

**O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY VA O'RTA MAXSUS TA'LIM
VAZIRLIGI A'LOIY NAHOIY NOMIDAGI
SAMARQAND DAVLAT UNIVERSITETI**

**FIZIKA FAKULTETI
“5440100 – FIZIKA” TA'LIM YO'NALISHI
“Umumiy fizika va magnetizm” kafedrasi**

NASRIYEV ILYOS

**KEM (KEM=Tb,Er)LI ALYUMINOBORATLARNING MAGNIT
XOSSALARINI YUQORI TEMPERATURALARDA O'RGANISH**

**“5440100 – Fizika” ta'lim yo'nalishi bo'yicha bakalavr
darajasini olish uchun**

BITIRUV MALAKAVIY ISHI

Ilmiy rahbar: dots. Shakarov X. O.

Bitiruv malakaviy ish “Umumiy fizika va magnetizm” kafedrasida bajarildi.
Ish kafedraning 2015 yil 9- iyundagi majlisida muhokama qilindi va himoyaga
tavsiya etildi (11-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. MAVZUGA OID ILMIY ADABIYOTLAR SHARHI.....	6
1.1.Kamyob Yer metallarining (KEM) elektron tuzilishi.....	6
1.2. Paramagnetizmning Van-flek nazariyasi.....	10
1.3. KEMda amal qiladigan bilvosita almashinuv o'zaro ta'sir nazariyasi.....	14
1.4. Kamyob Yer metalli boratlarning kristall tuzilishi.....	17
1.5. Kamyob Yer metalli boratlarning paramagnit xossalari.....	18
I-bobga doir xulosalar.....	19
II.BOB. TADQIQOT USULI VA QURILMASI.....	20
2.1. Magnit qabul qiluvchanlikni o'lchash usuli.....	20
2.2. Yuqori temperaturalarda magnit qabul qiluvchanlikni o'lchash qurilmasining tuzilishi va ish prinsipi.....	23
2.3. Magnit qabul qiluvchanlikni o'lchash xatoliklari.....	30
II-bobga doir xulosalar.....	32
III.BOB. TADQIQOT NATIJALARI VA ULARNING MUHOKAMASI.....	33
3.1. $\text{KEMAl}_3(\text{BO}_3)_4$ (KEM=Tb,Er) boratlarning magnit qabul qiluvchanligini yuqori temperaturalarda o'lchash natijalari va ularni tushuntirish	33
3.2. Tajriba natijalaridan foydalanib o'rganilgan boratlarning asosiy magnit xarakteristikalarini aniqlash.....	40
III-bobga doir xulosalar	43
XULOSALAR.....	46
FOYDALANGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI.....	47

KIRISH

Mavzuning dolzarbligi. Keyingi yillar ichida kamyob Yer metallarining (KEM) va ular aralashgan murakkab birikmalarning turli xil xossalarini, shu jumladan magnit xossalarini o`rganishga katta e`tibor berilmoqda. Bunday moddalarga qiziqish ularning metallurgiyada energetikada hisoblash texnikasida va boshqa sohalarda keng qo`llanilishi va ilmiy-nazariy ahamiyati bilan bog`liqdir.

4f- va 3d-elementlar tarkibiga kiruvchi murakkab birikmalar, yangi fizik xossalarni o`zida mujassamlashtirgan va kelajakda keng qo`llanilish imkoniyati katta bo`lgan xomashyo hisoblanadi. Chunki nisbatan oddiy tarkibga ega bo`lgan birikmalarni o`rganish bugungi kunda nihoyasiga yetmoqda. Kelajagi porloq bo`lgan shunday murakkab tartibli birikmalarga kamyob Yer metallari tarkibiga kiradigan $RM_3(BO_3)_4$ (R-KEM; M-alyuminiy, skandiy, temir, magniy) oksiboratlar ham kiradi. Ularning tuzilishi tabiiy xantit karbonat $[CaMg_3(CO_3)_4]$ bilan tuzilishi bir xil ekan[1]. Shu oksiboratlardan $KEMAl_3(BO_3)_4$ - alyuminoboratlar yaxshi lyuminestsent va nochiziqli optik xususiyatlarni o`zida birga mujassamlashtirgan bo`lib lazr nurlarini olishda amalda keng qo`llanilib kelinmoqda[1].

$KEMAl_3(BO_3)_4$ -alyuminoboratlarnin magnit xossalarini o`rganish ularning murakkab kristall va magnit strukturalarini tushunish nuqtai nazaridan alohida ilmiy ahamiyatga egadir. Bugungi kunda  $KEMAl_3(BO_3)_4$ -alyuminoboratlarnin magnit xossalari va elektron tuzilishi haqidagi tajriba ma`lumotlari juda kam. Ularning magnit xossalari yuqori temperaturalarda deyarli o`rganilmagan.

Tadqiqotning maqsadi: Ushbu malakaviy bitiruv ishida $KEMAl_3(BO_3)_4$ (KEM=Tb,Er)-alyuminoboratlar magnit qabul qiluvchanligining temperaturaga bog`lanishini  $[\chi(T)]$  yuqori 20-900°C temperaturalar oralig`ida o`lchash va o`lchash natijalaridan foydalanib ularning asosiy magnit xarakteristikalarini aniqlash.

Tadqiqotning vazifalari quyidagilardan iborat:

1. $KEMAl_3(BO_3)_4$ (KEM=Tb,Er)-alyuminoboratlarni sintez qilish;

2. Bu alyuminoboratlarning $\chi(T)$ bog'lanishlarini 20-900°C temperaturalar oralig'ida o'lchash va ularni nazariy jihatdan tushintirish;

3. O'rganilgan alyuminoboratlarning tajribaviy $\chi(T)$ bog'lanishlaridan foydalanib, ularning quyidagi asosiy magnit xarakteristikalarini aniqlash: paramagnit Kyuri temperaturasi(θ_p), Kyuri-Veyss doimiysi(C) va ximiyaviy formula birligiga to'g'ri keladigan magnit momenti(μ_f);

4. O'lchash va hisoblash natijalarini chuqur tahlil qilib tegishli xulosalar chiqarish.

Tadqiqod obyekti: $\text{KEMAl}_3(\text{BO}_3)_4$ (KEM=Tb,Er)-alyuminoboratlari.

Tadqiqot pretmeti: $\text{KEMAl}_3(\text{BO}_3)_4$ (KEM=Tb,Er)-alyuminoboratlarning 20-900°C temperaturalar oralig'idagi $\chi(T)$ bog'lanishi va bu bog'lanishdan aniqlanadigan asosiy magnit xarakteristikalari (θ_p , C, μ_f);

Tadqiqod usuli: Magnit qabul qiluvchanlikni o'lchashning Faradey usuli va $\chi^{-1}(T)$ bog'lanishga ishlov berishning eng kichik kvadratlar usuli(EKKU).

Tadqiqodning ilmiy yangilidi: Bu malakaviy bitiruv ishida $\text{KEMAl}_3(\text{BO}_3)_4$ (KEM=Tb,Er)-alyuminoboratlarning $\chi(T)$ bog'lanishi 20-900°C temperaturalar oralig'ida birinchi marta o'lchangan va o'lchash natijalaridan foydalanib ularning asosiy magnit xarakteristikalari (θ_p , C, μ_f) aniqlangan.

Tadqiqoning natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati: Ushbu malakaviy bitiruv ishida olingan natijalar KEMli alyuminoboratlarning paramagnit holatining nazariyasini yuqori temperaturalarda takomillashtirishga va ko'p funksiyali yangi materiallar olish uchun xizmat qiladi.

Himoya qilinadi: 1) $\text{KEMAl}_3(\text{BO}_3)_4$ (KEM=Tb,Er)-alyuminoboratlarning $\chi(T)$ bogʻlanishlarini 20-900°C temperatura oraligʻida birinchi marta oʻlchash boʻyicha olingan tajriba natijalari;

2) Oʻrganilgan alyuminoboratlarning $\chi(T)$ - tajribaviy bogʻlanishining tahliliy natijalari;

3) Tajriba natijalariga eng kichik kvadratlar usulini qoʻllab oʻrganilgan boratlarning asosiy magnit xarakteristikalarini (θ_p , C, μ_f) kompyuterda hisoblash natijalari.

Bitiruv ishning tuzilishi va hajmi. Malakaviy bitiruv ishi kirish, uchta bob, xulosalar va 28 ta nomdagi foydalanilgan adabiyotlar roʻyxatidan tashkil topgan boʻlib, 49- bet lotin alifbosida bosma shaklda bayon qilingan. Uning mazmuni 11 ta rasm va 3 ta jadval yordamida koʻrgazmali bayon qilingan.

I-BOB. MAVZUGA OID ILMIY ADABIYOTLAR SHARHI

1.1. Kamyob Yer metallarining(KEM) elektron tuzilishi.

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

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

Kristal holatda KEM atomlari uch karra ionlashgan holatda, kristall panjara tugunlarida joylashadilar. $5d^1 6s^2$ -qobiqlardagi elektronlar, kristall panjara hosil bo'lish jarayonida, panjara ichida umumlashgan, ya'ni elektr tok hosil qilishda ishtirok etadigan elektronlarga aylanadi. Bu metallarda 4f-qobig'ning effektiv radiusi (r_{4f}) kristall panjara tugunlari orasidagi eng qisqa masofa – a panjara davridan ancha kichikdir, ya'ni, $r_{4f} \gg a/2$. Ulardagi 4f-qobiqlardagi elektronlar kristall panjara tugunida o'troqlashgan bo'lib, tashqi $5s^2 5p^6$ -to'lgan qobiqlar bilan atrofdagi ionlar maydonidan ekranlashgandir. Shuning uchun ham 4f-elektronlar KEM da xuddi erkin atom va ionlardek energetik holatda bo'ladi. KEM ning "Erkin ion" modelining mohiyati shundan iboratdir. KEM 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 Rassel-Saunders bog'lanishi bo'yicha qo'shilib, ionning to'la mexanik momenti – J xundning uchinchi qoidasiga asosan

topiladi: 4f-qobiq yarmigacha to'lganda (yengil KEM uchun) $J=L-S$, yarmidan ortig'iga to'lganda (og'ir KEM uchun) $J=L+S$ kabi topiladi.

Spin-orbital bog'lanish energiyasi 4f-elektronlarning birinchi uyg'ongan va asosiy holat energiyalarining farqi (ΔE) orqali aniqlanadi. KEM 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 [6] va Landening intervallar qoidasi [7] yordamida aniqlanadi. Gaudsmit formulasi bo'yicha ΔE quyidagicha aniqlanadi:

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

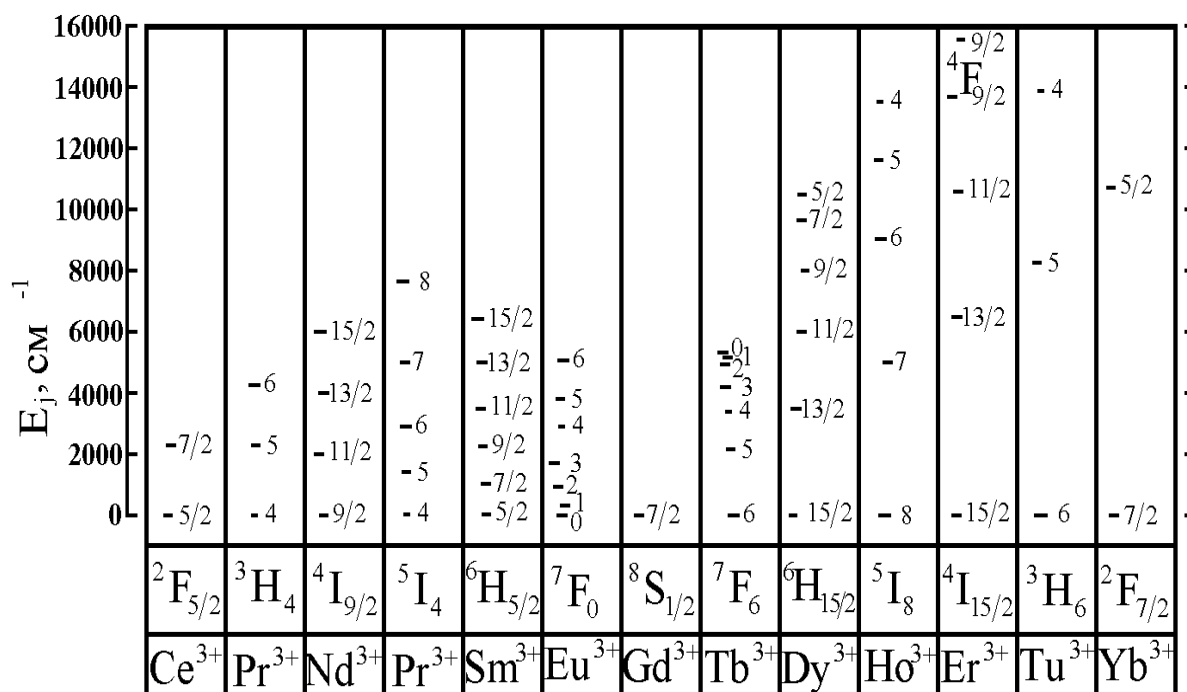
Bunda, ΔE -asosiy va uyg'ongan sathlar energiyalarining farqi, e - elektronning zaryadi, m -elektronning massasi, h -Plank doimiysi, n - va l – mos ravishda, bosh va orbital kvant sonlari, L -4f-qobiqdagi elektronlarning to'la orbital kvant soni, z -atomning tartib nomeri, σ -ekranlash doimiysi.

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 KEM uchun $E \geq 1000 \text{ sm}^{-1}$. Issiqlik energiyasi ($k_B T$) 300K da $208,5 \text{ sm}^{-1}$ ga, 1500K da esa $1042,25 \text{ sm}^{-1}$ ga tengdir. Bu esa og'ir KEM uchun $\Delta E \gg k_B T$ shart bajariladi deb aytishga imkon beradi. KEM atomlari va ionlarining elektron tuzilishi haqidagi malumotlar 1.1 – jadvalda keltirilgan.



1.1-rasm. KEM^{3+} erkin ionlaridagi 4f-elektronlarning energetik sathlari.

KEM atomlari va ionlarining elektron tuzilishi

Z	Element	Atomlar uchun		KEM 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. Paramagnetizmning Van-Flek nazariyasi.

Erkin ionlardagi kechikib to'ladigan elektron qobiqdagi elektronlarning energetik sathlari energiyasi E -ni bilgan holda Van-Flek tomonidan ishlab chiqilgan paramagnetizmning kvanto-mexanik nazariyasi natijalaridan [2,8,9] foydalanib, shunday erkin ionlar sistemasidagi paramagnit qabul qiluvchanlikning temperaturaga bog'liqligini hisoblash mumkin.

Sistema og'ir KEM 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 KEM 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 qo'shiluvchi temperaturaga bog'liq bo'lgan Van-Flek paramagnetizmi. Undagi α_J quyidagicha aniqlanadi:

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

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

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

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

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

KEM 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 [2,6]. 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:

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

KEM ionlarining asosiy magnit xarakteristikalarini 1.2 – jadvalda keltirilgan.

KEM³⁺ ionlarining asosiy magnit xarakteristikalari[2-4,6,10]

KEM³⁺	J (asosiy sath)	g_J	$\mu_J = g_J \cdot [J(J+1)]^{1/2} \mu_B$ 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.	-

1.3. KEMda 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(KEM)(yoki lantanoidlar) kristall panjarasi tugunlarida, 4f – kechikib to'ladigan elektron qobiqqa ega bo'lgan, KEM^{3+} ionlari joylashadilar. 4f qobiq elektronlari tashqi $5s^2 5p^6$ qobiqlardagi elektronlar bilan tashqi ta'sirlardan himoyalangan bo'ladi. Shu sababga ko'ra ularning tugunlararo bevosita o'zaro ta'siri (f – f o'zaro ta'sir deb ham ataladigan o'zaro ta'sir) amalga oshmaydi. Demak ularning magnit tartiblangan holatini bunday bevosita o'zaro ta'sir hosil qila olmaydi. Tajribalar ko'rsatadiki, bunday holat past temperaturalarda (masalan Gd uchun – 292 Kda) hosil bo'lar ekan. Bunday tartiblangan holatni 4f – qobiq elektronlarning o'tkazuvchan - $5d^1$ va $6s^2$ - elektronlar (ya'ni tugunlar orasida umumlashgan elektronlar) orqali o'zaro ta'siri hosil qilar ekan. Bunday o'zaro ta'sir f – s – f, qisqacha s-f o'zaro ta'sir yoki **bilvosita almashinuv o'zaro ta'sir** deyiladi [2]. Bunday o'zaro ta'sir nazariyasi KEM 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 [2,11-13]da batafsil yoritilgan.

RKKI o'zaro ta'siri quyidagicha yuz beradi[3,5]: 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 KEMning magnit tartibli holati buzilib magnit tartibsiz holat-paramagnit holatga o'tadi. Demak, KEMning paramagnit Kyuri temperaturasi - θ_p RKKI o'zaro ta'sir energiyasining o'lchovi hisoblanadi. KEM uchun θ_p ning tajribaviy qiymatini tushuntirish uchun quyidagi ifoda olingan[2,11-13]:

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

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.

KEM dagi almshinuv o'zaro ta'sirni tafsiflovchi parametr(integral) ni hisoblash uchun RKKI nazariyasi doirasida quyidagi ifoda olingan[2,5,11]:

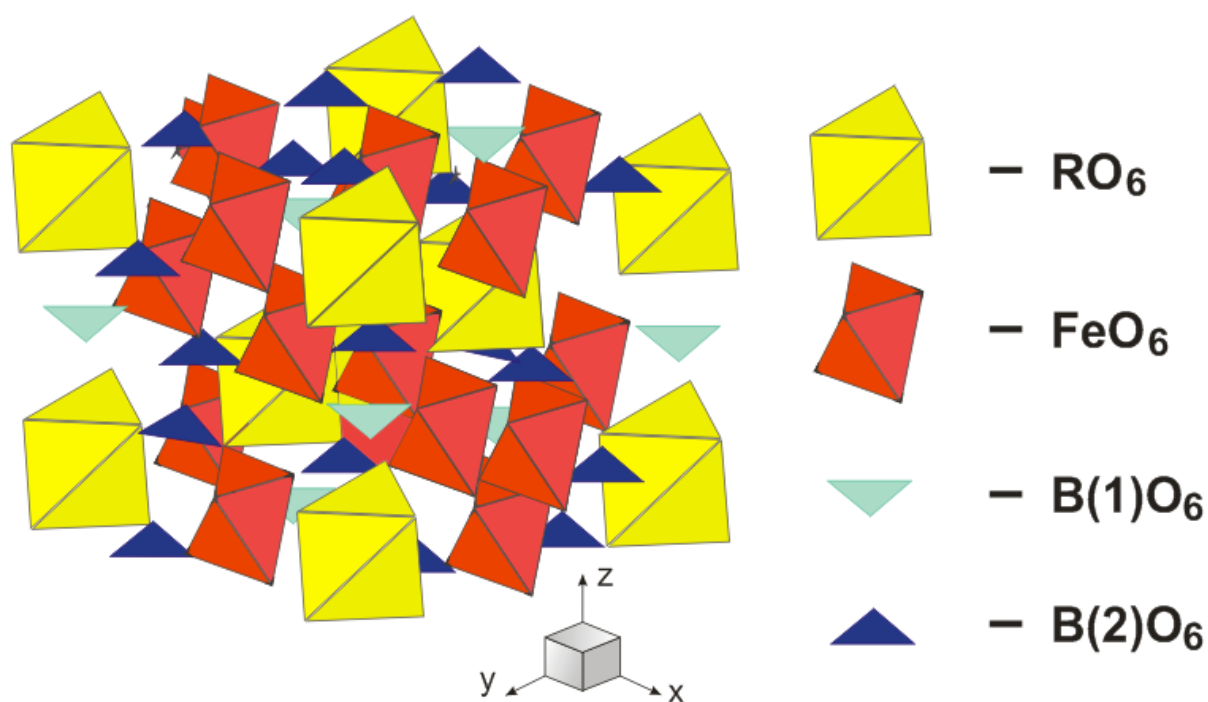
$$A = \frac{9\pi^2}{k_B \Omega^2 E_F} A_{sf}^2(0) \sum_{n \neq m} F(2\vec{k}_F (\vec{R}_n - \vec{R}_m)). \quad (1.18)$$

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

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

1.4. $\text{KEMAl}_3(\text{BO}_3)_4$ boratlarning kristall tuzilishi.

Umumiy $\text{RM}_3(\text{BO}_3)_4$ ($\text{R}=\text{Y}, \text{La}$ va hokazo kamyob Yer metalli; $\text{M}=\text{Al}, \text{Ga}, \text{Cr}, \text{Fe}, \text{Sc}$) ximiyaviy formulaga ega bo'lgan boratlarning kristall tuzilishi xantit minerali $[\text{CaMg}_3(\text{CO}_3)_4]$ kristall tuzilishi bilan bir xil bo'lib, R_{32} turdagi fazoviy gruppaga mansubligi aniqlangan[1,14,15]. Kamyob Yer metalli ferroboratlarning elementar yacheykasi (1.2 rasmda ko'rsatilgan) R_{32} (${}^7\text{D}_{3/2}$) trigonal fazoviy gruppaga mansub bo'lib, u uchta ximiyaviy formula birligidan tashkil topgan: RO_6 ($\text{R}-\text{O}$ ning prizmal qurshovida joylashgan), FeO_6 (Fe^{3+} ioni O ning oktaedr qurshovida joylashgan) va ikkita turdagi BO_3 (uchburchak gruppasi). Uch o'lchovli kristall fazosida FeO_6 oktaedrlari qirralari bilan shunday bog'langanki, natijada kristallning C_3 o'qi bo'ylab o'zaro kuchsiz bog'langan bir o'lchamli vintsimon zanjir hosil bo'ladi.



1.2-rasm. $\text{RFe}_3(\text{BO}_3)_4$ –boratning kristall yacheykasi.

1.5. Kamyob Yer metalli boratlarning paramagnit xossalari.

Kamyob Yer metalli boratlarning $[RM_3(BO_3)_4]$ magnit xossalarini, ularning paramagnit holatida o`rganilgan, ilmiy ishlar bugungi kunda juda kam o`rganilgan. Ularga misol qilib [16-19] ishlarni ko`rsatish mumkin.

[16] ishda $HoAl_3(BO_3)_4$ monokristall holatdagi boratning magnit qabul qiluvchanligi 20-300K temperatura oralig`ida o`lchangan. Bu birikma shu temperatura intervalida paramagnit holatda bo`lar ekan. Uning  $\chi(T)$  bog`lanishi Kyuri-Veyss qonuniga bo`y sinadi va $\theta_p=1K$ ekan.

[17] ishda ximiyaviy formulasi $RBO_3(R=Ln,Pr,Sm, Eu, Yb)$ bo`lgan ortoboratning magnit qabul qiluvchanligi 4,2-300K temperatura oralig`ida o`lchangan.  $PrBO_3$  va  $YbBO_3$  boratlarning  $\chi(T)$  bog`lanishi Kyuri-Veyss qonuniga bo`y sunar ekan va ular uchun θ_p -lar aniqlangan.

[18] ishda SamDu “Umumiy fizika va magnetizm” kafedrası ilmiy tadqiqotchilari tomonidan $RAI_3(BO_3)_4$ ($R=Y, Nd, Gd$) kamyob Yer metalli alyuminoboratlarning temperaturaga bog`lanishini 20-850<sup>0</sup>C temperaturalar oralig`ida o`lchash natijalari keltirilgan. Tajribaviy  $\chi^{-1}(T)$  bog`lanishlarning tahlili bo`yicha,  $GdAl_3(BO_3)_4$ ,  $Gd_{0.7}Y_{0.8}Al(BO_3)_4$ ,  $NdAl(BO_3)_4$  va  $Gd_{0.65}Y_{0.35}Al(BO_3)_4$  boratlarning bunday bog`lanishlarida ikki marta sinish kuzatiladi. Sinishga mos keladigan temperaturalar oralig`da  $\chi^{-1}(T)$  bog`lanishlar chiziqli tabiatga ega bo`lib Kyuri-Veyss qonuniga bo`ysinishi aniqlangan. $\chi^{-1}(T)$ bog`lanishning sinishlari boratlarning kristall panjarasidada strukturaviy fazaviy o`tishlar bilan bog`lab tushintirilgan.  $\chi^{-1}(T)$  tajribaviy bog`lanishlardan foydalanib ularning asosiy magnit xarakteristikalari aniqlangan.

[19] ishda $Tb_{1-x}Er_xFe_3(BO_3)_4$ ($x=0,75; 1$) boratning $\chi(T)$ bog`lanishini 4,2-350K temperatura oralig`ida o`lchash natijalari keltirilgan. Bu boratlar  $T>T_N=38K$  temperaturalarda antiferromagnit tartiblanishga ega bo`lar ekan. Ularning $\chi(T)$

bogʻlanishlari $T > T_N$ temperaturalarda, yaʼni T_N dan 350K gacha Kyuri-Veyss qonuniga boʻy sunar ekan.

I-bobga doir xulosalar

Malakaviy bitiruv ishida tadqiq qilinadigan obektlarga dahildor boʻlgan, ularning quyidagi xossalarini ilmiy adabiyotlarda oʻrganilganlik darajasiga sharh berilgan:

1. KEMning elektron tuzilishi;
2. Paramagnetizmning Van-Flek va KEMda amal qiladigan bilvosita almashinuv oʻzaro taʼsir nazariyalari;
3. Kamyob Yer metalli boratlarning kristall tuzilishi va paramagnit xossalari.

II-BOB. O'LGHASH USULI VA TEXNIKASI.

2.1. Magnit qabul qiluvchanlikni o'lchash usullari.

Ko'rilayotgan masalaning xarakteriga qarab magnit qabul qiluvchanlikni o'lchashning bir necha xil usullari qo'llaniladi. Moddalarning magnit xarakteristikalarini tekshirishda, ularga magnit maydonning ta'siriga bog'liq ravishda, bir necha xil tekshirish usullari mavjud [20,21]. Kuchsiz magnit xossaga ega bo'lgan moddalarning paramagnit qabul qiluvchanligini tekshirish usullari ikki guruhga bo'linadi.

Birinchi guruhga o'zaro yoki o'zinduksiya koeffitsientining o'zgarishini aniqlaydigan usullar kiradi. Bu usullar o'zining eksperimental jihatidan qiyinligi sababli keng qo'llanilmaydi.

Ikkinchi guruhga kirgan usullar birjinsli bo'lmagan magnit maydoniga kiritilgan namunaga ta'sir qiluvchi mexanik kuchni o'lchashga asoslangan. Umumiy fizika kursidan ma'lumki [22], magnit maydoni bir jinslimasligi faqat $\mathcal{K}$ o'qi bo'ylab yo'nalgan bo'lsa, unga kiritilgan na'munaga shu yo'nalish bo'yicha quyidagi kuch ta'sir qiladi:

$$F_x = V \overline{M}_y \left(\frac{\partial \overline{H}_y}{\partial x} \right), \quad (2.1).$$

Bu yerda V – namuna hajmi, $\overline{M}_y$ - y o'qi bo'yicha namunaning magnitlanish vektori; $\left(\frac{\partial \overline{H}_y}{\partial x} \right)$ - magnit maydon kuchlanganligi gradiyentining x yo'nalishidagi tashkil etuvchisi. (2,1) dagi F_x - kuch elektromagnit o'qiga perpendikulyar deb hisoblanadi.

Ma'lumki, $\overline{M}$ - magnitlanishning maydon kuchlanganligiga nisbati **hajmiy magnit qabul qiluvchanlik** deyiladi:

$$\chi_v = \frac{M}{H}.$$

Ko'pincha magnetiklarni xarakterlash uchun hajmiy magnit qabul qiluvchanlik o'rniga solishtirma magnit qabul qiluvchanlik χ ishlatiladi:

$$\chi = \frac{\chi_v}{\rho}, \quad (2.2).$$

bunda ρ - modda zichligi. X o'qi bo'yicha ta'sir qiluvchi kuch (2.1) ni solishtirma magnit qabul qiluvchanlik orqali quyidagicha ifodalaymiz:

$$F_\chi = m \frac{\chi_v}{\rho} H_y \left(\frac{\partial H_y}{\partial x} \right) = m \chi H_y \left(\frac{\partial H_y}{\partial x} \right). \quad (2.3).$$

Bu ifoda ikkinchi guruh usullari yordamida magnit qabul qiluvchanlikni aniqlashda asosiy formula hisoblanadi. Bu guruhda keng tarqalgan usullar ikkita:

1. Guining integral usuli,
2. Faradeyning differensial usuli.

Gui usulini qo'llashda katta o'lchamli namunalar ishlatiladi. Bu holda silindr shaklidagi namuna elektromagnit qutblari orasiga shunday joylashtiriladiki, bunda uning bir uchi eng kichik kuchlanishli maydonda ($H_1=0$), ikkinchi uchi esa maksimal kuchlanishli maydonda ($H_2 \neq 0$) turadi. Bu holda namunaga tas'ir qiluvchi kuch quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$F_x = \frac{1}{2} \chi S (H_2^2 - H_1^2) = \frac{1}{2} \chi S H_2^2$$

bunda S – silindrning ko'ndalang kesim yuzi.

Demak, Gui usulida agar H_2 ning qiymati ma'lum bo'lsa, χ ni topish, F_x ni topish bilan hal bo'ladi. Biroq Gui usuli quyidagi kamchiliklarga ega:

1. Bu usulda katta o'lchamli namunalardan foydalaniladi. Bu iqtisodiy jihatdan maqsadga muvofiq emas. Masalan, qimmatbaho va radioaktiv

metallarning ko'p miqdoridan na'muna tayyorlashga to'g'ri keladi.

2. Konteynerga (tigelga) tekshirilayotgan na'muna va etalon bir jinsli joylashtirilishi zarur.

Faradey usuli esa bu kamchiliklardan xoli. Bu usulda kichik o'lchamdagi namunalardan foydalanish mumkin va (2.3) dagi $H_y \left(\frac{\partial H_y}{\partial x} \right)$ munosabatni o'zgarmas deb hisoblash mumkin. (2.3) bilan magnit qabul qiluvchanlikni hisoblash uchun maydon gradienti qiymatini bilish kerak. Buni to'g'ridan – to'g'ri aniqlash mumkin emas. Shuning uchun Faradey usulidan odatda nisbiy usul sifatida foydalaniladi. Tajriba vaqtida magnit maydonining aynan bir sohasiga $[H_y(\frac{\partial H_y}{\partial x}) = const \text{ bo'lgan}]$ na'muna va magnit qabul qiluvchanligi oldindan ma'lum bo'lgan modda-etalon navbatma – navbat joylashtiriladi. Bu shartlarni hisobga olgan holda (2.3) dan quyidagi ifodani hosil qilamiz ($F_x = F$):

$$\chi = \frac{m_{et}}{m} \chi_{et} \frac{F}{F_{et}} . \quad (2.4).$$

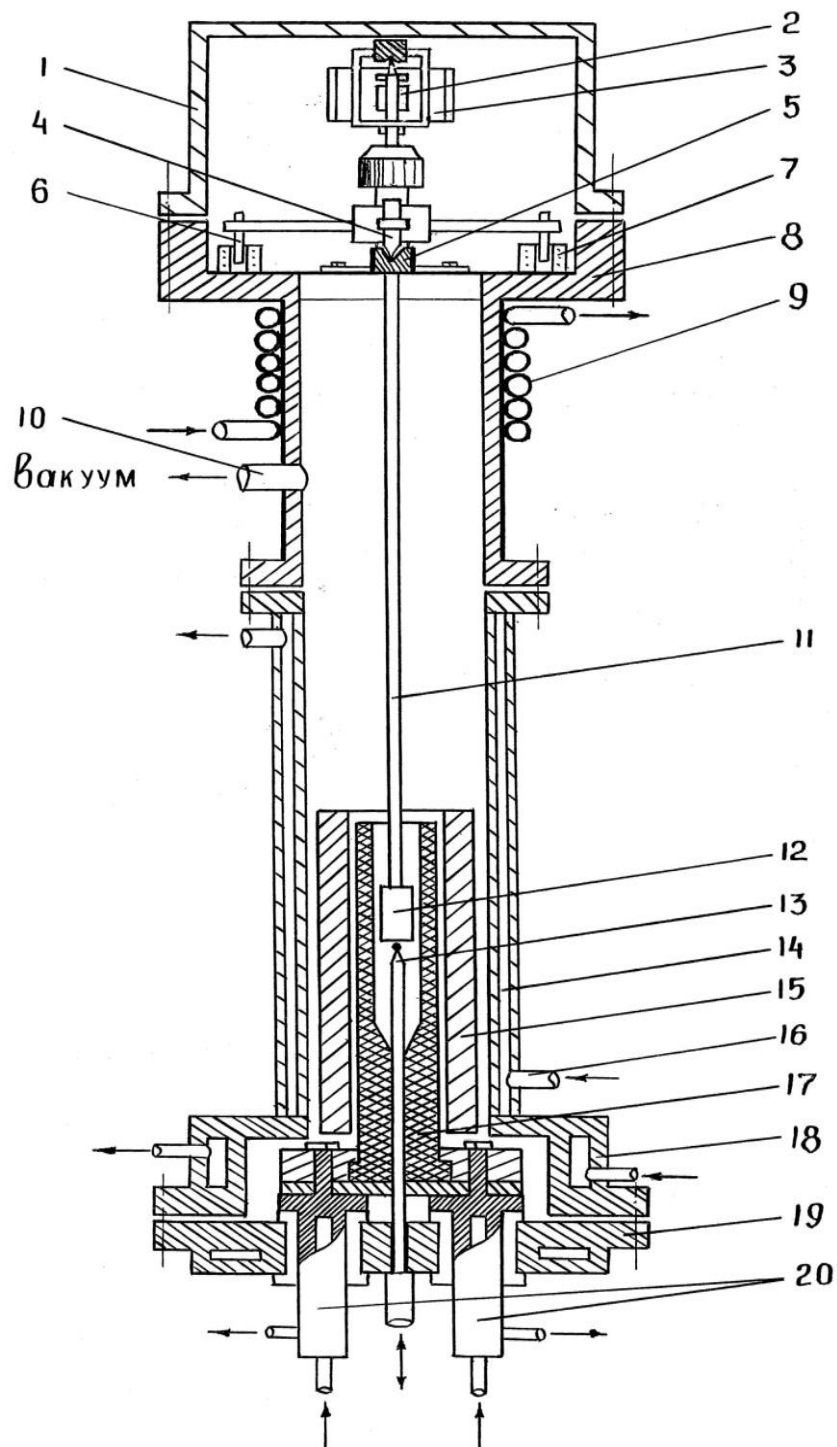
Bundagi χ, F, m va $\chi_{et}, F_{et}, m_{et}$ mos ravishda na'muna va etalonga tegishli kattaliklar. Tajriba shart –sharoitlari qulay bajarilgan holda bu usul yuqori aniqlik bilan solishtirma magnit qabul qiluvchanlikni (χ) o'lchashga imkon beradi. Bundan shunday xulosa kelib chiqadiki, yuqori temperaturalarda solishtirma magnit qabul qiluvchanlikni o'lchash uchun Faradey usuli qulaydir. Ushbu ishda shu sababli shu usuldan foydalanildi.

2.2. Yuqori temperaturalarda magnit qabul qiluvchanlikni o'lchash qurilmasining tuzilishi va ish prinsipi.

Tekshirilayotgan masalaning qo'yilishiga qarab xilma – xil qurilmalar yasalgan. Bu qurilmalar bir qatorda ishlarda [21-26] yoritilgan. Na'munalarning solishtirma magnit qabul qiluvchanligini o'lchashda [23-26] ishlarda bayoni keltirilgan qurilmadan foydalandik. Bu qurilma vertikal mayatnikli magnit tarozi, elektromagnit, qizdirgich va vakuum kamerasidan iborat. Qurilmaning eng asosiy qismi vertikal mayatniksimon magnit tarozidir. (2.2 – rasm).

Mayatniksimon magnit tarozi (2.2 – rasmda keltirilgan) mayatniksimon tarozining ikkita korund ignasi-4, ikkita agat chuqurchaga-5 kirib turadi (tayanadi). Odatda tarozining 11-osmasi vertikal halatda turadi. Bu osma (mayatnik) faqat α o'qi bo'ylab, 4-ignalar uchidan o'tadigan gorizontaal o'q atrofida erkin tebrana oladi. Taroziining sezuvchanligi 3-yuk yordamida o'zgartirilishi mumkin. Taroziining osmasi diametri 2mm bo'lgan molibden simdan yasalgan. U 9-sanga yordamida 8-diskka maxkamlangan. Osmaning pastki uchida, tekshiriladigan na'muna solingan tigel joylashtiriladigan, 12-kontiner o'rnatilgan. 8-diskka 17-20 duyural sterjenlar krestavina shaklida o'rnatilgan bo'lib, ular tarozining elkasi rolini bajaradi. Krestavinaning uchlariga, 7-tokli salenoidlar magnit maydoni bilan o'zaro ta'sirlashadigan 6-doimiy magnitlar vertikal holatda mahkamlangan. Vakuum kamerasining yuqori ichki asosiga vertikal ustun o'rnatilgan. (2.1-rasm). Ustunning tepasiga o'rnatilgan ramkaning uchiga ikkita agat chuqurcha-14 mahkamlangan. Shu chuqurchalariga kirib turgan ikkita korundning uchlari n o'tadigan vertikal-13 o'q (sterjen) ga 2-ko'zgu mahkamlangan. Ko'zgu shu o'q atrofida erkin aylana oladi. Ko'zgu orqasiga mahkamlangan 10-plastinka ayrisiga tarozi mayatnigining yuqori uchiga gorizontaal o'rnatilgan sterjenga mahkamlangan molibden sim kirib turadi. Shu simning uzunligi va 15-yoritgichdan 2-ko'zgugacha va ko'zgudan 16-shkalagacha bo'lgan masofa shunday tanlanganki, shkala bo'lab siljiydigan 15-yoritgich shulasi ipning siljishida, 11-osma uchidagi 12-

kontrenerning magnit maydoni ta'siridagi χ o'q bo'ylab siljishi 120 marta kuchaygan holda aks etadi. Elektromagnit maydonining o'lchashlarga salbiy



2.1 – rasm. Metallar va qotishmalarning qattiq va suyuq holatlaridagi magnit qabul qiluvchanligini o'lchash qurilmasining asosiy qismi- vakuum kamerasing kesimi (ishlash prinsipi matnda tushuntirilgan).

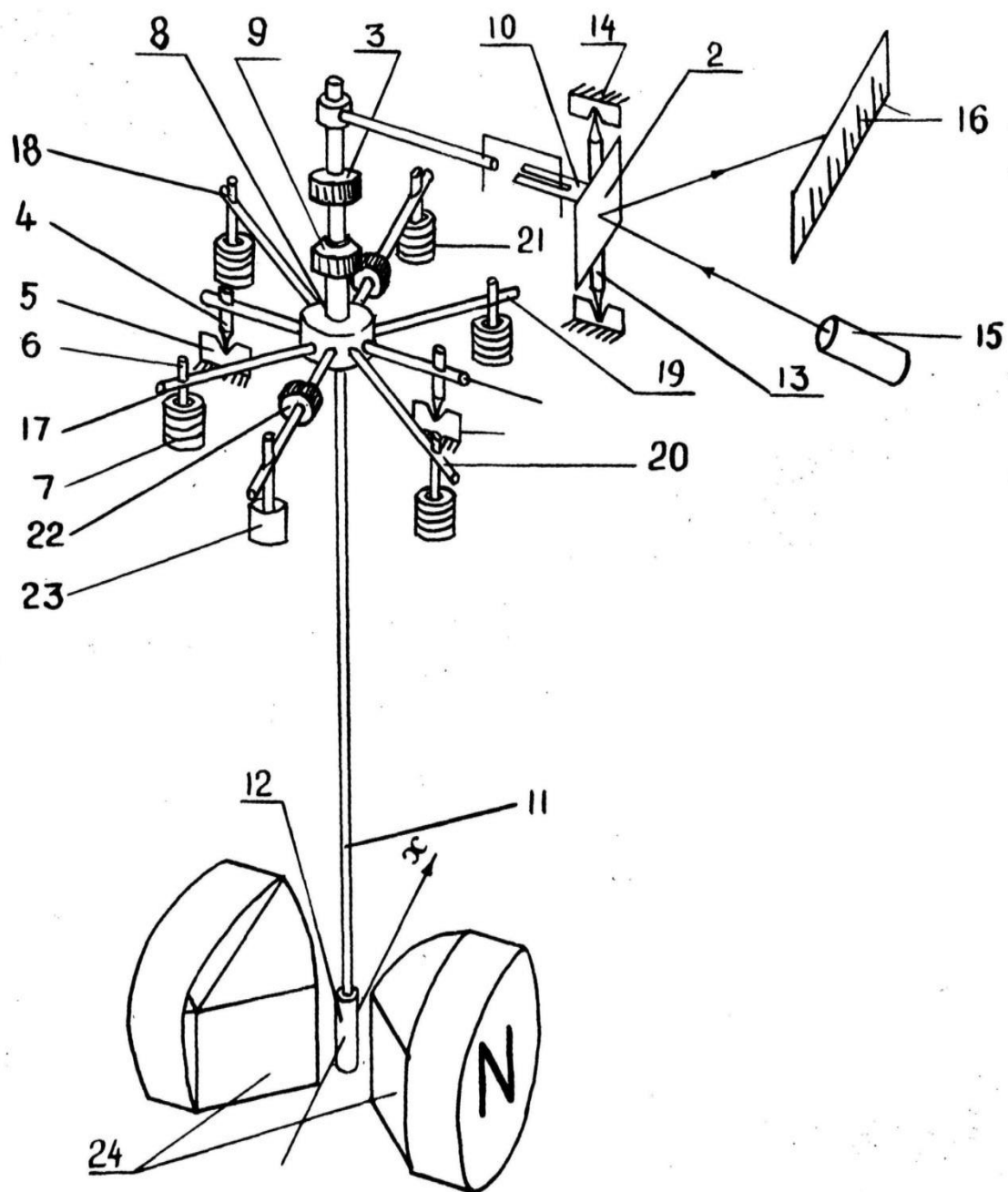
ta'sirini yo'qotish uchun tarozining hamma qismlari nomagnit materiallardan (molibden, mis, dyuralyumen, latun) yasalgan. Tarozi sistemasi tebranishlarini tez so'ndirish uchun u moyli demfer-23 bilan ta'minlangan.

Tarozining muvozanatdan chetlanishini qayd etish prinsipi quyidagicha (2.2 – rasmga qarang). Yoritgichdan ko'zguga yorug'lik tushib va undan qaytib kuzatish shkalasiga tushadi. Magnit maydoni-24 ulanganda maydon tomonidan na'munaga ta'sir qiluvchi (2.3) kuch na'sirida osma vertikal muvozanat holatdan chetlanadi va shu'la shkala bo'yicha o'rta “nol” holatdan siljiydi. 17 – 20 solenoidlarga tok berib, tokning kuchi o'zgartirilishi bilan (P33 – qarshiliklar magazini yordamida) osmani dastlabki holatga, yani shkaladagi shu'lani “nol” holatiga qaytaruvchi moment hosil qilinadi va shu'la dastlabki “nol” nolatga qaytariladi. Solenoidlar elektr zanjirdagi etalon qarshiligidagi (R_e) kuchlanish tushuvi $U = R_e I$ solenoidlardagi tokka (I) proporsional bo'lib, raqam ko'rsatgichli elektron voltmeter (BK – 2-20) yordamida o'lchanadi. Solenoidlarga beriladigan tokning manbai sifatida Y1999 rusumli o'zgarmas tok stabilizatori ishlatiladi. $F_x \sim U$ bo'lganligi uchun (2.4)dan quyidagini topamiz:

$$\chi = \frac{m_{et}}{m} \chi_{et} \left(\frac{U_t - U_{tigt}}{U_{et} - U_{tig}} \right), \quad (2.5)$$

bu yerda, U_t va U_{tigt} – t mos ravishda temperaturali tekshiriladigan namunali va namunasiz tigellar uchun solenoid zanjirlaridagi etalon qarshilikda kuchlanish tushuvlari; U_{et} va U_{tig} uy temperaturasidagi etalonli va etalonsiz tigellar uchun etalon qarshilikda kuchlanish tushuvlari. Etalon sifatida Mor tuzi ($\text{FeSO}_4(\text{NH}_4)\text{SO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) ishlatildi. Uning T uy temperaturasidagi solishtirma magnit qabul qiluvchanligining temperaturaga bog'liqligini quyidagicha :

$$\chi_{et} = 9500 \cdot 10^{-6} (T + 1) \text{ sm}^3 \text{ g}^{-1}. \quad (2.6)$$

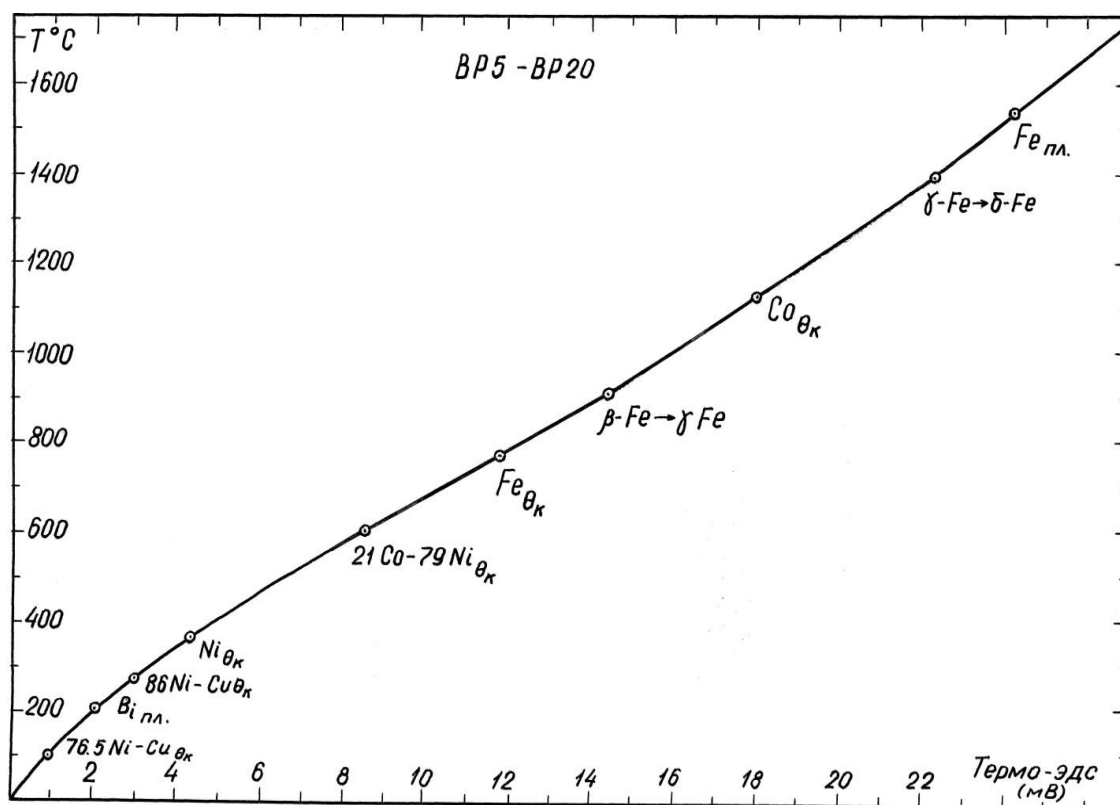


2.2 – rasm. Yuqori temperaturalarda magnit qabulqiluvchanlikni o’lchovchi mayatniksimon magnit tarozi.

Qizdirg'ich. Namuna solishtirma magnit qabul qiluvchanligining temperaturaga bog'liqligini o'rganish uchun 2.1 – rasmdagi kamera ichida kesimi ko'rsatilgan trubkasimon grasitdan yasalgan qizdirgichdan foydalanildi.

U bifulyar holda yasalgani uchun undan o'tgan tokning magnit maydoni na'munali konteynerga ta'sir qilmaydi. Qizdirgich ichida na'muna joylashtiriladigan o'zgarmas (izotermik) temperatura sohasini olish uchun isitgich berilliy oksididan tayyorlangan silindr ekran (15) bilan o'ralgan. Shunday holda isitgich ichida (o'rtasida) uzunligi 25 mm bo'lgan bir jinsli temperatura sohasi hosil bo'ladi. Isitgich suv bilan sovutiladigan va tok ulanadigan mis taglik (20)ga mahkamlangan. Qisqichlarga quvvati 40 kVt bo'lgan Tammon transformatorning ikkinchi o'ramidan tok beriladi. Qizdirgich ichidagi temperatura shu transformatorning birinchi o'ramiga ulangan THH – 40 kuchlanish rostlagichi yordamida o'zgartirildi. Qizdirgichning quvvati uning temperaturasi 1700°C bo'lganda 8 kVt ni tashkil etdi. Temperaturani o'lchashda, volfram – reniy BP – 5 va BP – 20 tarkibli simlardan differensial holda tayyorlangan, 13 – termoparadan foydalanildi.

Termoparaning sovuq kavshari “ Ноль – В “ rusumli termostat ichidagi 0°C sharoitda, issiq kavshari esa na'munali konteyner ostiga undan 2 mm pastda joylashtirildi. Termo EYUK ni qayd etish bir vaqtda BK – 2-20 rusumli elektron voltmetr va ПП – 63 rusumli potensiometri vositasida amalga oshirildi. Tajriba sharoiti uchun termoparani darajalash temirning erish temperaturasi (1540°C) va polimorf o'tishlar temperaturalar $[\alpha - \gamma(910^{\circ}\text{C}), \gamma - \beta(1392^{\circ}\text{C})]$; Buning erish Ni temperaturasi (270°C); ba'zi qattiq eritmalarning Kyuri temperaturalar $[\text{Cu } 14 - \text{Ni } 86 \text{ at } \% (2,95^{\circ}\text{C}), \text{Cu } 25,5 - \text{Ni } 74,5 \% (95^{\circ}\text{C}) \text{ va } \text{Co } 21 - \text{Ni } 79 \text{ at } \% (595^{\circ}\text{C})]$ hamda Co, Fe va Ni larning Kyuri nuqtalari (Co – 1130°C , Fe – 768°C , Ni – $358,1^{\circ}\text{C}$) bo'yicha amalga oshirildi. Namuna temperaturasining termopara termo-EYuK bilan, shu tartibda aniqlangan, bog'lanishi (darajalash egri chizig'i) 2.3 – rasmda keltirilgan.

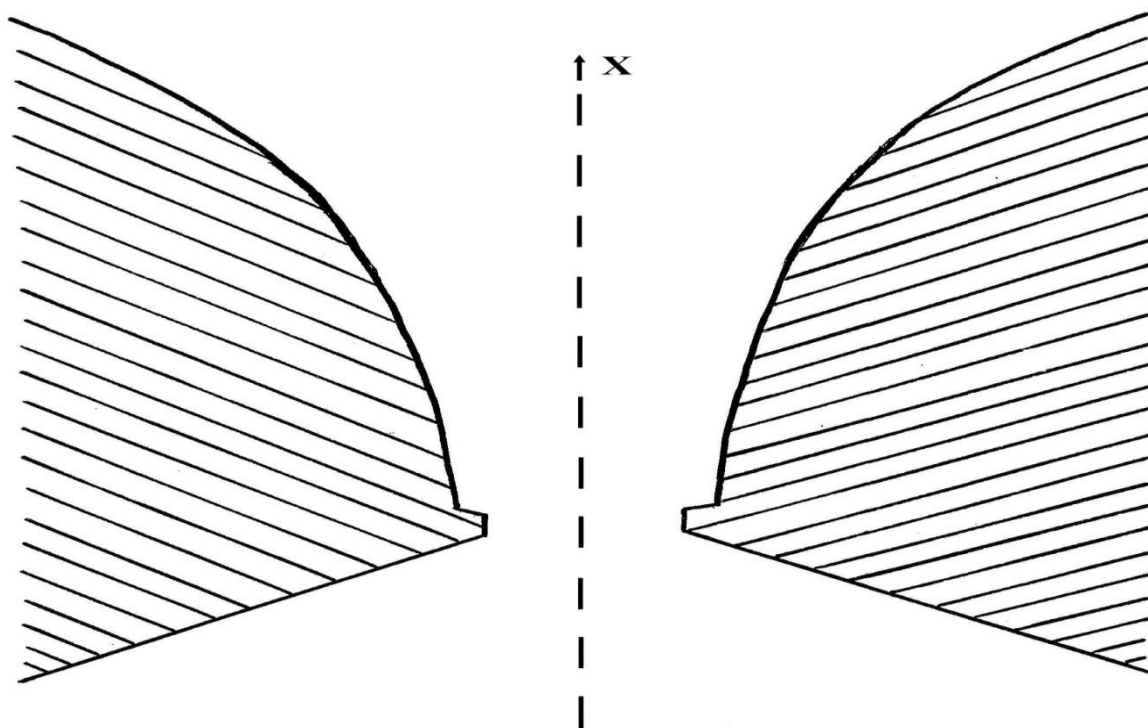


2.3 – rasm. Volfram – reniy termoparasining darajalash chizig’i.

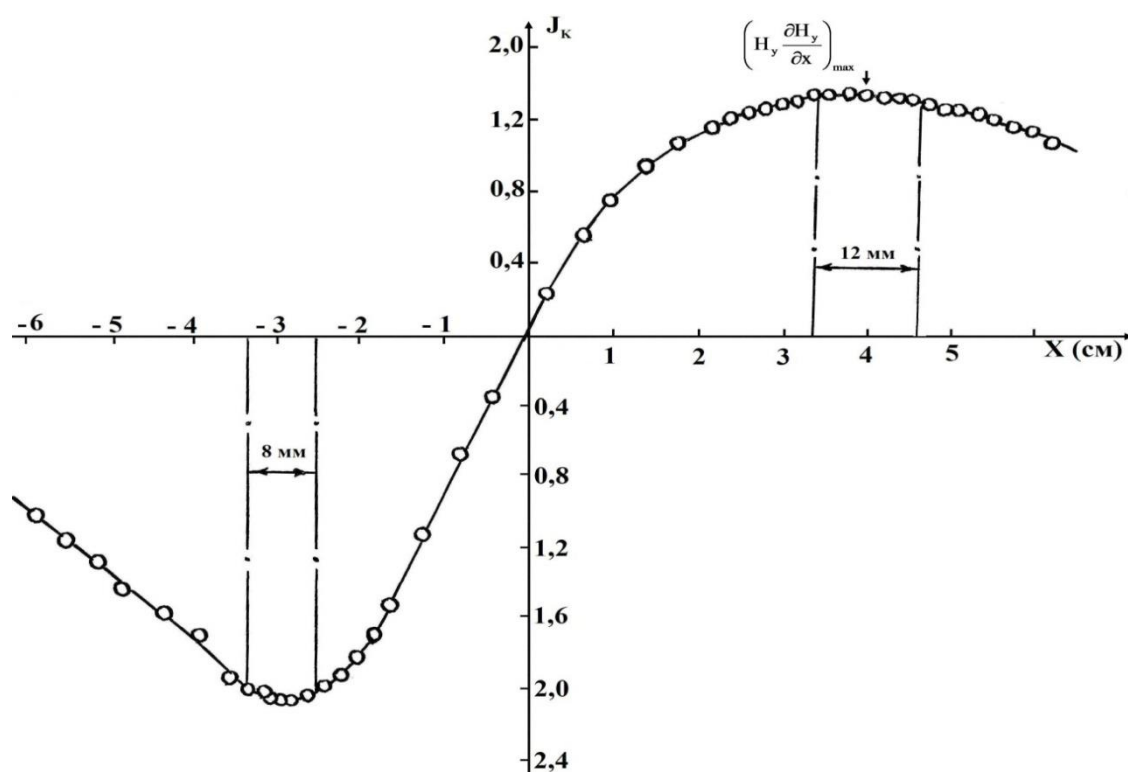
Elektromagnit. Magnit maydoni hosil qilish uchun ФЛ – 1 rusumli laboratoriya elektromagnitdan foydalanildi. Unga ST – 2000 rusumli o’zgaruvchan kuchlanish stabilizatori tog’rilagich va filtr bloklari orqali o’zgarmas tok berildi.

Magnit maydoni qiymatini nazorat qilish elektromagnit zanjiriga ketma ket ulangan etalon qarshilikdagi kuchlanish tushishini BK – 2-20 rusumli elektron voltmeter yordamida o’lchash yo’li bilan amalga oshiriladi.

Bir jinsli bo’lmagan magnit maydoni hosil qilish uchun elktromagnit o’zagiga, 2.4 – rasmda vertikal kesimi ko’rsatilgan, maxsus shkaladagi qutblar mahkamlangan. Bunday shkaladagi qutblar orasiga λ o’qi bo’ylab 12 mm sohada $H_y \left(\frac{\partial H_y}{\partial x} \right)$ ifodaning qiymati o’zgarmas bo’lib qoldi. O’lchashlarda xuddi mana shu sohaga etalon va na’muna (konteyner) joylashtiriladi. Bunday soha kompensatsiya g’altaklari -7 dan oqadigan (2.2-rasm) tok kuchi J_k qiymati bilan tigelning elktromagnit qutblari orasidagi holati (λ koordinatasi) orasidagi bog’lanishi ko’rinishida 2.5 – rasmda keltirilgan.



2.4 – rasm. Elektromagnit qutblarining gorizontol kesimi.



2.5 – rasm. Kompensatsiya g'altaklaridan o'tayotgan tok kuchi bilan bo'sh tigelning maydondagi holatiga bog'liqligi.

Vakuum kamerasi. Magnit tarozi va isitgich suv bilan sovitiladigan vakuum kamerasi ichida joylashtirilgan. Kamera quyidagi qismlardan iborat (2.1 – rasm). 1-qalpoq darchali, 3-darchasi organik shisha (ko'zguga tushgan va qaytgan nur o'tadigan) bilan yopilgan bo'lib, u 8 – taglikka asosga mahkamlanadi. Ichidan suv oquvchi 9-sovutgich (emeyevik) taglik ostiga o'ralgan. Kameraning 10 – nay orqali kameradan havo so'rib olinadi, yoki unga geliy gazi kiritiladi. 14 – suv kuylagi, 18 – flanes, 19 – taglik, 17 – qizdirgich va 20 – tok ulagichlar suv yordamida sovutiladi.

Kameradagi vakuum BH – 2 MΓ rusumli forvakuum nasosi va BA–01–1 rusumli vakuum agregat yordamida hosil qilinadi. Kamerada vakuum (10^{-4} mm simob ustuni) hosil qilingandan so'ng, tekshirilayotgan namunaning bug'lanishini oldini olish uchun, unga 0,1 – 0,2 atm ortiqcha bosimidagi spektral jihatdagi sof geliy solinadi.

2.3. Magnit qabul qiluvchanlikni o'lchash xatoliklari.

Tajriba asosida magnit qabul qiluvchanlikni (2.5) ifoda yordamida hisoblanadi. Bu ifoda asosida yo'l qo'yiladigan o'lchash xatoligini topish uchun uni logarifmlash va differensiallashtirishdan so'ng nisbiy xatoni topish uchun quyidagi ifodani topamiz:

$$\frac{\Delta\chi}{\chi} = \left| \frac{\Delta m_{et}}{m_{et}} \right| + \left| \frac{\Delta m_{\chi}}{m_{\chi}} \right| + \left| \frac{\Delta \chi_{et}}{\chi_{et}} \right| + \left| \frac{\Delta U_1}{U_1} \right| + 2 \left| \frac{\Delta U}{U} \right|, \quad (2.7)$$

Bundagi har bir xatolikni baholaymiz : $\left| \frac{\Delta m_{et}}{m_{et}} \right|$ -analitik tarozining tortish aniqligi bilan aniqlanadi va xatolik 0.02 – 0.03 % dan oshmaydi; $\left| \frac{\Delta \chi_{et}}{\chi_{et}} \right|$ -etalonning xona temperaturasidagi magnit qabul qiluvchanligini aniqlanishi darajasiga bog'liq bo'lib, 0,2 % dan oshmaydi;

Etalon qarshilikda kuchlanish tushishini o'lchashdan xatolik "BK 2-20" voltmetrning aniqlik sinfi va kompensatsiya vaqtida shkaladagi shu'la chizig'ini ko'z bilan kuzatishdagi noaniqlik ($\pm 0,2$ mm) bilan bog'liq bo'lib, $\left| \frac{\Delta U_1}{U_1} \right|, \left| \frac{\Delta U_{et}}{U_{et}} \right|, \left| \frac{\Delta U}{U} \right|$ -larning maksimal qiymati mos ravishda 0,3 %, 0,4 % va 0,6 % dan oshmaydi. Shunday qilib, (2.7) bo'yicha nisbiy xatolik $\left| \frac{\Delta \chi}{\chi} \right|$ 2% dan oshmaydi.

Ikkinchi tomondan quyidagi sabablar ham o'lchash xatoligini oshiradi.

1. Konteynerning har safar elektromagnit qutblari orasidagi, aynan $H_y \left(\frac{\partial H_y}{\partial x} \right) = const$ bo'lgan sohaga aniq tushmasligi ($\pm 0,2$ mm); Bunda χ ni o'lchashdagi maksimal xatolig 0.1 % dan oshmaydi.
2. Elektromagnit orqali bir xil tok berishdagi xatolik; Bu sabab tufayli xatolik 0.05 % ni tashkil qiladi.
3. Namunalarning yuqori temperaturadagi bug'lanishi; Bu tufayli xatolik 0.3 % dan oshmaydi.
4. Namuna temperaturasini o'lchashdagi xatolik ($\pm 0,5$ ° C) . Bu tufayli xatolik 0.01 % ni tashkil qiladi.
5. Kuzatuv shkalasidagi sho'la ichidagi vizir chizig'ini kompensatsiya paytida shkalaning no'l holatida joylashganligini ko'z bilan payqashdagi xatolik (± 0.2 mm). Bu tufayli xatolik 0.4 % ni tashkil qiladi.

Shunday qilib, umumiy nisbiy xatolik 2,5 – 3 % dan oshmaydi.

II bobga doir xulosalar.

1. Tadqiqod ob'ektlarining magnit qabul qiluvchanligini o'lchash usullari, xususan ushbu ishda foydalanilgan Faradey usulining mohiyati bayon qilindi.
2. Tadqiqod ob'ektlarining magnit qabul qiluvchanligining temperaturaga bog'lanishini qattiq va suyuq holatlarda o'lchaydigan qurulmasining tuzulishi hamda ish prinsipi bayon qilindi.
3. Magnit qabul qiluvchanlikni yuqori temperaturalarda (qattiq va suyuq holatlarda) o'lchash xatoliklari batafsil tahlil qilinib, nisbiy xatolik 3% dan oshmasligi asoslandi.

III-BOB. TADQIQOT NATIJALARI VA ULARNING MUHOKAMASI

3.1. $\text{KEMAl}_3(\text{BO}_3)_4$ ($\text{KEM}=\text{Tb,Er}$) boratlarning magnit qabul qiluvchanligini yuqori temperaturalarda o'lchash natijalari va ularni tushuntirish.

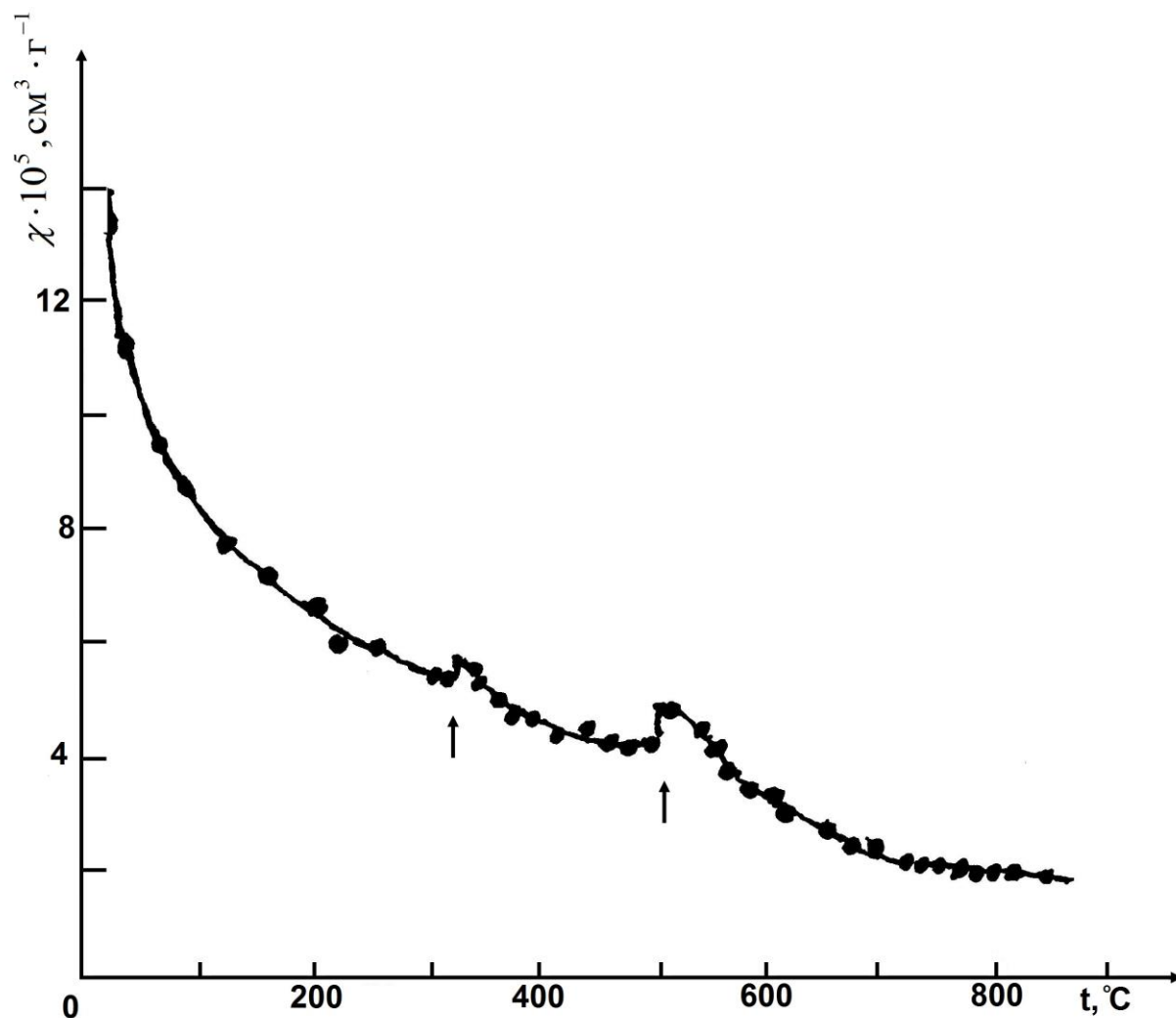
Tadqiqot obyektlari - terbiyli va erbiyli alyuminoboratlar $[\text{TbAl}_3(\text{BO}_3)_4$ va $\text{ErAl}_3(\text{BO}_3)_4]$ M.V. Lomonosov nomidagi Moskva Davlat Universiteti "Kristallografiya va kristalloximiya" kafedrasining ilmiy laboratoriyasida polikristallik holatda sintez qilingan.

$\text{TbAl}_3(\text{BO}_3)_4$ va $\text{ErAl}_3(\text{BO}_3)_4$ boratlar magnit qabul qiluvchanligining temperaturaga bog'lanishi $[\chi(T)]$ II-bobda bayon qilingan Faradey usuli bilan 100-850°C temperaturalar oralig'ida o'lchandi. Ularning tajribaviy $\chi(T)$ bog'lanishlari mos ravishda 3.1-va 3.2-rasmlarda, $\chi^{-1}(T)$ bog'lanishlari esa 3.3-va 3.4-rasmlarda keltirilgan.

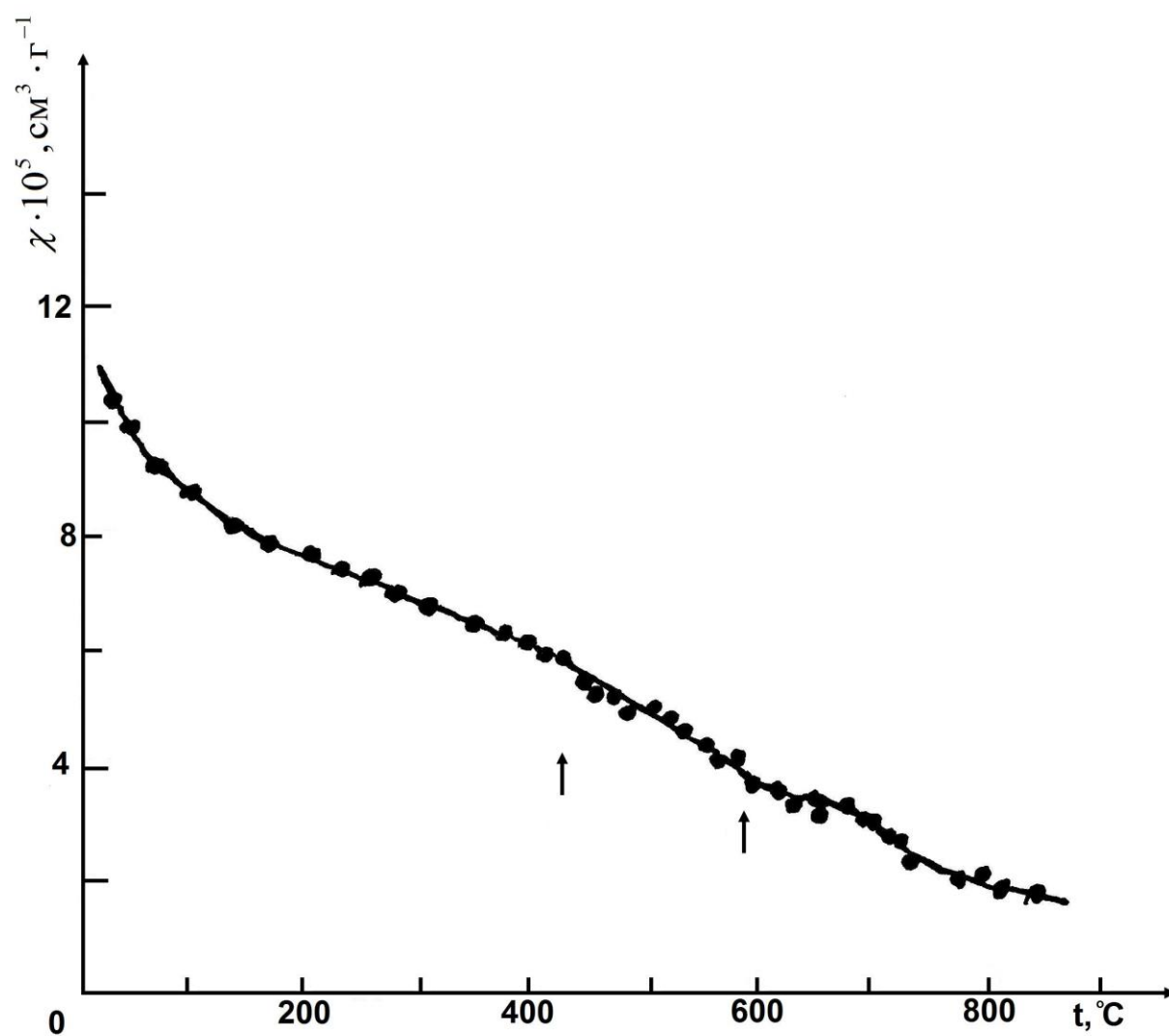
3.1-va 3.2-rasmlarni tahlil qilish shuni ko'rsatadiki, o'rganilgan boratlarning magnit qabul qiluvchanligi temperatura ortishi bilan kamayadi. 3.3-va 3.4-rasmlarni tahlil qilish shuni ko'rsatadiki, har ikkala boratning ham $\chi^{-1}(T)$ bog'lanishi ikki marta sinib, temperatura o'qiga nisbatan qiyaligi o'zgaradigan to'g'ri chiziqlardan iboratdir. Boshqacha aytganda bu bog'lanishlar temperaturaga bog'liq ravishda ikki marta sinadi va ularda uchta chiziqli soha kuzatiladi. Bunday sinishlar $\text{TbAl}_3(\text{BO}_3)_4$ boratning $\chi^{-1}(T)$ bog'lanishida (3.3-rasm) 370°C va 540°C temperaturalarda, $\text{ErAl}_3(\text{BO}_3)_4$ boratning $\chi^{-1}(T)$ bog'lanishida (3.4-rasm) esa, 410°C va 540°C temperaturalarda yuz beradi. Shuni alohida qayd etish joizki, $\chi^{-1}(T)$ bog'lanishlarning temperature o'qiga nisbatan qiyaligi ($d\chi^{-1}/dT$) har ikkala alyuminoborat uchun ham birinchi sinishdan so'ng keskin oshadi, ikkinchi sinishdan so'ng esa (birinchi sinishga nisbatan) kamayadi.

Shunday qilib, o'rganilgan alyuminoboratlarning $\chi^{-1}(T)$ bog'lanishlari sinishga mos temperaturalar orasida chiziqli tabiatga ega. Bu tajribaviy dalil

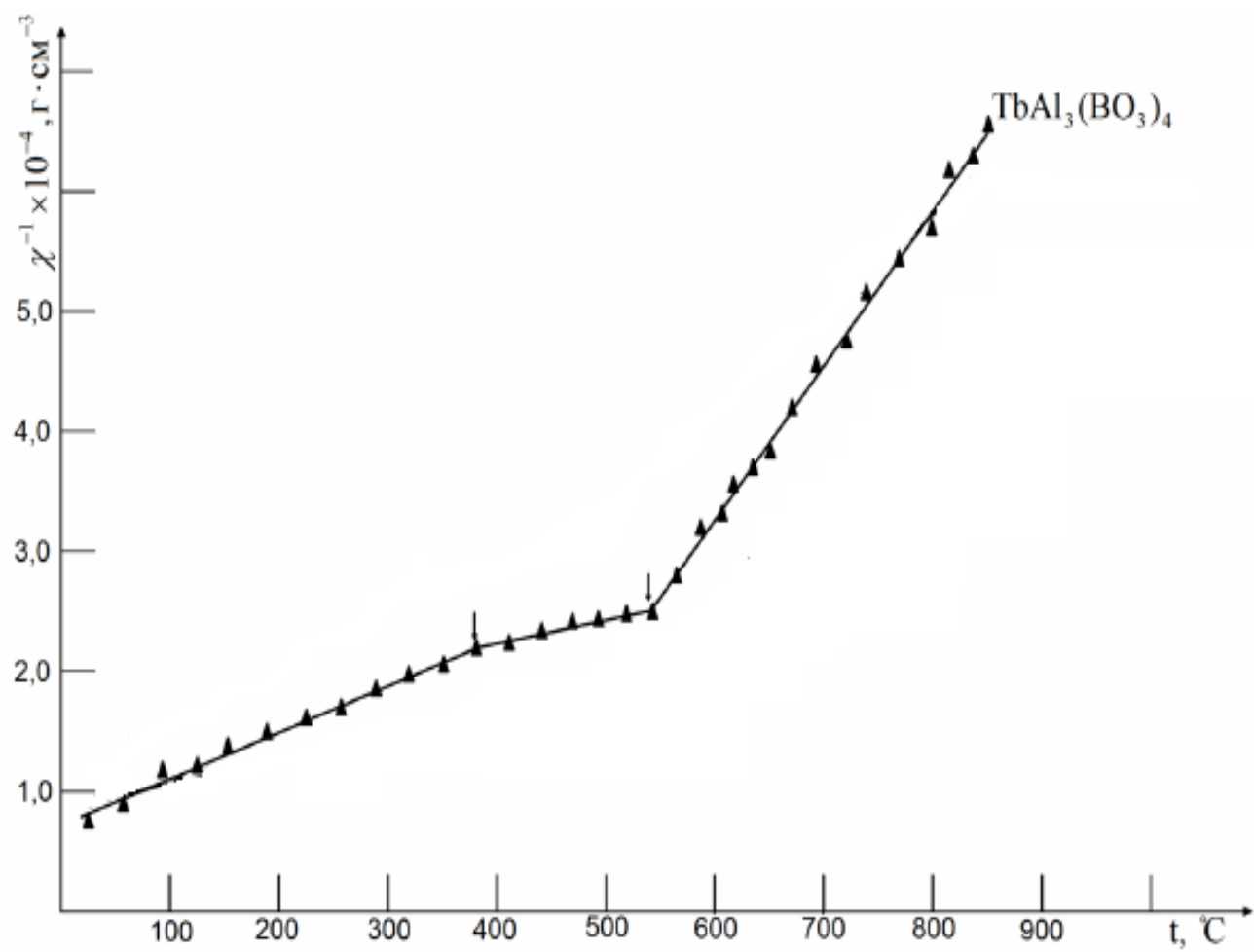
ularning $\chi(T)$ bogʻlanishlari sinish temperaturalarida (1.12) koʻrinishdagi ($\chi=C/(T-\theta_p)$) Kyuri-Veyss qonuniga boʻysinishidan guvohlik beradi.



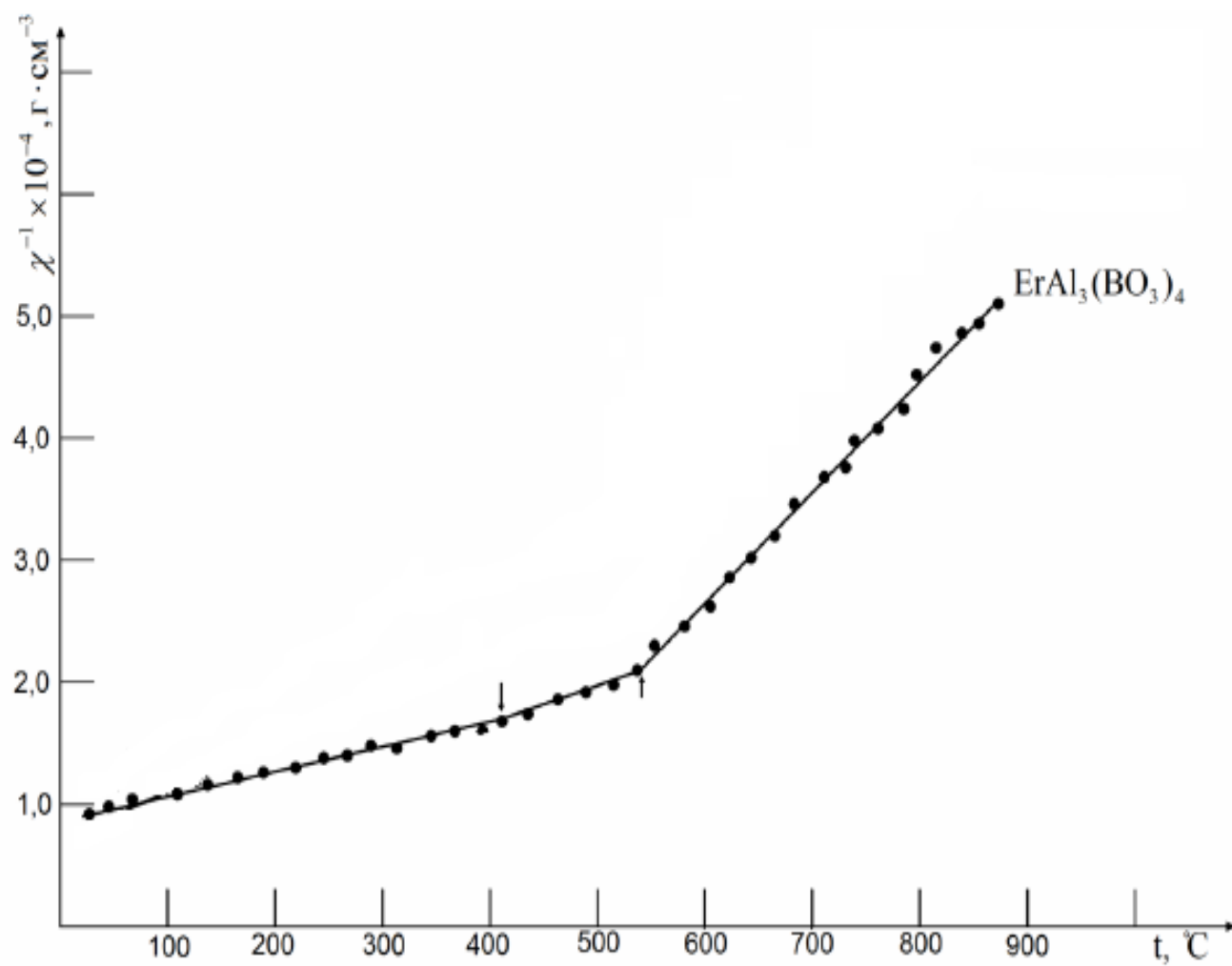
3.1-rasm. $\text{TbAl}_3(\text{BO}_3)_4$ - boratning $\chi(T)$ bogʻlanishi.



3.2-rasm. $\text{ErAl}_3(\text{BO}_3)_4$ - boratning $\chi(T)$ bogʻlanishi.



3.3-rasm. $\text{TbAl}_3(\text{BO}_3)_4$ -boratning $\chi^{-1}(T)$ bogʻlanishi.



3.4- rasm. $\text{ErAl}_3(\text{BO}_3)_4$ -boratning $\chi^{-1}(T)$ bog'lanishi.

O'rganilgan boratlar $\chi^{-1}(T)$ bog'lanishlarida kuzatilgan sinishlarni quyidagicha tushuntirish mumkin: Ularning ximiyaviy formulasi tarkibiga kiruvchi komponentalardan faqat Tb va Er magnit faol komponentalar bo'lib, ularning magnit xossalarini 4f-qobiq elektronlari hosil qiladi. Bu elektronlar ularning kristall panjarasi tugunlarida Tb^{3+} va Er^{3+} ionlari ichida o'troqlashgan bo'ladi. Bu metallar uy temperaturasidan past temperaturalarda (Tb uchun $\theta_p=205K$, Er uchun $\theta_p=42K$) magnit tartiblangan holatga ega bo'ladilar. Boratlar tarkibiga kiruvchi boshqa komponentalar-Al va $(BO_3)_4$ - radikal kuchsiz paramagnit xossaga ega. Demak o'rganilgan boratlarning tajribaviy $\chi^{-1}(T)$ bog'lanishlarda kuzatilgan sinishlar magnit fazoviy o'tishlar bilan bog'lab tushuntirib bo'lmaydi. Haqiqatdan ham [14] ish muallifining fikricha, xantit strukturali kristall panjaraga ega bo'lgan boratlarda, masalan $KEMFe_3(BO_3)_4$ ($KEM=Nd, Tb, Dy$)-da, magnit fazaviy o'tishlar uy temperaturasidan past temperaturalarda yuz beradi. Xullas, o'rganilgan boratlarning $\chi^{-1}(T)$ tajribaviy bog'lanishlarida kuzatilgan sinishlarning sababini magnit fazaviy o'tishlar bilan emas. balki faqat ularning kristall panjarasida yuz beradigan strukturaviy fazaviy o'tishlar bilan tushuntirish mumkin.

Bunday fazaviy o'tishlar quyidagicha yuz beradi: §1.4 da bayon qilinganidek, $KEMAl_3(BO_3)_4$ boratlar kristall panjarasining elementar yacheykasi (1.2-rasm) tabiiy xantit minerali $[CaMg_3(CO_3)_4]$ kristall panjarasining elementar yacheykasi bilan bir xil tuzilishga ega. Bu yacheykaning ximiyaviy formulasi quyidagi uchta formula birligidan tashkil topgan: $KEMO_6$, AlO_6 va BO_3 . $KEMAl_3(BO_3)_4$ kristallining uch o'lchamli fazosida AlO_6 oktaedrlari o'zaro qirralari bilan birlashib borat kristallining C_3 o'qi bo'ylab cho'zilgan holda kuchsiz bog'langan bir o'lchamli spiralsimon zanjir hosil qiladi[14,15]. Temperatura ortishi bilan AlO_6 oktaedr kristalining parametri o'zgaradi va shu sababli o'rganilgan boratlarning kristall panjarasida strukturaviy fazaviy o'tish yuz beradi. Bu fazaviy o'tishlar boratlarning $\chi^{-1}(T)$ bog'lanishda sinish ko'rinishida aks etadi.

Endi tajriba natijalarini nazariy jihatdan tushuntirishga o'tamiz. O'rganilgan boratlarning magnit hossasini, asosan, ularning tarkibiga kiruvchi va shu boratlar

kristall panjarasining tugunlarida o'troqlashgan KEM ionlari- Tb^{3+} yoki Er^{3+} ichidagi 4f-qobiq elektronlari hosil qiladi. Bu elektronlarning kristall oanjara tugunlaridagi energetik holati, shu ionlar erkin holidagi energetik holati bilan (hatto toza KEMda ham) bir xil bo'ladi. Shuning uchun boratlar kriatall panjarasidagi KEM ionlarini erkin ionlar sistemasi (magnit xossa nuqtai nazaridan) deb qarash mimkin.

§1.2dan ma'lumki, KEM^{3+} erkin ionlar sistemasining $\chi(T)$ bog'lanishi uchun, keng mul'tipletlar holida ($\Delta E \gg k_B T$), Van-Flek nazariyasining (1.3) ifodasidan $\frac{N_A}{M} \alpha_J = 0$ bo'lgan holda olinadigan quyidagi ifodani olish mumkin:

$$\chi = \frac{N_A}{M} \frac{g_J^2 \mu_B^2 J(J+1)}{3k_B T} = \frac{N_A}{M} \frac{\mu_{eff}^2}{3k_B T}, \quad (3.1)$$

bundagi $\mu_{eff} = g_J [J(J+1)]^{\frac{1}{2}} \mu_B$ - bitta KEM ioniga to'g'ri keladigan effektiv magnit moment ($J=4f$ -qobiq elektronlari to'liw mexsnik momentining kvant soni); M -KEMning atomar massai.

KEM^{3+} ionlarining borat kristalli ichidagi magnit o'zaro ta'siri (3.1)da $T \rightarrow T - \theta_p$ almashtirish olish bilan hisobga olinadi. Chunki §1.3 bo'yicha θ_p borat kristalli panjarasi tugunlarida o'troqlashgan KEM^{3+} ionlari ichidagi 4f-qobiq elektronlarining bilvosita almashinuv(magnit) o'zaro ta'sirining energetic o'lchovi hisoblanadi($k_B \theta_p$) $T=\theta_p$ temperaturada borat magnit tartibli holatdan magnit tartibsiz(paramagnit) holatga o'tadi. $T \rightarrow T - \theta_p$ almashtirish so'ng (3.1)dan (1.12) ko'rinishdagi Kyuri-Veyss qonuning ifodasi, ya'ni quyidagi ifoda olinadi:

$$\chi = C / (T - \theta_p), \quad (3.2)$$

bunda

$$C = \frac{N_A}{M} \frac{\mu_{eff}^2}{3k_B}, \quad (3.3)$$

bunda M-boratning molyar massasi.

Boratlarning tajribaviy $\chi^{-1}(T)$ bog'lanishlarida (3.3va 3.4-rasmlar) kuzatilgan sinishlar oralig'idagi to'g'ri chiziqlar (3.2) ifodadan olinadigan quyidagi chiziqli funksiyaning grafigi hisoblanadi:

$$\chi^{-1} = \frac{T - \theta_p}{C} = \frac{T}{C} - \frac{\theta_p}{C} \quad (3.4)$$

bundagi $1/C$ va θ_p/C larni bu chiziqli funsiyaning o'zgarmas koeffisientlari deyish mumkin.

3.2. Tajriba natijalaridan foydalanib o'rganilgan birikmalarning asosiy magnit xarakteristikalarini aniqlash.

O'rganilgan boratlarning asosiy magnit xarakteristikalarini, ularning §3.1 da bayon qilingan tajribaviy $\chi^{-1}(T)$ bog'lanishlaridan(3.3 va 3.4-rasmlar) foydalanib aniqlanadi. Bu quyidagicha amalga oshiriladi. Kyuri-Veyss qonuning (3.4) ko'rinishdagi ifodasiga eng kichik kvadratlar usuli (EKKU) qo'llaniladi. Shu maqsadda [27,28] ishlarda bayon qilingan tavsiyalardan foydalanib, (3.4) ifodada $y = \chi^{-1}$, $x = T$, $A = 1/C$, $B = -\frac{\theta_p}{C}$ belgilashlar kiritib undan quyidagi chiziqli tenglamani olamiz:

$$y = Ax + B. \quad (3.5)$$

Bu tenglamaning A va B koeffisientlarini, EKKU ning normal tenglamalarini yechishdan kelib chiqadigan, quyidagi ifodalar yordamida hisoblanadi [27]:

$$A = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n y_i \right)^2}, \quad (3.6)$$

$$B = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i^2 \sum_{i=1}^n y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n x_i y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n y_i \right)^2} \quad (3.7)$$

Bu ifodalardagi n-y kattalikni x ga bog'liq ravishda o'lchashlar soni, A va B - koefisientlarni (3.6) va (3.7) ifodalar bo'yicha EHM da hisoblash dasturini tuzish uchun quyidagi algoritm tuzildi:

1. O'lchashlar soni (n) va tajriba o'lchangan x_i va y_i kattaliklarni mashina xotirasiga kiritish;

2. $\sum_{i=1}^n x_i y_i, \sum_{i=1}^n x_i, \sum_{i=1}^n y_i, \sum_{i=1}^n x_i^2$ - yig'indilarni EHM da hisoblash;

3. A va B koefisientlarni (3.6) va (3.7) ifodalar bo'yicha hisoblash;

4. C va θ_p kattaliklarni $C=1/A$ va $\theta_p = -BC$ ifodalar bo'yicha hisoblash;

5. Hisoblangan kattaliklarni EHM xotirasidan chiqarish.

Shu algoritmdan foydalanib hisoblash dasturini tuzishdan oldin (3.6) va (3.7) ifodalardga quyidagicha belgilashlar kiritildi:

$$xx = \sum_{i=1}^n x_i, \quad yy = \sum_{i=1}^n y_i, \quad xy = \sum_{i=1}^n x_i y_i, \quad x2 = \sum_{i=1}^n x_i^2.$$

(3.6) va (3.7) ifodalarni shu operatorlar bo'yicha yozamiz:

$$A = \frac{n \cdot XY - XX \cdot YY}{n \cdot X^2 - (XX)^2}, \quad (3.8)$$

$$B = \frac{X^2 \cdot YY - XX \cdot XY}{n \cdot X^2 - (XX)^2}. \quad (3.9)$$

Shunday algoritm yordamida Turbo Paskal tilida tuzilgan hisoblash dasturi III-bob oxirida ilova qilingan.

Hisoblab topilgan Kyuri-Veyss doimiysining (C) qiymatidan foydalanib, o'rganilgan boratlarning ximiyaviy formulasi birligiga to'g'ri keluvchi magnit momenti quyidagi ifoda bo'yicha hisoblandi:

$$\mu_{eff} = 2.83\sqrt{CM} \mu_B, \quad (3.10)$$

bundagi M-boratning molyar massasi [masalan, $TbAl_3(BO_3)_4$ uchun $M = M_{Tb} + 3M_{Al} + 4M_B + 12M_O$]. O'rganilgan boratlarning asosiy magnit xarakteristikalarini hisoblash natijalari 3.1-jadvalda keltirilgan.

3.1- jadval.

Boratlarning asosiy magnit xarakteristikalari

Borat	Temperatura oralig'i, K	θ_p , K	$C \cdot 10^3$, $Sm^3 \cdot K \cdot g^{-1}$	μ_f , μ_B
$TbAl_3(BO_3)_4$	20-970	-93	275.18	10.2
	380-540	-357	432	12.82
	550-850	613	75.64	5.36

ErAl ₃ (BO ₃) ₄	20-410	-177	508	14
	420-540	-83	368.5	12
	550-850	598	107.6	6,5

3.1-jadvalni tahlil qilish shuni ko'rsatadiki, o'rganilgan boratlarning asosiy magnit xarakteristikalarini, ya'ni θ_p , C va μ_f larning qiymatlari uchun umumiy bir qonuniyat kuzatilmaydi. Har bir borat uchun $\chi^{-1}(T)$ bog'lanishning ikkinchi sinishidan oldingi holatlar (1 va 2-fazalar) uchun θ_p ning qiymati manfiy. Bu o'rganilgan boratlarning shu holatlaridan antiferromagnit tartiblanish hosil bo'lishidan dalolat beradi. $\chi^{-1}(T)$ bog'lanishning 3-fazasiga to'g'ri keladigan holatning magnit momenti μ_f qolgan fazalarga (1,2-fazalar) to'g'ri keladigan holatlarning magnit momentidan kichik.

III-bobga doir xulosalar

1. KEMAl₃(BO₃)₄ (KEM=Tb,Er) alyuminoboratlarning $\chi(T)$ – bog'lanishlarini tajribada birinchi marta o'lchash natijalari bayon qilindi va nazariy jihatdan tushuntirildi;
2. O'rganilgan boratlarning tajribaviy $\chi^{-1}(T)$ bog'lanishlari ikki marta sinadigan chiziqli ko'rinishga ega ekanligi aniqlandi va bu dalilga asoslanib shu bog'lanishlar Kyuri-Veyss qonuniga bo'ysinishi ko'rsatildi;
3. O'rganilgan boratlarning tajribaviy $\chi^{-1}(T)$ bog'lanishlariga EKKU usulini qo'llab EHM yordamida ularning asosiy magnit xarakteristikalarini (θ_p , C va μ_f) hisoblandi.

III-Bobga ilova.

O`rganilgan namunalarning asosiy paramagnit xarakteristikalarini EHM da hisoblash uchun Turbo Beysik tilida tuzilgan dastur.

10. REM

20. REM EKKU

30. INPUT

40. DIM X(N), Y(N)

50. REM X(I), Y(I)

60. FOR I=1 TO N

70. READ X(I), Y(I)

80. NEXT

FOR I=1 TO N

X(I)=X(I)*1000

NEXT

90. XX=0, YY=0: X2=0

100. FOR I=1 TO N

110. XX=XX+X(I): X2=X2+X(I)^2

120. YY=YY+Y(I): XY=XY+X(I)+Y(I)

130. NEXT

140. A=(N*XY-XX*YY)/_N*X2-XX^2)

150. B=(X2*YY-XX*YY)/(N*X2-XX^2)

160. $C=1/A$: TETA=-B/A

170. NEXT

180. PRINT "A=" ; A:PRINT

190. PRINT "B=" ; B:PRINT

200. PRINT "C=" ; C:PRINT

210. PRINT "TETA=" ; TETA : PRINT.

XULOSALAR

Malakaviy bitiruv ishida qo'yilgan maqsad va vazifalar bo'yicha bajarilgan ishlarni umumlashtirib, quyidagicha xulosalash mumkin:

1. $\text{KEMAl}_3(\text{BO}_3)_4$ (KEM=Tb,Er) alyuminoboratlarning magnit qabul qiluvchanligining temperaturaga bog'lanishi $[\chi(T)]$ birinchi marta 20-850°C temperaturalar oralig'ida o'lchandi.

2. O'rganilgan boratlarning tajribaviy $\chi^{-1}(T)$ bog'lanishlarida ikki marta sinish kuzatildi. Bu sinishlar, boratlarning kristall panjarasida yuz beradigan strukturaviy fazaviy o'tishlar bilan bog'lab tushintirildi. Har bir fazaning $\chi(T)$ bog'lanishi Kyuri-Veyss qonuniga bo'ysinishi aniqlandi.

3. Boratlarning $\chi(T)$ bog'lanishlari paramagnetizmning Van-Flek nazariyasi asosida tushintirilgan.

4. O'rganilgan boratlarning tajribaviy $\chi^{-1}(T)$ bog'lanishlariga EKKU ni qo'llab, EHM yordamida ularning asosiy magnit xarakteristikalarini (θ_p , C, μ_f) aniqlandi.

FOYDALANGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI

1. Леонюк Н.И. Кристаллические бораты-оптические материалы нового поколения//Природа. 2007.-№12.-с.52-60.
2. Вонсовский С.В. «Магнетизм». – М.: Наука, 1971 – 1032с,
3. Тейлор К. , Дарби М. «Физика редкоземельных соединений».-М.: Мир, 1974 – 374с.
4. Белов К.П., Велянчикова М. «Редкоземельные ферромагнетики и антиферромагнетики». –М.: Наука, 1965 – 320с.
5. Тейлор К. Интерметаллических соединений редкоземельных металлов. – М.: Мир, 1974 – 374с.
6. Аражис С. , Колвин Р. Парамагнитная восприимчивость редкоземельных металлов при повышенных температурах. В.Сб.: «Новые исследования редкоземельных металлов». – М.: Мир, 1984. с.100-135.
7. Кондон Е. , Шортли Г. «Теория атомных спектров». – М.: И.Л. 1949, с. 189-191.
8. Van Flack J.H. The theory of electric and magnetic suscrtibilities. – Oxford: Univ. pess, 1932 – 384p.
9. Сельвуд П.И. Магнетохимия. – М.: И.Л. 1958 – 460с.
10. Кринчик Г.С. Физика магнитных явлений.-М: Изд-во МГУ,1976.-367 с.
11. 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.
12. 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.
13. Yosida K. Magnetic properties of Cu-Mn Alloy//Phys.Rev.–1957.– V.106.– N5.– pp. 893-898.
14. Волков Д.В. «Магнитные и магнитоупругие свойства редкоземельных ферроборатов $RFe_3(Bo_3)_4$ ($R=Nd, Tb, DY$). Канд. дис. Москва, 2007.
15. Харламова С.А. Синтез, структура, магнитные и оптические свойства редкоземельных галло-ферроборатов с структурой хантита. Автореферат канд. дис. Красноярск, 2004.
16. Neody D., Jen H., Saha R.K., Wanklyn B.M. // Prok. 33 rd solid state Phys Sump. Bombay, 1991.- vol. 33.-1-4.- p.271.

17. Puche R., Jerez A., Pico C. Synthesis, characterization and magnetic properties of some Ln Bo_3 ($\text{Ln}=\text{Pr}, \text{Sm}, \text{Eu}, \text{Yb}$) compounds.// J Less. – Common. Metals. – 1951.- vol.167.- No.2.- p.387-393.
18. Кувандиков О.К., Шакаров Х.О., Шодиев З.М. Аномальные изменения магнитных свойств соединений иттрия с $[\text{Nd}, \text{Gd}]\text{Al}_3(\text{Bo}_3)_4$ при высоких температурах.// Uzbek. Journal Pley. 2002.- vol.4.- No.4.- p.295-296.
19. Демидов А.А., Волков Д.В. Магнитные свойства $\text{Tb}_{1-x}\text{Er}_x\text{Fe}_3(\text{Bo}_3)_4$ ($x=0.75, 1$).// Физика твердого тела. 2012.- том.54.- вып.3.- с.505-515.
20. Сельвуд П.И. Магнетохимия. – М.: ИЛ. 1958 – 460с.
21. Чечерников В.И. Магнитные измерения. – М.: Изд-во МГУ. – 1969.-388с.
22. Вертман А.А. Смарин А.Н. «Измерение магнитной восприимчивости жидких металлов». // Завдск. лаб. 1958, с. 309-310.
23. Кувандиков О.К., Шакаров Х.О. Методы измерения некоторых физических величин в общем курсе физики.// Руководство для НИРС и УИРС. – Самарканд. Изд. СамГУ, 1984. – 45с.
24. Шакаров Х.О. Магнитная восприимчивость интерметаллических соединений лантаноидов с индием при высоких температурах.// Кандидатская диссертация, Самарканд, 1983.
25. Кувандиков О.К., Шакаров Х.О., Иргашев К.М. Высокотемпературная установка для измерения магнитной восприимчивости 3d и 4f – металлов в твердом и жидком состояниях.// В.Сб.: Оптико-акустические, электрические, магнитные исследования конденсированных сред. – Самарканд, Изд. СамГУ, 1982. – с.122-130.
26. Kuvondikov O.K., Shakarov X.O., Shodiyev Z.M., Rustamov A. Analysis of the magnetic properties of $(\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x)_{0.93}\text{K}_x\text{MnO}_3$ manganites at high temperatures.// Journal of communications technology and electronics. 2007.- vol. 52.- No.9. – p. 1058-1061.
27. Шакаров Х.О., Усмонов Б.Н. Применение микро ЭВМ в НИРС по физике. Методические рекомендации. Самарканд, Изд. СамГПИ, 1959. – 37с.

28.Shakarov X.O. “Fizikadan laboratoriya mashg`ulotlarida kompyuterdan foydalanish.”Uzluksiz ta`lim tizimida yangi pedagogik va informatsion texnologiyalar” mavzusidagi ilmiy – amaliy konferensiya materiallari, 2 – qism, 109-111b, Samarqand, 2003, 13 – 14 may.