

**O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIIY VA O'RTA MAXSUS TA'LIM
VAZIRLIGI ALISHER NAVOIY NOMIDAGI
SAMARQAND DAVLAT UNIVERSITETI**

**FIZIKA FAKULTETI
“5140200 – FIZIKA” TA'LIM YO'NALISHI
“Umumiy fizika va magnetizm” kafedrası**

JO'LANOV XASAN KOMIL O'G'LI

**KYeM-Al(KYeM=Gd,Dy,Ho,Er) SISTEMALERIDA AMAL
QILUVCHI ALMASHINUV O'ZARO TA'SIRNI YARIM
EMPIRIK USULDA O'RGANISH**

**“5140200 – Fizika” ta'lim yo'nalishi bo'yicha bakalavr
darajasini olish uchun**

BITIRUV MALAKAVIY ISH

Ilmiy rahbar: dots. Shakarov X. O.

Bitiruv malakaviy ish “Umumiy fizika va magnetizm” kafedrasida bajarildi.
Ish kafedraning 2015 yil _____ iyundagi majlisida muhokama qilindi va
himoyaga tavsiya etildi (_____-bayonnoma).

Kafedra mudiri: _____ dots. Rajabov R. M.

Bitiruv malakaviy ish YaDAK ning 2015 yil “_____” _____dagi
majlisida himoya qilindi va _____ball bilan baholandi (_____-bayonnoma).

YaDAK raisi: _____

A'zolari: _____

Samarqand - 2015

MUNDARIJA

KIRISH.....	3
I-BOB. KYeM VA ULARNING ALYUMINIY BILAN BIRIKMALARI KONDENSIRLANGAN HOLATINING ELEKTRON TUZILISHI VA MAGNIT XOSSALARIGA OID TADQIQOTLARNING HOLATI.....	6
1.1.Kamyob Yer metallarining(KYeM) elektron tuzilishi.....	6
1.2.KYeM uchun paramagnetizmning Van-Flek nazariyasi.....	10
1.3.KYeMda amal qiladigan bilvosita almashinuv o'zaro ta'sir nazariyasi.....	14
1.4.Og'ir KYeM va ularning alyuminiy bilan birikmalarining magnit xossalarini yuqori temperaturalarda o'rganish natijalari.....	17
I-bobga doir xulosalar.....	24
II-BOB. OG'IR KYeM-Al SISTEMASIDA AMAL QILADIGAN BILVOSITA ALMASHINUV O'ZARO TA'SIRNI YARIM EMPIRIK USULDA O'RGANISH NATIJALARI VA ULARNING MUHOKAMASI.....	25
2.1. Og'ir KYeM-Al sistemalarida amal qiladigan bilvosita almashinuv o'zaro ta'sirni o'rganishning yarim empirik usuli.....	25
2.2.Toza og'ir KYeMda (KYeM=Gd,Tb,Dy,Ho,Er,Tm) amal qiladigan bilvosita almashinuv o'zaro ta'sir parametrini hisoblash	28
2.3.Og'ir KYeM-Al (OKYeM=Gd, Dy,Ho,Er) sistemalaridagi birikmalarda amal qiladigan bilvosita o'zaro ta'sir parametrini hisoblash.....	31
II-bobga doir xulosalar.....	37
XULOSALAR.....	38
FOYDALANGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI.....	39

KIRISH.

Mavzuning 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 xossalari 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 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, 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.

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

Tadqiqotning vazifalari quydagilardan iborat:

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 bilan birikmalarining magnit qabul qiluvchanligini qattiq va suyuq holatlarda o'lchash bilan bog'liq ishlarni o'rganib, ulardan paramagnit Kyuri temperaturasiining tajribaviy qiymatlarini aniqlash;
3. KYeM va uning alyuminiy bilan birikmalarining tajribaviy paramagnit Kyuri temperaturasi qiymatlaridan foydalanib ularda amal qiladigan bilvosita almashinuv o'zaro ta'sir parametrini yarim empirik usulda hisoblashni o'rganish;
4. Toza og'ir KYeM va ularning alyuminiy bilan birikmalarida 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) bina sistemalarida xosil bo'lgan intermetallik birikmalar.

Tadqiqot pretmeti: KYeM-Al(KYeM=Gd,Dy,Ho,Er) 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-Al(KYeM=Gd,Dy,Ho,Er) sistemasidagi intermetallik birikmalarda amal qiladigan bilvosita o'zaro tasirni o'rganishning yarim empirik usuli.

Tadqiqodning ilmiy yangilidi: Bu malakaviy bitiruv ishida KYeM-Al (KYeM=Gd,Dy,Ho,Er) sistemalarida amal qiladigan bilvosita almashinuv o'zaro ta'siri yarim empirik usul bilan birinchi marta o'rganildi.

Tadqiqoning natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati: Ushbu malakaviy bitiruv ishida 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 KYeM va KYeM-Al(KYeM=Gd,Tb,Dy,Ho,Er,Tm) sistemalaridagi birikmalarning tajribaviy paramagnit 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, ikkita bob, xulosalar va 29 ta nomdagi ilmiy adabiyotlar ro'yxatidan tashkil topgan bo'lib, 45 bet lotin alifbosida, bosma shaklda bayon qilingan. Uning mazmuni 9 ta rasm va 7 ta jadval yordamida ko'rgazmali bayon qilingan.

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

1.1. Kamyob Yer metallarining(KYeM) 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) boshlab lyutetsiygacha (z=71) boʻlgan, lantanoyidlar ham deb ataladigan elementlar kiradi.

KYeM atomlarida elektronlarning qobiqlar boʻyicha joylashishi, 4f,5d va 6s-qobiqlarni hisobga olmaganda, xuddi ksenon atomidagidek boʻladi. KYeM atomlarida 4f-gacha boʻlgan ichki qobiqlar elektronlar bilan toʻlgan boʻlib, 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 boʻlib, n=0 (La) dan n=14 (Lu) gacha oʻzgaradi.

Kristal holatda KYeM atomlari uch karra ionlashgan holatda, kristall panjara tugunlarida joylashadilar. $5d^1 6s^2$ -qobiqlardagi elektronlar, kristall panjara hosil boʻlish jarayonida, panjara ichida umumlashgan, yaʼni elektr tok hosil qilishda ishtirok etadigan elektronlarga aylanadi. Bu metallarda 4f-qobigʻning effektiv radiusi (r_{4f}) kristall panjara tugunlari orasidagi eng qisqa masofa – a panjara davridan ancha kichikdir, yaʼni, $r_{4f} \gg a/2$. Ulardagi 4f-qobiqlardagi elektronlar kristall panjara tugunida oʻtroqlashgan boʻlib, tashqi $5s^2 5p^6$ -toʻlgan qobiqlar bilan atrofdagi 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 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:

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

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.

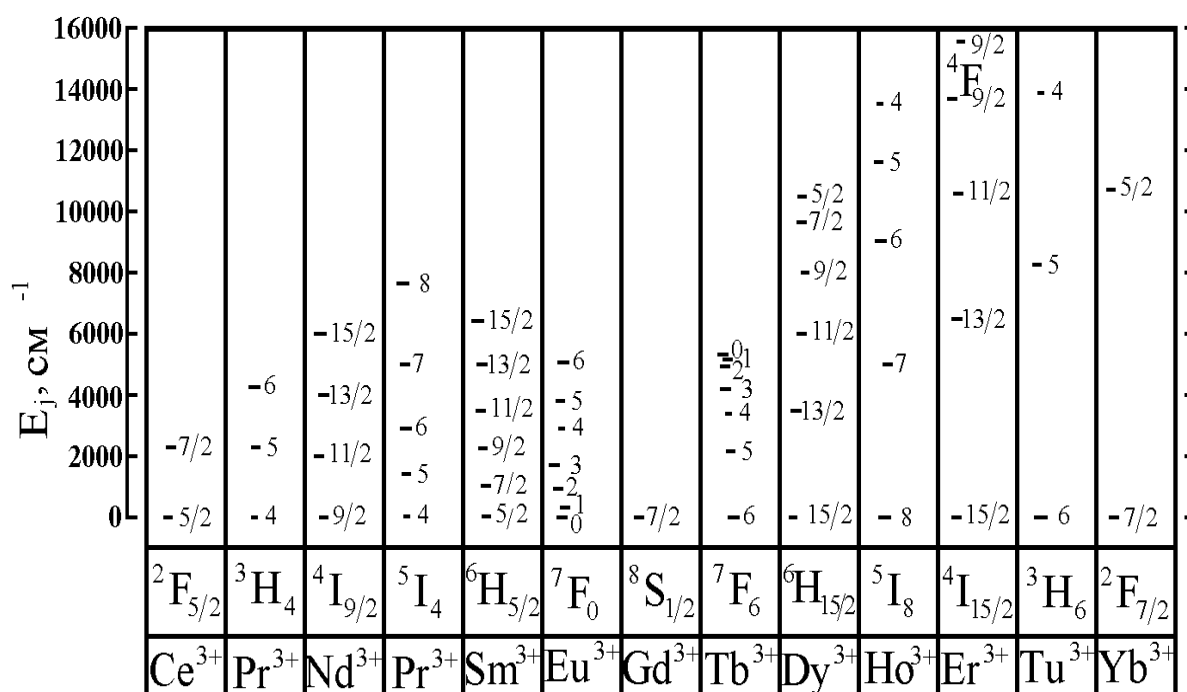
Landening intervallar qoidasining mohiyati quyidagicha:

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

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

(1.1) ifodada $35 \leq 36$ deb qabul qilib va (1.2) ifoda bilan hisoblash natijalari (1.1.rasm) va spektroskopik tajribalarning natijalari shuni ko`rsatadiki, og`ir KYeM

uchun $E \geq 1000 \text{ cm}^{-1}$. Issiqlik energiyasi (kT) 300K da $208,5 \text{ cm}^{-1}$ ga, 1500K da esa $1042,25 \text{ cm}^{-1}$ 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

K_YeM atomlari va ionlarining elektron tuzilishi

Z	Element	Atomlar uchun		K _Y eM ³⁺ ionlari uchun					
		Elektron konfiguratsiya	Term	Elektron konfiguratsiya	S	L	J	Term	E _{J+1} , sm ⁻¹
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	⁶ H _{5/2}	4f ⁵ 5S ² 5P ⁶	2	6	4	⁵ I ₄	-
62	Sm	4f ⁶ 5S ² 5P ⁶ 6S ²	⁷ F ₀	4f ⁶ 5S ² 5P ⁶	5/2	5	5/2	⁶ H _{5/2}	1100
63	Eu	4f ⁷ 5S ² 5P ⁶ 6S ²	⁸ S _{7/2}	4f ⁶ 5S ² 5P ⁶	3	3	0	⁷ F ₀	350
64	Gd	4f ⁷ 5S ² 5P ⁶ 5d ¹ 6S ²	⁹ D ₂	4f ⁷ 5S ² 5P ⁶	7/2	0	7/2	⁸ S _{7/2}	-
65	Tb	4f ⁸ 5S ² 5P ⁶ 5d ¹ 6S ²	⁸ H _{17/2}	4f ⁸ 5S ² 5P ⁶	3	3	6	⁷ F ₆	2101
66	Dy	4f ¹⁰ 5S ² 5P ⁶ 6S ²	⁵ I ₈	4f ⁹ 5S ² 5P ⁶	5/2	5	15/2	⁶ H _{15/2}	3200
67	Ho	4f ¹¹ 5S ² 5P ⁶ 6S ²	⁸ I _{15/2}	4f ¹⁰ 5S ² 5P ⁶	2	5	8	⁵ I ₈	5050
68	Er	4f ¹² 5S ² 5P ⁶ 6S ²	³ H ₆	4f ¹¹ 5S ² 5P ⁶	3/2	6	15/2	⁴ I _{15/2}	8000
69	Tm	4f ¹³ 5S ² 5P ⁶ 6S ²	² F _{7/2}	4f ¹² 5S ² 5P ⁶	1	5	6	³ H ₆	8250
70	Yb	4f ¹⁴ 5S ² 5P ⁶ 6S ²	¹ S ₀	4f ¹³ 5S ² 5P ⁶	1/2	3	7/2	² F _{7/2}	10300
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	¹ S ₀	-

1.2. KYeM uchun paramagnetizmning Van-Flek nazariyasi.

Erkin ionlardagi kechikib toʻladigan elektron qobiqdagi elektronlarning energetik sathlari energiyasi E -ni bilgan holda Van-Flek tomonidan ishlab chiqilgan paramagnetizmning kvanto-mexanik nazariyasi natijalaridan [1,7,8] foydalanib, shunday erkin ionlar sistemasidagi paramagnit qabul qiluvchanlikning temperaturaga bogʻliqligini hisoblash mumkin.

Sistema ogʻir KYeM ionlaridan tashkil topgan deb faraz qilaylik. Sistemadagi har bir ionning asosiy va birinchi uygʻongan holat energiyasi farqi issiqlik energiyasidan juda katta boʻlganda ($\Delta E \gg k_B T$) 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 temperature; μ_B -Bor magnetoni; g_J -Lande sektori.

Lande sektori quyidagicha aniqlanadi:

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

(1.3) dagi ikkinchi qoʻshiluvchi temperaturaga bogʻliq boʻlgan Van-Flek paramagnetizmi. Undagi α_J quyidagicha aniqlanadi:

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

Bu ifodadagi F quyidagicha aniqlanadi:

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

(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 maydonida $\left(\frac{\mu_B H}{k_B T} \ll 1\right)$ KYeM ning erkin ionlari sistemasining magnit qabul qiluvchanligi, ionlar asosiy holatining to'la mexanik moment kvant soni J va 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:

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

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 $T \rightarrow (T - \theta_p)$ almashtirish 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:

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

KYeM ionlarining asosiy magnit xarakteristikalarini 1.2 – jadvalda keltirilgan.

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

KYem³⁺	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.	-

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 - 5d¹ va 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 $\vec{R}_n$ -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 $\vec{R}_m$ -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]:

$$\theta_p = \frac{3\pi^2}{k_B \Omega^2 E_F} A_{sf}^2(0) (g_J - 1)^2 J(J+1) \sum_{n \neq m} F(2\vec{k}_F (\vec{R}_n - \vec{R}_m)), \quad (1.14)$$

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;

$$F(x) = F(2\vec{k}_F(\vec{R}_n - \vec{R}_m)) = (x \cos x - \sin x) / x^4 \quad (1.15)$$

– Ruderman – Kittel funksiyasi.(1.14) ifodadagi

$$G = (g_J - 1)^2 J(J + 1) \quad (1.16)$$

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

$$g_J = 1 + \frac{J(J + 1) + S(S + 1) - L(L - 1)}{2J(J + 1)}, \quad (1.17)$$

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]:

$$A = \frac{9\pi^2}{k_B \Omega^2 E_F} A_{sf}^2(0) \sum_{n \neq m} F(2\vec{k}_F(\vec{R}_n - \vec{R}_m)). \quad (1.18)$$

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

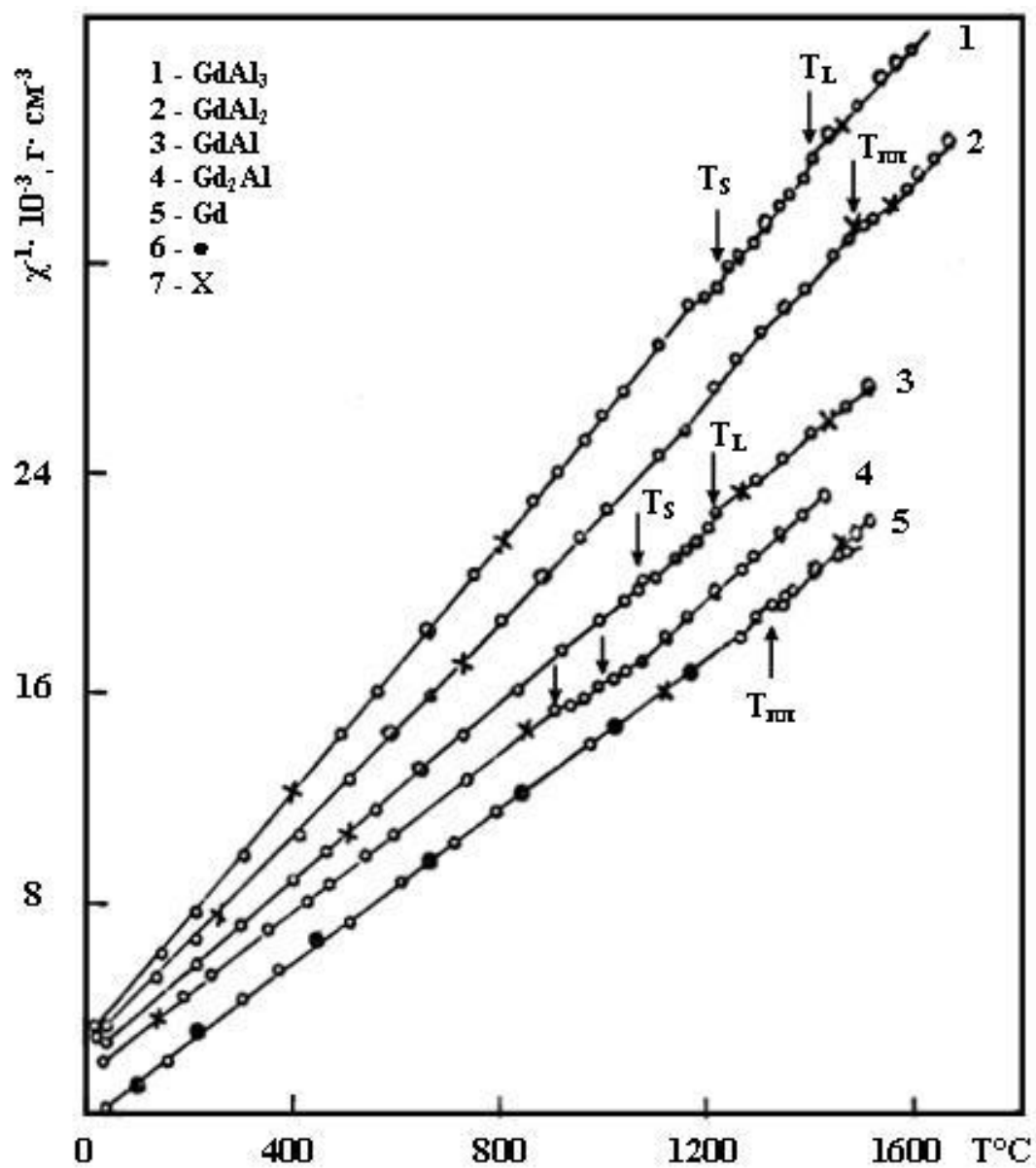
$$\theta_p = \frac{1}{3k_B} AG. \quad (1.19)$$

1.4. Og'ir KYeM va ularning alyuminiy bilan birikmalarining magnit xossalari yuqori temperaturalarda o'rganish natijalari.

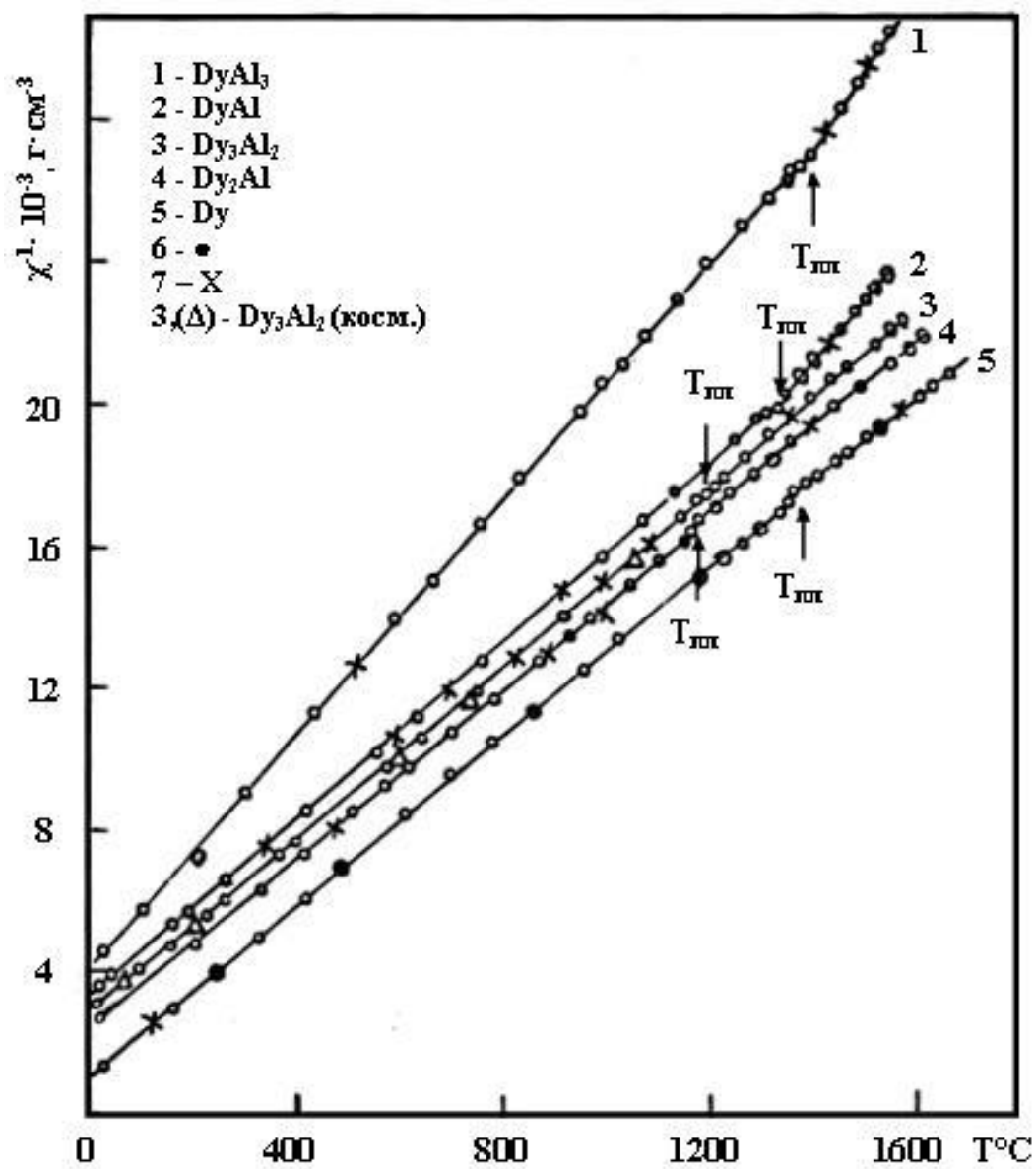
Toza og'ir KYeM(OKYeM) va ularning alyuminiy bilan birikmalarining magnit xossalari, ularning magnit tartiblangan holatida, ya'ni 300°Kdan past temperaturalarda bugungi kunda yetarli darajada o'rganilgan. Bu yo'nalishdagi ishlarga[2,4,13] ishlarda batafsil sharh berilgan.

Toza OKYeMning magnit xossalari 300 Kdan -1500 K yuqori temperaturalar oralig'ida, ularning faqat qattiq holatida[5,14-16] 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.

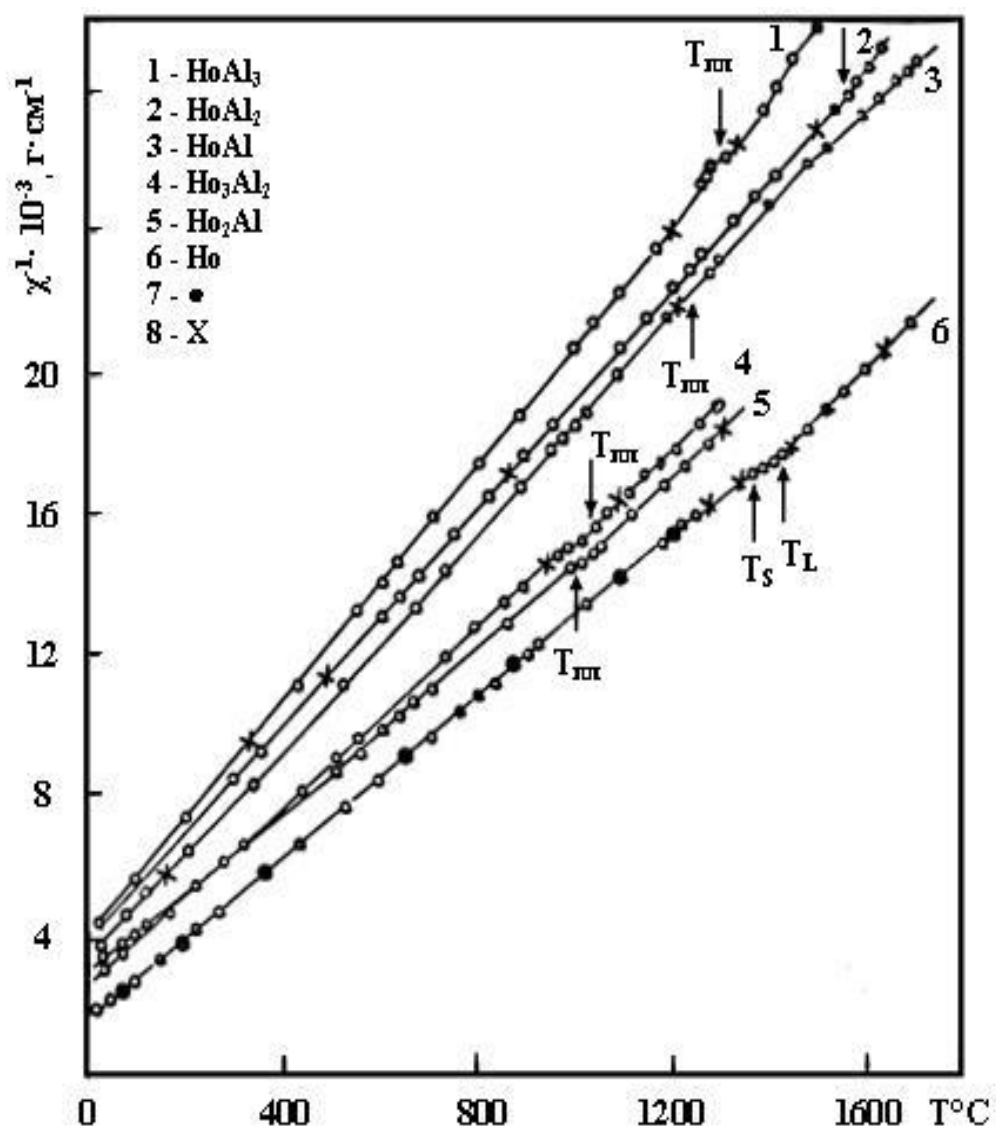
OKYeM va alyuminiy orasidagi birikmalarining magnit xossalari, ularning qattiq holati, erish jarayoni va suyuq holatini qamraydigan yuqori temperaturalar oralig'ida (20-1700°C) birinchi marta [17-23] ishlarda Faradey usuli bilan o'lchangan. Shu ishlarda OKYeM – Al (OKYeM=Gd,,Dy,Ho,Er) sistemalaridagi toza OKYeM va ularning alyuminiy bilan hosil qiladigan birikmalarining $\chi^{-1}(T)$ bog'lanishlarini o'lchash va ularning muhokamasi bo'yicha [21-23] 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 1.2-1.5 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 (1.3-1.5 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 (1.2-rasm) (1.13) ko'rinishdagi umumlashgan Kyuri-Veyss qonuniga bo'ysinadi.



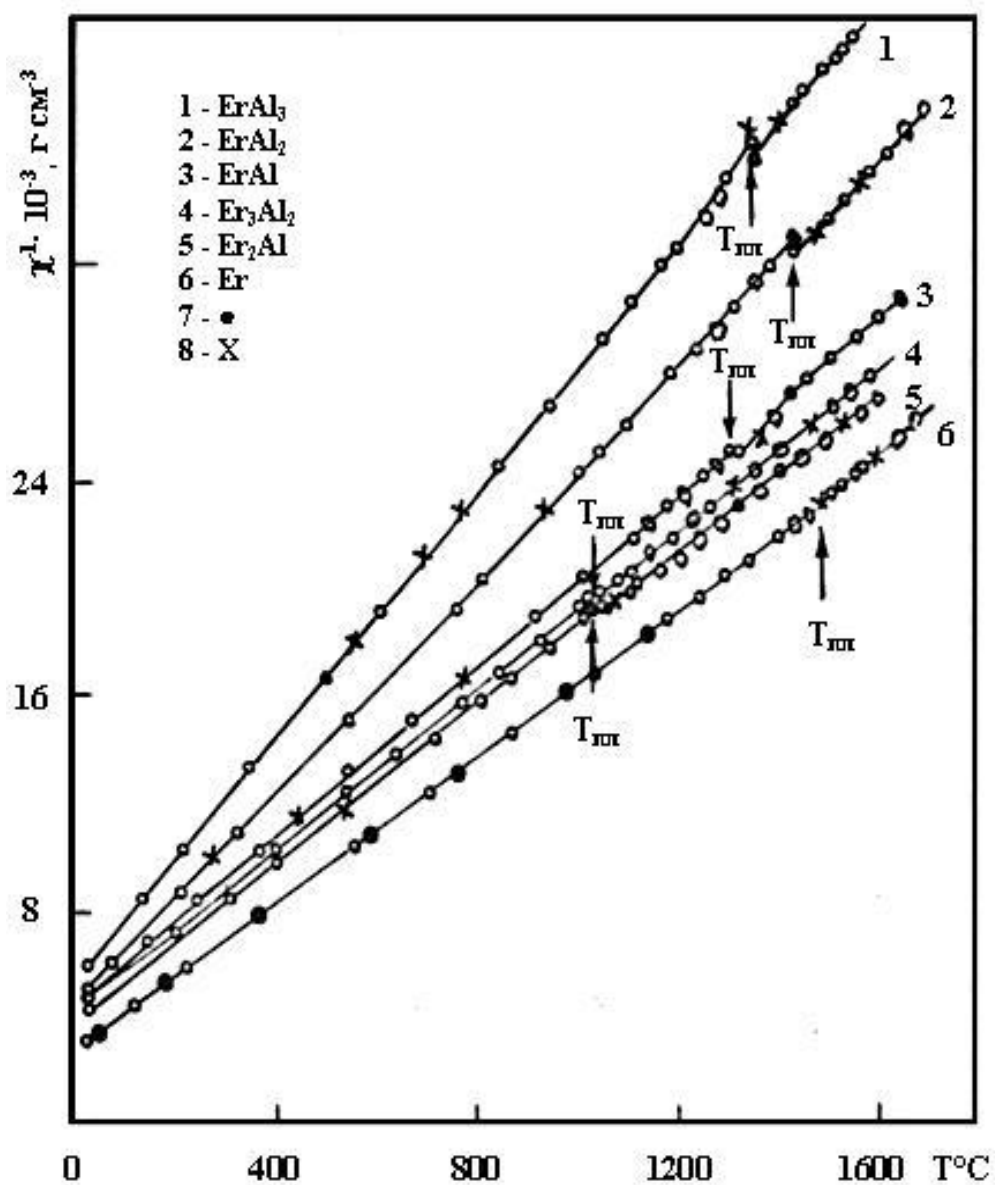
1.2-rasm Gd-Al sistemasi uchun $\chi^{-1}(T)$ bog'lanishlar. 6-[16]-ishning natijasi, 7-sovutish jarayonida o'lchangan.



1.3-rasm Dy-Al sistemasi uchun $\chi^1(T)$ bog'lanishlar. 6-[16]-ishning natijasi, 7-sovutish jarayonida o'lchangan.



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



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

1.2-1.5 – 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 birikmalarining 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]:

$$\mu_{eff} = 2.83 \sqrt{C(M_1 + \frac{xM_2}{100-x})} \mu_B, \quad (1.20)$$

bundagi M_1 va M_2 – mos ravishda, KYeM va alyuminiyning atomar massalari; x – alyuminiyning at.%lardagi konsentratsiyasi. Hisoblash natijalari 1.3 – jadvalda keltirilgan. 1.3-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.

(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		

I-bobga doir xulosalar

1. Malakaviy ishida tadqiq qilinadigan obektlardagi bilvosita almashinuv o'zaro ta'siriga dahildor bo'lgan, ularning quyidagi xossalarini adaboyotlarda o'rganilganlik darajasiga sharh berilgan:

1. KYeMning elektron tuzilishi;

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

3. Og'ir KYeM va ularning alyuminiy bilan birikmalarining magnit qabul qiluvchanligini yuqori temperaturalarda (qattiq va suyuq holatlarda) o'lchash va o'lchash natijalaridan foydalanib ularning asosiy magnit xarakteristikalarini aniqlash natijalari;

**II-BOB. OG'IR KYeM-AI SISTEMASIDA AMAL QILADIGAN BILVOSITA
ALMASHINUV O'ZARO TA'SIRNI YARIM EMPIRIK USULDA O'RGANISH
NATIJALARI VA ULARNING MUHOKAMASI**

**2.1. Og'ir KYeM-AI 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, KYeM^{3+} ionlari ichida $5s^2 5p^6$ elektronlar bilan kristall panjara maydoni ta'siridan himoyalangan 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 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, (1.19) bog'lanish, ya'ni toza KYeM uchun quyidagi bog'lanish mavjud:

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

Bu ifodadan quyidagini olamiz:

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

Bu ifodadagi de Jen faktori G toza KYeM uchun quyidagicha aniqlanadi:

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

Bundagi Lande fanktori 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-elektronlarning, Xund qoidalari bo'yicha aniqlanadigan, to'la orbital, to'la spin va to'la mexanik moment kvant sonlari.

KYeM-Al (KYeM=Gd, Dy, Ho, Er) sistemalarida amal qiladigan bilvosita o'zaro ta'sir uchun (2.1) dagi de Jen faktori additivlik qoidasiga asosan quyidagicha aniqlanadi:

$$G = (1-x)G_{\text{KYeM}} + xG_{\text{Al}}, \quad (2.5)$$

bundagi x -alyuminiyning atom ulushlardagi konsentratsiyasi, G_{KYeM} va G_{Al} -mos ravishda KYeM va Al uchun de Jen faktorlari. Uch valentli Al ioni asosiy energetik holatining terimi 1S_0 bo'lgani uchun $G_{\text{Al}} = (g_J - 1)^2 J(J+1) = 0$ bo'ladi. Buni va (2.5)ni hisobga olib o'rganiloyotgan birikmalarning paramagnit Kyuri temperaturasi uchun (2.1)dan quyidagini olamiz:

$$\theta_p = \frac{A}{k_B} (1-x)(g_J - 1)^2 J(J+1). \quad (2.6)$$

Geksogonal tipdagi kristall panjara tugunlarida joylashagan KYeM^{3+} ionlarining tashqi elektron qobiqlari ($5s^2 5p^6$) amalda bir xil bo'lib, bir metall dan ikkinchi metallga o'tganda deyarlik o'zgarmaydi. Almashinuv o'zaro ta'sir integrali A (1.18)ga asosan n , $A_{\text{st}}(0)$, 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[25]. Shuning uchun ham, (2.1) va (2.6) ifodalarga asosan toza KYeM va ularning Al bilan birikmalarining paramagnit Kyuri temperaturasi de Jen faktoriga to'g'ri proporsional bo'ladi deyish mumkin. Bu ifodalar RRKI nazariyasining ushbu bashoratini yarim empirik usul bilan tekshirib ko'rish imkoniyatini beradi.

[21-23]-ishlarda toza KYeM va ularning Al bilan birikmalarida KYM^{3+} ioniga to'g'ri keladigan effektiv magnit momentning qiymati KYM^{3+} erkin ionlari magnit momentining qiymatiga qoniqarli darajada mos keladi(1.3-jadval) degan xulosa olingan. Bu dalil KYeM va o'rganilayotgan birikmalarning magnit xossasiga sababchi bo'lgan 4f-elektronlar ularning kristall panjarasi tugunlarida, xuddi toza KYeMdagidek, o'troqlashgan bo'ladi. Paramagnit metal Al va yuqori temperatura 4f-elektronlarning o'rganilgan namunalardagi energetik holatiga deyarlik ta'sir ko'rsatmaydi. Asosiy va birinchi uyg'ongan energetik sathlar energiyalarining farqi issiqlik energiyasi- $k_B T$ dan ancha katta. Shuning uchun KYeM va uning Al bilan birikmalari uchun de Jen faktori G ni (2.3) va (2.5) ifodalar bo'yicha hisoblashda KYM^{3+} erkin ionlari uchun J va g_J larning qiymatlaridan($J=7/2$ va $g_J=2$, $J=15/2$ va $g_J=4/3$, $J=8$ va $g_J=5/4$, $J=15/2$ va $g_J=6/5$, mos ravishda Gd^{3+} , Dy^{3+} , Ho^{3+} va Er^{3+} ionlari uchun) foydalanish mumkin(1.2-jadval).

Toza KYeMda amal qiladigan bilvosita o'zaro ta'sir uchun (2.2) ifoda quyidagi ko'rinishda yoziladi:

$$\frac{A}{k_B} = \frac{3\theta_p}{G_{KEM}}. \quad (2.7)$$

Bundagi G_{KEM} —KYM uchun de Jen faktori bo'lib, (2.3) ifoda yordamida hisoblanadi.

KYeM-Al (KYM=Gd,Dy,Ho,Er) sistemalaridagi birikmalar uchun (2.5)ni va yuqoridagi fikrlarni hisobga olib (2.6)dan, o'rganilayotgan birikmalardagi bilvosita almashinuv o'zaro ta'sir parametrini hisoblash uchun, quyidagini olamiz:

$$\frac{A}{k_B} = \frac{3\theta_p}{(1-x)G_{KEM}}. \quad (2.8)$$

Shunday qilib, (2.1) va (2.6) ifodalar yordamida toza KYeM va ularning Al bilan birikmalari paramagnit Kyuri temperaturasi va de Jen faktori orasida proporsionallik mavjudligi haqidagi RRKI nazariyasining xulosasini tekshirib ko'rish imkoniyatiga ega bo'lsak, (2.7) va (2.8) ifodalar yordamida esa toza KYeM va ularning Al bilan birikmalarida amal qiladigan bilvosita almashinuv o'zaro ta'sir parametrini (A/k_B) yarim empirik usulda hisoblash imloniyatiga ega bo'lamiz.

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

§2.1da 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 paragrfdi o'rganiladi.

θ_p va G orasidagi proporsionallikni, ya'ni RKKI nazariyasining bashoratini tekshirish (2.1) ifoda, ya'ni

$$\theta_p = \frac{AG_{KEM}}{3k_B}.$$

ifoda bo'yicha, almashinuv o'zaro ta'sir parametrini hisoblash esa (2.7) ifoda bo'yicha, ya'ni

$$\frac{A}{k_B} = \frac{3\theta_p}{G_{KEM}}.$$

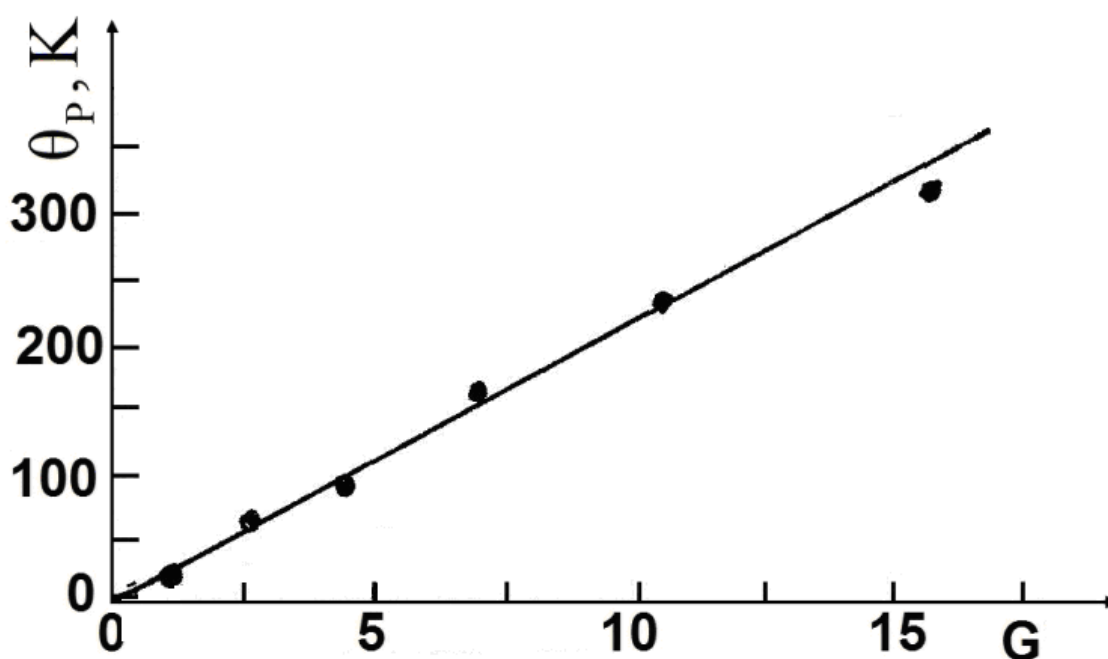
ifoda bo'yicha bajarildi. Bu ifodalardagi de Jen faktori G_{KEM} ni (2.3) ifodadan foydalanib hisoblandi. (2.3) ifodadagi g_J va J larning qiymatlari 1.2 jadvaldan, θ_p ning qiymatlari esa 1.3 jadvaldan olindi.

Toza OKYeM uchun RKKI nazariyasining bashoratini tekshirish va almashinuv o'zaro ta'sir parametrini hisoblash bo'yicha olingan natijalar, mos ravishda, 2.1 va 2.2-jadvallarda keltirilgan. 2.1-jadvaldan foydalanib ko'rgazmali ravishda chizilgan θ_p va G orasidagi bog'lanish 2.1-rasmda tasvirlangan[26-29]. Hisoblashlarda na'munalar uchun θ_p ning tajribaviy qiymatlari 1.3-jadvaldan olindi

.2.1-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



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

2.1- jadvaldan va 2.1-rasmdan ko'rinib turibdiki OKYeM uchun $\theta_p(G)$ bog'lanish chiziqli ko'rinishga ega. Demak, RKKI nazariyasining θ_p va $G=(g_J-1)^2J(J+1)$ 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.

2.2-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		

2.2-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.

2.3.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) sistemasidagi birikmalarda amal qiladigan almashinuv o'zaro ta'sirni yarim empirik usulda o'rganish natijalari keltirilgan.

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 (2.6) ifodadan, ya'ni

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

ifodadan foydalanib tekshirildi. Tekshirish natijalari 2.3-jadvalda va ko'rgazmali ravishda 2.2-rasmda keltirilgan.

Bilvosita o'zaro ta'sir parametri- A/k_B ning qiymatlari (2.8) ifodadan, ya'ni

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

ifodadan foydalanib hisoblandi. Hisoblash natijalari 2.4-jadvalda va ko'rgazmali ravishda 2.3-rasmda keltirilgan[26-29].

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 1.3-jadvaldan olindi.

2.3-jadval va 2.2-rasmni tahlil qilib quyidagilarni aytish mumkin: 2.2-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 (§2.2da) 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.

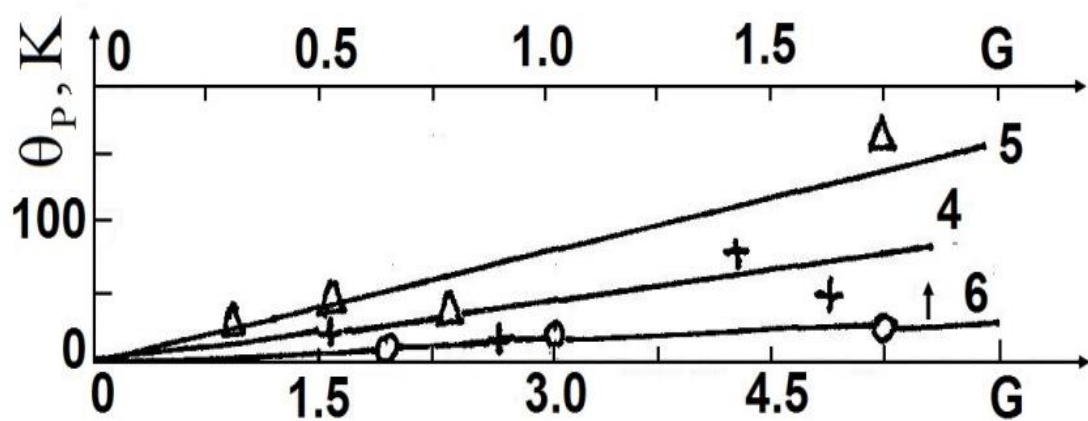
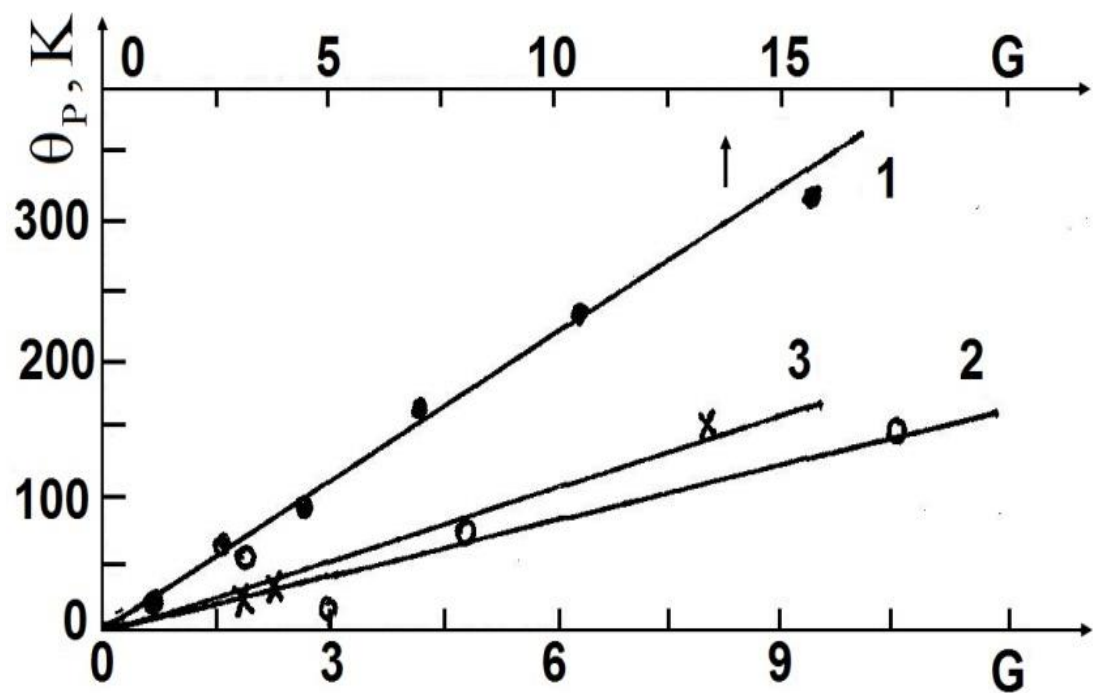
2.3-rasmning pastgi qismidagi 4,5 va 6-grafiklar orqali, mos ravishda, KYeM_3Al_2 ($\text{KYeM}=\text{Dy},\text{Ho},\text{Er}$), KYeMAl_2 ($\text{KYeM}=\text{Gd},\text{Dy},\text{Ho},\text{Er}$) va KYeMAl_3 ($\text{KYeM}=\text{Dy},\text{Ho},\text{Er}$) birikmalar uchun $\theta_p(G)$ bog'lanish tasvirlangan. Bu grafiklarni diqqat bilan kuzatsak, ular ham, toza OKYeM uchun 1-grafikga o'xshab, chiziqli ko'rinishga ega.

Shunday qilib, 2.2-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. Bunday moslikni yoki ekvivalentli ($x=\text{const}$) birikmalar uchun ham $\theta_p(G)$ bog'lanishning chiziqli bo'lishini quyidagicha izohlash mumkin. §2.1da qayd qilinganidek, birikma kristall panjara tugunlarida joylashagan KYeM^{3+} 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 (1.18)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[25]. Shuning uchun ham, (2.6) ifodaga asosan o'rganilgan birikmalarining paramagnit Kyuri temperaturasi de Jen faktoriga to'g'ri proporsional bo'ladi deyish mumkin. Bu ifodalar RRKI nazariyasining ushbu bashoratini birikmalar uchun yarim empirik usul bilan tekshirib ko'rish imkoniyatini beradi. Demak, o'rganilgan birikmalarda θ_p ning o'zgarishi RRKI nazariyasi bashoratiga juda yaqindir. Bu shundan guvohlik beradiki, o'rganilgan birikmalarda amal qiladigan almashinuv o'zaro ta'sir, toza OKYeMda amal qiladigan RRKI tipidagi bilvosita almashinuv o'zaro ta'sirning o'zidir.

2.3-jadval

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

Birikma	θ_p, K	g_J	J	$(1-x)(g_J-1)^2 J(J+1)$
Gd₂Al	145	2	7/2	10.55
Dy₂Al	73	4/3	15/2	4.75
Ho₂Al	8	5/4	8	3.02
Er₂Al	52	6/5	15/2	1.71
Dy₃Al₂	80	4/3	15/2	4.25
Ho₃Al₂	11	5/4	8	2.70
Er₃Al₂	-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
GdAl₂	165	2	7/2	5.20
DyAl₂	33	4/3	15/2	2.34
HoAl₂	35	5/4	8	1.49
ErAl₂	3	6/5	15/2	0.84
DyAl₃	23	4/3	15/2	1.77
HoAl₃	6	5/4	8	1.13
ErAl₃	6	6/5	15/2	0.64



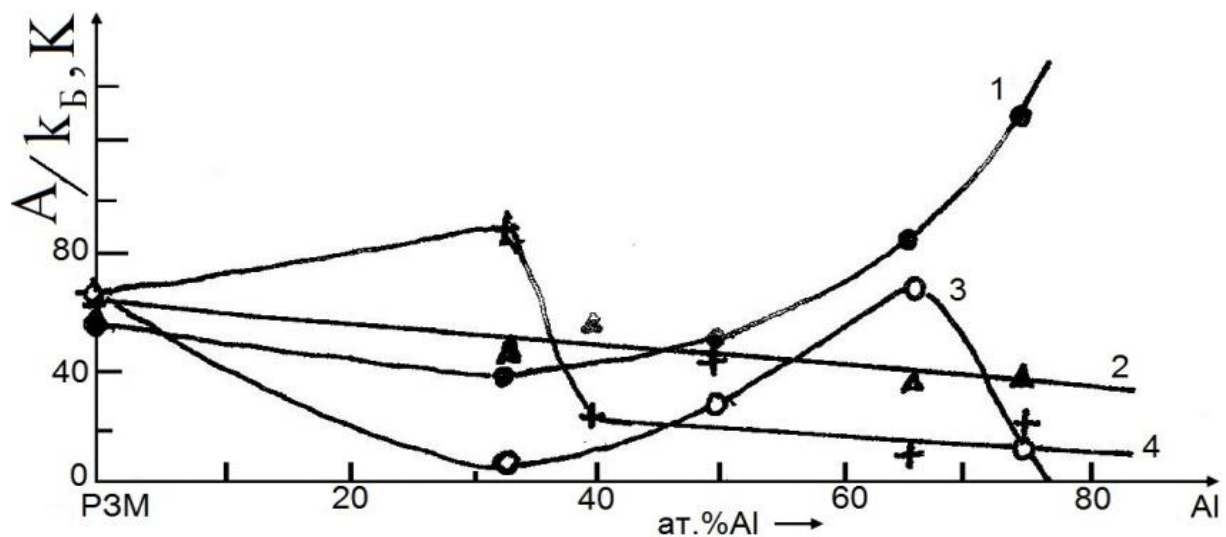
2.2-rasm (Gd,Dy,Ho,Er)-Al sistemasi uchun $\theta_p(G)$ bog'lanishlar:
 1-OKYeM (OKYeM=Gd,Tb,Dy,Ho,Er,Tm); 2-OKYeM₂Al; 3-OKYeMAl;
 4-OKYeM₃Al₂; 5-OKYeMAl₂; 6-OKYeMAl₃.

2.4-jadval

(Gd,Dy,Ho,Er)-Al 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	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 Al₂	35	70,07	170	340,7
1	2	3	4	5
Ho Al₃	6	16,00	260	693,4
Er	58	68,24	110	129,4
Er₂ Al	52	91,68	98	172,8
Er₃ Al₂	-14	-27,44	96	188,2
Er Al	19	44,69	95	223,4
Er Al₂	3	10,69	112	399,1
Er Al₃	6	28,22	174	818,5



2.3-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.

2.4-jadval va 2.3-rasmni tahlil qilish shuni ko'rsatadiki, A/k_B parametrlarning qiymati birikmalarda alyuminiy konsentratsiyasining o'zgarishiga sezilarli darajada bog'liq. A/k_B parametrlarning alyuminiy konsentratsiyasiga bog'lanishida, Dy-Al sistemasidan boshqa sistemalar uchun, biror bir umumiy 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 parametrlarning qiymati, Er_2Al , $GdAl_2$, $HoAl_2$ va $GdAl_3$ birikmalardan boshqa, barcha o'rganilgan birikmalarda magnit matritsa (OKYeM) uchun A/k_B parametrlarning qiymatiga nisbatan kamayadi; sanalgan birikmalarda esa oshadi. 2.4-jadvaldan ko'rinib turibdiki o'rganilgan sistemalardagi na'munalar qattiq holatdan suyuq holatga o'tganda A/k_B parametrlarning qiymati oshadi.

§1.3dan malumki [(1.18) ifoda], A/k_B parametrlarning kattaligi va ishorasi, (1.15) ifoda bilan aniqlanadigan, Ruderman-Kittel funksiyasi - $F(x)$ ning magnit ionlar orasidagi masofaga ($|\vec{R}_n - \vec{R}_m|$) 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 parametrlarning o'zgarishiga olib keladi. Shunday qilib, o'rganilgan sistemalarda, toza OKYeMdagidek, RKKI turdagi almanishinuv o'zaro ta'siri amal qiladi deyishimiz mumkin. Demak o'rganilgan sistemalardagi birikmalar magnit tartiblangan holatini ham, toza OKYeM dagidek, RKKI turdagi o'zaro ta'sir hosil qiladi degan xulosaga kelish mumkin.

II-bobga doir xulosalar.

2-bobda bajarigan ishlarni umumlashtirib quyidagi xulosalarni aytish mumkin:

1. OKYeM-Al sistemasida amal qiladigan bilvosita almashinuv o'zaro ta'sirni o'rganishni yarim empirik usulining mohiyati bayon qilindi.
2. Toza OKYeM uchun RKKI nazariyasining, paramagnet Kyuri temperaturasining de Jen faktoriga proporsionalligi haqidagi bashorati tekshirildi va bilvosita almashinuv o'zaro ta'sir parametri hisoblandi.
3. OKYeM-Al (OKYeM=Gd,Dy,Ho,Er) sistemalaridagi birikmalar uchun bilvosita almashinuv o'zaro ta'sir parametri hisoblandi.
4. Hisoblash natijalariga tayanib OKYeM bilan Al orasida hosil bo'ladigan birikmalarda ham toza OKYeMda amal qiladigan RKKI tipidagi almashinuv o'zaro ta'sir amal qilishi aniqlandi.

XULOSALAR.

Ushbu malakaviy bitiruv ishida 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 tekshirib ko'rildi. O'rganilgan birikmalar uchun ham RKKI nazariyasining shu bashorati, ya'ni ekvatomli 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 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 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 isbotlandi.

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.–Т.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 сплавов при высоких температурах.//УФЖ.– 1976.–№3.– с.360-364.
25. 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.
26. G.K. Tursunqulova , X.K.Jo'lanov , T.I.Sadullayev. (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
27. О.К.Кивондигов, Х.О.Шакаров , З.М.Шодиев, Б.У.Амонов , Х.Жуланов. Полуэмпирические исследование косвенного взаимодействие 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 маколалар

тўплами . 1-жилд “ ИАК-VIII” , 2015-йил 24-25-апрел.
Ташкент - 2015-,с.206-212.

28. Х.О.Шакаров , З.М.Шодиев , Б.У.Амонов , Х.Жуланов.
Парамагнитная температура кюри и косвенное обменное
взаимодействие в системе РЗМ-Ал. // СамДУ илмий
ахборотномаси. – 2015. -104-109 б.

29. Х.Жуланов -4 курс бакалавр. (Илмий рахбар: доц.
Х.О.Шакаров) СамДУ физика факултети профессор-
ўқитувчисилари , магистрантлари ва талабаларининг 2014-
йилдаги илмий –тадқиқот ишлари якунлари бўйича илмий
конференцияси дастури . Самарканд-2015. -15 б.

30. www.ziyonet.uz

31. www.lex.uz

32. www.idu.com

33 . www.lebrare.uz