

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

**ALISHER NAVOIY NOMIDAGI SAMARQAND**

**DAVLAT UNIVERSITETI**

**FIZIKA FAKULTETI**

**FIZIKA YO'NALISHI**

**Umumiy fizika va magnit hodisalari kafedrası**

**“Neodimli va itriyli ferrobotalarning magnit xossalari  
yuqori temperaturalarda o'rganish”**

**Malakaviy bitiruv ishi**

Bajaruvchi: Hamrokulov Shavkat

Ilmiy rahbar: dots. Shakarov X.O

Malakaviy bitiruv ishi “Umumiy fizika va magnit hodisalari fizikasi” kafedrasida bajarildi.

Kafedraning 2013 yil 17 iyun majlisida muhokama qilindi va himoyaga tavsiya etiladi (Bayonnoma № 11 )

Kafedra mudiri: \_\_\_\_\_ dots. Rajabov.R.M

Malakaviy bitiruv ishi YaDAKning 2013 yil “20” iyundagi majlisida himoya qilindi va \_\_\_\_\_ ball bilan baholandi (bayonnoma № \_\_\_\_\_ ).

YaDAK raisi:

A'zolari:

**Samarqand – 2013**

# Mundarija

**KIRISH**.....3

## **I.BOB. ADABIYOTLAR SHARHI**

§ 1.1. Kamyob Yer metallarining (KEM) elektron tuzilishi. KEM ning ‘erkin ion’ modeli.....

§ 1.2. Paramagnetizmning Van-flek nazariyasi.....

§ 1.3. Kamyob Yer metalli boratlarning  $[RM_3(BO_3)_4]$  kristall tuzilishi.....

§ 1.4. Kamyob Yer metalli boratlarning paramagnet xossalari.....

§ 1.5. Tadqiqot muammosining qo`yilishi.....

## **II.BOB. TADQIQOT USULI VA QURILMASI**

2.1. Magnit qabul qiluvchanlikni o`lchash usuli.....

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

2.3. Magnit qabul qiluvchanlikni o`lchash xatoliklari.....

## **III.BOB. TAJRIBA NATIJALARI VA ULARNING MUHOKAMASI**

3.1. Neodim va ittriylı ferrobortlarning magnit qabul qiluvchanligini yuqori temperaturalarda o`lchash natijalari va ularni tushuntirish.....

3.2. Tajriba natijalaridan foydalanib o`rganilgan namunalarning asosiy magnit xarakteristikalarini aniqlash.....

## KIRISH

**Mavzuning dolzarbligi.** Keyingi yillar ichida kamyob Yer metallarining 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-kamyob Yer metalli, M-alyuminiy, skandiy, temir, magniy) oksiboratlari ham kiradi. Ularning ko`pchiligini tuzilishi tabiiy xantit karbonat  $[CaMg_3(CO_3)_4]$  bilan tuzilishi bir xil ekan. Shu oksiboratlardan  $RFe_3(BO_3)_4$  ferrobatorlari yangi turdagi magnitoelektrik xossaga ega bo`lgan materiallar hisoblanadi. Ularni multiferroiklar ham deb ataladi. Ular ikki turdagi ferro tartiblanishga ega ekan: ferromagnit (ferromagnetik) va seknetoelektrik (ferroelektrik). Shuning uchun ham bunday materiallarning fizik xossalarini, shu jumladan magnit xossalarini o`rganish, ularning amalda qo`llanilishining potensial imkoniyatlarini ochilishiga yordam beradi. Ularning axborot sistemalarda sensor sifatida va spintronik qurilmalarida qo`llanilish imkoniyatlari kattadir.

$RFe_3(BO_3)_4$ -ferrobatorlarnin magnit xossalarini o`rganish ularning murakkab kristall va magnit strukturalarini tushunish nuqtai nazaridan alohida ilmiy ahamiyatga egadir. Bugungi kunda boratlarning magnit xossalari va elektron tuzilishi haqidagi tajriba ma`lumotlari juda kam. Ularning magnit xossalari yuqori temperaturalarda deyarli o`rganilmagan. Shundan kelib chiqqan holda, ushbu malakaviy bitiruv ishida  $RFe_3(BO_3)_4$  (R=Nd,Y) ferrobatorlarning magnit qabul qiluvchanligining temperaturaga bog`lanishini  $[\chi(T)]$  yuqori 20-

900<sup>o</sup>C temperaturalar oralig`ida o`lchash va o`lchash natijalaridan foydalanib ularning asosiy magnit xarakteristikalarini aniqlashni **asosiy maqsad** qilib qo`yildi. Bu maqsadni amalga oshirish uchun quyidagi **vazifalarni** bajarish zarur deb hisoblandi:

1. RFe<sub>3</sub>(BO<sub>3</sub>)<sub>4</sub> (R=Nd, Y) birikmalarni sintez qilish;
2. Bu birikmalarning  $\chi(T)$  bog`lanishlarini 20-900<sup>o</sup>C temperaturalar oralig`ida o`lchash va ularni nazariy jihatdan tushintirish;
3. O`rganilgan ferrobatorlarning tajribaviy  $\chi(T)$  bog`lanishlaridan foydalanib, ularning quyidagi asosiy magnit xarakteristikalarini aniqlash: paramagnit Kyuri temperaturasi ( $\theta_p$ ), Kyuri-Veyss doimiysi (C) va ximiyaviy formula birligiga to`g`ri keladigan magnit momentini ( $\mu_f$ );
4. O`lchash va hisoblash natijalarini chuqur tahlil qilib tegishli xulosalar chiqarish.

## **Ilmiy yangilik.**

NdFe<sub>3</sub>(BO<sub>3</sub>)<sub>4</sub> va YFe<sub>3</sub>(BO<sub>3</sub>)<sub>4</sub> iborat kristallarning  $\chi(T)$  bog`lanishi yuqori temperaturalarda (20-900<sup>o</sup>C oralig`ida) birinchi marta o`rganilgan.

## **Ilmiy va amaliy qo`llanilishi.**

Bu ishda olingan natijalar KEM aralashgan murakkab birikmalarning, xususan ferraboratlarning magnit xossalari nazariyasini yuqori temperaturalarda takomillashtirishga va ko`p funksiyali yangi materiallar olish uchun xizmat qiladi.

## **Himoya qilinadi:**

- 1) NdFe<sub>3</sub>(BO<sub>3</sub>)<sub>4</sub> va YFe<sub>3</sub>(BO<sub>3</sub>)<sub>4</sub> kristallarining  $\chi(T)$  bog`lanishlarini 20-900<sup>o</sup>C temperatura oralig`ida birinchi marta o`lchash bo`yicha olingan tajriba natijalari;

2) O`rganilgan namunalarning  $\chi^{-1}(T)$  tajribaviy bog`lanishining tahliliy natijalari;

3) Tajriba natijalari asosida, o`rganilgan namunalarning, eng kichik kvadratlar usuli bilan, kompyuterda hisoblangan asosiy magnit xarakteristikalari.

### **Bitiruv ishining tuzilishi va hajmi.**

Malakaviy bitiruv ishi kirish, uchta bob, xulosalar va 21 ta nomdagi adabiyotlar ro`yxatidan tashkil topgan bo`lib, - bet lotin alifbosida bosma shaklda bayon qilingan. Uning mazmuni 9 ta rasm va 1 ta jadval yordamida ko`rgazmali bayon qilingan.

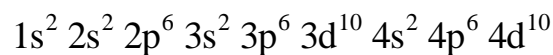
# I.BOB. ADABIYOTLAR SHARHI

## §1.1. Kamyob Yer metallarinig (KEM) elektron tuzilishi.

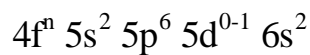
### KEM ning “ionlar” modeli.

Kechikib to`ladigan elektron qobig`iga (3d-4d-5d-6d-4f-5f) to`lgan atomlardan tashkil topgan metallar o`tkazuvchan metallar nomi bilan ataladi. KEM ga 4f-elektron qobig`i kechikib to`ladigan lantandan (z=57) lyutetsiygacha (z=71) bo`lgan elementlar kiradi.

KEM da elektronlarning qobiqlar bo`yicha joylashishi, 4f-5d-va 6s-qobiqlarni hisobga olmaganda xuddi ksenondagidek bo`ladi. KEM atomlarida 4f-gacha bo`lgan ichki qobiqlar elektronlar bilan to`lgan bo`lib, ularning elektron konfiguratsiyasi:



tashqi elektron qobiqlar konfiguratsiyasi esa:



kabi aniqlanadi [1-4]. Bunda 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 esa kristalda umumlashgan, ya`ni elektr tok hosil qiladigan elektronlarga aylanadi. Bu metallar 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-qobig`idagi elektronlar kristall panjara tugunida o`troqlashgan bo`lib, tashqi  $5s^2 5p^6$ -to`lgan qobiqlar bilan 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 "ion" modelining 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 ( $\vec{L} * \vec{S}$ ) o'zaro ta'sir deb ataladigan ta'sir kuchli bo'lib, bunda 4f-elektronning S-spin va L-orbital momentlari Russel-Saunders tipida 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 bo'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 orqali aniqlanadi. Biz ko'ramizki §2 da KEM ionidagi eng past energiya sathlarining joylashish tartibi bu elementlarning magnit xossalari belgilaydi. Energetik sathlar haqidagi malumotlar esa fluorestent va infraqizil nuqtalarning optik yutilish spektridan tajribada aniqlanadi. Nazariy jihatdan energetik sathlar sxemasi Gaudsmit [5] va Landening intervallar qoidasi [6] yordamida aniqlanadi. Gaudsmit qoidasi quyidagicha:

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

Bu yerda:

$\Delta E$  -asosiy va uyg'ongan sathlar energiyalarining farqi,

e-elektronning zaryadi,

m-elektronning massasi,

h-Plank doimiysi,

n-va l-bosh orbital kvant sonlari,

L-4f-qobiqdagi elektronlarning to'la orbital momenti,

z-atom tartib nomeri,

$\sigma$  -ekranlash doimiysi.

Landening intervallar qoidasining mohiyati esa quyidagicha:

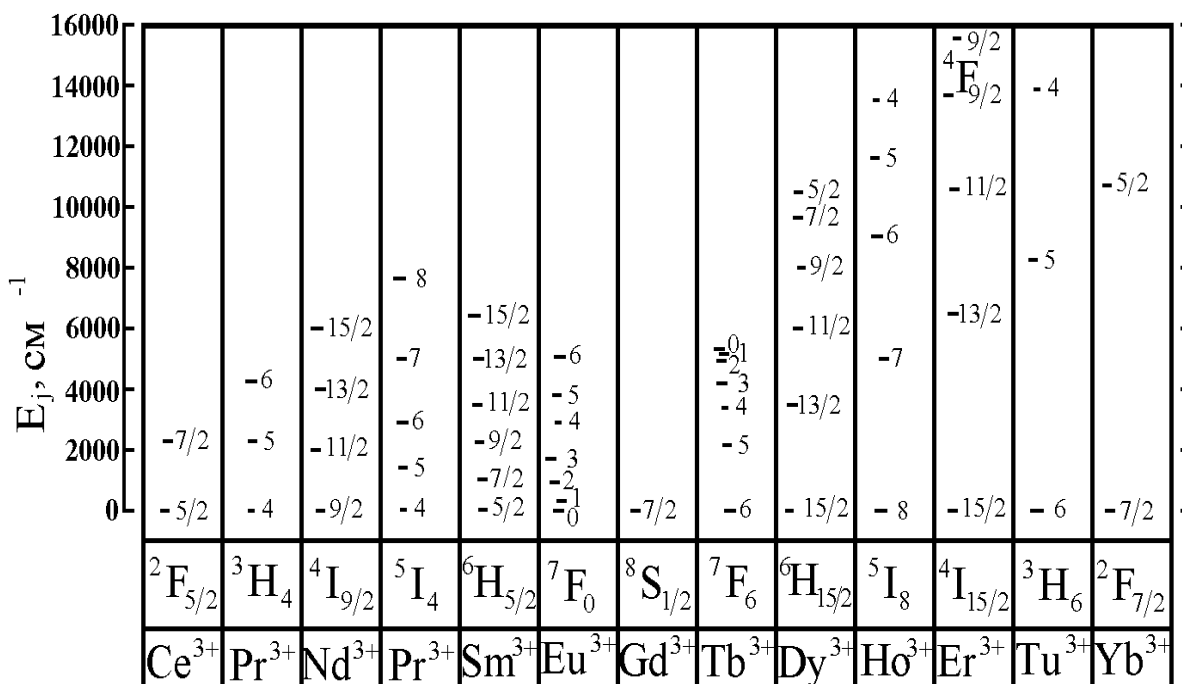
$$E_J - E_{J-1} = AE_J \quad (1.2)$$

Bu yerda:

$E_J - J$  ga mos energetik sath energiyasi,

A – spin orbital bog`lanish doimiysi.

(1.1) Ifodada  $35 \leq \sigma \leq 36$  deb qabul qilib va (1.2) ifoda bilan hisoblash natijalari (1.1.rasm) va spektrokopik tajribalarning natijalari shuni ko`rsatadiki, og`ir KEM uchun  $\Delta E \geq 1000 \text{ cm}^{-1}$ . 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 KEM uchun  $\Delta E \geq kT$  shart bajariladi deb aytishga imkon beradi.



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

## §1.2. Paramagnetizmning Van-Flek nazariyasi.

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

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

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

bu yerda:

$N_A$ -Avagadro soni

$M$ -berilgan KEM ning atom massasi

$k_B$ -Boltsman doimiysi

$T$ -Absolyut temperature

$\mu_B$  -Bor magnetoni

$g_J$  -Lande sektori

Lande sektori quyidagicha aniqlanadi:

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

(1.3) dagi ikkinchi qo`shiluvchi temperaturaga bog`liq bo`lgan Van-Flek paramagnetizmi. Undagi  $\alpha_J$  quyidagicha aniqlanadi:

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

Bu ifodadagi F quyidagicha aniqlanadi:

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

(1.3) ifodadagi birinchi qo`shiluvchi magnet qabul qiluvchanlikning temperaturaga bog`liq qismini  $\chi(T)$  aniqroq qilib aytganda KEM ning kristall panjarasi tugunlarida o`rtoqlashgan 4f-qobiq elektronlarining magnet 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 magnet maydonda  $\left( \frac{\mu_B H}{k_B T} \ll 1 \right)$  KEM ning erkin ionlari sistemasining magnet qabul qiluvchanligi, ionlar asosiy holatining to`la mexanik moment kvant soni J ga temperaturasi T bilan aniqlanar ekan.

$\chi_0 = \frac{N_A \alpha_J}{M} = 0$ . Bo`lganda (1.3) ifoda quyidagi klassik Xund formulasiga aylanadi:

$\chi$

$$= \frac{N_A}{M} g_J^2 J(J+1) \mu_B^2$$

$$\cdot \quad (1.7)$$

Agar

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

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

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

(1.8) ifodada belgilangan  $\mu_{eff}$  kattalik

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

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

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

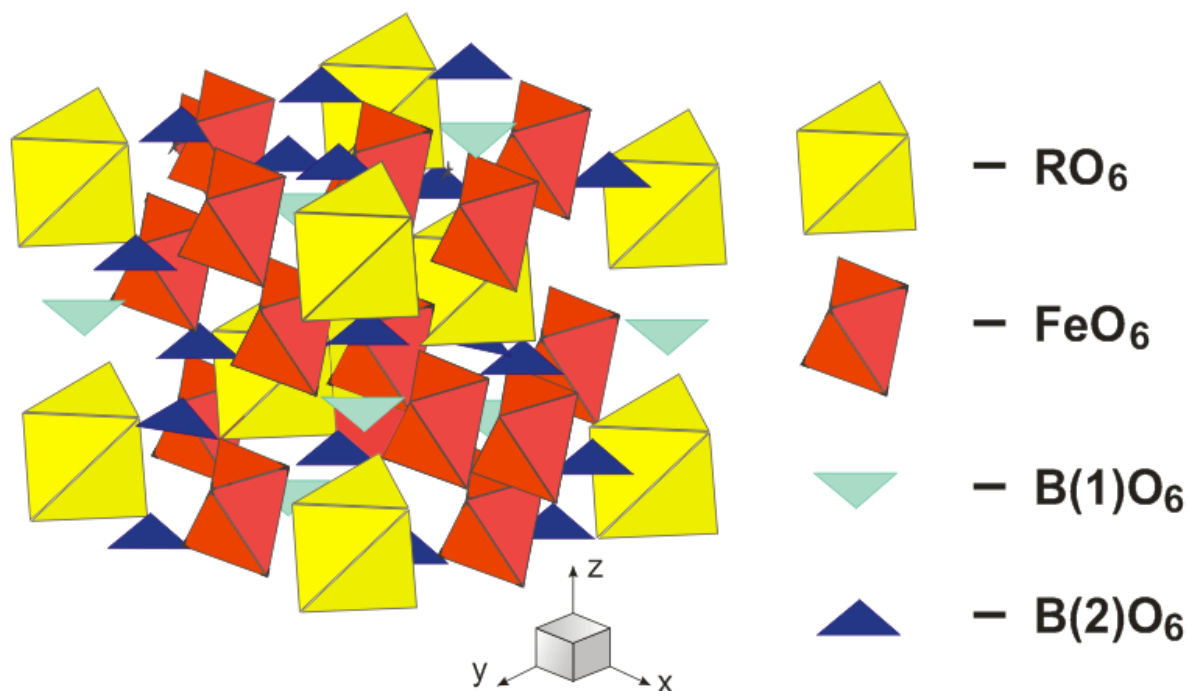
KEM ionlarning magnet o`zaro ta`siri, energiyaga proporsional bo`lgan, Kyurining paramagnet temperaturasi deb ataladigan,  $\theta_p$  kattalikni (1.3) ifodaning birinchi hadi maxrajida  $T \rightarrow (T - \theta_p)$  almashtira olish bilan hisobga olish mumkin [1,5]. Buni hisobga olganda (1.9) ifoda Kyuri-Veyss qonunining analitik ifodasiga aylanadi:

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

### **§1.3. Kamyob Yer metalli boratlarning $[RM_3(BO_3)_4]$ kristall tuzilishi.**

Umumiy  $RM_3(BO_3)_4$  ( $R=Y, La$  va hokazo kamyob Yer metalli;  $M=Al, Ga, Cr, Fe, Sc$ ) ximiyaviy formulaga ega bo`lgan boratlarning kristall tuzilishi xantit minerali  $[CaMg_3(CO_3)_4]$  kristall tuzilishi bilan bir xil bo`lib,  $R_{32}$  turdagi fazoviy gruppaga mansubligi aniqlangan[10]. Kamyob Yer metalli ferrobortlarning elementar yacheykasi (1.1 rasmda ko`rsatilgan)  $R_{32}$  ( $7D_{3/2}$ )

trigonal fazoviy gruppaga mansub bo`lib, u uchta ximiyaviy formula birligidan tashkil topgan:  $RO_6$  (R-prizma o`rtasida joylashgan),  $FeO_6$  ( $Fe^{3+}$  ioni oktaedr o`rtasida 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-rasm.  $RFe_3(BO_3)_4$  –boratning kristall yacheykasi.**

#### **§1.4. 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 [11-14] ishlarni ko`rsatish mumkin. [11] 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.

[12] 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  $\theta_p$  lar aniqlangan.

[13] ishda SamDu “Umumiy fizika va magnetizm” kafedrasida ilmiy tadqiqotchilari tomonidan  $RAI_3(BO_3)_4$  ( $R=Y, Nd, Gd$ ) kamyob Yer metalli alyuminoboratlarning temperaturaga bog`lanishini 20-850<sup>o</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`ida  $\chi^{-1}(T)$  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.

[14] 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  $\chi(T)$  bog`lanishlari  $T>T_N$  temperaturalarda, ya`ni  $T_N$  dan 350K gacha Kyuri-Veyss qonuniga bo`y sunar ekan.

### **§1.5. Tadqiqot muammosining qo`yilishi.**

Yuqorida keltirilgan adabiyotlar sharhidan shu narsa kelib chiqadiki KEM ning boratlar bilan hosil qiladigan birikmalarining magnit xossalari bugungacha asosan faqat past temperaturalarda o`rganilgan. 300K dan yuqori temperaturalarda KEM  $Fe_3[BO_3]_4$  ( $KEM=Nd, Y$ ) birikmalarining magnit xossalari o`rganilmagan.

KEM bilan boratlarning magnit xossalarini keng temperaturalar oralig`ida o`rganish muhim ahamiyatga egadir. Chunki shunday tajriba natijalari KEM larning magnit xossasi tabiatini, uning elektron tuzilishini (4f-elektronlarining kvant holatini) va KEM larning magnit xossasiga boratlarning ta`sirini, aksincha, KEM ning boritlarning magnit xossalariga ta`sirini o`rganishga imkon beradi.

Ushbu aytilganlardan kelib chiqib ushbu bitiruv ishida quyidagi muammolarni yechish **asosiy vazifa** qilib qo`yildi:

- 1) KEM  $Fe_3[BO_3]_4$  (KEM=Nd,Y) birikmalarni sintez qilish.
- 2) Bu birikmalarning magnit qabul qiluvchanligini 20-900<sup>0</sup>C temperaturalar oralig`ida o`lchash va tajriba natijalaridan foydalanib ularning paramagnit holatini xarakterlaydigan asosiy kattaliklarni hisoblash.
- 3) Tajriba va hisoblash natijalarini magnetizm ilminig zamonaviy nazariyalari bilan tushuntirish.

## **II-BOB. O`LCHASH USULI VA TEXNIKASI.**

### **NAMUNALARNI TAYYORLASH.**

#### **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]. 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 [16], magnit maydoni bir jinslimasligi faqat  $\chi$  o'qi bo'ylab yo'nalgan bo'lsa, unga kiritilgan namunaga shu yo'nalish bo'yicha quyidagi kuch ta'sir qiladi:

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

Bu yerda  $V$  – namuna hajmi,  $\vec{M}_y$  - y o'qi bo'yicha namunaning magnitlanish vektori,

$\left( \frac{\partial \vec{H}_y}{\partial x} \right)$  - magnit maydon kuchlanganligi gradiyentining x yo'nalishidagi tashkil etuvchisi. (2,1) dagi  $F_x$  - kuch elektromagnit o'qiga perpendikulyar deb hisoblanadi.

Ma'lumki,  $\vec{M}$  - 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  $\chi$  ishlatiladi:

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

Bunda  $\rho$  - modda zichligi.

$\chi$  o'qi bo'yicha ta'sir qiluvchi kuch (2.1) ni solishtirma magnit qabul qiluvchanlik orqali quyidagicha ifodalaymiz:

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

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,  $\chi$  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'zgartmas 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  $[H_y \left( \frac{\partial H_y}{\partial x} \right) = const \text{ bo'lgan}]$  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 ( $F_x = F$ ):

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

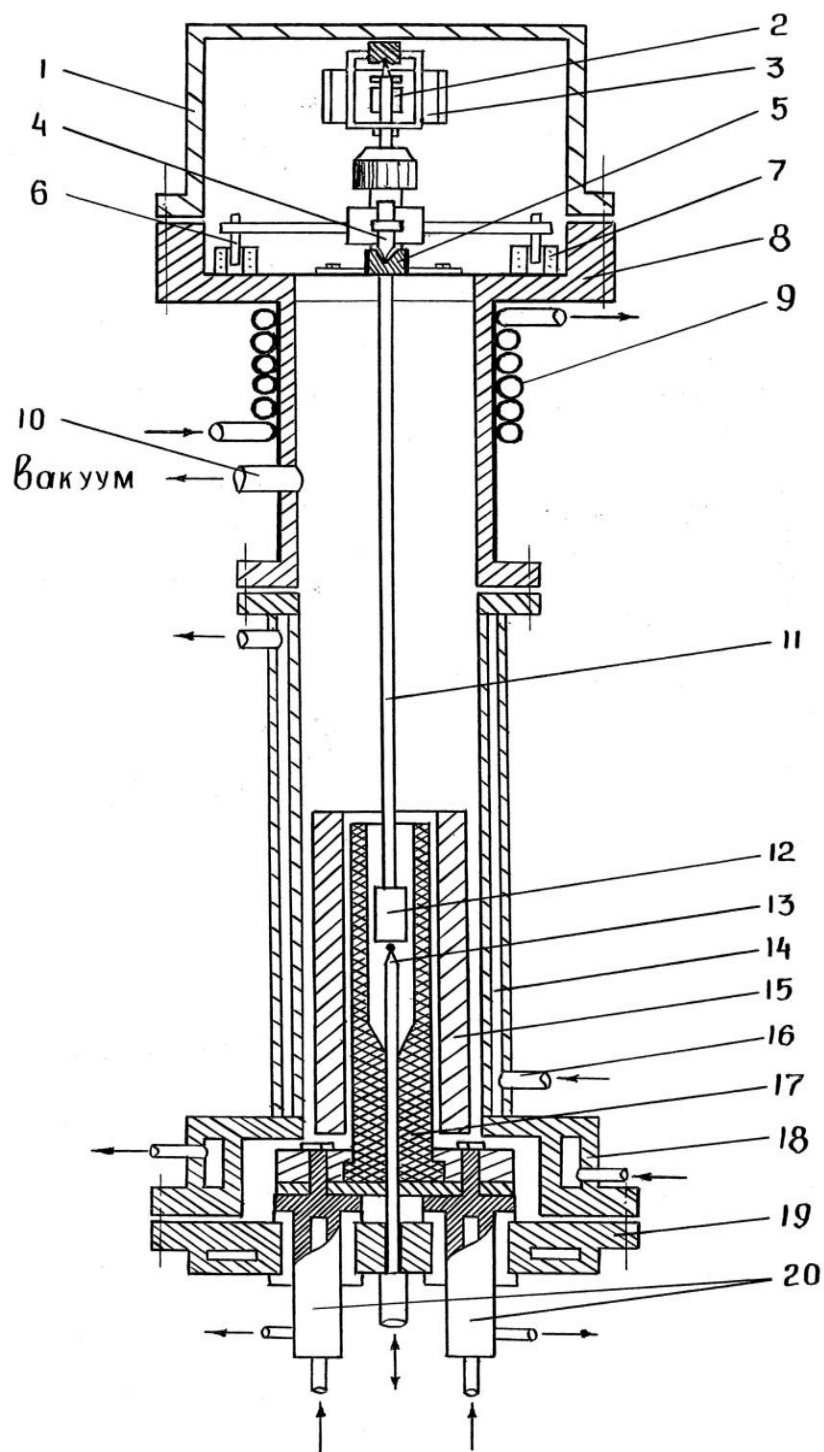
Bundagi  $\chi_{,F,m}$  va  $\chi_{et,F,m_{et}}$  mos ravishda na'muna va etalonga tegishli kattaliklar. Tajriba shart –sharoitlari qulay bajarilgan holda bu usul yuqori aniqlik bilan solishtirma magnit qabul qiluvchanlikni ( $\chi$ ) o'lchashga imkon beradi. Bundan shunday xulosa kelib chiqadiki, yuqori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

## **2.2. O'lchash qurilmasining tuzilishi va ishlash prinsipi.**

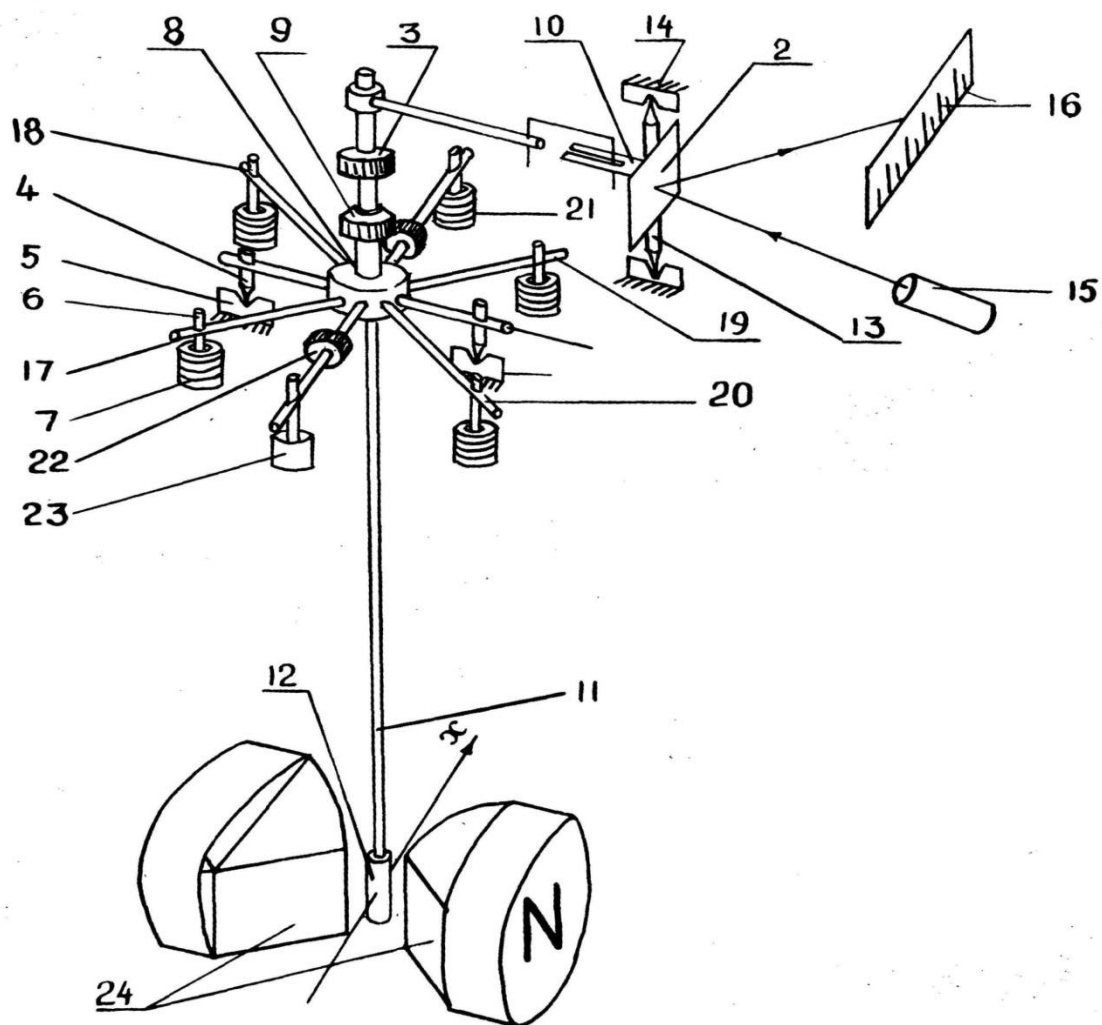
Tekshirilayotgan masalaning qo'yilishiga qarab xilma – xil qurilmalar yasalgan. Bu qurilmalar bir qatorda ishlarda [15-19] yoritilgan. Na'munalarning solishtirma magnit qabul qiluvchanligini o'lchashda [17-19] ishlarda bayoni keltirilgan qurilmadan foydalandik. Bu qurilma vertikal mayatnikli magnit tarozi, 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  $\lambda$  o'qi bo'ylab, 4-ignalar uchidan o'tadigan gorizontal o'q atrofida erkin tebrana oladi. Tarozi sezuvchanligi 3-yuk yordamida o'zgartirilishi mumkin. Tarozi osmasi diametri 2mm bo'lgan molibden simdan yasalgan. U 9-sanga yordamida 8-diskka mahkamlangan. 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 gorizontal o'rnatilgan sterjenga mahkamlangan molibden sim kirib turadi. Shu



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



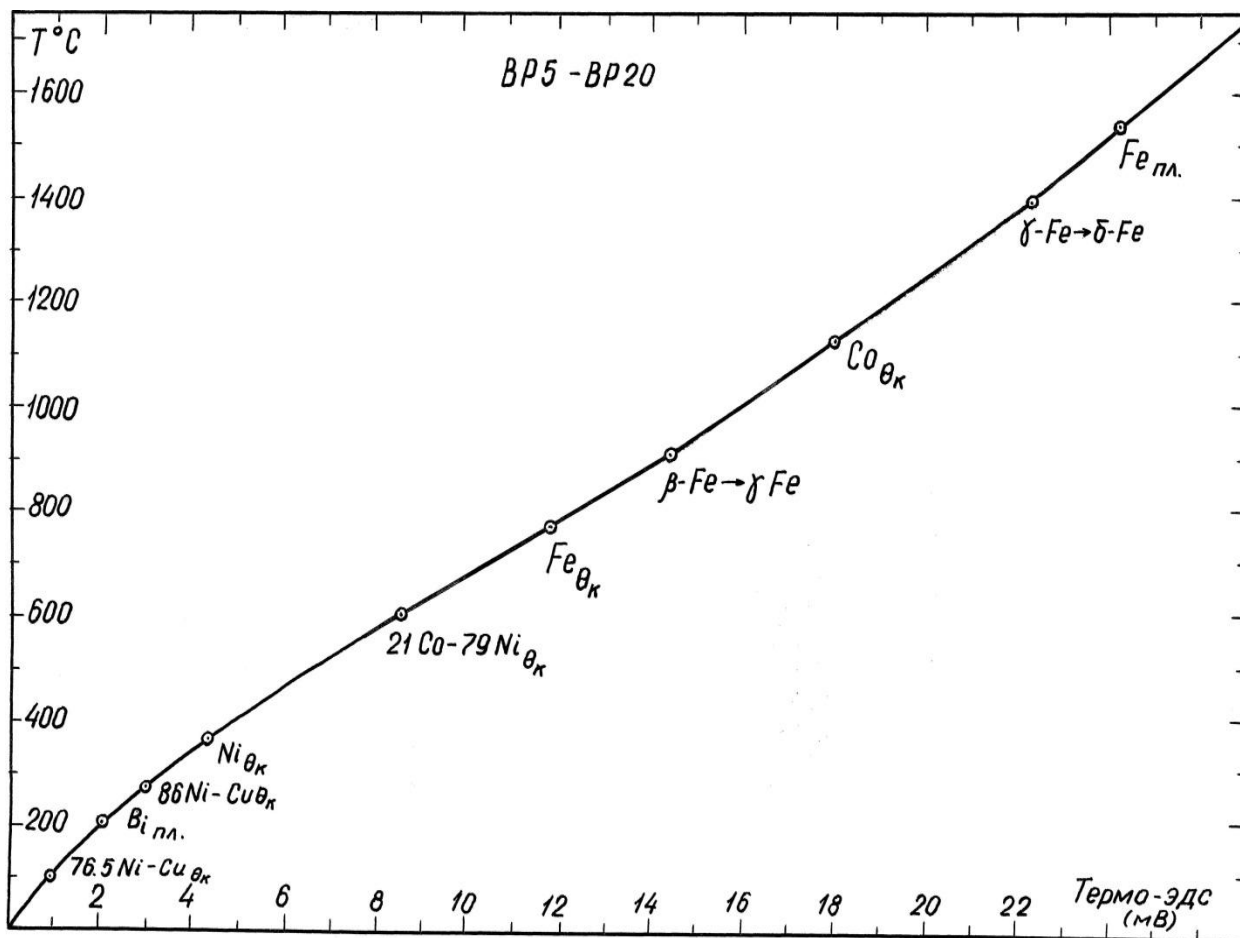
**2.2 – rasm. Yuqori temperaturalarda magnet qabulqiluvchanlikni o'lchovchi mayatniksimon magnet tarozi.**

simning uzunligi va 15-yoritgichdan 2-ko'zgugacha va ko'zgodan 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  $\chi$  o'q bo'ylab siljishi 120 marta kuchaygan holda aks etadi. Elektromagnit maydonining o'lchashlarga salbiy ta'sirini yo'qotish uchun tarozining hamma qismlari nomagnit materiallardan (molibden, mis, dyuralyumen, latun) yasalgan. Tarozni 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'zguna 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 “noI” holatdan siljiydi. 17 – 20 solenoidlarga tok berib, tokning kuchi o'zgartirilishi bilan (P33 – qarshiliklar magazini yordamida) osmani dastlabki holatga, yani shkaladagi shu'lani “noI” holatiga qaytaruvchi moment hosil qilinadi va shu'la dastlabki “noI” 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 (  $FeSO_4(NH_4)SO_4 \cdot 6H_2O$  ) ishlatildi. Uning T uy temperaturasidagi solishturma



2.3 – *rasm*. Volfram – reniy termoparaning darajalash chizig’i.

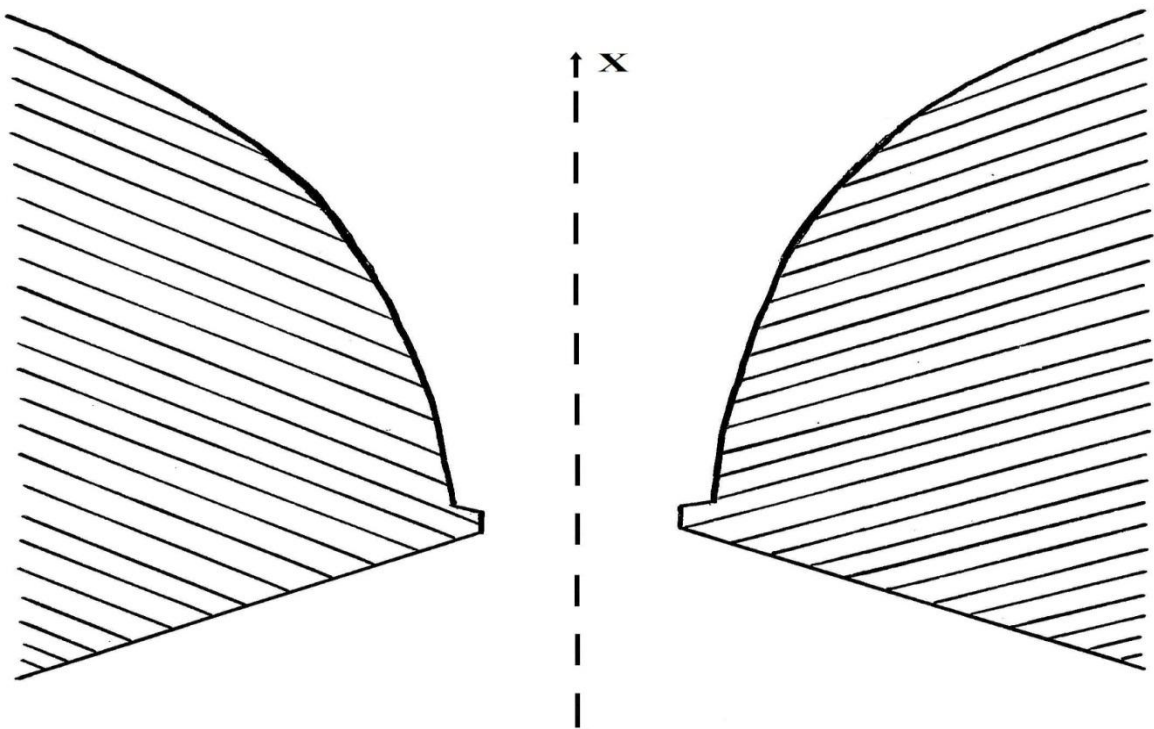
magnit qabul qiluvchanligining temperaturaga bog'liqligini quyidagicha :

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

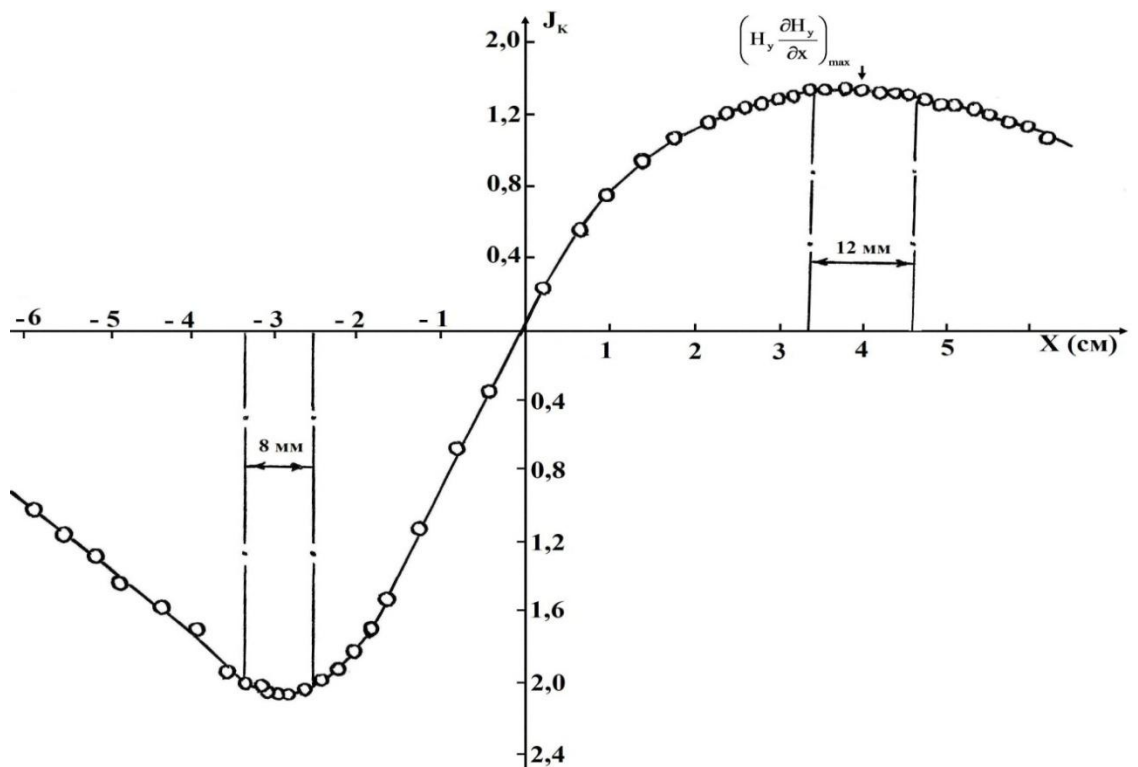
**Qizdirgich.** Namuna solishtirma magnit qabul qiluvchanligining temperaturaga bog'liqligini o'rganish uchun 2.1 – rasmdagi kamera ichida kesimi ko'rsatilgan trubkasimon grasitdan yasalgan qizdirgichdan foydalanildi.

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<sup>0</sup> 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<sup>0</sup> 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 III – 63 rusumli potensiometri vositasida amalga oshirildi. Tajriba sharoiti uchun termoparani darajalash temirning erish temperaturasi (1540<sup>0</sup>C) va polimorf o'tishlar temperaturalarini [ $\alpha - \gamma$ (910<sup>0</sup>C),  $\gamma - \beta$ (1392<sup>0</sup>C)]; Buning erish Ni temperaturasi (270<sup>0</sup> C); ba'zi qattiq eritmalarining Kyuri temperaturalarini [Cu 14 - Ni 86 at % (2,95<sup>0</sup> C), Cu 25,5 - Ni 74,5 % (95<sup>0</sup> C) va Co 21 – Ni 79 at % (595<sup>0</sup> C)] hamda Co, Fe va Ni larning Kyuri nuqtalari (Co – 1130<sup>0</sup> C, Fe – 768<sup>0</sup> C, Ni – 358.1<sup>0</sup> C) bo'yicha amalga oshirildi. Namuna temperaturasining termopara termo



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.

EYUK bilan, shu tartibda aniqlangan, bog'lanishi ( darajalash egri chizig'i ) 2.3 – rasmda ko'rsatigan.

**Elektromagnit.** Magnit maydoni hosil qilish uchun  $\Phi\text{Л}$  – 1 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 voltmetr 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  $\mathcal{X}$  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 tigeling elktromagnit qutblari orasidagi holati ( $\mathcal{X}$  koordinatasi) orasidagi bog'lanishi ko'rinishida 2.5 – rasmda keltirilgan.

**Vakuu kamerasi.** Magnit tarozi va isitgich suv bilan sovitiladigan vakuu 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 vakuu BH – 2 MГ rusumli forvakuu nasosi va vakuu agregat ( BA – 01 – 1 ) yordamida hosil qilinadi. Kamerada vakuu ( $10^{-4}$  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 differensiallashdan so'ng nisbiy xatoni topish uchun quyidagi ifodani topamiz:

$$4) \quad \frac{\Delta\chi}{\chi} = \left| \frac{\Delta m_{et}}{m_{et}} \right| + \left| \frac{\Delta m_{\chi}}{m_{\chi}} \right| + \left| \frac{\Delta\chi_{et}}{\chi_{et}} \right| + \left| \frac{\Delta U_1}{U_1} \right| + 2 \left| \frac{\Delta U}{U} \right|, \quad (2.7)$$

5)

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 ( ±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.

3. Konteynerning har safar elektromagnit qutblari orasida aynan  $H_y \left( \frac{\partial H_y}{\partial x} \right) = const$  bo'lgan sohasiga aniq tushmasligi ( $\pm 0,2 \text{ mm}$ );
4. Elektromagnit orqali bir xil tok berishdagi xatolik;
5. Namunalarning yuqori temperaturadagi bug'lanishi;
6. Namuna temperaturasini o'lchashdagi xatolik ( $\pm 0,5^{\circ} \text{C}$ ).

Bu sabablar bo'yicha xatoliklarni baholash shuni ko'rsatadiki, ularga mos ravishda quyidagi 0,1 % , 0,05 % , 0,3 % va 0,01 % . Shunday qilib, umumiy nisbiy xatolik 2,5 – 3 % dan oshmaydi.

### III. BOB. TAJRIBA NATIJALARI VA ULARNING MUHOKAMASI

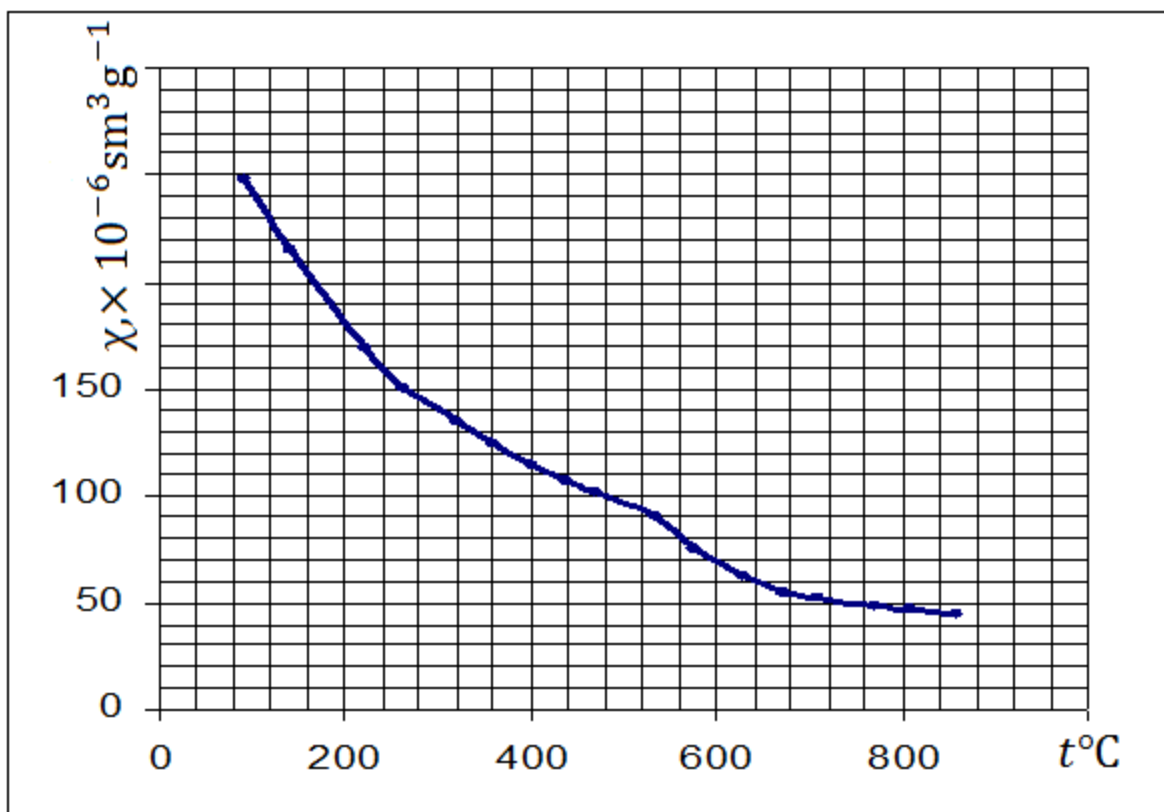
#### 3.1. Neodimli va ittriyli ferrobortlarning magnit qabul qiluvchanligini yuqori temperaturalarda o`rganish.

Tadqiqot obyektlari - neodimli va ittriyli ferrobortlar  $[\text{NFe}_3(\text{BO}_3)_4$  va  $\text{YFe}(\text{BO}_3)_4]$  M.V. Lomonosov nomidagi Moskva Davlat Universiteti "Kristallografiya va kristaloximiya" kafedrasining ilmiy laboratoriyasida polikristallik holatda sintez qilingan.

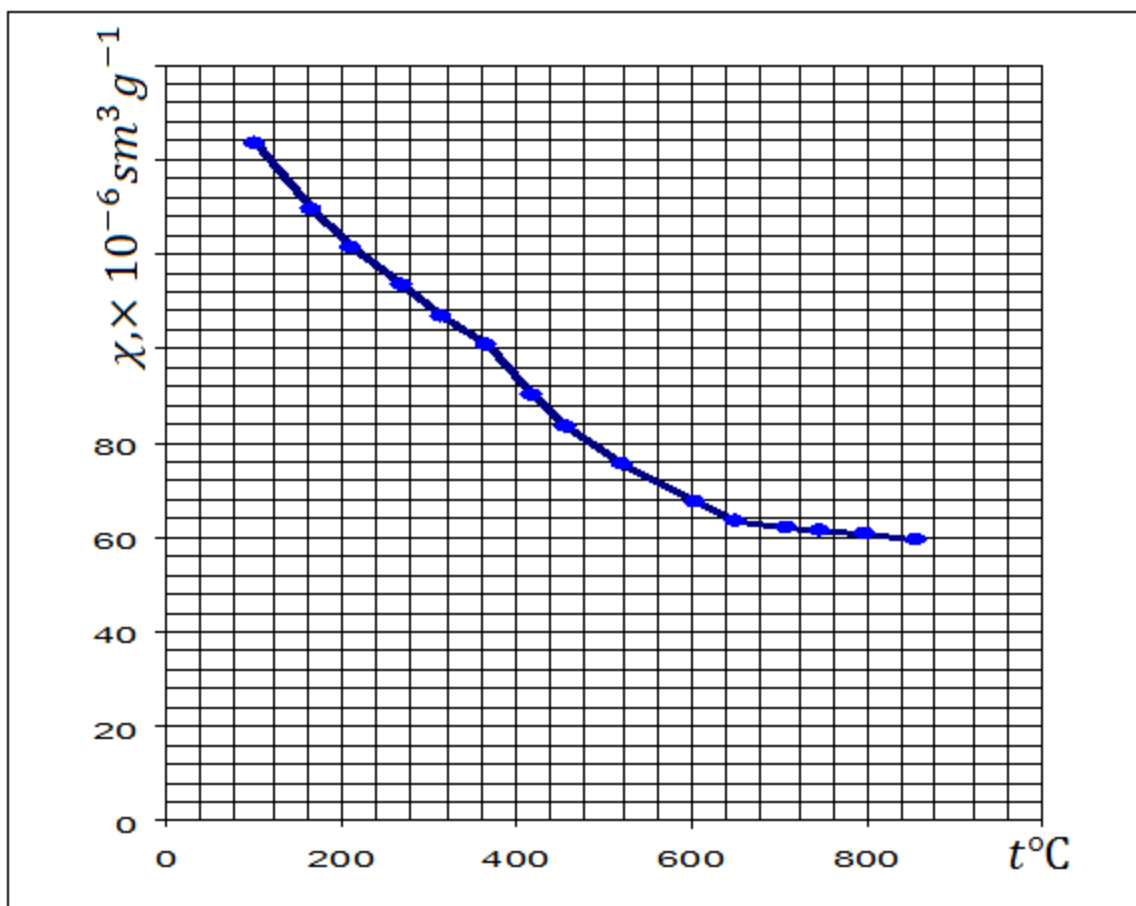
$\text{NdFe}_3(\text{BO}_3)_4$  va  $\text{YFe}(\text{BO}_3)_4$  boratlar magnit qabul qiluvchanligining temperaturaga bog`lanishi  $[\chi(T)]$  2-bobda bayon qilingan Faradey usuli bilan 100-850°C temperaturalar oralig`ida o`lchandi. Ularning tajribaviy  $\chi(T)$  bog`lanishlari mos ravishda 1-va 2-rasmlarda,  $\chi^{-1}(T)$  bog`lanishlari esa 3-va 4-rasmlarda keltirilgan.

1-va 2-rasmlarni tahlil qilish shuni ko`rsatadiki, o`rganilgan boratlarning magnit qabul qiluvchanligi temperatura ortishi bilan kamayadi. 3-va 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`gri chiziqlardan iboratdir. Bunday sinishlar  $\text{NdFe}_3(\text{BO}_3)_4$  boratning  $\chi^{-1}(T)$  bog`lanishida (3-rasm) 540°C va 670°C temperaturalarda,  $\text{YFe}(\text{BO}_3)_4$  boratning  $\chi^{-1}(T)$  bog`lanishida (4-rasm) esa, 380°C va 650°C temperaturalarda yuz beradi. Shuni alohida qayd etish joizki,  $\chi^{-1}(T)$  bog`lanishlarning qiyaligi ( $dx/dt$ ) har ikkala ferrobort uchun ham birinchi sinishdan so`ng keskin oshadi, ikkinchi sinishdan so`ng esa kamayadi.

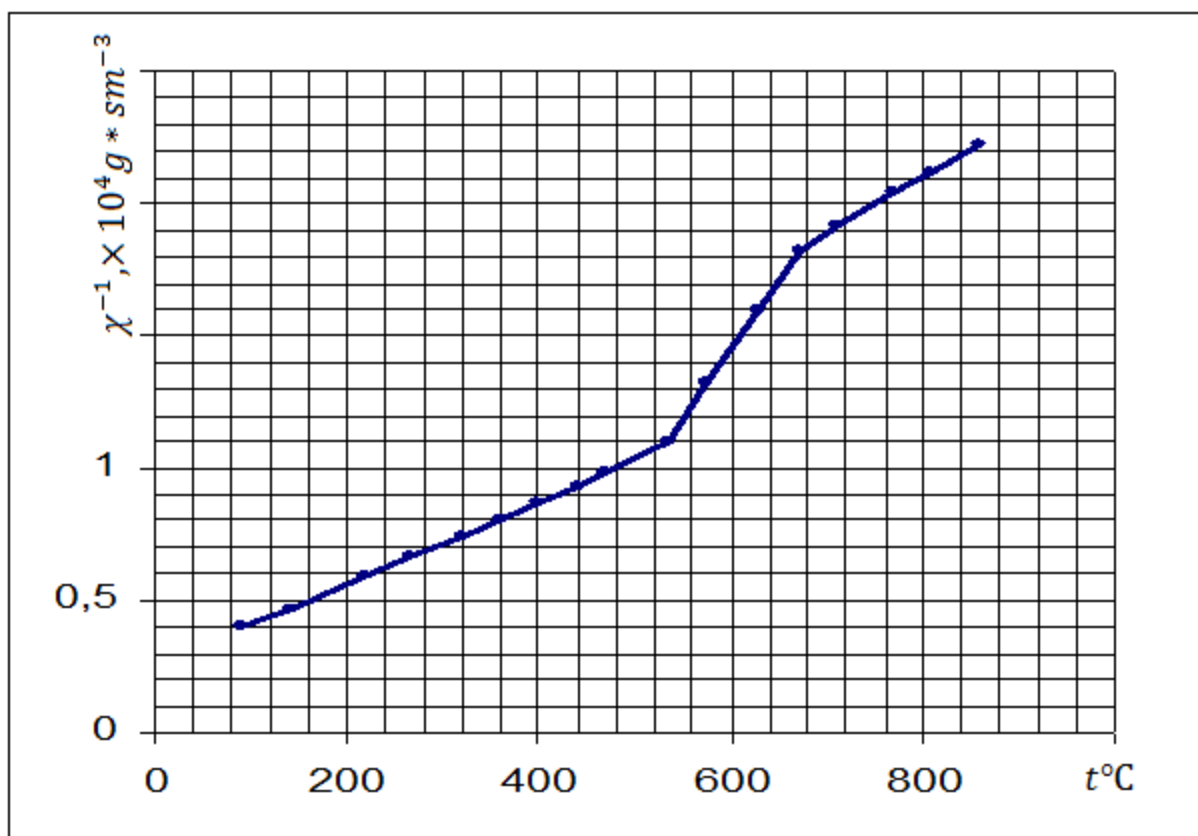
Shunday qilib, o`rganilgan ferrobortlarning  $\chi^{-1}(T)$  bog`lanishlari sinish temperaturalari orasida chiziqli tabiatga ega. Bu tajribaviy dalil ularning  $\chi(T)$  bog`lanishlari sinish temperaturalari orasida (1.12) ko`rinishdagi Kyuri-Veyss qonuniga bo`ysinishidan guvohlik beradi.



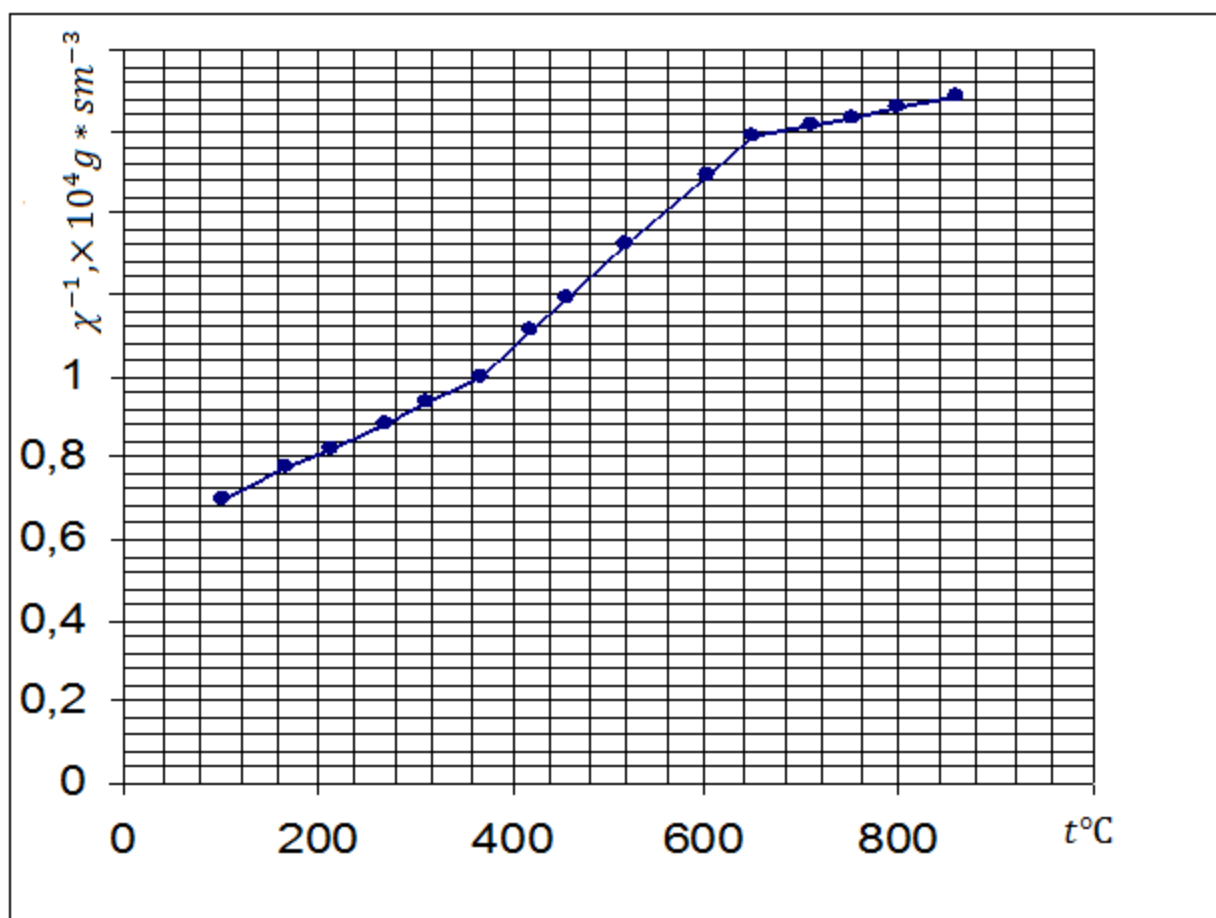
1-rasm.  $\text{NdFe}_3(\text{BO}_3)_4$  - boratning  $\chi(T)$  bog`lanishi.



2-rasm.  $\text{YFe}_3(\text{BO}_3)_4$  - boratning  $\chi(T)$  bog`lanishi.



3-rasm.  $\text{NdFe}_3(\text{BO}_3)_4$  -boratning  $\chi^{-1}(T)$  bog`lanishi.



4- rasm.  $\text{YFe}_3(\text{BO}_3)_4$ -boratning  $\chi^{-1}(T)$  bog`lanishi.

O`rganilgan boratlar  $\chi^{-1}(T)$  bog`lanishlarida kuzatilgan sinishlarni quyidagicha tushintirish mumkin: Ularning ximiyaviy formulasi tarkibiga kiruvchi Nd, Y va Fe magnit faol komponentalar bo`lib, ularning magnit xossalari 4f-va 5d-elektronlar bilan aniqlanadi. Nd va Y-da magnit fazoviy o`tishlar uy temperaturasidan past temperaturalarda, Fe-da esa, 770°C da yuz beradi.  $(BO_3)_4$ -radikal kuchsiz paramagnit xossaga ega. Demak tajribaviy  $\chi^{-1}(T)$  bog`lanishlarda kuzatilgan sinishlar magnit fazoviy o`tishlar bilan bog`liq emas. [10] ish muallifining fikricha,  $RFe_3(BO_3)_4$  (R=Nd,Tb,Dy) boratlarda magnit fazoviy o`tishlar uy temperaturasidan past temperaturalarda yuz beradi. Xullas,  $\chi^{-1}(T)$  bog`lanishlarda kuzatilgan sinishlarni faqat ularni kristall panjarasida yuz beradigan strukturaviy o`tishlar bilan tushintirish mumkin.

§1.3 dan ma`lumki, o`rganilgan boratlar kristall panjarasi elementar yacheykasining tuzilishi tabiiy xantit minerali  $[CaMg_3(CO_3)_4]$  kristall panjarasi elementar yacheykasining tuzilishi bilan bir xil (§1.3, 1-rasm). Bu yacheyka uchta formula birligidan tashkil topgan:  $RO_6$ ,  $FeO_6$  va  $BO_3$ . Temir ioni  $FeO_6$  da kislorodning oktoedrik qurshovida joylashgan bo`lib, oktoedrlar qirralari bilan o`zaro kuchsiz bog`langan holda borat kristallining  $c_3$  o`qi bo`ylab spiralsimon zanjir hosil qiladi. Temperatura ortishi bilan  $FeO_6$  yacheykaning parametri va demak borat kristall panjarasida strukturaviy fazoviy o`tish yuz beradi. Buning natijasida  $FeO_6$  yacheykasidagi temir ionlari orasidagi masofa oshadi. Shu sababga ko`ra Fe-O-Fe o`zaro ta`sir ham kamayadi va natijada  $\chi^{-1}(T)$  bog`lanishda sinish yuz beradi.

Shunday qilib o`rganilgan boratlarning tajribaviy  $\chi(T)$  bog`lanishlarini, §1.2 da bayon qilingan Van-Flek nazariyasining (1.3) ifodasida  $\frac{N_A}{M} \alpha_j = 0$  bo`lgan holda va  $T \rightarrow T - \theta_p$  almashtirish olinganda kelib chiqadigan (1.12) ifoda (Kyuri-Veyss qonuni) bilan nazariy jihatdan talqin qilish mumkin ekan.

### 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 foydalanib aniqlanadi. Bu quyidagicha amalga oshiriladi. Kyuri-Veyss qonuning (1.12) ko`rinishdagi ifodasiga eng kichik kvadratlar usuli (EKKU) qo`llaniladi. Shu maqsadda [21,22] ishlarda bayon qilingan tavsiyalardan foydalanib, (1.12) ifoda quyidagi ko`rinishda yozildi:

$$\chi^{-1} = \frac{T - \theta_p}{C} = \frac{T}{C} - \frac{\theta_p}{C}$$

Bu bog`lanishda  $y = \chi^{-1}$ ,  $x = T$ ,  $A = 1/C$ ,  $B = \frac{\theta_p}{C}$  belgilashlar kiritib, quyidagi chiziqli tenglamani olamiz:

$$Y = Ax + B \quad (3.1)$$

Bu tenglamaning A va B koeffisientlarini, EKKU ning normal tenglamalarini yechishdan kelib chiqadigan, quyidagi ifodalar yordamida hisoblanadi [21]:

$$A = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n y_i)^2}, \quad (3.2)$$

$$B = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i^2 \sum_{i=1}^n y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n x_i y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n y_i)^2} \quad (3.3)$$

Bu ifodalardagi n-y kattalikni  $x$  ga bog`liq ravishda o`lchashlar soni, A va B - koeffisientlarni (3.2) va (3.3) ifodalar bo`yicha EHM da hisoblash dasturini tuzish quyidagi algoritm tuzildi:

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

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

3. A va B koeffisientlarni (3.2) va (3.3) ifodalar bo`yicha hisoblash;

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

5. Hisoblangan kattaliklarni EHM xotirasidan chiqarish.

Shu algoritm yordamida asosida hisoblash dasturini tuzishdan oldin (3.2) va (3.3) ifodalardga quyidagicha belgilashlar kiritamiz:

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

(3.2) va (3.3) ifodalarni shu operator bo`yicha yozamiz:

$$A = \frac{n * xy - xx * yy}{n * x2 - (xx)^2} \quad (3.4)$$

$$B = \frac{x2 * yy - xx * xy}{n * x2 - (xx)^2} \quad (3.5)$$

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

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

$$\mu_f = 2.83\sqrt{CM}\mu_B \quad (3.6)$$

bundagi M-boratning molyar massasi [masalan,  $\text{NdFe}_3(\text{BO}_3)_4$  uchun  $M=M_{\text{Nd}}+3M_{\text{Fe}}+4M_{\text{B}}+12M_{\text{O}}$ ]

3.1. jadval.

### Boratlarning asosiy magnet xarakteristikalari

Borat	Temperatura oralig`i, K	$\theta_p$ , K	$C \cdot 10^3$ , $\text{Sm}^3 \cdot \text{K} \cdot \text{g}^{-1}$	$\mu_f$ , $\mu_B$
$\text{NdFe}_3(\text{BO}_3)_4$	100-540	108	63.6	5.9
	540-670	633	78.75	3.2
	670-860	-447	50	5.2
$\text{YFe}_3(\text{BO}_3)_4$	100-360	203	88.2	6.59
	360-650	403	45.5	4.74
	650-850	-2250	200	9.93

3.1-jadvalni tahlil qilish shuni ko`rsatadiki, o`rganilgan boratlarning asosiy magnet xarakteristikalari, ya`ni  $\theta_p$ , C va  $\mu_f$  - larning qiymatlari uchun umumiy bir qonuniyat kuzatilmaydi. Har buir borat uchun  $\chi^{-1}(T)$  bog`lanishning ikkinchi sinishidan keyingi holat (3-faza) uchun  $\theta_p$  ning qiymati manfiy. Bu shu holatda antiferromagnet tartiblanish mavjudligidan dalolat beradi.  $\chi^{-1}(T)$  ning ikkita sinishi oralig`idagi holatning (2-faza) magnet momenti  $\mu_f$  qolgan holatlar (1,3-fazalar) magnet momentidan kichik.

### **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 bajarilgan ishlarni umumlashtirib, quyidagicha xulosalash mumkin:

1.  $RFe_3(BO_3)_4$  ( $R=Nd, Y$ ) - ferrobortlar magnit qabul qiluvchanligining temperaturaga bogʻlanishi [ $\chi(T)$ ] birinchi marta 100-850°C temperaturalar oraligʻida oʻlchandi.

2. Oʻrganilgan boratlarning tajribaviy  $\chi^{-1}(T)$  bogʻlanishlarida ikki marta sinish kuzatildi. Bu sinishlar, boratlarning kristall panjarasida strukturaviy fazaviy oʻtishlarning yuz berishi orqali tushintirildi. Har bir fazaning  $\chi^{-1}(T)$  bogʻlanishi Kyuri-Veyss qonuniga boʻy sinishi aniqlandi.

3. Boratlarning  $\chi(T)$  bogʻlanishlari paramagnetizmning Van-Flek nazariyasi asosida tushintirilgan.

4. Oʻrganilgan boratlarning tajribaviy  $\chi^{-1}(T)$  bogʻlanishlariga EKKU ni qoʻllab, EHM yordamida ularning asosiy magnit xarakteristikalarini ( $\theta_p$ , C,  $\mu_f$ ) aniqlandi.

## FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Вонсовский С.В. «Магнетизм». – М.: Наука, 1971 – 1032с,
2. Тейлор К. , Дарби М. «Физика редкоземельных соединений».-М.: Мир, 1974 – 374с.
3. Белов К.П. , Велянчикова М. «Редкоземельные ферромагнетики и антиферромагнетики». –М.: Наука, 1985 – 320с.
4. Тейлор К. Интерметаллических соединений редкоземельных металлов. – М.: Мир, 1974 – 374с.
5. Аражис С. , Колвин Р. Парамагнитная восприимчивость редкоземельных металлов при повышенных температурах. В.Сб.: «Новые исследования редкоземельных металлов». – М.: Мир, 1984. с.100-135.
6. Кондон Е. , Шортли Г. «Теория атомных спектров». – М.: И.Л. 1949, с. 189-191.
7. Van Flack J.H. The theory of electric and magnetic suscertibilities. – Oxford: Univ. pess, 1932 – 384p.
8. Сельвуд П.И. Магнетохимия. – М.: И.Л. 1958 – 460с.
9. Вертман А.А. Смарин А.Н. «Измерение магнитной восприимчивости жидких металлов». // Завдск. лаб. 1958, с. 309-310.
10. Д.В. Волков. «Магнитные и магнитоупругие свойства редкоземельных ферроборатов  $RFe_3(Bo_3)_4$  (R=Nd,Tb,DY). Канд. Дис. Москва, 2007.
11. D. Neody, Jen H., Saha R.K., Wanklyn B.M. // Prok. 33 rd solid state Phys Sump. Bombay, 1991, voll. 33, 1-4, p.271.

12. Puche R., Jerez A., Pico C. Synthesis, characterization and magnetic properties of some  $\text{Ln Bo}_3$  ( $\text{Ln}=\text{Pr}, \text{Sm}, \text{Eu}, \text{Yb}$ ) compounds.// J Less. – Common. Metals. – 1951, vol.167, No.2, p.387-393.
13. Кувандиков О.К., Шакаров Х.О., Шодиев З.М. Аномальная изменения магнитных свойств соединений иттрия с  $[\text{Nd}, \text{Gd}]\text{Al}_3(\text{Bo}_3)_4$  при высоких температурах.// Uzbek. Journal Pleys. 2002, vol.4, No.4, p.295-296.
14. 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.
15. Чечерников В.И. Магнитные измерение.// М.: Изд. МГУ, 1969.-388с.
16. Кувондиков О.К., Шакаров Х.О. Методы измерение некоторых физических величин в общем курсе физики.// Руководство для НИРС и УИРС. – Самарканд. Изд. СамГУ, 1984. – 45с.
17. Шакаров Х.О. Магнитная восприимчивость интерметаллических соединений лантаноидов с индием при высоких температурах.// Кандидатская диссертация, Самарканд, 1983.
18. Кувондиков О.К., Шакаров Х.О., Иргасиев К.М. Высокотемпературная установка для измерение магнитная восприимчивость 3d и 4f – металлов в твердом и жидком состояниях.// В.Сб.: Оптикоакустические, электрические, магнитные исследование конденсированных сред. – Самарканд, Изд. СамГУ, 1982. – с.122-130.
19. Kuvondikov O.K., Shakarov X.O., Shodiyev Z.M., Rustamov A. Analisis of the magnetic properties of  $(\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x)_{0.93}\text{K}_x\text{MnO}_3$  manganities at high temperatures.// Journal of communications technology and elektronik. 2007, vol. 52, No.9. – p. 1058-1061.
20. Шакаров Х.О., Усмонов Б.Н. Применение микро ЭВМ в НИРС по физике. Методические рекомендации. Самарканд, Изд. СамГПИ, 1959. – 37с.
21. Shakarov X.O. “Fizikadan laboratoriya mashg`ulotlarida kompyuterdan foydalanish.// Uzluksiz ta`lim tizimida yangi pedagogikva informatsion

texnologiyalar” mavzusidagi ilmiy – amaliy konferensiya materiallari, 2 – qism, Samarqand, 2003, 13 – 14 may, 109-111b.