30-32] ishlarda chop etilgan. Bu natijalar $\chi^{-1}(T)$ bog'lanishlar ko'rinishida 1.5-rasmda keltirilgan. Shu toza metallar va birlikmalarning $\chi^{-1}(T)$ bog'lanishlarida aks etgan fazaviy o'tishlarning temperaturalarini Ho-Fe sistemasining holat diagrammasiga asosan tushuntirilgan.



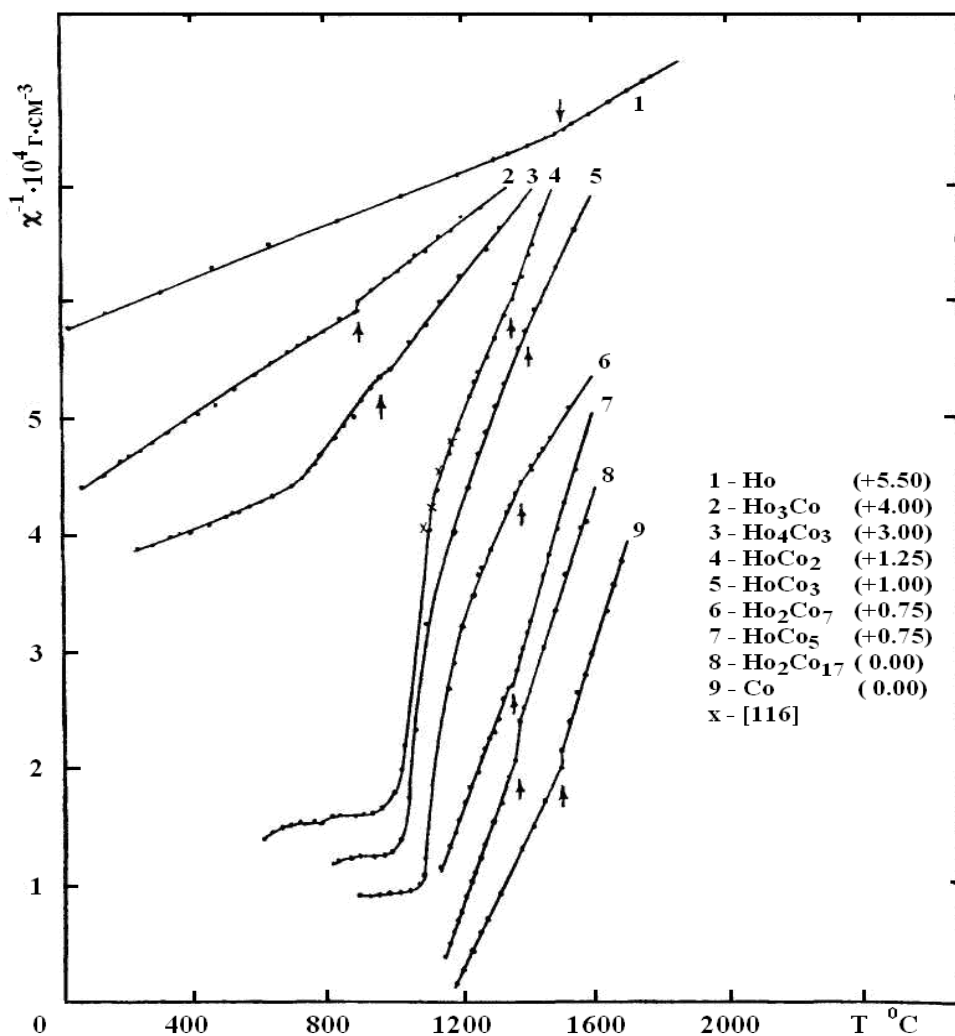
1.5-rasm. Ho-Fe sistemasidagi namunalarning $\chi^{-1}(T)$

bog'lanishlari. χ^{-1} ning haqiqiy qiymatini topish uchun 1.2-rasmdagi yozuvga qarang.

$\text{Ho}_6\text{Fe}_{23}$, HoFe_3 va HoFe_2 birikmalarning $\chi^{-1}(T)$ bog'lanishlarida, mosravishda 705, 715 va 710°C da kuzatiladigan minimumlarni antiferromagnit-paramagnit magnit fazaviy o'tish bilan bog'lab tushintirilgan.

Boshqa namunalarning $\chi^{-1}(T)$ bog'lanishlari qattiq holatda ham, suyuq holatda ham chiziqli tabiatga ega bo'lib (1.12) ko'rinishdagi Kyuri-Veyssqonuniga bo'ysinadi.

Ho-Co sistemasi. Ho-Co sistemasidagi namunalarning magnit qabul qiluvchanligini, ularning qattiq va suyuq holatlarida, ya'ni kandensirlangan holatida $20-1700^\circ\text{C}$ temperaturalar oralig'ida o'lchash natijalari va ularning muhokamasi [30-34] ishlarda chop etilgan. Bu natijalar $\chi^{-1}(T)$ bog'lanishlar ko'rinishida 1.6-rasmda keltirilgan. Shu toza metallar va birikmalarning $\chi^{-1}(T)$ bog'lanishlarida aks etgan fazaviy o'tishlarning temperaturalari Ho-Co sistemasining holat diagrammasiga asosan tushuntirilgan.

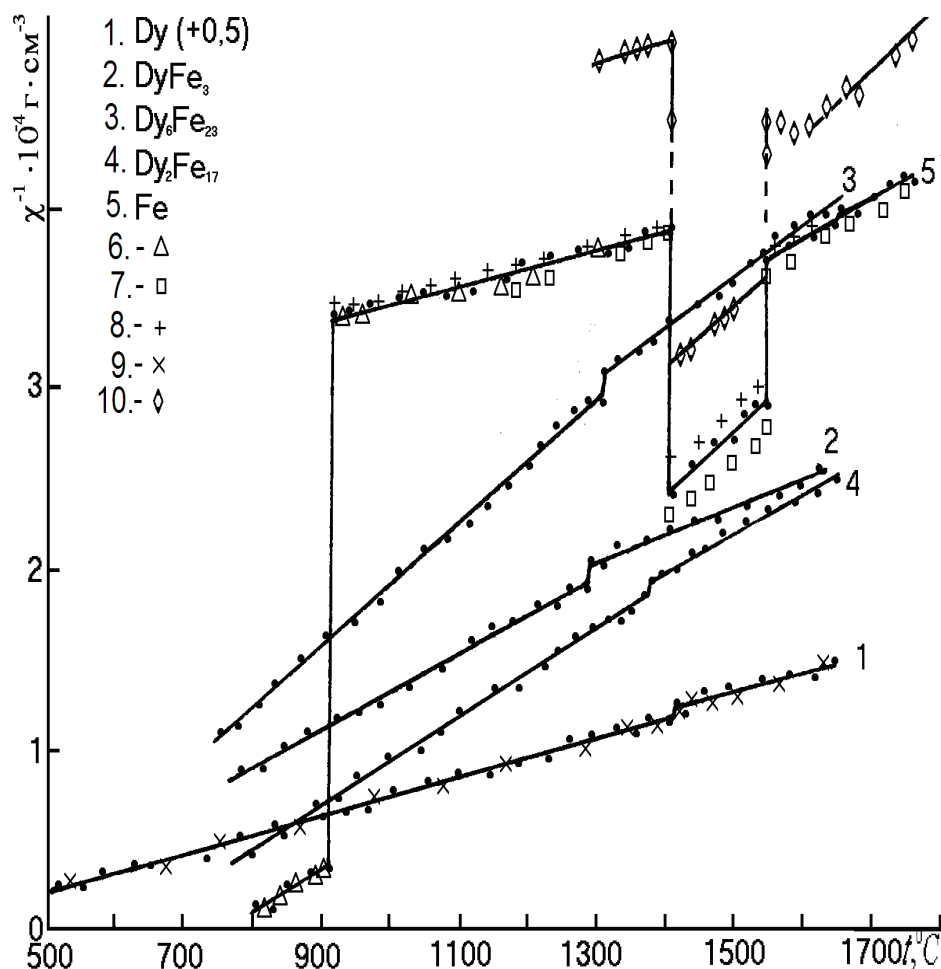


1.6-rasm. Ho-Co sistemasidagi namunalarning $\chi^{-1}(T)$ bog'lanishlari. χ^{-1} ning haqiqiy qiymatini topish uchun 1.2-rasmdagi yozuvga qarang.

1.6-rasmda ko'rinib turibdiki, toza Ho, Co va ularning Ho_3Co , Ho_4Co_3 , HoCo_5 va $\text{Ho}_2\text{Co}_{17}$ birikmalari uchun $\chi^{-1}(T)$ bog'lanishlar qattiq va suyuq holatlarda chiziqli tabiatga ega va (1.12) ko'rinishdagi Kyuri-Veyssqonuniga bo'sinadi. HoCo_2 , HoCo_3 va $\text{Ho}_2\text{Co}_{17}$ birikmalarining $\chi^{-1}(T)$ bog'lanishlari suyuq holat uchun chiziqli, qattiq holatda esa murakkab tabiatga ega. Bunday murakkablik (1.26) ko'rinishdagi Neyel qonuni bilan tushuntirilgan.

1.4.4. Dy-TGM (TGM=Fe,Co) sistemi.

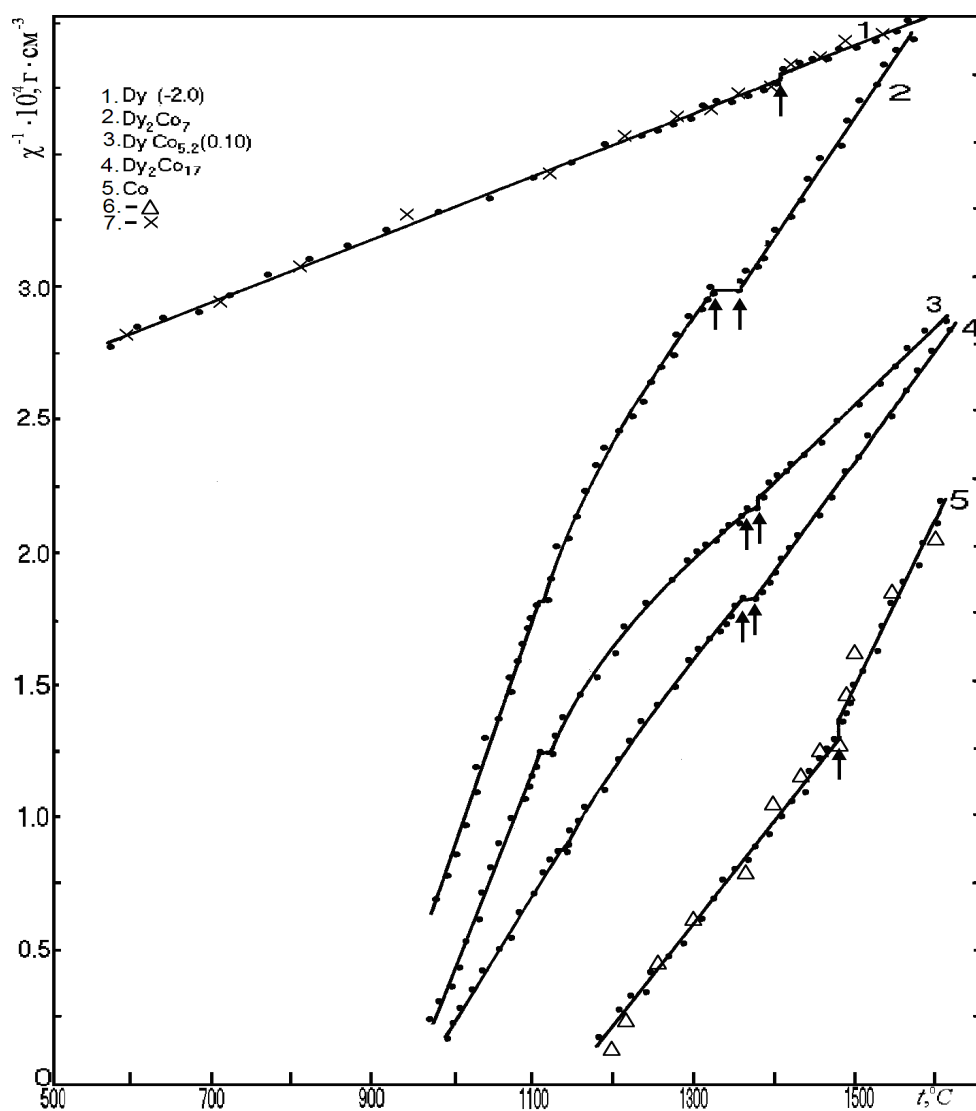
Dy-Fe sistemi. Dy-Fe sistemasidagi namunalarning magnit qabul qiluvchanligini, ularning qattiq va suyuq holatlarida, ya'ni kondensirlangan holatida 20- 1700⁰C temperaturalar oralig'ida o'lchash natijalari va ularning muhokamasi [31,36] ishlarda chop etilgan. Bu natijalar $\chi^{-1}(T)$ bog'lanishlar ko'rinishida 1.7-rasmda keltirilgan.



1.7-rasm.Dy-Fe sistemasidagi namunalarning $\chi^{-1}(T)$ bog'lanishlari. χ^{-1} ning haqiqiy qiymatini topish uchun rasm ostidagi yozuvga qarang. 1.2-

1.7-rasmni tahlil qilish shuniko'rsatadiki, Dy-Fe sistemasidagi barcha namunalarning $\chi^{-1}(T)$ bog'lanishlari qattiq holatd ham, suyuq holatd ham chiziqli tabiatga ega. Bu tajribaviy dalil namunalarning χ^{-1} bog'lanishlari (1.12) ko'rinishdagi Kyuri-Veyssqonuniga bo'ysinishidanda dalolat beradi.

Dy-Cosistemi. Dy-Cosistemasidagi namunalarning magnit qabul qiluvchanligini, ularning qattiq va suyuq holatlarida, ya'ni kondensirlangan holatida 20-1700⁰C temperaturalar oralig'idagi o'lchash natijalarivaularning muhokamasi [37,38] ishlarda chop etilgan. Bu natijalar $\chi^{-1}(T)$ bog'lanishlar ko'rinishida 1.8-rasmda keltirilgan.



1.8-rasm.Dy-Fe sistemasidagi namunalarning $\chi^{-1}(T)$

bog'lanishlari. χ^{-1} ning haqiqiy qiymatini topish uchun rasm ostidagi yozuvga qarang. 1.2-

1.8-rasmda ko'rinib turibdiki Dy_2Co_7 , $\text{DyCo}_{5.2}$ va $\text{Dy}_2\text{Co}_{17}$ birikmalarining $\chi^{-1}(T)$ bog'lanishlarida 1130-1390⁰C temperaturalar oralig'ida anomalo'z garish kuzatiladi. Buo'zgarish Dy-Co sistemasining holat diagrammasi bo'yicha tushuntirilgan. Toza metallar uchun qattiq va suyuq holatda, birikmalar uchun esa 930-1130⁰C temperaturalar oralig'idagi qattiq holatdavaularning suyuq holatida $\chi^{-1}(T)$ bog'lanishlarchiziqlitabiatgaega. Butajribaviy dalil namunalarning $\chi(T)$ bog'lanishlari (1.12) ko'rinishdagi Kyuri-Veyssqonuniga bo'ysinishidandalolat beradi.

1.4.5. KYeM-TGM (KYeM=Gd,Ho,Dy; TGM=Fe,Ni,Co) sistemalaridagi namunalar paramagnit Kyuri temperaturasi- θ_p , Kyuti-Veyss doimiysi-C, birikmaning kimyoviy formula birligiga to'g'ri keladigan magnit moment- μ_f va h.z. 1.2-1.8 rasmlardagi $\chi^{-1}(T)$ bog'lanishlardan foydalanib eng kichik kvadratlar usuli bilan [28-38] ishlarda EHMda hisoblab topilgan. Toza og'ir KYeMning asosiy magnit xarakteristiklari 1.5-jadvalda, KYeM va TGM orasidagi birikmalar uchun θ_p ning tajribaviy qiymatlari 1.6-jadvalda keltirilgan.

1.5-jadval

Toza og'ir KYeMning asosiy magnit xarakteristiklari.

Birikma	Qattiq holat			Suyuq holat		
	θ_p, K	$C \cdot 10^{-2}, \text{sm}^3 \cdot K \cdot g^{-1}$	μ_{eff}, μ_B	θ_p, K	$C \cdot 10^{-2}, \text{sm}^3 \cdot K \cdot g^{-1}$	μ_{eff}, μ_B
Gd	313	4,25	8.10	323	5,33	8,60
Tb	233	7,3	9,60	339	6,64	9,17
Dy	160	8,60	10,58	180	8,44	10,48
Ho	90	7,04	10,70	500	6,23	9,60
Er	58	7,04	9,71	110	6,76	9,51
Tm	18	4,31	7,63			

1.6-jadval

KYeM-TGM (KYeM=Gd,Ho,Dy; TGM=Fe,Ni,Co) sistemalaridagi namunalar paramagnit Kyuri temperaturasi- θ_p ning tajribaviy qiymatlari [12-38].

Birikma	Qattiq holat	Suyuq holat
	θ_p, K	θ_p, K
Gd	313	323
GdFe ₂	803	53

GdFe ₃	713	123
Gd ₂ Fe ₁₇	463	243
α-Fe	1053	
γ-Fe	-2027	
δ-Fe	1100	420
Gd ₃ Co	158	323
Gd ₄ Co ₃	243	-177
GdCo ₂	413	23
GdCo ₃	503	633
GdCo ₄	623	277
GdCo ₅	1073	523
Gd ₂ Co ₁₇	1233	1053
Co	1408	1548
Gd ₃ Ni	63	353
Gd ₃ Ni ₂	88	113
GdNi	78	183
GdNi ₂	79	203
GdNi ₃	113	543
Gd ₂ Ni ₇	58	98
GdNi ₅	30	483
Ni	630	-997
Ho ₂ Fe ₁₇	925	-328
Ho ₆ Fe ₂₃	988	-240

HoFe ₃	978	-290
HoFe ₂	885	-197
Ho	90	500
Ho ₂ Co ₁₇	1369	1383
HoCo ₅	1352	1408
Ho ₂ Co ₇	1345	959
HoCo ₃	1290	958
HoCo ₂	1260	895
Ho ₄ Co ₃	610	601
Ho ₃ Co	100	303
Ho	90	500
Fe ₁₇ Dy ₂	880	753
Fe ₂₃ Dy ₆	780	533
Fe ₃ Dy	750	323
Co ₁₇ Dy ₂	1223	1153
Co _{5.2} Dy	1213	863
Co ₇ Dy ₂	1193	803
Dy	160	180

I-bobga doir xulosalar

1. Magistrlik dissertatsiyasi tadqiqot ob'ektlarida amal qiladigan bilvosita almashinuv o'zaro ta'sirni yarim empirik usulda o'rganish uchun zarur bo'lgan shu ob'ektlarning quyidagi yo'nalishdagi xossalarini adaboyotlarda o'rganilganlik darajasiga sharh berilgan:

1. KYeM va TGMning elektron tuzilishi;

2. KYeM va TGM uchun paramagnetizmning kvant Van-Flek va almashinuv o'zaro ta'sir nazariyalari;

3.Toza KYeM, TGM va ular orasida hosil bo'ladigan birikmalarining magnit xossalarini yuqori temperaturlarda o'rganishga bag'ishlangan ishlar;

II.BOB. KYeM-

TGM(KYeM=Gd, Ho, Dy; TGM=Fe, Ni, Co) SISTEMALARIDA AMA L QILADIGAN BILVOSITA ALMASHINUV O'ZARO TA'SIRNI YARIM EMPIRIK USULDA O'RGANISH NATIJALARI VA ULARNING MUHOKAMASI.

2.1. Bilvosita almashinuv o'zaro ta'sirni yarim empirik o'rganish usuli.

§1.3 da aytilganidek, KYeMning magnit xossasini, kristall panjara tugunlarida o'troqlashgan, 4f-elektronlar, TGM da esa 3d-elektronlar hosil qiladi. §1.1 da aytilganidek 4f-elektronlar kristall panjara tugunlarida $5s^2 5p^6$ elektronlar bilan kristall panjara maydoni ta'siridan himoyalangan bo'ladi; 3d-elektronlar esa "yalong'och" holda joylashib kristall maydoni ta'siridan himoyalanganmagan bo'ladi. KYeMda 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 (f-s-f yoki qisqacha f-s) almashinuv o'zaro ta'sir yoki RKKI o'zaro ta'siri deyiladi.

TGMda 3d-elektronlarning bevosita o'zaro ta'sirlashuv ehtimoliyati bilvosita o'zaro tasirlashuv ehtimoliyatidan katta. Shuning uchun ham TGMning magnit tartiblangan holatining hosil bo'lishida 3d-elektronlarning bevosita (d-d) almashinuv o'zaro ta'siri asosiy rol ni o'ynaydi.

KYeM va TGM orasida hosil bo'ladigan birikmalar magnit tartiblangan holatining hosil bo'lishiga sabab bo'ladigan almashinuv o'zaro ta'sirining tabiati haligacha to'la aniqlanmagan. Bu yerda turli xildagi o'zaro ta'sirlar amal qilishi mumkin: KYeM panjarasi tugunlarida o'troqlashgan 4f- qobiq elektronlarning erkin elektronlar orqali o'zaro (bilvosita f-s) ta'siri, KYeM va TGM panjaralari tugunlarida o'troqlashgan 4f va 3d-qobiqlaridagi elektronlarning erkin elektronlar orqali o'zaro (bilvosita f-d) ta'siri va TGM panjarasi tugunlarida o'troqlashgan 3d-qobiq elektronlarning erkin elektronlar orqali (bilvosita d-s) o'zaro ta'siri.

Bunday bilvosita f-s, f-d va d-s almashinuv o'zaro ta'sirlarining energitik o'lchovi vazifasini o'rganilgan KYeM-(Fe, Co, Ni) sistemalaridagi birikmalarning paramagnit Kyuri temperaturasi- θ_p (§1.3 da qayd qilinganidek) bajaradi. θ_p va almashinuv o'zaro ta'sir parametri (yoki integrali) A orasida §1.3 da keltirilgan (1.24) bog'lanish, ya'ni quyidagi bog'lanish mavjud:

$$\theta_p = \frac{AG}{3k_B} \quad (2.1)$$

Bundan quyidagini olamiz:

$$\frac{A}{k_B} = \frac{3\theta_p}{G} \quad (2.2)$$

Bu ifodadagi de Jen faktori-G quyidagicha aniqlanadi:

$$G = (g_J - 1)^2 J(J + 1) \quad (2.3)$$

Bundagi Lande faktori g_J quyidagicha aniqlanadi:

$$g_J = 1 + \frac{[J(J + 1) + S(S + 1) - L(L + 1)]}{2J(J + 1)} \quad (2.4)$$

Bundagi L, S va J-4f (yoki 3d)-elektronlarning, Xund qoidalari bo'yicha aniqlanadigan to'la orbital, to'la spin va to'la mehanik moment kvant sonlari.

Toza KYeMda amal qiladi bilvosita f-s o'zaro ta'sir uchun va toza Fe, Co, Ni –larda amal qiladigan bilvosita d-s o'zaro ta'sir uchun (2.2), mos ravishda, quyidagi ko'rinishlarda yoziladi:

$$\frac{A}{k_B} = \frac{3\theta_p}{G_{KYeM}} \quad (2.5)$$

$$\frac{A}{k_B} = \frac{3\theta_p}{G_{TGM}} \quad (2.6)$$

Gd da 4f-qobiq yarmiga to'lgani uchun Xund qoidalari bo'yicha va TGM da (§1.1 da qayd etilganidek) orbital mexanik (va demak orbital magnit) momentning "muzlab qolish" effekti tufayli L=0, J=S bo'lishini e'tiborga olsak, (2.5) va (2.6)

ifodalardagi de Jen faktorlari [(2.3) va (2.4) ni hisobga olganda] quyidagi ifodalarlar yordamida aniqlanadi:

$$G_{KYeM} = (g_s - 1)^2 S(S + 1), G_{TGM} = (g_s - 1)^2 S(S + 1), \quad (2.7)$$

Quyidagi muloxazalarga tayanib, o'rganilgan intermetallik birikmalarda amal qiladigan bilvosita f-s, f-d va d-s o'zaro ta'sir parametrini ham (2.2) yordamida hisoblash mumkin: 1) Teylor [4] bo'yicha f-d o'zaro ta'sir ham erkin elektronlar orqali amalga oshadi. Bu KYeM va TGM ionlaridagi 4f va 3d qobiqlarning magnit momentlari erkin elektronlarni qutblash orqali amalga oshadi. §1.3 dagi (1.19) va (1.23) ifodalardagi $A_{sf}^2(0)$ had o'rniga $A_{sf}(0) \cdot A_{sd}(0)$ ko'paytma olinadi; 2) Birikma uchun de Jen faktorini additivlik qoidasiga asosan hisoblash mumkin:

$$G = (1 - x)G_{KYeM} + xG_{TGM} \quad (2.8)$$

bundagi x -TGM ning atom ulushlaridagi konsentratsiyasi.

(2.7) va (2.8) ifodalarni hisobga olganda, o'rganilgan birikmalarda amal qiluvchi f-s, f-d va d-s bilvosita o'zaro ta'sir parametrlarini hisoblash uchun (2.2) dan quyidagi ifodalarni olish mumkin:

f-s o'zaro ta'sir uchun:

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

f-d o'zaro ta'sir uchun:

$$\frac{A}{k_B} = \frac{3\theta_p}{(1 - x)G_{KYeM} + xG_{TGM}} \quad (2.10)$$

d-s o'zaro ta'sir uchun:

$$\frac{A}{k_B} = \frac{3\theta_p}{xG_{TGM}} \quad (2.11)$$

Shunday qilib, (2.5) va (2.6) ifodalar toza KYeM va toza TGMda amal qiladigan bilvosita almashinuv o'zaro ta'sir parametrini $\left(\frac{A}{k_B}\right)$, (2.9), (2.10) va (2.11) ifodalar esa KYeM va TGM orasidagi birikmalarda amal qiladigan bilvosita almashinuv o'zaro ta'sir parametrini $\left(\frac{A}{k_B}\right)$ yarim empirik usulda hisoblash imkoniyatini beradi. Bunday usul [19,39-41] ishlarda ham qo'llanilgan.

2.2.Toza KYeMda amal qiladigan bilvosita almashinuv o'zaro ta'sirni o'rganish.

Toza KYeMda amal qiladigan bilvosita almashinuv o'zaro ta'sir parametrini (2.5) ifoda yordamida yarim empirik usulda hisoblash mumkin.

§2.1dagi (2.5) ifodadan toza KYeM uchun quyidagini olamiz:

$$\theta_p = \frac{A}{k_B} (g_J - 1)^2 J(J+1) \quad (2.12)$$

Geksogonal tipdagi kristall panjara tugunlarida joylashgan KYeM³⁺ ionlarining tashqi elektron qobiqlari (5s²5p⁶) amalda bir xil bo'lib, bir metallardan ikkinchi metallga o'tganda deyarlik o'zgarmaydi. Almashinuv o'zaro ta'sir integrali A (1.18)ga asosan $n, A_{sf}(0), \Omega, E_F$ 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[39]. Shuning uchun ham, (2.12) ifodaga asosan toza KYeMning paramagnit Kyuri temperaturasi de Jen faktoriga to'g'ri proporsional bo'ladi deyish mumkin. Bu ifoda RKKI nazariyasiningushbu bashoratini yarim empirik usul bilan toza KYeM uchun tekshirib ko'rish imkoniyatini beradi.

Shunday qilib, almashinuv o'zaro ta'sir parametrini hisoblash (2.5) ifoda bo'yicha, θ_p va G orasidagi proporsionallikni, ya'ni RKKI nazariyasining bashoratini tekshirish esa (2.12) ifoda bo'yicha bajarildi.

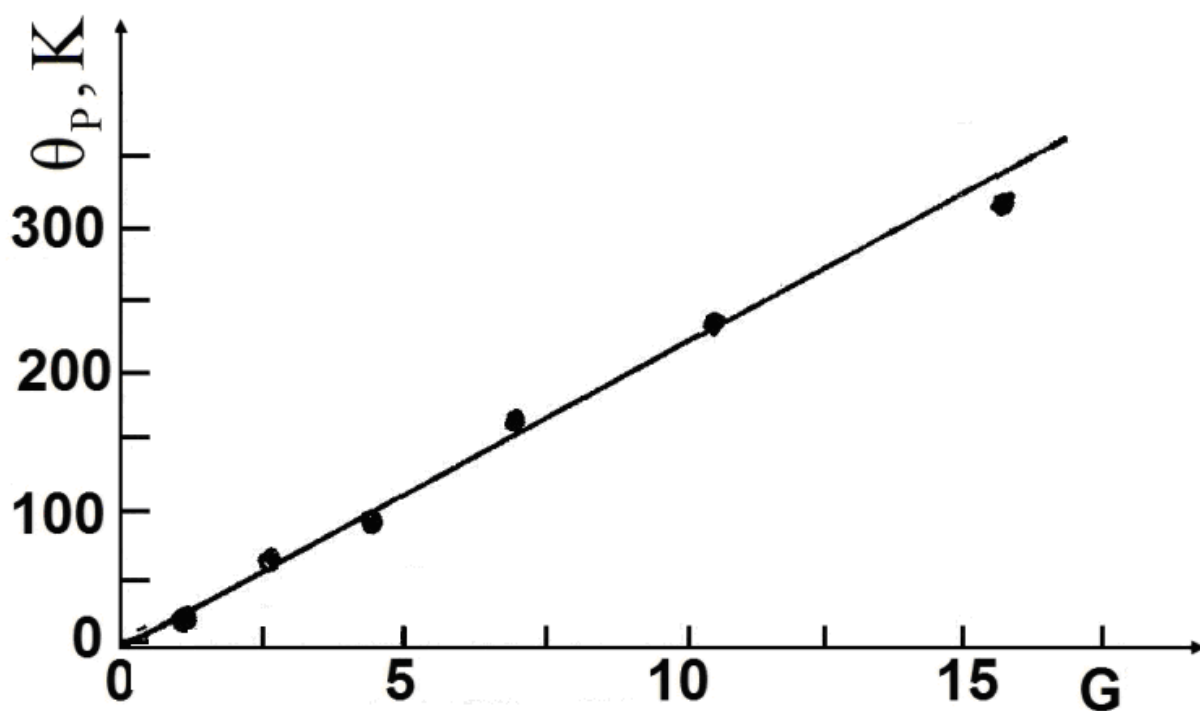
RKKI nazariyasining bashoratini tekshirish bo'yicha olingan natijalar 2.1 va ko'rgazmalilik uchun 2.1-rasmda, almashinuv o'zaro ta'sir parametrini hisoblash

esa 2.2-jadvalda keltirilgan. Hisoblashlarda θ_p ning tajribaviy qiymatlari 1.5-jadvaldan olindi.

2.1-jadval

Toza og'ir KYeM 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



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

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	500	333.33
Er	58	68.2	110	129.41
Tm	18	46.27		

2.1- jadvaldan va 2.1-rasmdan (1-chiziq) ko'rinib turibdiki o'g'ir

KYeM (OKYeM) uchun θ_p va $G = (g_J - 1)^2 J(J + 1)$ orasidagi proporsionallik haqidagi RKKI nazariyasining bashorati haqiqatdan ham bajariladi. Bu shundan dalolat beradiki OKYeMning magnit tartiblangan holatini RKKI tipidagi o'zaro ta'sir hosil qiladi.

2.2-jadvalni tahlil qilish shuni ko'rsatadiki, A/k_B parametirning qiymati OKYeM qattiq holatdan suyuq holatga o'tganda oshadi. Buni qattiq holat – suyuq holat fazaviy o'tishda θ_p qiymatining oshishi bilan tushuntirish mumkin.

2.3. Gd-TGM (TGM=Fe, Ni, Co) sistemalarida amal qiladigan almashinuv o'zaro ta'sirni yarim empirik usulda o'rganish.

Gd-(Fe, Co, Ni) sistemalaridagi namunalarda amal qiluvchi bilvosita almashinuv o'zaro ta'sir parametri 1.6-jadvalda keltirilgan θ_p -larning tajribaviy qiymatlaridan foydalanib §2.1da bayon qilingan usul bilan hisoblandi. Bilvosita f-s, f-d va d-s o'zaro ta'sirlarning parametrlari mos ravishda, Gd-(Fe, Co, Ni) sistemalari uchun (2.9), (2.10) va (2.11) ifodalardan olinadigan quyidagi ifodalar yordamida hisoblandi:

$$\frac{A}{k_B} = \frac{3\theta_p}{(1-x)G_{Gd}} \quad (2.12)$$

$$\frac{A}{k_B} = \frac{3\theta_p}{(1-x)G_{Gd} + xG_{TGM}} \quad (2.13)$$

$$\frac{A}{k_B} = \frac{3\theta_p}{xG_{TGM}} \quad (2.14)$$

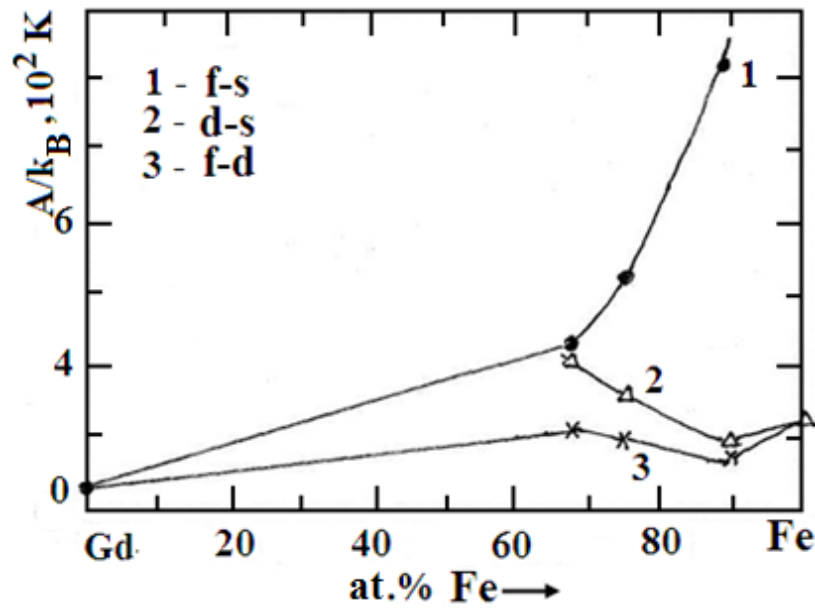
Bulardagi de Jen faktorlarini (2.7) ifodalar bo'yicha hisoblashda Gd^{3+} , Fe^{3+} , Co^{2+} va Ni^{2+} ionlari asosiy energitik holati uchun Sning (Gd^{3+} uchun 7/2, Fe^{3+} , Co^{2+} va Ni^{2+} uchun mos ravishda 7/2, 3/2 va 1) va g_s ning ($g_s=2$) (1.1 va 1.2 jadvallarda keltirilgan) qiymatlaridan foydalanildi. (2.12)-(2.14) ifodalar bo'yicha f-s, f-d va d-s bilvosita o'zaro ta'sirlarning parametrlarini hisoblash natijalari 2.3-jadvalda va ko'rgazmali ravishda 2.2-2.4 rasmlarda keltirilgan.

2.3-jadvaldan ko'rinib turibdiki, $\left(\frac{A}{k_B}\right)$ - parametrning namunalar qattiq holati uchun qiymatlari ularning suyuq holati uchun qiymatlaridan katta. 2.2-2.4 rasmlardan ko'rinib turibdiki, o'rganilgan uchta sistemada amal qiluvchi o'zaro ta'sirlardan eng kichigi f-d o'zaro ta'siridir.

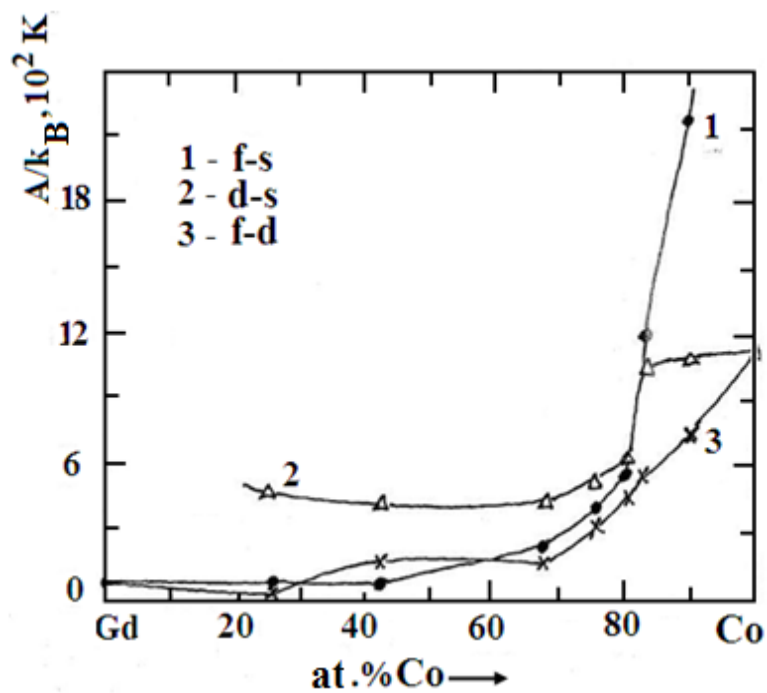
Gd-(Fe,Co,Ni) sistemalarida amal qiladigan turli xildagi bilvosita almashinuv o'zaro ta'sirlar parametrlarining qiymatlari.

Na'muna	$A/k_B, 10^2 K$					
	f-s-ta'sir		d-s- ta'sir		f-d- ta'sir	
	Qattiq holat	Suyuq holat	Qattiq holat	Suyuq holat	Qattiq holat	Suyuq holat
Gd	0,596	0,653	-	-	-	-
α -Fe	-	-	3,610	-	-	-
δ -Fe	-	-	3,771	1,44	-	-
Gd ₂ Fe ₇	8,399	4,402	1,796	0,943	1,464	0,768
GdFe ₃	5,432	0,937	3,259	0,562	2,037	0,351
GdFe ₂	4,635	0,306	4,109	0,271	2,178	0,144
Co	-	-	11,264	12,384	-	-
Gd ₃ Co	0,401	0,820	5,072	10,336	0,372	0,760
Gd ₄ Co ₃	0,810	-0,590	4,537	-3,304	1,618	-0,501
GdCo ₂	2,384	0,133	4,931	0,275	1,607	0,089
GdCo ₃	3,832	4,823	5,365	6,752	2,235	2,813
GdCo ₄	5,933	2,638	6,230	2,770	3,039	1,351
GdCo ₅	12,022	5,859	10,343	5,041	5,559	2,710
Gd ₂ Co ₁₇	22,367	19,102	11,021	9,412	7,383	6,305

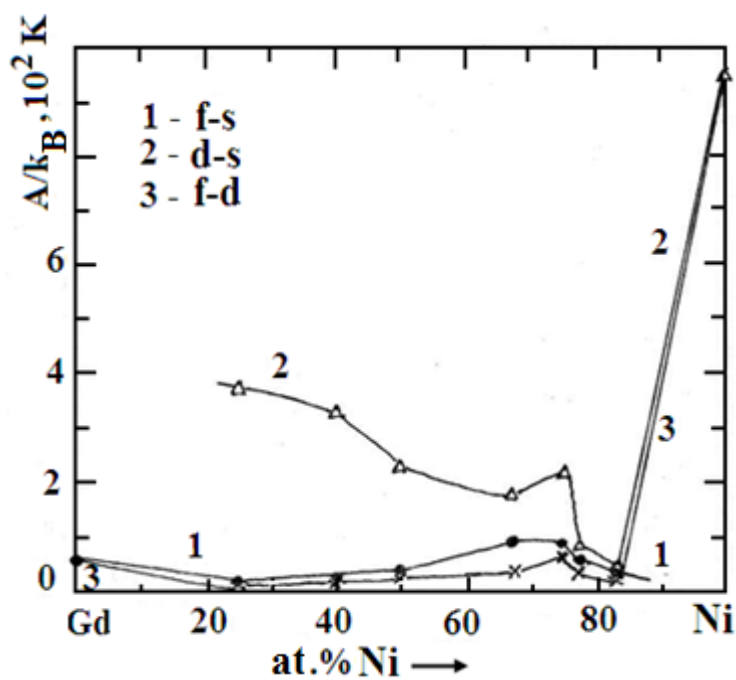
Ni	-	-	9,450	-14,955	-	-
Gd ₃ Ni	0,160	0,896	3,780	21,180	0,154	0,860
Gd ₃ Ni ₂	0,279	0,359	3,300	4,237	0,258	0,331
GdNi	0,297	0,697	2,340	5,490	0,264	0,619
GdNi ₂	0,456	1,172	1,769	4,545	0,363	0,932
GdNi ₃	0,866	4,137	2,260	10,860	0,623	2,996
Gd ₂ Ni ₇	0,502	0,848	1,115	1,885	0,346	0,585
GdNi ₅	0,440	7,077	0,517	8,328	0,238	3,826



2.2.rasm.Gd-Fe-sistemasida $\left(\frac{A}{k_B}\right)$ ning Fe konsentratsiyasiga bog'lanishlari.



2.3-rasm. Gd-Co-sistemasida $\left(\frac{A}{k_B}\right)$ ning Co konsentratsiyasiga bog'lanishlari.



2.4-rasm. Gd-Ni sistemasida $\left(\frac{A}{k_B}\right)$ ning Ni konsentratsiyasiga bog'lanishlari

Gd-Fe sistemasida(2.2-rasm), f-s o'zaro ta'sir eng kuchli bo'lib, u Fe konsentratsiyasining oshishi bilan oshadi. d-s o'zaro ta'sir, kattaligi bo'yicha, f-s va f-d o'zaro ta'sirlar oralig'ida yotadi.

Gd-Co sistemasida(2.3-rasm), Co ning magnit momenti Gd nikidan kichik bo'lishiga qaramasdan, Co ning konsentratsiyasi 80 at.% dan kichik bo'lgan birikmalarda, d-s o'zaro ta'sir f-s- o'zaro ta'sirdan kuchliroq bo'ladi. Bu birikmalarda f-d va f-s o'zaro ta'sirlar qariyb teng kuchli bo'lib, Co konsentratsiyasi deyarlik bog'liq emas. $GdCo_5$ va Gd_2Co_{17} birikmalarda f-s o'zaro ta'sir, ularning magnit tartibli holatining hosil bo'lishida hal qiluvchi rol o'ynaydi. Bu birikmalarda d-s o'zaro ta'sir f-d va f-s o'zaro ta'sirlar oralig'ida joylashadi.

Gd-Ni sistemasida(2.4-rasm), d-s o'zaro ta'sir eng kuchli hisoblanib, u Ni konsentratsiyasi oshishi bilan susayadi. f-s o'zaro ta'sir f-d va d-s o'zaro ta'sirlar oralig'ida joylashadi.

Shunday qilib, Gd-(Fe,Co,Ni) sistemalaridan Gd-Fe sistemasidagi barcha birikmalarda va Gd-Co sistemasidagi $GdCo_5$ va Gd_2Co_{17} birikmalarda f-s o'zaro ta'sir, ya'ni RKKI tipdagi o'zaro ta'sir, Gd-Co sistemasida konsentratsiyasi 80at.%Codan kichik bo'lgan ($GdCo_5$ va Gd_2Co_{17} lardan boshqa) birikmalarda va Gd-Ni sistemasidagi barcha birikmalarda d-s o'zaro ta'sir boshqa o'zaro ta'sirlardan eng katta hisoblanib, bu o'zaro ta'sirlar shu birikmalarning magnit tartibli holatining hosil bo'lishida hal qiluvchi ro'l o'ynaydi deb xulosa qilish mumkin.

2.4. Ho-TGM(TGM=Fe,Co) sistemalarida amal qiladigan almashinuv o'zaro ta'sirni yarim empirik usulda o'rganish.

Ho-TGM(TGM=Fe,Co) sistemalaridagi namunalarda amal qiluvchi bilvosita almashinuv o'zaro ta'sir parametri 1.6-jadvalda keltirilgan θ_p -larning tajribaviy qiymatlaridan foydalanib §2.1da bayon qilingan usul bilan hisoblandi. Bilvosita f-s, f-d va d-s o'zaro ta'sirlarning parametrlari mos ravishda, Ho-TGM (TGM=Fe,Co) sistemalari uchun (2.9),(2.10) va (2.11) ifodalardan olinadigan quyidagi ifodalar yordamida hisoblandi:

$$\frac{A}{k_B} = \frac{3\theta_p}{(1-x)G_{Ho}} \quad (2.15)$$

$$\frac{A}{k_B} = \frac{3\theta_p}{(1-x)G_{Ho} + xG_{TGM}} \quad (2.16)$$

$$\frac{A}{k_B} = \frac{3\theta_p}{xG_{TGM}} \quad (2.17)$$

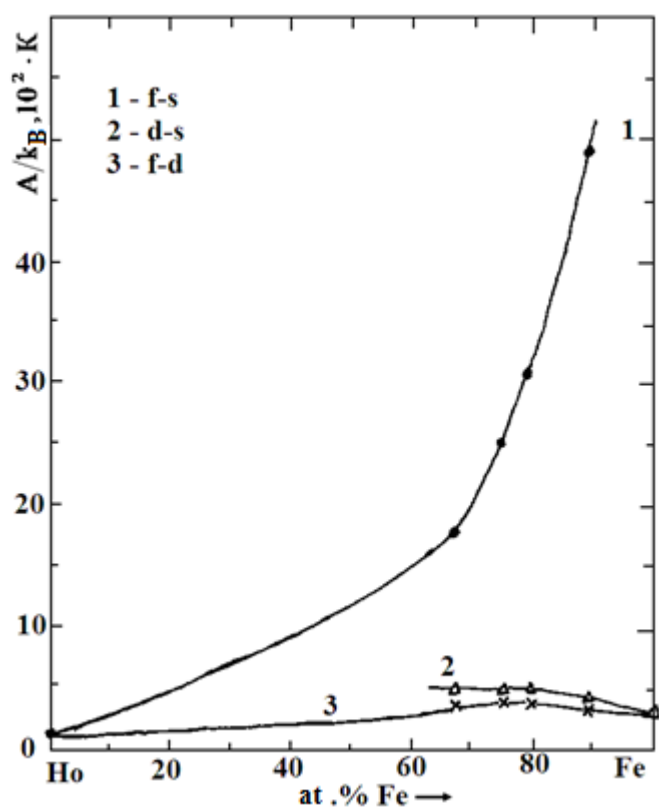
Bulardagi de Jen faktorlarini (2.7) ifodalar bo'yicha hisoblashda Ho^{3+} ionlari asosiy holati uchun J va g_j ($J=8$ va $g_j=5/4$)larning, Fe^{3+} va Co^{2+} ionlarining asosiy holati uchun esa S va g_s ($S=7/2$, $g_s=2$ va $S=3/2$, $g_s=2$)larning (1.1 va 1.2 jadvallarda keltirilgan) qiymatlaridan foydalanildi. Hisoblash natijalari 2.4-jadvalda va ko'rgazmalai ravishda 2.5 va 2.6-rasmlada keltirilgan [42].

2.4-jadval

Ho-TGM(TGM=Fe,Co) sistemalarida amal qiladigan turli xildagi bilvosita almashinuv o'zaro ta'sirlar parametrlarining qiymatlari.

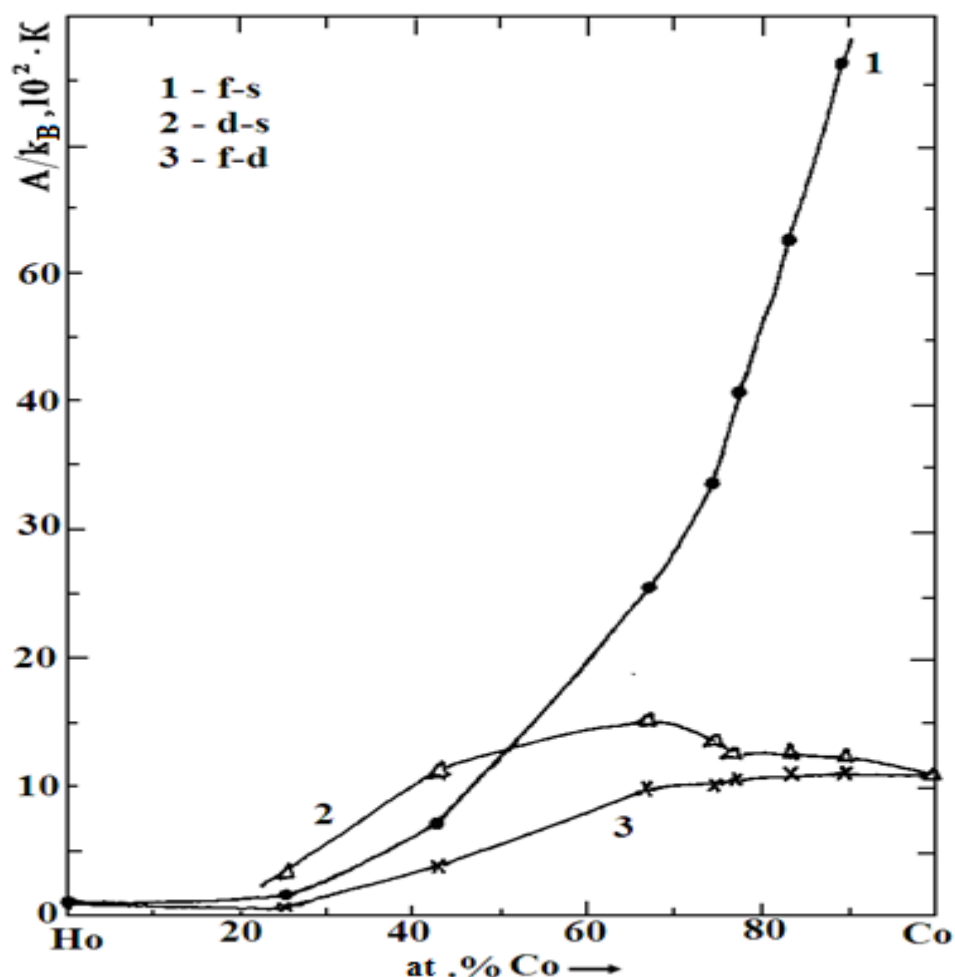
Na'muna	$A/k_B, 10^2 K$					
	f-s-bog'lanish		d-s-bog'lanish		f-d-bog'lanish	
	Qattiq holat	Suyuq holat	Qattiq holat	Suyuq holat	Qattiq holat	Suyuq holat
Ho	0,60	3,33	-	-	-	-
HoFe ₂	17,879	-3,979	4,528	-1,008	3,615	-0,804
HoFe ₃	26,08	-7,73	4,471	-1,326	3,816	-1,132
Ho ₆ Fe ₂₃	31,82	-7,61	4,272	1,037	3,776	-0,215
Ho ₂ Co ₁₇	58,730	-20,83	3,54	-1,25	3,342	-1,185
α -Fe	-	-	3,610	-	-	-

δ -Fe	-	-	3,771	1,44	-	-
Ho ₃ Co	0,889	2,693	3,200	9,696	0,696	2,108
Ho ₄ Co ₃	7,117	7,012	11,386	11,218	3,534	3,482
HoCo ₂	25,454	18,081	15,045	10,086	9,456	6,717
HoCo ₃	34,40	25,547	17,760	10,218	9,828	7,299
Ho ₂ Co ₇	40,757	29,061	13,795	9,836	10,306	7,349
HoCo ₅	53,020	55,216	13,031	13,571	10,460	10,894
Ho ₂ Co ₁₇	86,921	87,809	12,237	12,362	10,727	10,836
Co	-	-	11,264	12,384	-	-



2.5-rasm. Ho-Fe sistemasida $\left(\frac{A}{k_B}\right)$ ning Fe konsentratsiyasiga bog'lanishlari.

2.4-jadvalni tahlil qilish shuni ko'rsatadiki, $\left(\frac{A}{k_B}\right)$ parametrlarning qiymatlari qattiq holatda suyuq holatdagiga nisbatan katta. 2.4-jadval va 2.5-rasmni $\left(\frac{A}{k_B}\right)$ ni TGM atomlari konsentratsiyasiga bog'liq ravishda tahlil qilish shuni ko'rsatadiki, Ho-Fe sistemasida f-s o'zaro ta'sir boshqa o'zaro ta'sirlarda kuchli bo'lib, Fe atomlari konsentratsiyasining oshishi bilan uning kattaligi oshadi. d-s o'zaro ta'sir f-d va f-s o'zaro ta'sirlar oralig'ida yotadi. 2.4-jadval va 2.6 rasmni tahlil qilish shuni ko'rsatadiki, Co atomining magnit momenti Ho atomining magnit momentidan



2.6-rasm. Ho-Co sistemasida $\left(\frac{A}{k_B}\right)$ ning Co konsentratsiyasiga bog'lanishlari.

kichik bo'lishiga qaramasdan 50at.%Co dan kichik konsentratsiyali birikmalarda (Ho_3Co , Ho_4Co_3) d-s o'zaro ta'sirining f-s o'zaro ta'sirdan katta bo'lishi kuzatiladi. 50at.%Co dan katta konsentratsiyali birikmalarda esa f-s o'zaro ta'sir boshqa

o'zaro ta'sirlardan katta bo'lib, ularning magnit tartibli holatining hosil bo'lishida hal qiluvchi rol o'ynaydi. Bu birikmalarda d-s o'zaro ta'sir kattaligi jihatidan f-d va f-s o'zaro ta'sirlar orlag'ida joylashadi. f-d o'zaro ta'sirning qiymati Ho-(Fe,Co) sistemalarida eng kichik hisoblanadi.

Shunday qilib, Ho-Fe sistemasidagi barcha birikmalarda va Ho-Co sistemasidagi Ho_3Co va Ho_4Co_3 birikmalardan boshqa barcha birikmalarda f-s o'zaro ta'sir ya'ni RKKI tipidagi o'zaro ta'sir, Ho_3Co va Ho_4Co_3 birikmalarda esa d-s o'zaro ta'sir eng kuchli hisoblanadi va bu o'zaro ta'sirlar shu birikmalarning magnit tartiblangan holatining hosil bo'lishida asosiy ro'l o'ynaydi deb xulosa qilish mumkin.

2.5. Dy-TGM(TGM=Fe,Ni,Co) sistemasida amal qiladigan almashinuv o'zaro ta'sirni yarim empirik usilda o'rganish.

Dy-(Fe,Co) sistemalarida amal qiladigan bilvosita almashinuv o'zaro ta'sirni §2.1da bayon qilingan yarim empirik usul bilan o'rganildi. Bu sistemalarda amal qilishi mumkin bo'lgan f-s, f-d va d-s almashinuv o'zarota'sirlarning parametrlarini Dy-(Fe,Co) sistemalari uchun (2.9),(2.10) va (2.11) ifodalardan olinadigan quyidagi ifodalar yordamida hisoblendi:

$$\frac{A}{k_B} = \frac{3\theta_p}{(1-x)G_{Dy}} \quad (2.18)$$

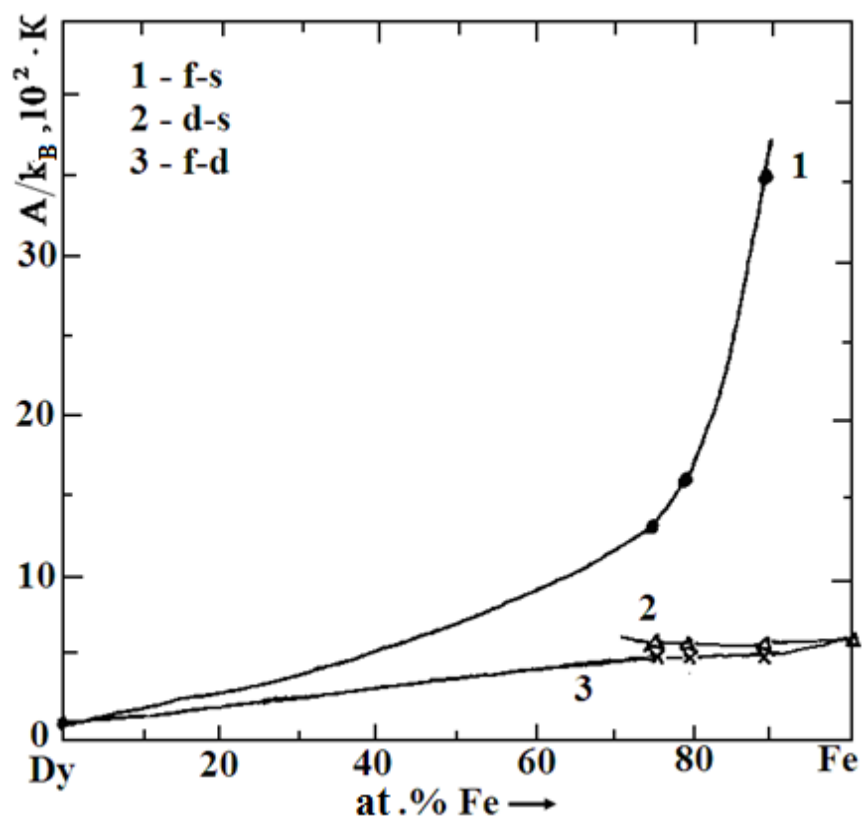
$$\frac{A}{k_B} = \frac{3\theta_p}{(1-x)G_{Dy} + xG_{TGM}} \quad (2.19)$$

$$\frac{A}{k_B} = \frac{3\theta_p}{xG_{TGM}} \quad (2.20)$$

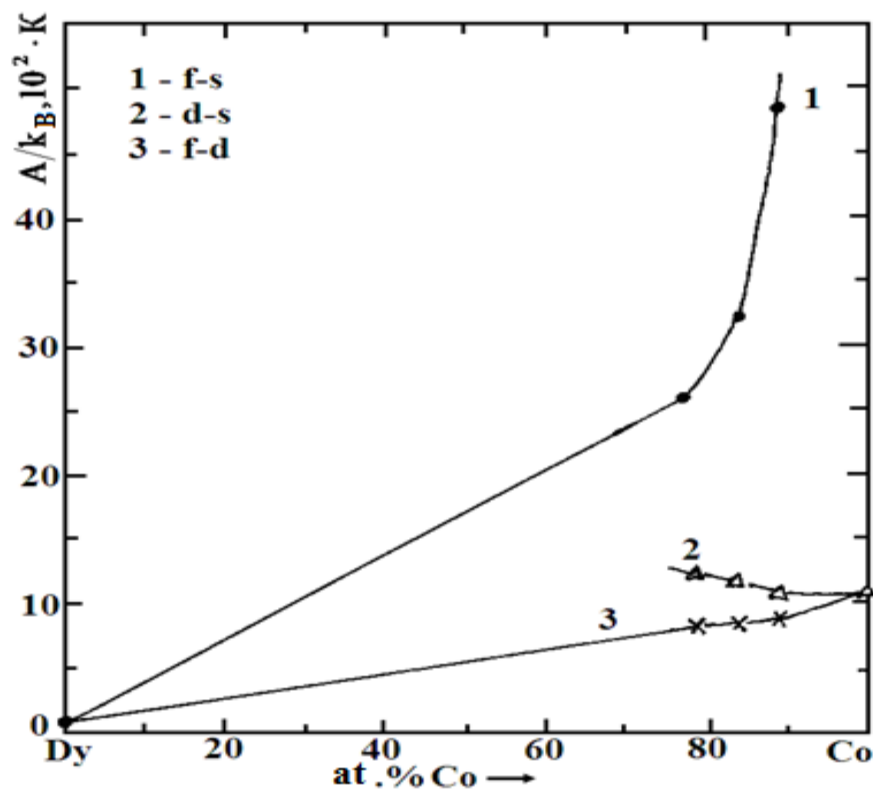
Bulardagi de Jen faktorlarini (2.7) ifodalar bo'yicha hisoblashda Dy^{3+} ioning asosiy holati uchun J va g_j ($J=15/2$ va $g_j=4/3$)larning, Fe^{3+} va Co^{2+} ionlarining asosiy holati uchun esa S va g_s ($S=7/2$, $g_s=2$ va $S=3/2$, $g_s=2$)larning (1.1 va 1.2 jadvallarda keltirilgan) qiymatlaridan foydalanildi. Hisoblash natijalari 2.5-jadvalda va ko'rgazmalai ravishda 2.7 va 2.8-rasmlada keltirilgan [43,44].

Dy-TGM(TGM=Fe,Co) sistemalarida amal qiladigan turli xildagi bilvosita almashinuv o'zaro ta'sirlar parametrlarining qiymatlari.

Na'muna	$A/k_B, 10^2 K$					
	f-s-bog'lanish		d-s-bog'lanish		f-d-bog'lanish	
	Qattiq holat	Suyuq holat	Qattiq holat	Suyuq holat	Qattiq holat	Suyuq holat
Dy	0,678	0,762	-	-	-	-
DyFe ₃	12,706	5,472	3,429	1,477	2,700	1,163
Dy ₆ Fe ₂₃	15,959	10,905	3,372	2,304	2,784	1,902
Dy ₂ Co ₁₇	35,496	30,373	3,379	2,885	3,079	2,637
δ -Fe	-	-	3,771	1,440	-	-
α -Fe	-	-	3,610	-	-	-
Dy ₂ Co ₇	22,768	15,459	12,236	8,236	7,983	5,373
DyCo _{5,2}	31,911	22,703	11,566	8,229	8,489	6,040
Dy ₂ Co ₁₇	48,930	46,510	10,842	10,306	8,949	8,437
Co	-	-	11,264	12,384	-	-



2.7-rasm. Dy-Fe sistemasida $\left(\frac{A}{k_B}\right)$ ning Fe konsentratsiyasiga bog'lanishlari.



2.8-rasm. Dy-Co sistemasida $\left(\frac{A}{k_B}\right)$ ning Co konsentratsiyasiga bog'lanishlari.

2.5-jadvalni tahlil qilish shuni ko'rsatadiki, $\left(\frac{A}{k_B}\right)$ parametrlarning qiymatlari qattiq holatda suyuq holatdagiga nisbatan katta. 2.5-jadvalni va 2.7,2.8-rasmlarni $\left(\frac{A}{k_B}\right)$ ni TGM atomlari konsentratsiyasiga bog'liq ravishda tahlil qilish shuni ko'rsatadiki, Dy-Fe va Dy-Co sistemalaridagi o'rganilgan barcha birikmalarda f-s o'zaro ta'sir boshqa o'zaro ta'sirlarda kuchli bo'lib, uning qiymati Fe yoki Co atomlari konsentratsiyasining oshishi bilan oshadi. d-s o'zaro ta'sir kattalik jihatidan f-d va f-s o'zaro ta'sirlar oralig'ida yotadi. f-d o'zaro ta'sirning qiymati Dy-(Fe,Co) sistemalarida eng kichik hisoblanadi.

Shunday qilib, Dy-(Fe,Co) sistemalaridagi o'rganilgan barcha birikmalarda f-s bilvosita o'zaro ta'sir, ya'ni RKKI tipidagi o'zaro ta'sir eng kuchli bo'lib shu birikmalarning magnit tartiblangan holatining hosil bo'lishida asosiy rol o'ynaydi deb xulosa qilish mumkin.

II-bobga doir xulosalar.

II-bobda bajarilgan ishlarni tahlil qilib va umumlashtirib quyidagi xulosalarni aytish mumkin:

1. KYeM(Gd,Co,Dy)-TGM(KYeM=Gd,Co,Dy;TGM=Fe,Ni,Co) sistemalarida amal qiladigan bilvosita almashinuv o'zaro ta'sirni yarim empirik o'rganish usulining mohiyati bayon qilindi.
2. Toza og'ir KYeM uchun RKKI nazariyasining paramagnit Kyuri temperaturasining de Jen faktoriga proporsionalligi haqidagi bashoratining to'g'riligi isbotlandi va bilvosita almashinuv o'zaro ta'sir parametri hisoblandi.
3. KYeM(Gd,Co,Dy)-TGM(KYeM=Gd,Co,Dy;TGM=Fe,Ni,Co) sistemalarida amal qilishi mumkin bo'lgan barcha bilvosita almashinuv o'zaro ta'sir turlari (f-s,f-d va d-s) parametrlari yarim empirik usulda hisoblandi.
4. KYeM(Gd,Co,Dy)-TGM(KYeM=Gd,Co,Dy;TGM=Fe,Ni,Co) sistemalaridagi birikmalarda amal qiladigan bilvosita almashinuv o'zaro

ta'sirlardan qaysi biri shu birikmalarning magnit tartibli holatining hosil bo'lishida hal qiluvchi rol o'ynashi aniqlandi.

Xulosalar

Ushbu magistrlik dissertatsiyasida olingan asosiy natijalarning mazmunini o'zida aks ettiruvchi quyidagi xulosalarga kelish mumkin:

1. Dissertatsiyaning tadqiqot ob'ektlari - $KY_{eM}(Gd,Co,Dy)$ -TGM ($KY_{eM}=Gd, Co,Dy$; $TGM=Fe,Ni,Co$) sistemalarda amal qiladigan bilvosita almashinuv o'zaro ta'sir parametrini(integralini) yarim empirik usulida o'rganish uchun zarur bo'lgan, bugungi kunda ilmiy adabiyotlarda mavjud bo'lgan, nazariy va tajribaviy ishlar o'rganilib, ularga qisqacha sharh berildi.
2. Tadqiqot ob'ektlarida amal qiladigan bilvosita almashinuv o'zaro ta'sir parametrini, shu ob'ektlar paramagnit Kyuri temperaturasining tajribaviy qiymatlaridan foydalanib, yarim empirik o'rganish usuli bayon qilindi.
3. Toza og'ir KY_{eM} da amal qiladigan bilvosita almashinuv o'zaro ta'sir parametri hisoblandi. Og'ir KY_{eM} uchun paramagnit Kyuri temperaturasining de Jen faktoriga proporsionalligi haqidagi RKKI nazariyasining bashorati tasdiqlandi.
4. KY_{eM} -TGM sistemalarida amal qiladigan bilvosita almashinuv o'zaro ta'siri yarim empirik usulda birinchi marta o'rganildi. $Gd-(Fe,Co,Ni)$ sistemalaridan $Gd-Fe$ sistemasidagi barcha birikmalarda va $Gd-Co$ sistemasidagi $GdCo_5$ va Gd_2Co_{17} birikmalarda f-s o'zaro ta'sir, ya'ni RKKI tipdagi o'zaro ta'sir, $Gd-Co$ sistemasida konsentratsiyasi 80at.%Codan kichik bo'lgan ($GdCo_5$ va Gd_2Co_{17} lardan boshqa) birikmalarda va $Gd-Ni$ sistemasidagi barcha birikmalarda d-s o'zaro ta'sir boshqa o'zaro ta'sirlardan eng katta hisoblanib, bu o'zaro ta'sirlar shu birikmalarning magnit tartibli holatining hosil bo'lishida hal qiluvchi rol o'ynashi aniqlandi.
5. $Ho-(Fe,Co)$ sistemalaridan $Ho-Fe$ sistemasidagi barcha birikmalarda va $Ho-Co$ sistemasidagi Ho_3Co va Ho_4Co_3 birikmalardan boshqa barcha birikmalarda f-s o'zaro ta'sir ya'ni RKKI tipdagi o'zaro ta'sir, Ho_3Co va Ho_4Co_3 birikmalarda esa d-s o'zaro ta'sir eng kuchli hisoblanadi va bu

o'zaro ta'sirlar shu birikmalarning magnit tartiblangan holatining hosil bo'lishida asosiy ro'l o'ynashi aniqlandi.

6. Dy-(Fe,Co) sistemalaridagi o'rganilgan barcha birikmalarda f-s bilvosita o'zaro ta'sir, ya'ni RKKI tipidagi o'zaro ta'sir eng kuchli bo'lib shu birikmalarning magnit tartiblangan holatining hosil bo'lishida asosiy rol o'ynashi aniqlandi.

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, 1985 – 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. Kriessman C.J.,MoGuireT.H. The Magnetic susceptibilities of Hafnium,Gadolinium and Manganese//Phya.Rev..–1953.Vol.90.–N2.–p374.

14. Aarj S. and Colvin R.V. Paramagnetism of Polycrystalline Gadolinium, Terbium and Dysprosium Metals// J. Appl. Phys..– 1961.– Vol.32.– №3.–pp. 336S-337S.
15. 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.
16. Кувандиков О.К., Шакаров Х.О., Усанов Ш.Х, Хамраев Н.С. Магнитная восприимчивость интерметаллидов в системе Gd-In при высоких температурах//Известия вузов.– физика.– 1988.– №7.– с.115-116.
17. Чечерников В.И. Магнитная восприимчивость редкоземельных металлов Ho, Dy, Tb и Gd.// Физика металлов и металловедение.– 1962.– 13.– N3.– с.458-461.
18. Aarj S., Miller D.S. Magnetic Behavior of Polyorystalline neodymium, holmium and erbium from 300 to 1500⁰K//J.Appl.Phys..– 1960.–Vol.31.–N5.– pp.325S-326S.
19. Шакаров Х.О. Магнитная восприимчивость интерметаллических соединений лантаноидов с индием при высоких температурах.// Кандидатская диссертация, Самарканд, 1983.
20. Шакаров Х.О. Магнитная восприимчивость интерметаллидов в системе Dy-In при высоких температурах//Известия ВУЗов. Россия.– Физика. 2005.– №1.– с.88-89.
21. Андропов В.А. Магнитная восприимчивость и электронная структура бинарных сплавов кобальта, никеля с некоторыми нормальными металлами при высоких температурах: Канд. Диссертация.– Свердловск, 1977.
22. Невзорова Э.Г. Исследование парамагнитных свойств твердых и жидких сплавов железа с кремнием, германием, алюминием и углеродом: Канд. диссертация.– Свердловск, 1973.
23. Terry E.M. The magnetic properties of iron, nickel and cobalt above the Curie point and Reenson's quantum theory of magnetism//Phys.Rev..–9.–1977.– pp.394-413.

24. Довгопол С.Г., Радовский И.З., Гельд Г.В. Влияние плавления на магнитные характеристики железа, кобальта и никеля//ДАН СССР. – 212. – 1973. – с.83-85.
25. Вертман А.А., Самарин А.М. Магнитная восприимчивость никеля, кобальта и железа при высоких температурах в жидком состоянии// ДАН СССР.– 134.– 1960.– с.326-329.
26. Невзорова Э.Г., Гальтеков Б.П., Радовский И.З., Гельд П.В. Магнитная восприимчивость никеля и железа при высоких температурах// Изв.ВУЗов.– Черная металлургия.– № 9.– 1972.– с.108-109.
27. Kuvandikov O.K., Shakarov H.O., Salakhitdinova M.K. Magnetic properties of intermetallics of REM-TM systems of high temperatures//Uzbek journal of physics. – 2001.– v.3.– №1-2.– pp.67-74.
28. Кувандиков О.К., Шакаров Х.О., Сайфуллаева Д. Магнитные свойства интерметаллидов в системе Gd-Fe в твердом и жидком состояниях//ДАН УзССР.– 1990.– №6.– с..26-28.
29. Кувандиков О.К., Шакаров Х.О., Сайфуллаева Д. Магнитные свойства интерметаллических соединений гадолиния с кобальтом в твердом и жидком состояниях//ДАН УзССР.– 1990.– №5.– с.28-30.
30. Кувандиков О.К., Шакаров Х.О., Салахитдинова М.К. Магнитные свойства интерметаллических соединений РЗМ (Gd, Ho) с ПМ (Fe, Co, Ni) в твердом и жидком состояниях//Узб.физ. журнал, 1998.– №5.– с.53-63.
31. Kuvandikov O.K., Shakarov H.O., Salakhitdinova M.K. Magnetic properties of intermetallics of REM-TM systems of high temperatures//Uzbek journal of physics. – 2001.– v.3.– №1-2.– pp.67-74.
32. Kuvandikov O.K., Shakarov H.O., Saifullaeva D., Salakhitdinova M.K. Investigations of magnetic properties of compounds of rare-earth metals with metals of the iron group in the range of the solid-liquid phase transition//The physics of metals and metalography. 2002.– V.93.– supp.1.– pp.548-553.

33. Кувандиков О.К., Шакаров Х.О., Салохитдинова М.К. Магнитные свойства интерметаллических соединения гольмия с кобальтом в твердом и жидком состояниях//Узб.физ. журнал.– 1996.– №5-6.– с.45-48.
34. Кувандиков О.К., Шакаров Х.О., Салохитдинова М.К. Парамагнитные свойств интерметаллидов в системе Ho-Co в твердом и жидком состояниях//Расплавы.– РАН.– 1999.– №2.– с.46-50.
35. Кувондиков О. К., Шакаров Х.О.,Шодиев З.М.Диспрозий билан темир бирикмаларининг магнит хоссаларини юкори температураларда урганиш//СамДУ илмий тадқиқотлар ахборотномаси.– 2003 й..– №3.– 38-40 б.
36. Кувондиков О. К., Шакаров Х.О.,Шодиев З.М.Изучение магнитных свойств интерметаллидов в системе Dy-Fe в твердом и жидком состояниях//Металлофизика и новейшие технологии. 2005.– т.27.– №3.– с.419-425.
37. Кувандиков О. К.,Шакаров Х.О., Шодиев З. М. Магнитные свойства интерметаллидов в системе Dy-Co при высоких температурах//СамДУ илмий тадқиқотлар ахборотномаси. Физика. 2006 йил.– №5.– с. 38-43.
38. Кувондиков О. К., Шакаров Х.О.,Шодиев З.М.Изучение магнитных свойств интерметаллидов в системе Dy-Co в твердом и жидком состояниях//Металлофизика и новейшие технологии. НАН Украины. –2007. т.29.– №11.– сс.1459-1466.
39. 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.
40. Х.О. Шакаров. Парамагнитная температура Кюри и косвенное обменное взаимодействие в системе R3M-In//Металлофизика и новейшие технологии. Украина(г. Киев), 2013, Т. 35, №8, СС.1013-1020.
41. Х.О. Шакаров. Полуэмпирическое исследование косвенное обменное взаимодействие в системе R3M-In//Известия вузов. Физика. Россия (г. Томск), 2014, №1.с.100-103.

42.О.К. Кувандиков, Х.О. Шакаров, М.К.Салохитдинова, Б.У.Амонов, Ф.У. Хужаяров. Парамагнитная температура кюри и обменное взаимодействие в системе Ho-ЭГЖ ($\text{ЭГЖ}=\text{Fe,Co}$) в конденсированном состоянии//СамДУ илмий тадқиқотлар ахборотномаси, 2014, №1 (83), сс.66-71 б.

43.Х.О. Шакаров, З.М.Шодиев, Б.У.Амонов, Ф.У. Хужаяров. Парамагнитная температура кюри и косвенный обмен в системе Dy-ЭГЖ ($\text{ЭГЖ}=\text{Fe,Co}$). “Конденсатланган муҳитлар физикаси ва материалшуносликнинг долзарб масала-лари” мавзудаги респуб. илмий-техникавий анжумани материаллари. 50-52 б. Фарғона, 14-15 май 2014.

44.О.К. Кувандиков, Х.О. Шакаров, З.М.Шодиев, Б.У.Амонов, Ф.У. Хужаяров. Полуэмпирическое исследование парамагнитная температуры кюри и обменного взаимодействия в системе Dy-ЭГЖ ($\text{ЭГЖ}=\text{Fe,Co}$)//СамДУ илмий тадқиқотлар ахборотномаси, 2015, №1 (89), сс.99-104 б.

45.F.Xujayarov(IlmiyrahbarX.O.Shakarov)

SamDUfizikafakultetiprofessoro'qituvchilari, magistrantlarivatalabalarining 2014-yildagiilmiytadqiqotishlariyakunlaribo'yichailmiykonferensiyasidasturi.

Samarqand-2015 -7b

46. www.ziynet.uz

47. www.edu.uz

48. www.lex.uz

49. www.library.uz