

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

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

Xo'jamberdiyev Fazli Turg'unovich

**“ TOG' MINERALLARINI (MAGNETIT VA XROMIT) TERMOMAGNIT
VA TERMIK TAHLIL QILISH”**

**“5140200 – 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 2017 yil _____ iyundagi majlisida muhokama qilindi va
himoyaga tavsiya etildi (_____-bayonnoma).

Kafedra mudiri:_____ dots. Rajabov R. M.

Bitiruv malakaviy ish YaDAK ning 2017 yil “____” _____dagi
majlisida himoya qilindi va _____ball bilan baholandi (_____-bayonnoma).

YaDAK raisi:_____

A'zolari:_____

Samarqand - 2017

MUNDARIJA

KIRISH.....	3
I BOB. MAVZUGA OID ADABIYOTLAR SHARHI	6
1.1.Temir guruhi metallarining (TGM) elektron tuzilishi.....	6
1.2.Tog' mineral-lari-magnetit hamda xromitning kristall va magnit strukturasi....	8
1.3.Paramagnetizmning Van-flek nazariyasi.....	13
1.4.Toza temirning va temir guruhi metallari asosidagi mineral-larning magnit xossalari.....	18
1.5.Tadqiqot muammosining qo'yilishi.....	21
I-bobga doir xulosalar.....	22
II BOB. TADQIQOT USILI VA QURILMASI.....	23
2.1. Magnit qabul qiluvchanlikni o'lchash usullari.....	23
2.2.Yuqori temperaturalarda magnit qabul qiluvchanlikni o'lchash qurilmasining tuzilishi va ish prinsipi.....	25
2.3. Magnit qabul qiluvchanlikni o'lchash xatoliklari.....	33
2.4.Mineral-larni termografik tahlil qilish usuli va qurilmasi.....	35
II-bobga doir xulosalar.....	40
III BOB. TADQIQOT NATIJALARI VA ULARNING MUHOKAMASI....	41
3.1.Tog' mineral-lari magnetit va xromitning magnit qabul qiluvchanligini yuqori temperaturalarda o'lchash natijalari va ularning muhokamasi.....	41
3.2.Tajriba natijalaridan foydalanib magnetit va xromitning asosiy magnit xarakteristikalarini aniqlash.....	43
3.3. Magnetit va xromitni differensial termik tahlil qilish natijalari.....	46
III-bobga doir xulosalar.....	50
XULOSALAR.....	51
FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI.....	52

KIRISH

Mavzuning dolzarbligi. Ma'lumki, tog' jinslari turli xil minerallardan tashkil topgan. Shu minerallarning magnit xossalari haqida keng tajribaviy malumotlarga ega bo'lish tog' jinslari magnetizmi muammolaridan biridir. Bunday malumotlar temir sul'fidli rudalarni razvedka qilish jarayoni uchun ham zarurdir. Ikkinchi tomondan, minerallarning fizik xossalarini, shu jumladan magnit xossalarini o'rganishga bo'lgan qiziqish ularning elektron tuzilishining o'ziga xosligi va amalda mineral xom oshyo sifatida keng qo'llanilishi bilan ham bevosita bog'liqdir. Bu minerallar tarkibida 3d- qobiq elektronlari kechikib to'ladigan temir guruhi metallari (TGM) ning mavjud bo'lishi, ularning kinetik, optik, magnit va boshqa fizikaviy va ximiyaviy xossalarining o'ziga xosligiga sabab bo'ladi. Tog' minerallarning magnit xossalarini o'rganish ilmiy jihatdan ham ahamiyatlidir. Chunki, bu minerallarda amal qiluvchi almashinuv o'zaro ta'sir tabiati xali to'la aniqlanmagan. Ularning o'ziga xos magnit xossalarini 3d-energetik sathlar bilan bog'lab tushuntiradigan yangi nazariy modellar yaratilishi zarur. Ilmiy va amaliy ahamiyatga ega bo'lgan bu masalani xal etish uchun ularning elektron kristall va magnit tuzilishi haqida to'la malumotga ega bo'lish kerak bo'ladi. Hozirgi kunda mavjud bo'lgan bunday malumotlar yetarli emas. Kechikib to'ladigan 3d-elektron qobiqli minerallarning magnit xossalari (qabul qiluvchanligi) shu qobiqlarning elektronlar bilan to'lish darajasini va bu elektronlarning kristall panjara tugunlarida o'troqlashish darajasini bevosita o'ziga aks ettiradi. Bundan tashqari bu minerallar magnit qabul qiluvchanligining temperaturaga bog'lanishi ularning kristall panjarasida yuz beradigan strukturaviy allotropik va magnit fazaviy o'tishlarni xam sezadigan fizik xossalaridan biri hisoblanadi. Bunday fazaviy o'tishlar, odatda, ekzotermik (issiqlik ajraladigan) va endotermik (issiqlik yutiladigan) deb ataladigan issiqlik effektlari bilan bog'liq holda yuz beradi. Bunday fazaviy o'tishlar temperaturalarini (issiqlik effektlarini) differensial termik tahlil (DTT) qilish usuli yordamida mineralarni tadqiq qilish bilan tajribada aniqlash mumkin. Bugungi kunda minerallarning yuqori temperaturadagi magnit xossalari va ularning DTTi

haqidagi tajribaviy malumotlar yetarli emas. Shulardan kelib chiqib ushbu malakaviy bituruv ishida quyidagi asosiy maqsad qo'yildi.

Tadqiqotning maqsadi: Tog' jinslari tarkibiga kiradigan mineral-lar-magnetit va xromitning magnit qabul qiluvchanligining temperaturaga bog'lanishini [$\chi(T)$] keng yuqori temperaturalarda oralig'ida (20-850°C) o'lchash, ularni DTT qilish va magnit o'lchash natijalaridan foydalanib ularning asosiy magnit xarakteristikalarini aniqlash.

Tadqiqot vazifalari: 1. Mineral-lar- magnetit va xromitning magnit qabul qiluvchanligini 20-850°C temperaturalar oralig'ida (paramagnit holatda) o'lchash, [magneto termik tahlil (MTT) qilish] va o'lchash natijalarni tahlil qilish;

2. Tekshiriladigan mineral-larning tajribaviy $\chi^{-1}(T)$ bog'lanishlaridan foydalanib ularning asosiy magnit xarakteristikalar-paramagnit Kyuri temperaturasi (θ_p), Kyuri-Veyss doimiysi (C) va ximiyaviy formula birligiga to'g'ri keluvchi magnit momenti (μ_f) ni aniqlash;

3. O'rganiladigan mineral-larni DTT qilish va shu DTTning egri chizig'idan foydalanib, ularda yuz beradigan fazaviy o'tishlarning temperaturalarini aniqlash, hamda DTT va MTT o'rtasidagi bog'lanishni aniqlash;

4. Olingan natijalarini chuqur tahlil qilib tegishli xulosalar chiqarish.

Tadqiqot obyekti: Tog' mineral-lari-magnetit va xromit.

Tadqiqot pretmeti: Tog' mineral-lari-magnetit va xromitning $\chi(T)$ bog'lanishi, bu bog'lanishdan aniqlanadigan asosiy magnit xarakteristikalar (θ_p , C, μ_f) va temperatura o'zgarishi bilan yuz beradigan fazaviy o'tishlar.

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

Ilmiy yangilik: 1. Tog' mineralлари - magnetit va xromitning $\chi(T)$ bog'lanishlari ularning paramagnit holatida, ya'ni yuqori temperaturalar oralig'ida (20-850°C) birinchi marta o'lchandi va DTT qilindi.

2. Mineralлар-magnetit va xromitning tajribaviy $\chi^{-1}(T)$ bog'lanish grafiklaridan foydalanib ularning asosiy magnit xarakteristikalari (θ_p, C, μ_{form}) aniqlandi.

Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati: Ushbu bitiruv malakaviy ishida olingan natijalar tog' jinslarida uchraydigan minerallarning paramagnit holati, ularda amal qiladigan almashinuv o'zaro ta'sir nazariyalarini yuqori temperaturalarda takomillashtirishda va mineralarning DTT natijalari haqidagi malumotlarni boyitishda va yangi magnit materiallari yaratishda qo'llaniladi.

Himoya qilinadi: 1. Tog' mineralлари-magnetit va xromitning $\chi(T)$ bog'lanishlarini yuqori temperaturalar oralig'ida (20-850°C) o'lchash va ularni DTT qilish natijalari;

2. Namunalarning tajribaviy $\chi^{-1}(T)$ bog'lanishlaridan foydalanib, ularning asosiy magnit xarakteristikalarini (θ_p, C, μ_{form}) aniqlash natijalari.

Bitiruv ishining tuzilishi va hajmi. Malakaviy bitiruv ishi kirish, uchta bob, xulosalar va 38 ta nomdagi foydalanilgan adabiyotlar ro'yxatidan tashkil topgan bo'lib, 55 - bet lotin alifbosida bosma shaklda bayon qilingan. Uning mazmuni 15 ta rasm va 7 ta jadval yordamida ko'rgazmali bayon qilingan.

I BOB. MAVZUGA OID ADABIYOTLAR SHARHI

Ushbu bobda bitiruv malakaviy ishi mavzusiga tegishli bo'lgan ilmiy adabiyotlarga qisqacha sharh beriladi.

1.1. Temir guruhi metallarining (TGM) 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.

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

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

Temir guruhi atomlaridan kristall panjara hosil bo'lish jarayonida ularning 4s – qobiqlardagi barcha elektronlar va qisman 3d – qobiq elektronlari kristall panjara tugunlari orasidadagi umumlashgan “erkin” elektronlarga aylanadi va ion holatiga o'tgan atomlar panjara tugunlarida joylashadi. Bu metallarning qattiq holatida tugunlarda o'troqlashgan 3d – qobiqning radiusi (r_{3d}) kristall panjara davrining yarmiga ($a/2$) yaqindir ($r_{3d} \approx \frac{a}{2}$). Shu sababga ko'ra, 3d – elektronlar kristall panjara tugunlarida „yalong'och” holatda, ya'ni tashqi ta'sirlardan xususan, kristall panjara elektr maydonidan ekranlashmagan (himoyalanmagan) holatda bo'ladilar. Kristall maydoni ta'sirida 3d-qobiqlardagi elektronlarining orbital mexanik xarakati momenti ma'lum bir yo'nalish bo'ylab (orbital magnit momenti ham) qotib (“muzlab”) qoladi. Shu sababli TGMning magnit xossasini faqat 3d- elektronlarning o'z o'qi atrofidagi aylanma xarakati (spini) xosil qiladi. Demak, 3d-elektronlar uchun to'la orbital mexanik moment kvant soni $L=0$ bo'ladi. Xundning uchinchi qoidasiga asosan $J=S$ tenglik bajariladi. TGM metallaridan Cr, Mn, Fe, Co va Ni

kuchli magnit xossaga (magnit tartiblangan holatga) ega bo'lgan metallar bo'lib hisoblanadi.

Temir guruhi metallari atomlari va ionlarining elektron tuzilishi haqida asosiy ma'lumotlar 1.1 – jadvalda keltirilgan.

1.1–jadval

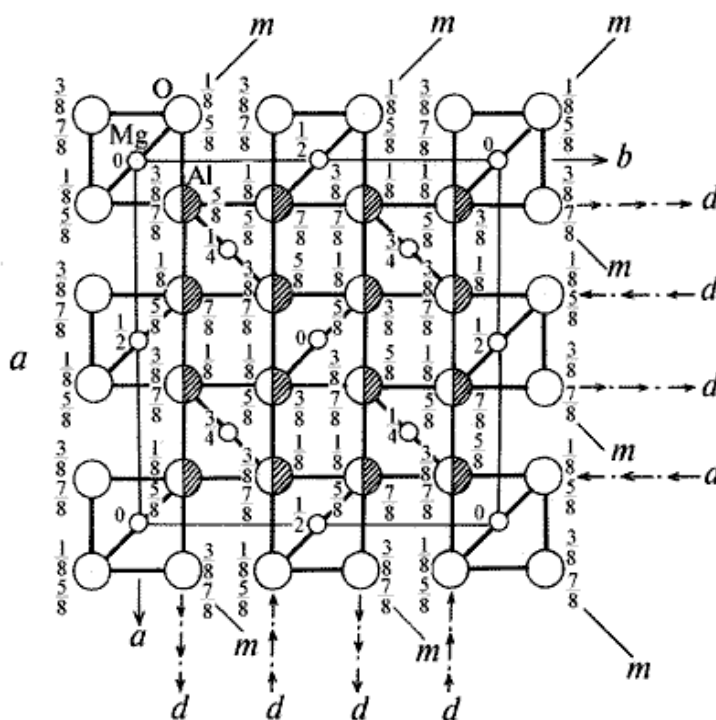
TGM atomlari va ionlarining elektron tuzilishi.

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

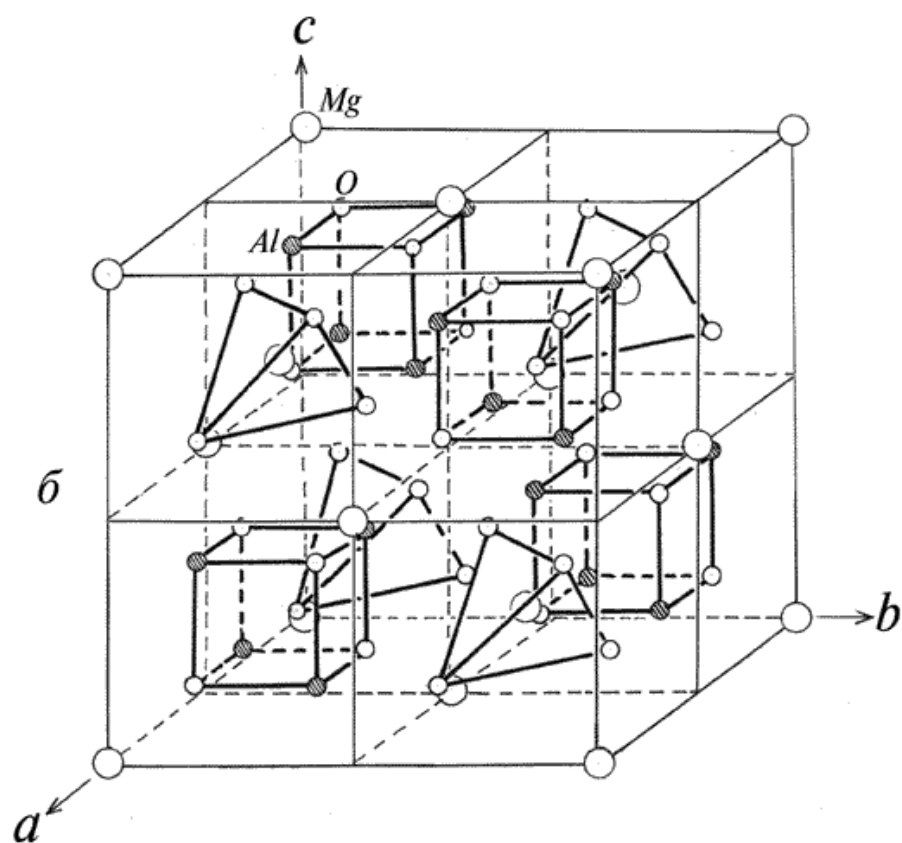
1.2. Tog' mineralлари-magnetit hamda xromitning kristall va magnet strukturasi

Kristall struktura. Magnetit va xromit mineralлари shpinellar deb ataladigan mineralar guruhiga kiradi. Shpinellar ROR_2O_3 – umumiy kimyoviy formulaga ega[2]. Bu formuladagi R o'rnida metallarning ikki valentli kationlari(Mg^{2+} , Mn^{2+} , Fe^{2+} , Ni^{2+} , Zn^{2+}), R_2 o'rnida esa metallarning uch valentli kationlari(Al^{3+} , Fe^{3+} , Cr^{3+} , Mn^{3+}) joylashishlari mumkin. Sanalgan elementlarning shpinellarning umumiy kimyoviy formulasida ishtirok etishiga bog'liq holda izonorf kristall tuzilishga ega bo'lgan ko'plab tabiiy mineralar uchraydi. Shu jumladan shpinell $MgAl_2O_4$ (yoki $MgOAl_2O_3$) (magniy alyuminat), magnetit $FeOFe_2O_3$, xromit esa $FeOCr_2O_3$ kabi kimyoviy formulalarga ega bo'ladi. Shpinell, magnetit va xromit, mos ravishda quyidagi tarkiblarga ega: 28.2% MgO 71.8% Al_2O_3 , 31.03% FeO, 68.97% Fe_2O_3 (72.4% Fe) va 32.09% FeO, 67.91% Cr_2O_3 .

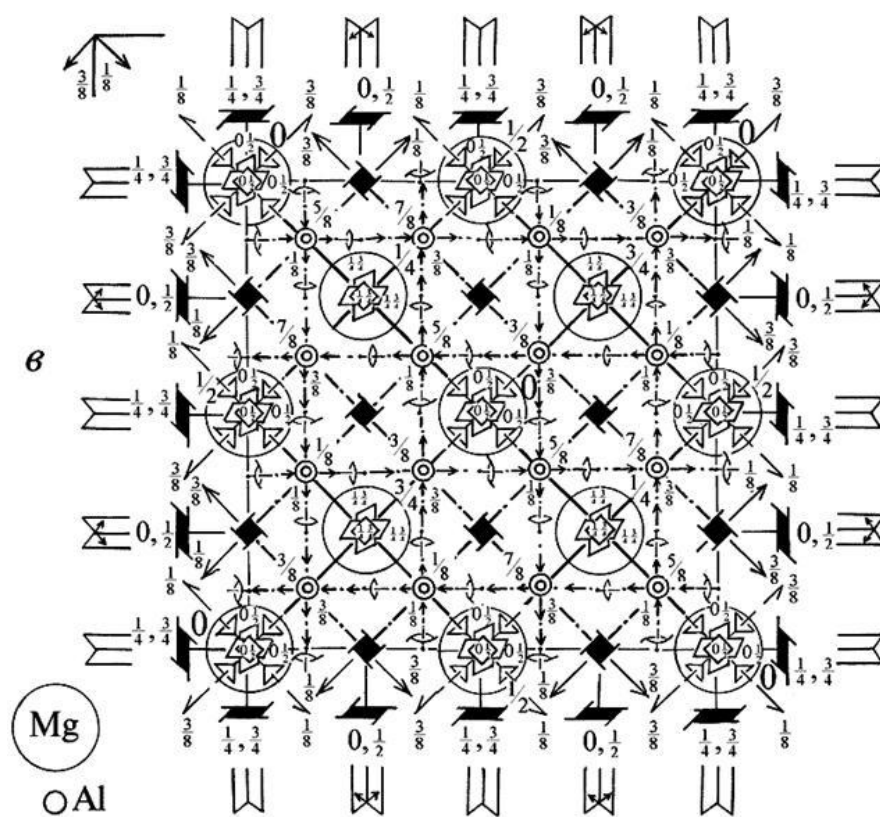
Shpinellar guruhiga kiruvchi mineralar murakkab kristall strukturaga (panjaraga) ega. Ularning kristall strukturasi kubik singoniyaga ega bo'lib 1.1-rasmda keltirilgan[2]. Kislorod anionlari(O_2^-) yoqlariga markazlashgan kubik



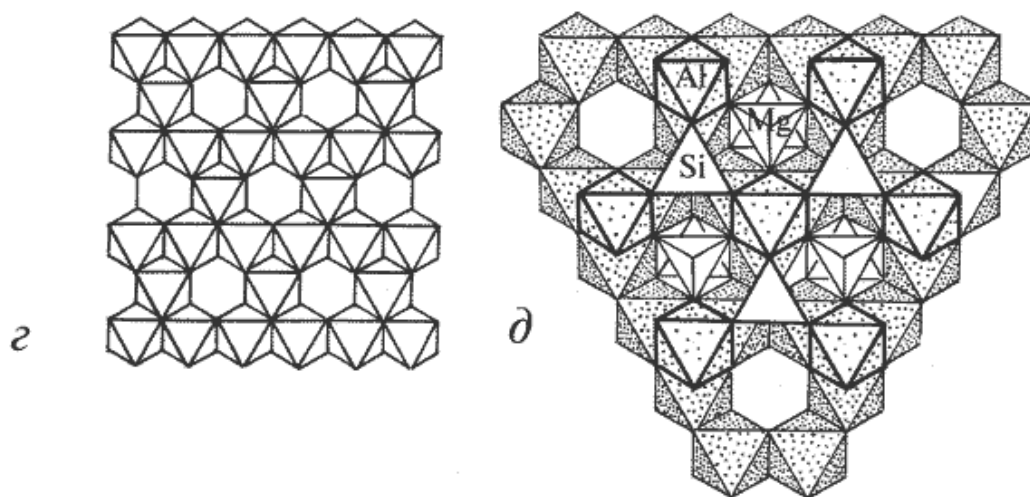
a-rasm



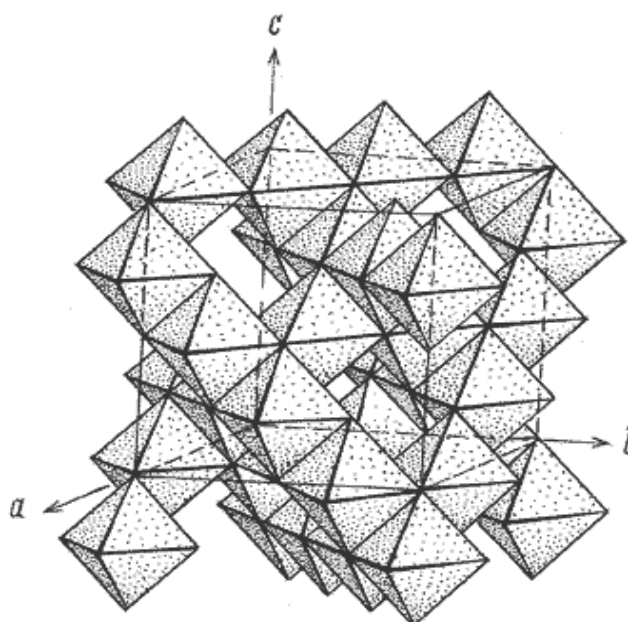
b-rasm



v-rasm



g,d-rasm



e-rasm

1.1-rasm. MgAl_2O_4 shpinelning (yoki magnetit- FeFe_2O_4 va xromit- FeCr_2O_4 ning) kristall strukturasi: a-kristall panjaraning xy-tekislikdagi proeksiyasi (Mg-tetroedrlari ajratib ko'rsatilgan); b-kristall strukturaning umumiy ko'rinishi; v-Fd3m – fazoviy guruh chizmasi (Mg, Al va O atomlari ko'rsatilgan); g-shpinellning oktaedrik qatlami; d-strukturaning {111} tekislikga proeksiyasi (shpinel va antishpinel qatlamlarining birlashgan ko'rinishi); e- shpinel turdagi strukturada Al oktaedrlaridan xosil qilingan ideal tuzilma.

panjarani hosil qilib uning bo'shliqlarida metall kationlari joylashadi. Kristall panjaraning yacheykasi 64 ta teroedrik bo'shliqlar(A-tugunlar) va 32 ta oktaedrik bo'shliqlar(B-tugunlar)dan tashkil topgan. Shu A-tugunlardan 8 tasini va B-tugunlardan 16 tasini metall kationlar egallaydilar. Bunda kationlar shunday joylashadilarki, ular bilan to'lgan va qirralari bilan o'zaro bog'langan oktaedrlar qatori band bo'lgan tetraedrlar bilan o'zaro bog'lanib kubning bitta dioganali bo'ylab cho'zilgan holda zanjir hosil qiladi. Natijada bitta oktaedrlar qatlami hosil bo'ladi(1e-rasm). Tetraedrlar bu qatlamni qo'shni oktaedrlar bilan bog'laydilar. Bu oktaedrlar kubning boshqa dioganali bo'ylab joylashadi. Shunday to'rtta qatlam elementar yacheykani hosil qiladi. Kislorodning har bir atomi ikkita oktaedr va bitta tetraedr uchun umumiy xisoblanadi.

Yuqorida aytilganidek, shpinellar tarkibidagi metall kationlari ikki xil bo'ladi: A^{2+} va B^{3+} . Shpinellar ham ikki xil bo'ladi: normal va antishpinellar. Normal shpinellarda A^{2+} kationlar A-tugunlarda (tetraedr bo'shliqlarida), B^{3+} kationlar esa B-tugunlarda (oktaedr bo'shliqlarida) joylashadilar. Antishpinellarda 8 ta B^{3+} ion A-tugunlarda(tetraedr bo'shliqlarda), 8 ta A^{2+} va 8 ta B^{3+} ionlar B-tugunlarda (oktaedr bo'shliqlarda) tartibsiz joylashadilar. Magnetit ($FeOFe_2O_3$ yoki $Fe^{2+}OFe_2^{3+}O_3$) antishpinel hisoblanadi.

Shpinel, magnetit va xromitning panjara davrlari 1.2-jadvalda keltirilgan.

1.2-jadval

Shpinel, magnetit va xromitning kristall tuzilishi haqida ma'lumot: $Fd3m$, $Z=8$.

Mineral	Kimyoviy formulasi	Panjara davri a , Å
Shpinel	$MgAl_2O_4$	8.09
Magnetit	$FeFe_2O_4$	8.39
Xromit	$FeCr_2O_4$	8.37

Magnit struktura. Mineral magnetit – $FeOFe_2O_3$ tabiiy ferrimagnetik hisoblanadi[3]. Uning kimyoviy formulasi birligiga bitta Fe^{2+} kation va ikkita Fe^{3+}

kation to'g'ri keladi. Temirning Fe^{2+} ionlari boshqa metallarning ($M=\text{Mg}, \text{Ni}, \text{Co}, \text{Mn}$ va boshqalar) ikki valentli ionlari bilan o'rin almashishlari mumkin. Shunday ferritlar sinfi $M^{2+}\text{OFe}_2\text{O}_3$ umumiy formulaga ega bo'ladi. Yuqorida aytilganidek, nunday ferritlarning kristall panjarasi ichma-ich joylashtirilgan ikkita panjaradan tashkil topadi: tetloedrik-A oktaedrik-B. Magnetitning B panjarasi tugunlarida temirning Fe^{2+} ionlari (8 ta) bir xil jolashadi. Fe^{3+} ionlari A va B panjara tugunlarida teng sonda joylashadi (8 tadan). Eng muhimi, A va B panjara tugunlaridagi (tetloedrik va oktaedrik bo'shliqlardagi) Fe^{3+} ionlarining magnit momentlari o'zaro qarama-qarshi (antiparallel) yo'nalgan bo'ladi. Natijada B panjara tugunlaridagi Fe^{2+} ionlarining magnit momentlari o'zaro parallel joylashgan bo'ladi va magnetitning kuchli magnit xossasini hosil qiladi.

Magnetit to'yinishgacha manitlanganda Fe^{3+} ($3d^5$) ionning to'la magnit momenti $5\mu_B$ ga, Fe^{2+} ($3d^6$) ionning to'la magnit momenti esa $4\mu_B$ ga teng bo'ladi. A va B panjaralardagi Fe^{3+} ionlarining to'la magnit momentlari o'zaro kompensatsiyalanadi. Natijada A va B panjaralarning to'la magnit momenti ya'ni $\text{Fe}^{3+}(\text{Fe}^{3+}\text{Fe}^{2+})\text{O}_4^-$ formulaga to'g'ri keladigan magnit moment quyidagicha aniqlanadi: $\mu = -5\mu_B + 5\mu_B + 4\mu_B = 4\mu_B$. Tajribada $\mu_{\text{tajr}} = 4.2 \mu_B$ qiymat olingan. Shunday qilib, magnetit o'zaro kompensatsiyalanmagan antiferromagnetik – ferrimagnetik hisoblanadi. Uning Neeyel temperaturasi 575°C ga teng.

Xromit (FeOCr_2O_3 yoki $\text{Fe}^{2+}\text{OCr}_2^{3+}\text{O}_3$) normal shpinel hisoblanib, uning A-tugunlarida(tetloedr bo'shliqlarda) Fe^{2+} ionlari, B-tugunlarida(oktaedr bo'shliqlarda) esa Cr^{3+} ionlari joylashadi. U ferrimagnetik xisoblanadi. Uning Neeyel temperaturasi 90°C ga teng. Uning tetloedrik A – panjarasi bo'shliqlarida joylashgan Fe^{2+} ($3d^6$) ionning to'la magnit momenti $4\mu_B$ ga, oktaedrik B – panjarasi bo'shliqlarida joylashgan Cr^{3+} ($3d^3$) ionning to'la magnit momenti esa teng. A va B panjara bo'shliqlarida joylashgan Fe^{2+} va Cr^{3+} ionlarining magnit momentlari ferrimagnit tartiblanadi, ya'ni o'zaro antiparallel joylashadilar. Natijada quyidagicha aniqlanadigan to'la magnit moment xosil bo'ladi: $\mu = 4\mu_B - 3\mu_B$. Shu tufayli xromit kuchsiz ferrimagnetik xisoblanadi.

1.3.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 [1,4,5] foydalanib, shunday erkin ionlar sistemasidagi paramagnit qabul qiluvchanlikning temperaturaga bog'liqligini hisoblash mumkin.

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

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

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

Lande faktori quyidagicha aniqlanadi:

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

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

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

Bu ifodadagi F quyidagicha aniqlanadi:

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

(1.3) ifodadagi birinchi qo'shiluvchi magnit qabul qiluvchanlikning temperaturaga bog'liq qismini $\chi(T)$ aniqroq qilib aytganda KYeM ning kristall panjarasi tugunlarida o'rtoqlashgan 4f-qobiq elektronlarining magnit qabul qiluvchanligini, ikkinchi qo'shiluvchi $\frac{N_A}{M} \alpha_J = \chi_0$ temperaturaga bog'liq bo'lmagan

qismini ifodalaydi. Demak (1.3) ifodadan ko`rinadiki  $\Delta E \gg k_B T$  shart bajarilganda yuqori temperatura va kuchsiz magnit maydonda  $\left(\frac{\mu_B H}{k_B T} \ll 1\right)$  KYeM ning erkin ionlari sistemasining magnit qabul qiluvchanligi, ionlar asosiy holatining to`la mexanik moment kvant soni J ga temperaturasi T bilan aniqlanar ekan. $\chi_0 = \frac{N_A \alpha_J}{M} = 0$ bo`lganda (1.3) ifoda quyidagi klassik Xund formulasiga aylanadi:

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

Agar

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

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

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

(1.8) ifodada belgilangan μ_{eff} kattalik

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

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

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

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

[1,6]. 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 olmasligi mumkin emasligini hisobga olsak (1.3) dan Kyuri-Veyss qonunining umumlashgan ifodasini olamiz:

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

Temir guruhi metallari atomlari(ionlari)ning 3d-qobiq elektronlarining uyg'ongan va asosiy energetik sathlar energiyalarining farqi ($\Delta E \ll k_B T$) (T-absolyut temperatura) bo'lgani uchun Van – Flek nazariyasidan bu elementlar magnit qabul qiluvchanligining temperaturaga bog'lanishini hisoblash uchun quyidagi ifodani olish mumkin [5]:

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

bu ifodada ham quyidagicha belgilash kiritamiz:

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

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

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

Shuni alohida qayd etish kerakki, (1.16) ifoda bo'yicha nazariy hisoblangan μ_{ef} ning qiymati, TGM bitta atomiga to'g'ri keladigan magnit momentning tajribaviy qiymatidan ancha katta bo'lib chiqadi. Buning sababi quyidagicha: temir guruhi elementlarining kristall holatida panjara tugunidagi 3d elektronlar, shuningdek ularning orbital magnit momenti, qo'shni tugunlardagi ionlarning kuchli

elektr maydoni ta'siridan yaxshi himoya qilinmagan. Shu ta'sir natijada ionlar magnit momentlarining orbital tashkil etuvchisi, kristallda aniq bir yo'nalish olib, qotib („muzlab“) qoladi. Orbital momentning kristall maydoni bilan o'zaro ta'sir energiyasi ion ichidagi spin – orbital bog'lanish energiyasidan ancha katta bo'ladi. Shu tufayli magnit momentning (1.16) ifodadagi orbital tashkil etuvchisini hisobga olmaydigan darajada kichik deb qarash mumkin ($L \approx 0$). U holda (1.16) ifodani quyidagicha yozish mumkin:

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

Agar multipletlik - $2S+1$, yoki 3d qobiqdagi juftlashmagan elektronlar soni - N

aniq bo'lsa, μ_{ef} ning qiymatini (1.17) dan kelib chiqadigan quyidagi ifoda yordamida ham topish mumkin ($S = \frac{N}{2}$):

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

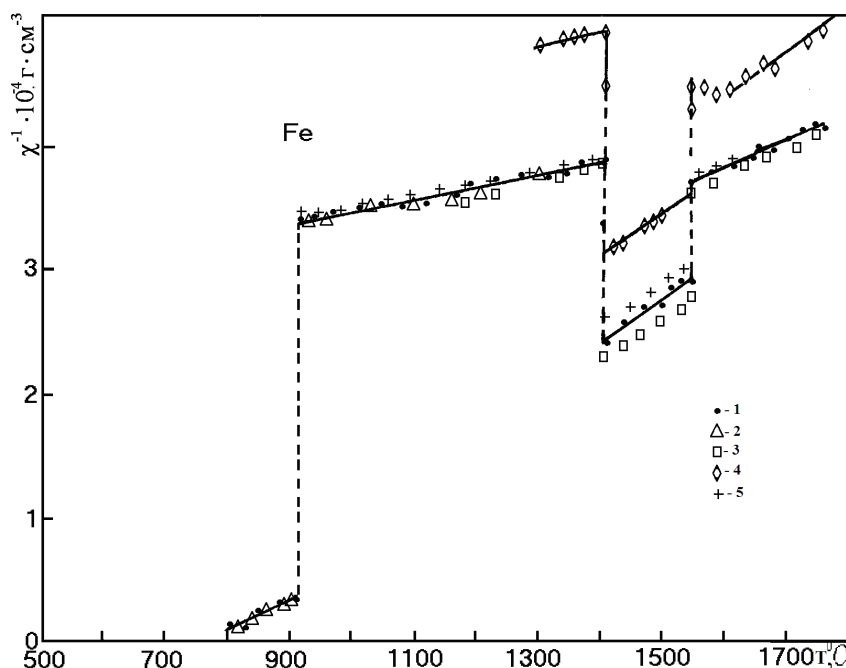
TGM bitta atomiga to'g'ri keladigan magnit moment-effektiv magnit momentning tajribaviy qiymatini ham (1.15) dan olinadigan (1.11) ifodada foydalanib topiladi. Shuni alohida qayd etish lozimki, TGM ionlari uchun (1.17) yoki (1.18) ifodalar bo'yicha hisoblash natijalar tajriba natijalari bilan yaxshi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

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

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

1.4. Toza temirning va temir guruhi metallari asosidagi mineralarning magnit xossalari

Toza temir magnit qabul qiluvchanligining temperaturaga bog'lanishi [$\chi(T)$], uning paramagnet holatida, yetarli darajada o'rganilgan[7-13]. Uning $\chi^{-1}(T)$ bog'lanishi 1.2-rasmda keltirilgan. Bu rasmdagi bog'lanishning murakkab tabiatga



1.2-rasm. Toza temirning $\chi^{-1}(T)$ -bog'lanishi.

(1-[13] ishning, 2-5-[11,7,8,12] ishlarning natijalari)

ega ekanligi ko'rinib turibdi: temir temperaturasi oshishi bilan, mos ravishda, 910 $^{\circ}\text{C}$ va 1395 $^{\circ}\text{C}$ temperaturalarda yuz beradigan α (HMK) $\rightarrow$ δ (YoMK), δ (YoMK) $\rightarrow$ γ (HMK) polimorf fazaviy o'tishlarda va 1539 $^{\circ}\text{C}$ temperaturada yuz beradigan erish jarayonida $\chi^{-1}(T)$ -bog'lanish sakrab o'zgaradi. 910 $^{\circ}\text{C}$ temperaturalardagi fazaviy o'tishda χ^{-1} sakrab oshadi, 1395 $^{\circ}\text{C}$ temperaturalardagi erish jarayonida esa sakrab kamayadi. $\chi^{-1}(T)$ -bog'lanish fazaviy o'tish temperaturalari orasida chiziqli tabiatga ega. Bu tajribaviy dalil temirning $\chi(T)$ -bog'lanishi (1.12) ko'rinishdagi Kyuri-Veyss qonuniga bo'sinishidan dalolat beradi. Temirning

$\chi^{-1}(T)$ -bog'lanishidan foydalanib topilgan asosiy magnit xarakteristikalar haqidagi malumot 1.5-jadvalda keltirilgan.

Toza temirning asosiy magnit xarakteristikalari

Temirning fazalari	Qattiq holat			Suyuq holat		
	$\theta_p,$ K	$C \cdot 10^2,$ $\text{sm}^3 \cdot \text{K} \cdot \text{g}^{-1}$	$\mu_{\text{eff}},$ μ_B	$\theta_p,$ K	$C \cdot 10^2,$ $\text{sm}^3 \cdot \text{K} \cdot \text{g}^{-1}$	$\mu_{\text{eff}},$ μ_B
α -Fe (OIQ)	1053	2,81	3,54	1550-1620 ^0C		
δ -Fe (GIQ)	1100	2,5	3,34	420	5,6	5,0
γ -Fe (OIQ)	-2027	9,3	6,47	1650-1750 ^0C		
				-240	9,0	6,0

Tarkibida $Fe^{2+}, Fe^{3+}, Cr^{3+}$ ionlari bo'lgan minerallar, aniqroq aytganda shpinellar guruhiga kiradigan minerallarning magnit xossalari ularning paramagnit holatiga to'g'ri keladigan yuqori temperaturalarda bugungi kunda kam o'rganilgan. Paramagnit xossalarini quyidagi tabiiy minerallar namoyon qiladi[14,15]: olivin, peroksinlar, granatlar biotitlar, kordisrit va boshqalar.

Tog' jinslari minerallarining magnit qabul qiluvchanligi minerallarning turi, miqdori va ferromagnit zarralar o'lchamidan bog'liq holda kuchsiz maydonda murakkab bog'lanishga ega. Odatda, asosiy tog' jinslari ya'ni tarkibida temir konsentratsiyasi ko'p bo'lgan ko'pchilik minerallar katta magnit qabul qiluvchanlikka ega bo'ladi. Tog' jinslari minerallarining Kyuri nuqtasi ushbu minerallarning asosiy magnit xarakteristikasi hisoblanadi va shu minerallarda magnit xossani namoyon qilayotgan ferromagnit elementlarining Kyuri nuqtasi bilan mos keladi. To'g' jinslari minerallari Kyuri nuqtasining muhimligi shundan iboratki, ferromagnit minerallar tarkibidagi magnit ionlarning ma'lum bir darajada aniq bir tarkibini baholashga imkon beradi.

Tarkibiga temir guruhi metallarining kationlari kiradigan oksidli minerallarning paramagnit holatining magnit xarakteristikalarini [17,18] ishlarda o'rganilgan. Xususan, [17] ishda titanomagnetitning (TiFe_2O_4) magnit qabul qiluvchanligini temperaturaga bog'lanishi [$\chi(T)$] 650-1000°C temperaturalar oralig'ida o'lchangan. $\chi^{-1}(T)$ tajribaviy bog'lanishni tahlil qilib bu bog'lanishning Kyuri-Veyss qonuniga bo'ysinishi aniqlangan. Ushbu mineralning $\chi^{-1}(T)$ bog'lanishida 780°C temperaturada keskin oshish kuzatilgan. Bu anomal o'zgarishni mineralning temir kristall panjarasida strukturaviy fazaviy o'tish bilan bog'lab tushuntirilgan. $\chi^{-1}(T)$ tajribaviy bog'lanishdan foydalanib titanomagnetitning asosiy magnit xarakteristikalarini – paramagnit Kyuri temperaturasi (θ_p), Kyuri-Veyss doimiysi (C) va formula birligiga to'g'ri keladigan magnit moment aniqlangan.

[18] ishda tarkibiga temir guruhi metallari kiradigan minerallar – magnezioferrit (MgFe_2O_4), ferrimolibdenit ($\text{Fe}_2[\text{MoO}_4]_3$), rodonit (MnSiO_3) va gematitning (Fe_2O_3) $\chi(T)$ – bog'lanishlari 20-1000°C temperaturalar oralig'ida o'lchangan. $\chi^{-1}(T)$ bog'lanishlarni tahlil qilib bu bog'lanishlar quyidagi ikkita temperatura oraliqlarida chiziqli tabiatga ega ekanligi aniqlangan: 20-540°C va 550-900°C, 20-510°C va 520-900°C, 600-730°C va 740-1000°C, 650-690°C va 720-1000°C, mos ravishda MgFe_2O_4 , $\text{Fe}_2[\text{MoO}_4]_3$, MnSiO_3 va Fe_2O_3 minerallar uchun. $\chi^{-1}(T)$ bog'lanishning tikligi ($d\chi^{-1}/dT$) mos ravishda yuqorida sanalgan minerallar uchun 540, 510, 690 va 740°C temperaturalarda oshishi kuzatilgan. $\chi^{-1}(T)$ bog'lanishdagi bunday anomal o'zgarishni shu temperaturalarda minerallarning kristall panjarasida yuz beradigan strukturaviy fazaviy o'tishlar bilan bog'lab tushuntirilgan. $\chi^{-1}(T)$ tajribaviy bog'lanishlar Kyuri-Veyss qonuniga bo'sinadi deb, bu bog'lanishlardan foydalanib minerallarning asosiy magnit xarakteristikalarini – paramagnit Kyuri temperaturasi (θ_p), Kyuri-Veyss doimiysi (C) va formula birligiga to'g'ri keladigan magnit moment aniqlangan.

1.5. Tadqiqot muammosining qo'yilishi

Yuqorida keltirilgan adabiyotlar sharhidan shu narsa kelib chiqadiki, tog' jinslari minerallari-magnetit va xromiyning tarkibiga magnitfaol element-temir kiradi. Bugungi kungacha toza TGMning magnit xossalari uning qattiq holati, erish jarayoni va suyuq holatini qamraydigan yuqori temperaturalarda yetarli darajada o'rganilgan. Ammo ularning boshqa nomagnit metallar bilan hosil qilgan murakkab birikmalarining, xususan, tog' mineralarining magnit xossalari yuqori temperaturalarda, ya'ni ularning paramagnit holatida kam o'rganilgan. Bu minerallarning yuqori temperaturalarda olingan magnit xossalari haqidagi tajribaviy ma'lumotlar ularning paramagnit xossalari haqidagi nazariy tasavvurlarni yuqori temperaturalarda yanada boyitish uchun zarurdir. Bundan tashqari tog' minerallarida temperatura oshi bilan yuz beradigan fazaviy o'tishlar DTT qilinmagan. Yuqoridagi fikrlarni inobatga olgan holda ushbu bitiruv malakavbiy ishida quyidagi asosiy maqsad va vazifalarni bajarish zarur deb hisoblash mumkin.

Tadqiqotning maqsadi: Tog' jinslari tarkibiga kiradigan mineral-magnetit va xromitning magnit qabul qiluvchanligining temperaturaga bog'lanishini $[\chi(T)]$ keng yuqori temperaturalarda oralig'ida (20-850°C) o'lchash, ularni DTT qilish va magnit o'lchash natijalaridan foydalanib ularning asosiy magnit xarakteristikalarini aniqlash.

Tadqiqot vazifalari: 1. Mineral-magnetit va xromitning magnit qabul qiluvchanligini 20-850°C temperaturalar oralig'ida (paramagnit holatda) o'lchash, [magneto termik tahlil (MTT) qilish] va o'lchash natijalarni tahlil qilish;

2. Tekshiriladigan mineralarning tajribaviy $\chi^{-1}(T)$ bog'lanishlaridan foydalanib ularning asosiy magnit xarakteristikalarini-paramagnit Kyuri temperaturasi (θ_p), Kyuri-Veyss doimiysi (C) va ximiyaviy formula birligiga to'g'ri keluvchi magnit momenti (μ_{form}) ni aniqlash;

3. O'rganiladigan mineralarni DTT qilish va shu DTTning egri chizig'idan foydalanib, ularda yuz beradigan fazaviy o'tishlarning temperaturalarini aniqlash, hamda DTT va MTT o'rtasidagi bog'lanishni aniqlash;

4. Olingan natijalarini chuqur tahlil qilib tegishli xulosalar chiqarish.

I-bobga doir xulosalar

Bitiruv malakaviy ishida tadqiq qilinadigan obektlarga aloqador bo'lgan, ularning quyidagi xossalarini ilmiy adabiyotlarda o'rganilganlik darajasiga sharh berildi:

1. Temir guruhi metallarining elektron tuzilishi;
2. Tog' mineralari-magnetit va xromitning kristall va magnit strukturasi;
3. Paramagnetizmning Van-Flek nazariyasi;
4. Toza temirning va temir guruhi metallari asosidagi mineralarning magnit xossalari.

II BOB. TADQIQOT USILI VA QURILMASI

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 [5,19]. Kuchsiz magnit xossaga ega bo'lgan moddalarning paramagnit qabul qiluvchanligini tekshirish usullari ikki guruhga bo'linadi.

Birinchi guruhga o'zaro yoki o'zinduksiya koeffisientining 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 [20], magnit maydoni bir jinslimasligi faqat χ o'qi bo'ylab yo'nalgan bo'lsa, unga kiritilgan na'munaga shu yo'nalish bo'yicha quyidagi kuch ta'sir qiladi:

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

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 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 ($F_x = F$):

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

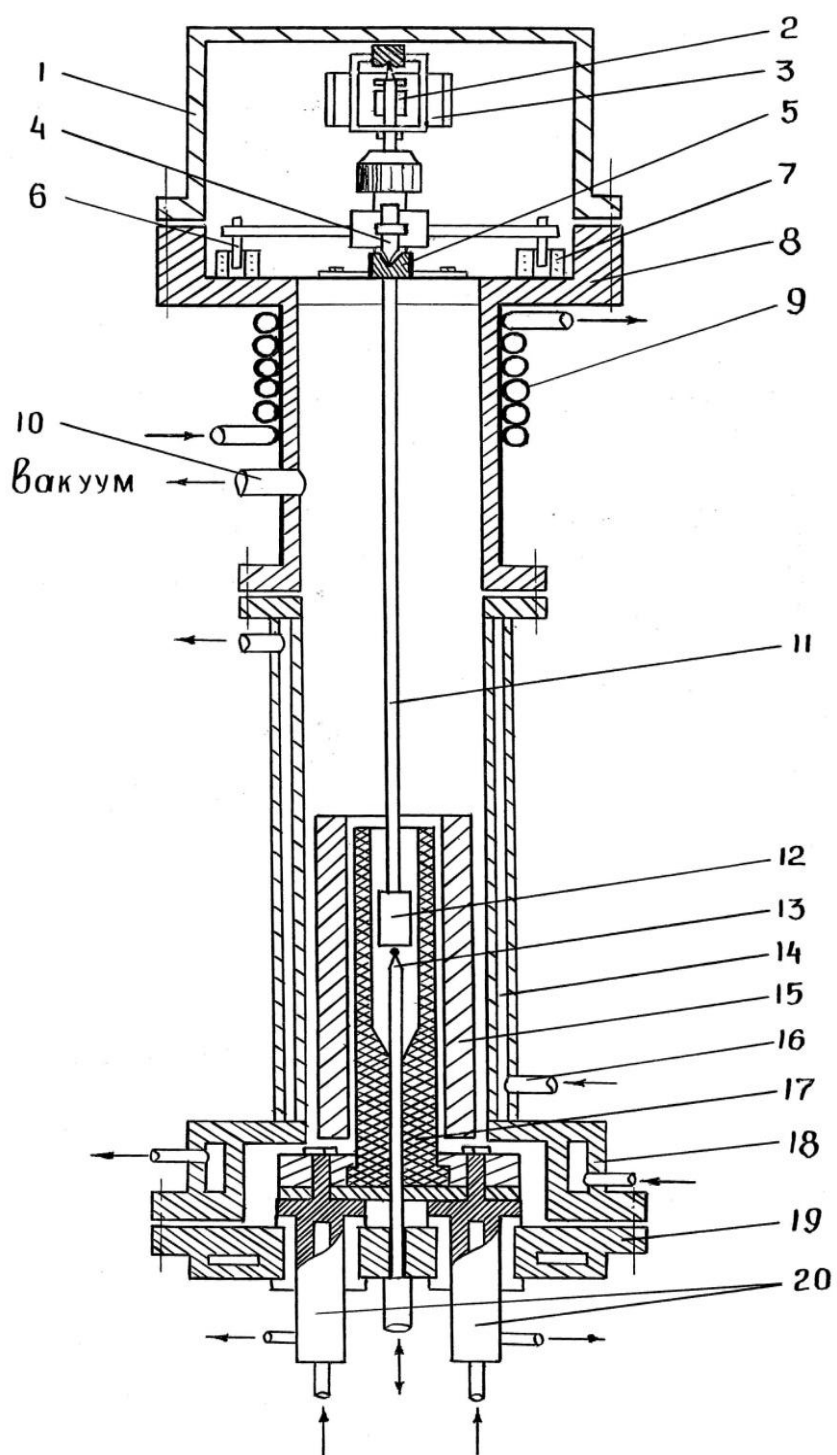
Bundagi χ, F, m va $\chi_{et}, F_{et}, m_{et}$ mos ravishda na'muna va etalonga tegishli kattaliklar. Tajriba shart –sharoitlari qulay bajarilgan holda bu usul yuqori aniqlik bilan solishtirma magnit qabul qiluvchanlikni (χ) o'lchashga imkon beradi. Bundan shunday xulosa kelib chiqadiki, yuqori temperaturalarda 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 [19-24] yoritilgan. Na'munalarning solishtirma magnit qabul qiluvchanligini o'lchashda [19-22] 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). Bu tarozi devoir sovitiladigan vakuum kamerasining (2.1-rasm) ichiga vertikal holatda o'rntiladi.

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 λ o'qi bo'ylab, 4-ignalar uchidan o'tadigan gorizontal o'q atrofida erkin tebrana oladi. Tarozining sezuvchanligi 3-yuk yordamida o'zgartirilishi mumkin. Tarozining 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 mayatniksimon yuqori uchiga gorizontal 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 λ 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



2.1 – rasm. Metallar va qotishmalarning qattiq va suyuq holatlaridagi magnet qabul qiluvchanligini oʻlchash qurilmasining asosiy qismi- vakuum kamerasining kesimi (ishlash prinsipi matnda tushuntirilgan).

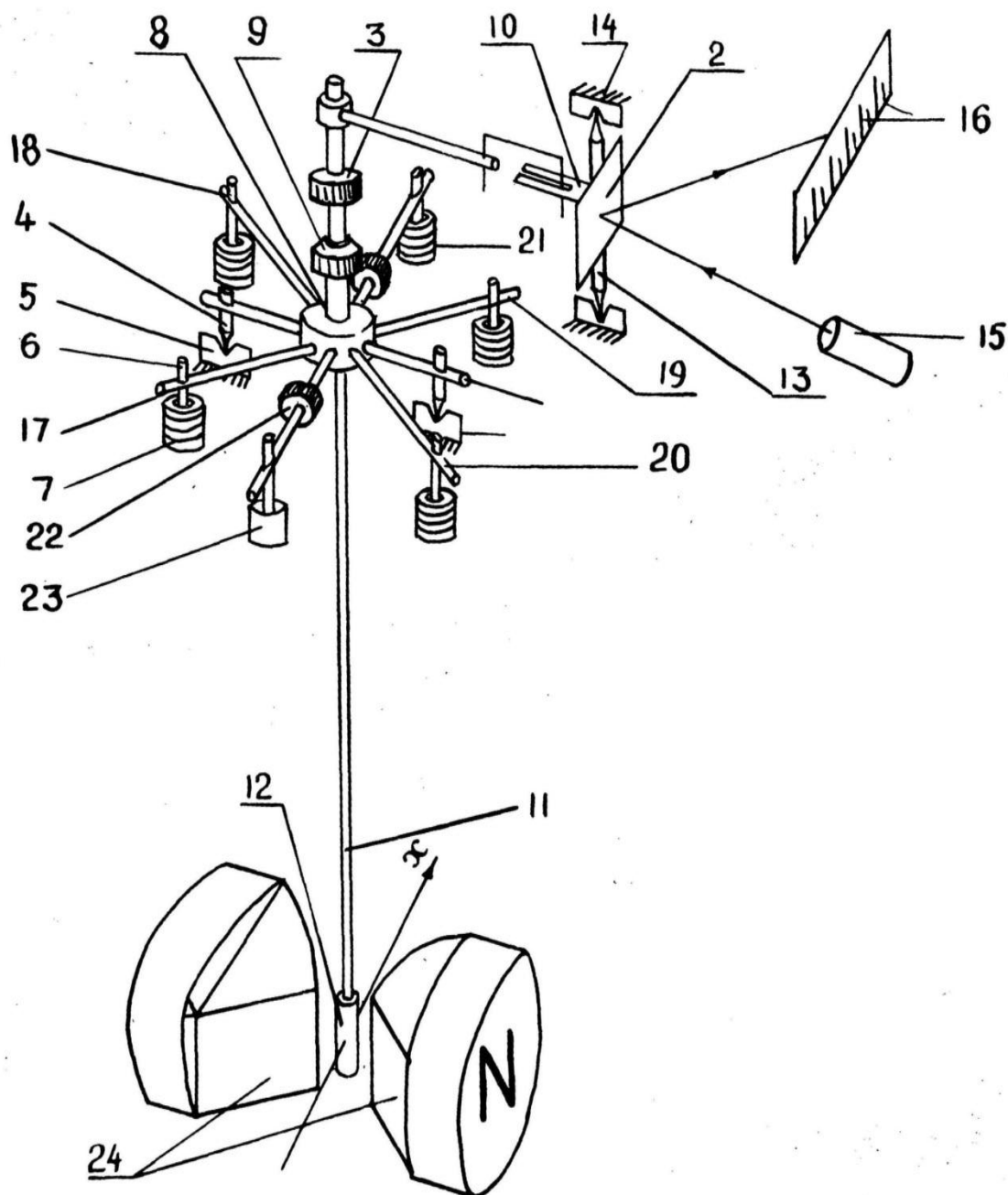
materiallardan (molibden, mis, dyuralyumen, latun) yasalgan. Tarozi sistemasi tebranishlarini tez so'ndirish uchun u moyli demfer-23 bilan ta'minlangan.

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_{et}) 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:

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

bu yerda, U_t va $U_{t_{igt}}$ – t mos ravishda temperaturali tekshiriladigan namunali va namunasiz tigellar uchun solenoid zanjirlaridagi etalon qarshilikda kuchlanish tushuvlari; U_{et} va $U_{t_{ig}}$ 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 :

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



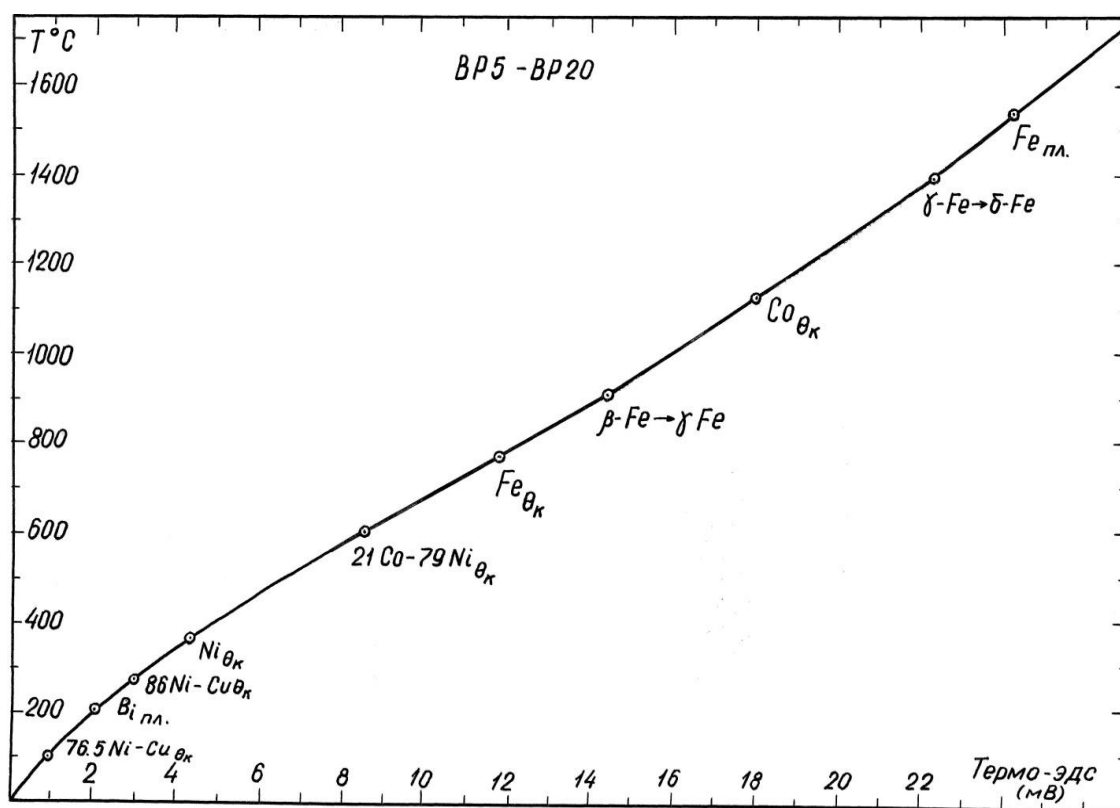
2.2 – rasm. Yuqori temperaturalarda magnet qabulqiluvchanlikni o'lovchi mayatniksimon magnet tarozi.

Qizdirg'ich. Namuna solishtirma magnet qabul qiluvchanligining temperaturaga bog'liqligini o'rganish uchun 2.1 – rasmdagi kamera ichida kesimi ko'rsatilgan trubkasimon grafitdan yasalgan qizdirg'ichdan foydalanildi.

U bifulyar holda yasalgani uchun undan o'tgan tokning magnet 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 1700⁰ 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 0⁰ 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 voltmeter va ПП – 63 rusumli potensiometri vositasida amalga oshirildi. Tajriba

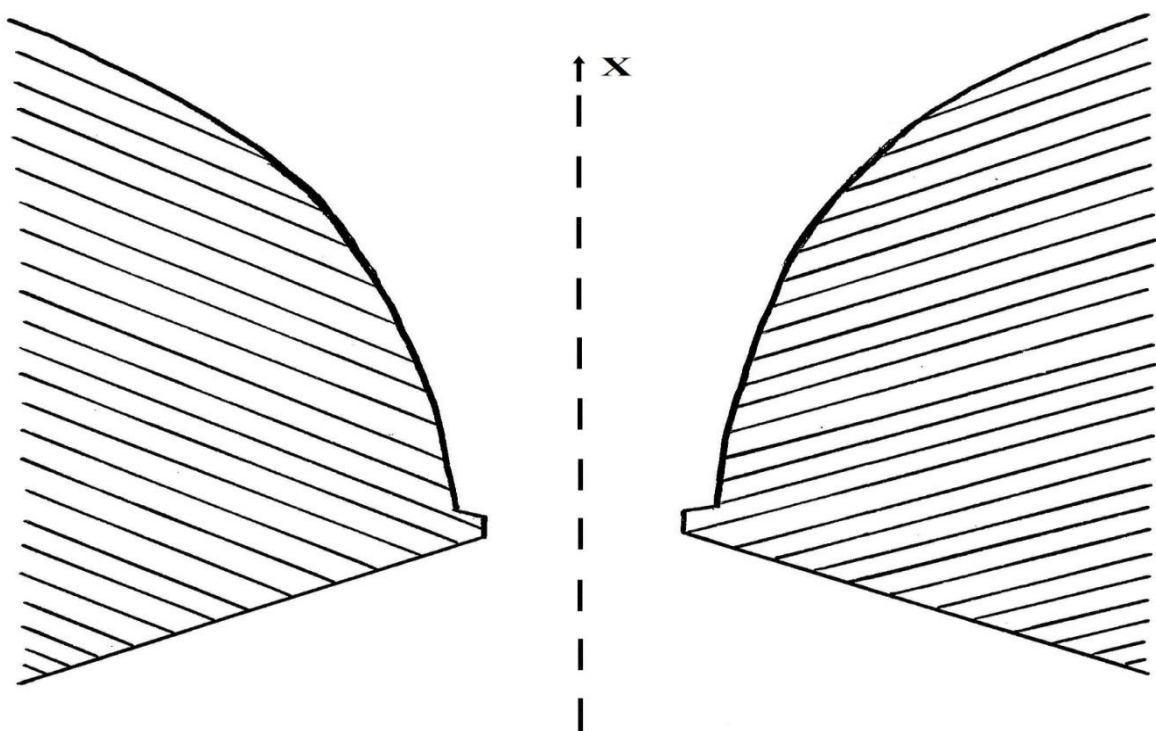


2.3 – rasm. Volfram – reniy termoparasining darajalash chizig'i.

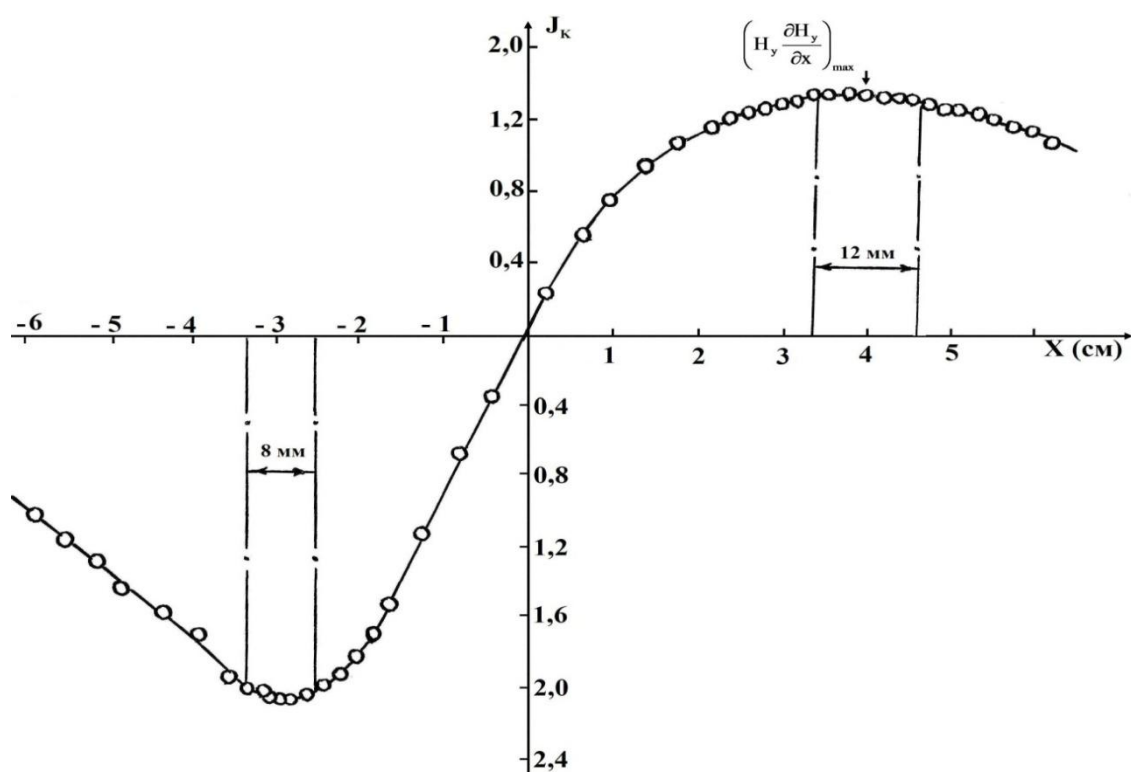
sharoiti uchun termoparani darajalash temirning erish temperaturasi (1540°C) va polimorf o'tishlar temperaturalari [$\alpha-\gamma(910^{\circ}\text{C}), \gamma-\beta(1392^{\circ}\text{C})$]; Buning erish Ni temperaturasi (270°C); ba'zi qattiq eritmalarining Kyuri temperaturalari [Cu 14 - Ni 86 at % ($2,95^{\circ}\text{C}$), Cu 25,5 - Ni 74,5 % (95°C) va Co 21 – Ni 79 at % (595°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.

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 tigelning elktromagnit qutblari orasidagi holati ($\mathcal{X}$ koordinatasi) orasidagi bog'lanishi ko'rinishida 2.5 – rasmda keltirilgan.



2.4 – rasm. Elektromagnit qutblarining gorizontaal kesimi.



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

Vakuu 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 differensiallashdan 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 ($\pm 0,5$ $^{\circ}\text{C}$) . 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.

2.4. Minerallarni termografik tahlil qilish usuli va asbobi

Differensial termik tahlil (DTT) moddalarni kimyoviy tarkibi va kristall tuzilishi bilan bog'liq bo'lgan fundamental xususiyatlarni o'zgarishiga asoslangan. Ma'lumki har qanday mineral ma'lum doimiy temperaturada xarakterli tuzilishga ega bo'ladi [25-27]. Temperatura ko'tarilishi yoki pasayishi minerallarda fazali va tarkibiy o'zgarishlarga olib keladi, ba'zi hollarda ularning kimyoviy tarkibini o'zgarishiga olib keladi.

Umumiy holatda har qanday mineral qizitish jarayonida fizik va kimyoviy xarakterli o'zgarishlarga uchraydi. Bu uning tarkibi, tuzilish, xususiyati, o'zgarishlarining mexanizmi va kinetikasiga bog'liq. Namunada yuz beradigan har

2.1 –jadval

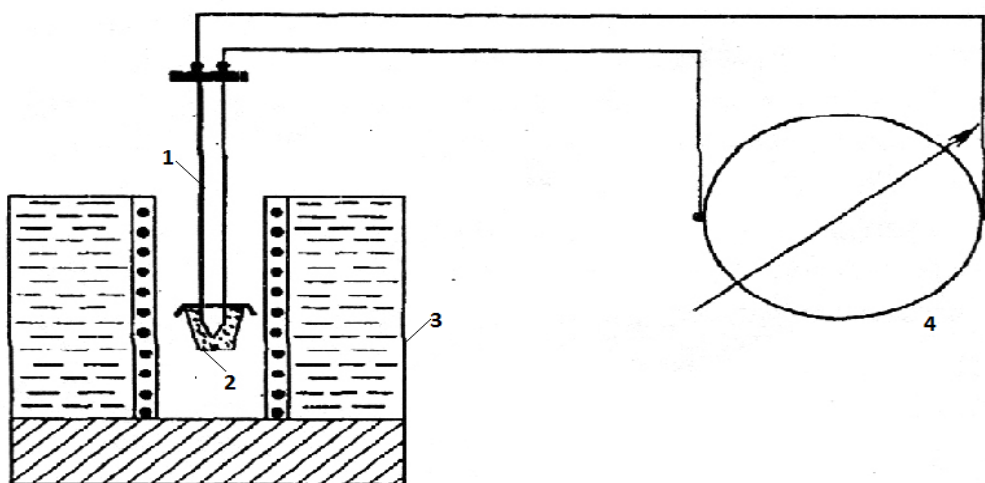
Minerallarning termik effektlaridagi fazaviy o'tishlar.

Jarayon turi			
Fizik		Kimyoviy	
Nomi	Issiqlik o'zgarishi	Nomi	Issiqlik o'zgarishi
Erish	(-)	Yoyilish (dissosiyatsiya va degidratsiyada)	(-)
Erish, qattiq jismni bug'ga aylantirish, bug'lanish	(-)	Birikmalar va o'zarotasirlashuv (almashuv)	(+)
Absorbsiya, adsorbsiya	(+)	Oksidlanish - qaytarish	(+),(-)
Polimorf o'zgarish	(+),(-)	Izomerizatsiya	(+)
Amorf holatdan kristall holatga o'tishi ()	(+)	Qattiq fazali reaksiya	(+),(-)
Qattiq holatning yemirilishi	(+)		

bir o'zgarish termik effektga to'g'ri keladi. Issiqlik ajralib chiqish holatiga ekzotermik deb nomlanadi va ((+)) belgisi bilan belgilanadi), issiqlik yutilish jarayoni bilan boradigan jarayoniga endotermik jarayon deyiladi va ((-)) belgisi bilan belgilanadi). Barcha termik effektlar yig'indisi ma'lum temperaturalarda minerallarning individual xarakteristikasi hisoblanadi, bu unda yuz beradigan barcha o'zgarishlar xususiyatlarini ifodalaydi (2.1 – jadval).

DTT usulini amalga oshirishning texnik asosida issiqlik effektlarini turli usullar yordamida yozib olinishi yotadi. Turli ko'rinishda o'rganilayotgan namunalardagi qizdirish egri chizig'i modda temperaturasi o'zgarishini ifodalaydi.

Namunaning oddiy qizdirish egri chizig'ini olish uchun quyidagi tajriba o'tkaziladi. O'rganilayotgan modda (minerall) maxsus tiglga joylashtiriladi, elektr isitgich pechga qo'yilib bir xil va tekis qizdiriladi (2.6– rasm). Qizitish jarayonida ma'lum temperatura oralig'ida (25°C dan 1000°C gacha) doimiy vaqt oralig'ida o'rganilayotgan namunaning temperaturasi o'lchanadi.



2.6 – rasm. Oddiy termoparali termik asbobning sxemasi.

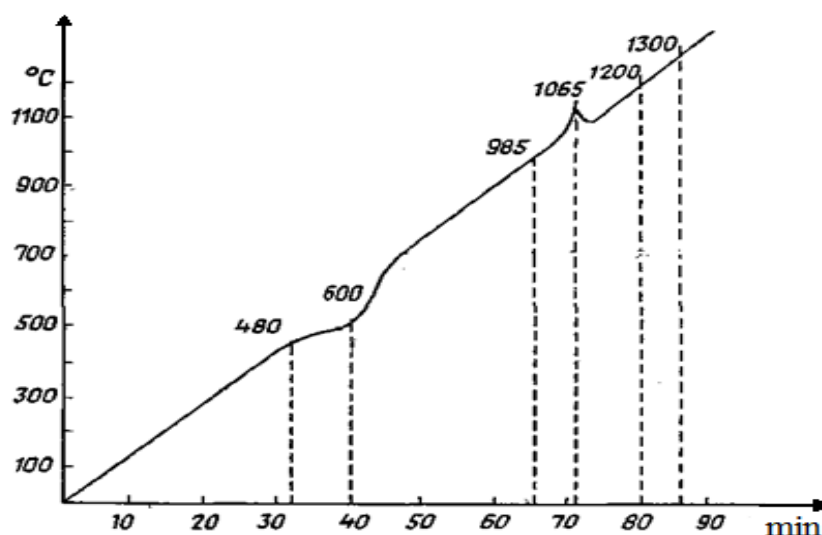
1 – termopara; 2 – tekshiriladigan modda solingan tigl; 3 – elektr qizdirish pechi; 4 – temperaturaga darajalangan galvanometr.

Namunadagi temperaturani Le–Shatele tomonidan ilk bor tavsiya etilgan oddiy termopara yordamida tez va aniq o'lchash mumkin [28,29]. Termopara bir xil qalinlikdagi turli metallardan (yoki metal qotishmalaridan) yasalgan simlardir. Ikki xil simning bir uchlari kavsharlanadi, ikkinchi uchlari esa ikki kanalli farfor

trubkadan o'tkazilib temperature o'lchaydigan asbobga ulanadi. Termopara simlarining kavsharlangan uchi (joyi) qizitiladigan modda ichiga o'rnatiladi.

Sanoatda qo'llaniladigan ko'pchilik termoparalardan (xromel – alyumel, nikel – nixrom, xromel – kopel) termik tahlil amalyotida ko'proq platinarodiy – platinali termopara ishlatiladi, uning bitta elektrodi platina va 10% rodiy qorishmasidan iborat, ikkinchisi faqat platinadan iborat. Bu termoparaning yutug'i u katta EYuKga ega.

O'rganilayotgan modda temperaturasi o'lchovlari natijasi grafikka tushirilib absissa o'qi bo'yicha qizdirilish vaqti va ordinata o'qi bo'yicha esa modda temperaturasi joylashtiriladi. Shu tartibda olingan $T=f(t)$ bog'lanish egri chizig'i olinadi. Umumiy hollarida u to'g'ri chiziq (2.7–rasm) holatiga ega bo'lib ma'lum burchak ostida absissaga qarab boradi. Namunaning temperaturasi

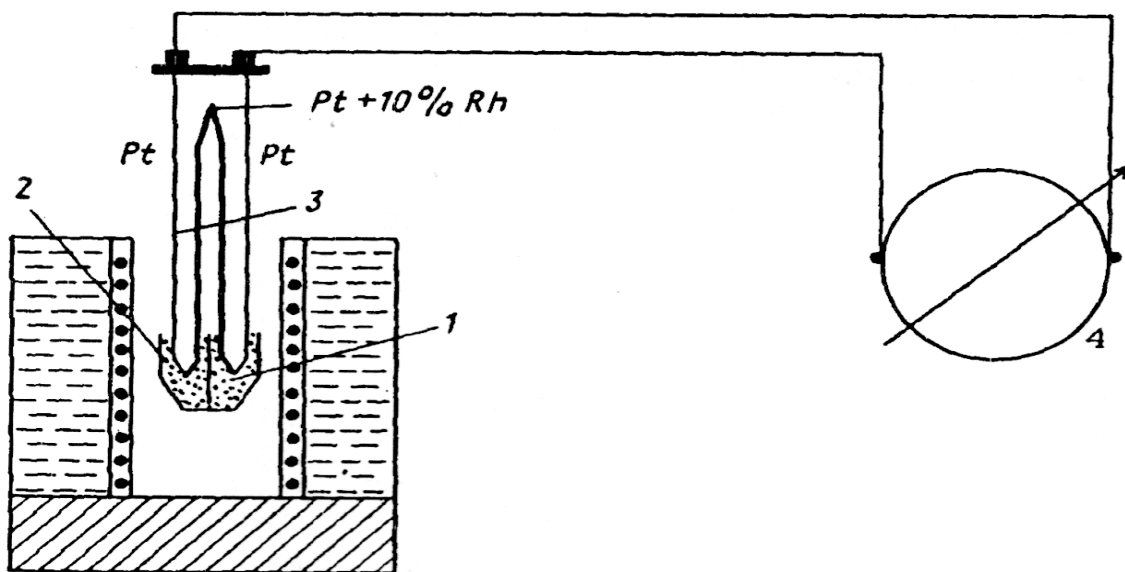


2.7 – rasm. Kaolinning oddiy qizitish egri chizig'i.

ko'tarilishini uzluksiz ifodalab turadi. Faqat alohida hollardagina oddiy qizdirish egri chizig'ining o'sishi to'g'ri chiziqli bog'lanishdan chetlashish hollari kuzatiladi. Bu hollar temperaturaning oshishi yoki kamayishidan dalolat beradi. Bu paytda moddada endotermik yoki ekzotermik o'zgarishlar va reaksiyalar sodir bo'ladi. Bitta mineralga bir necha o'zgarish va reaksiyalar xarakterli bo'lib bu issiqlik ajralish va yutilish bilan bog'liq bo'lib oddiy qizdirish egri chizig'ining shakliga tasir qiladi.

Termik jarayonlar tabiiy moddalarda ko'p hollarda issiqlik o'zgarishining kamligi natijasida qizdirish egri chizig'idagi o'zgarishlar yetarlicha ifodalanmaydi. O'rganilayotgan obyektga aniq ifodani aks ettirish uchun DTT usuli qo'llaniladi. Bu holatda eksperiment quyidagicha o'tkaziladi. Pechda bir vaqtda simmetrik joylashgan ikkita tigl ichiga joylashtirilgan tekshiriladigan namuna modda va etalon modda qizdiriladi. Ikkala moddaning ham temperatura o'zgarishi differensial termoparalar yordamida o'lchab boriladi va ularning farqi vaqt (yoki namunaning temperaturasi) funksiyasi ko'rinishida ($\Delta T = f(t)$) ifodalanadi.

R. Austen (1899y.) va A.A. Baykovlar (1910y.) tomonidan taklif etilgan termoparalar galvanometr orqali bir-biriga qarama-qarshi ulangan ikkita oddiy termopardan iborat [30]. Bitta oddiy termoparaning issiq kovshari umumiy holatda differensial termoparaning bir qismi bo'lib o'rganilayotgan moddaga, ikkinchi kovshari esa – etalon modda joylashgan muhitga o'rnatiladi. Etalon sifatida turli kimyoviy birikmala ishlatiladi. Etalon termoinert modda bo'lishi kerak (2.8 – rasm).



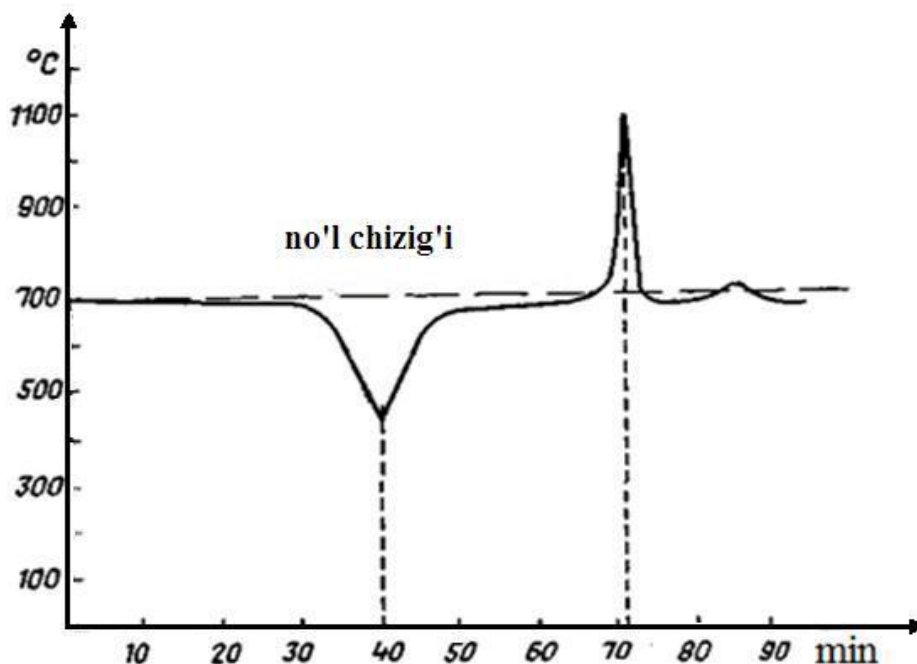
2.8 - rasm. Differensial termoparali termik asbobning sxemasi.

1 – o'rganilayotgan modda; 2 – etalon (termik jihatdan inert bo'lgan modda); 3 – differensial termopara; 4 - galvanometr.

Agar qizitish jarayonida o'rganilayotgan namuna va etalon sifatida ishlatilayotgan modda bir xil temperaturaga ega bo'lsa differensial termoparaning ikkala tomonidan ham hosil bo'layotgan termotoklar (EYuK) bir – birini

kompensatsiyalaydi va galvanometr hech qanday o'zgarishni ko'rsatmaydi. Galvanometr termopara zanjirida termoto'k borligini namunadagi issiq kovshar temperaturasi etalondagi issiq kovshar temperaturasidan farq qilganda ko'rsatadi. Termoto'k kattaligi namuna va etalon o'rtasidagi temperatura farqi kattaligiga bo'g'liq.

Odatda differensial egri chiziq yani temperaturaning vaqtga bog'lanishi potensiometr yordamida qayd qilib boriladi va 2.9-rasmda keltirilgan.



2.9 - rasm. Qizdirilgan kaolinning DTT egri chizig'i.

Differensial qizdirish egri chizig'i termik effektlar borishi bilan xarakterlidir, bu esa shartli nol holatdan boshlab temperaturaning oshishi bilan yuqoriga yoki pastga egri chiziqdan chetlanishiga bog'liq. Issiqlik yutishi bilan bog'liq bo'lgan termik effektlar egri chiziqdan pastga chetlanish bilan, issiqlik ajralib chiqishi bilan boradigan chetlanishlar esa yuqoriga chetlanish bilan bog'liq [29,31,32]. Differensial egri qizdirish egri chizig'i ko'pincha mineral termogrammasi yoki DTT – deb nomlashadi.

Shuni aytish kerakki oddiy DTT egri chizig'i vaqt koordinatasi absissda ifodalanadi, ularning tahlilini temperatura bilan bog'liq holda o'tkazish qulay. Vaqt koordinatasidan temperatura koordinatiga o'tish oson bajariladi ichki temperatura vaqt funksiyasi hisoblanadi. Ko'p hollarda termik qurilmalarda qizitish

temperaturasini har 100°C zarur holatda 50°C yoki 20°C oralig'ida o'lchash imkoniyati mavjud. Bu qo'shimcha strelkali pirometrli millivoltmetr yordamida amalga oshiriladi. Temperatura o'lchashning u yoki bu usuli tadqiqotning aniq masalalari bilan belgilanadi. Agar termik effektlarda boshlang'ich va oxiri temperaturalarni aniq olish kerak bo'lsa temperatura o'lchami namunalarda o'tkaziladi. Etalondagi qizitish temperaturasini aniqlashdagi o'zgarishlar temperaturasi ahamiyati aniqligini aniq aniqlab bo'lmaydi. Bu holatda faqat termik effektlar o'tish temperaturasi aniqlanadi. Differensial egri qizitish faqat namuna va etalon o'rtasidagi reaksiya tezligi yuqori darajaga erishgan vaqtdagi temperatura farqini ko'rsatadi (2.9 – rasm).

II bobga doir xulosalar.

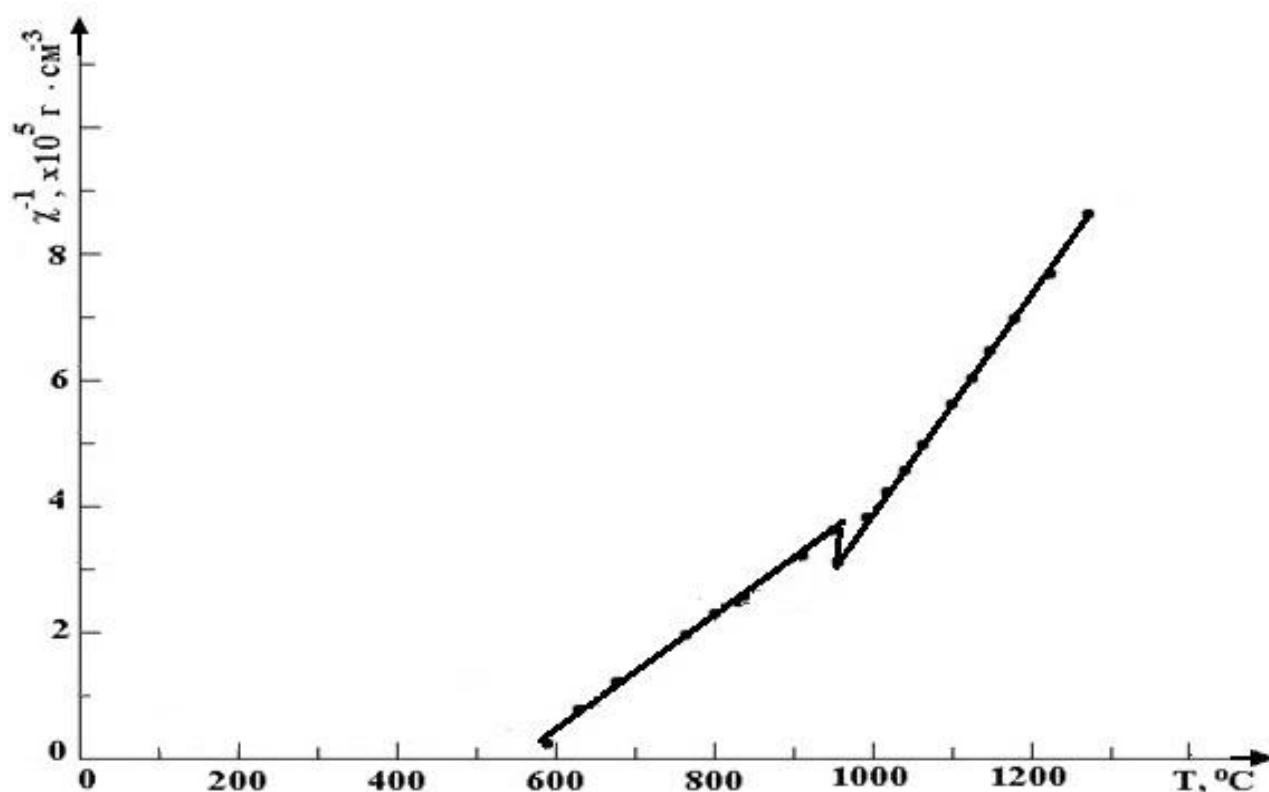
1. Tadqiqod ob'ektlarining magnit qabul qiluvchanligini o'lchash usullari, xususan ushbu ishda foydalanilgan Faradey usulining mohiyati bayon qilindi;
2. Tadqiqod ob'ektlarining magnit qabul qiluvchanligining temperaturaga bog'lanishini qattiq va suyuq holatlarda o'lchaydigan qurilmaning tuzulishi hamda 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;
4. Tadqiqot ob'ektlarini DTT usulining mohiyati va qurilmasining tuzilishi bayon qilindi.

III BOB. TADQIQOT NATIJALARI VA ULARNING MUHOKAMASI

3.1. Tog' minerallari magnetit va xromitning magnit qabul qiluvchanligini yuqori temperaturalarda o'lchash natijalari va ularning muhokamasi

Mineral magnetitning $\chi(T)$ -bog'lanishi 580-1250°C temperaturalar oralig'ida, mineral xromitniki esa 20-900°C temperaturalar oralig'ida o'lchandi. O'rganilgan bu minerallarning tajribaviy $\chi(T)$ -bog'lanishlarini tahlil qilish shuni ko'rsatadiki, ularning magnit qabul qiluvchanligi temperatura oshishi bilan kamayadi. Quyida o'rganilgan minerallarning tajribaviy $\chi^{-1}(T)$ -bog'lanishlari tahlil qilanib tushuntiriladi.

Magnetit FeFe_2O_4 (Fe_3O_4). Magnetit uchun o'lchash natijalari $\chi^{-1}(T)$ -bog'lanish ko'rinishida 3.1-rasmda keltirilgan. Rasmdan ko'rinib turibdiki bu bog'lanish 580-960 °C temperaturalar oralig'ida chiziqli tabiatga ega (chiziqli oshadi) bo'lib, 960°C temperaturada sakrab kamayadi va 960-1250°C temperaturalar



3.1-rasm. Magnetitning $\chi^{-1}(T)$ –bog'lanishi.

oralig'ida yana chiziqli tabiatga (chiziqli ravishda oshadi) ega.

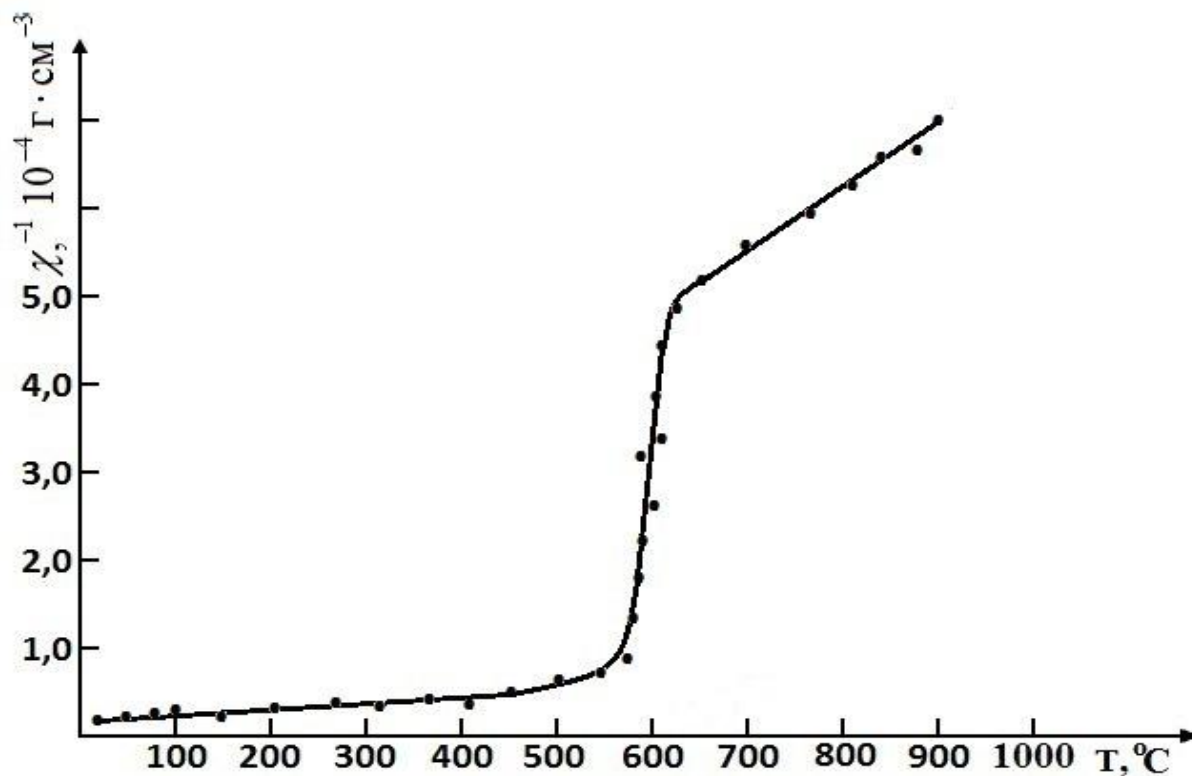
Magnetit uchun $\chi^{-1}(T)$ -bog'lanishning, yuqorida qayd qilingan temperaturalar oralig'larida chiziqli tabiatga ega bo'lishi, bu mineral uchun tajribaviy $\chi(T)$ -bog'lanishning shu temperaturalar oralig'larida (1.12) ko'rinishdagi, ya'ni quyidagi ko'rinishdagi Kyuri-Veyss qonuniga bo'ysinishidan dalolat beradi:

$$\chi = C / (T - \theta_p), \quad (3.1)$$

bunda C - Kyuri-Veyss doimiysi, θ_p – paramagnet Kyuri temperaturasi.

Magnetitning tajribaviy $\chi^{-1}(T)$ -bog'lanishidagi 960°C temperaturada yuz beradigan anomal o'zgarishni(sakrab kamayishni) (3.1-rasm) bu mineralning temir kristall panjarasida yuz beradigan strukturaviy (polimorf) o'tish bilan tushuntirish mumkin.

Xromit FeCr_2O_4 . Xromit uchun o'lchash natijalari $\chi^{-1}(T)$ -bog'lanish ko'rinishida 3.2-rasmda keltirilgan. Rasmdan ko'rinib turibdiki bu bog'lanish



3.2-rasm. Xomitning $\chi^{-1}(T)$ –bog'lanishi.

20-450 °C temperaturalar oralig'ida chiziqli tabiatga ega; taxminan 570°C temperaturada bu bog'lanishning qiyaligi ($d\chi^{-1}/dT$) keskin oshadi, 630°C temperaturada esa kamayadi; so'ngra bu bog'lanish 660-900 °C temperaturalar oralig'ida yana chiziqli tabiatga ega.

Xromit uchun $\chi^{-1}(T)$ -bog'lanishning, yuqorida qayd qilingan temperaturalar oralig'larida chiziqli tabiatga ega bo'lishi, bu mineral uchun tajribaviy $\chi(T)$ -bog'lanishning shu temperaturalar oralig'larida (1.12) ko'rinishdagi, yoki (3.1) ko'rinishdagi Kyuri-Veyss qonuniga bo'ysinishidan dalolat beradi.

Xromitning tajribaviy $\chi^{-1}(T)$ -bog'lanishidagi 570°C temperaturada yuz beradigan anomal o'zgarishni(sakrab kamayishni) (3.2-rasm) bu mineralning temir kristall panjarasida yuz beradigan strukturaviy (polimorf) o'tish bilan tushuntirish mumkin.

3.2. Tajriba natijalaridan foydalanib magnetit va xromitning asosiy magnit xarakteristikalarini aniqlash

O'rganilgan minerallarning §3.1da keltirilgan tajribaviy bog'lanishlariga (3.1 va 3.2-rasmlar) eng kichik kvadratlar usulini (EKKU) qo'llab[37], ularning asosiy magnit xarakteristiklari-Kyuri-Veyss doimiysi (C), paramagnet Kyuri temperaturasi (θ_p), minerllarning kiyoviy formulasiga to'g'ri keladigan magnit moment (μ_f) va birikmalarda bitta temir atomiga to'g'ri keladigan effektiv magnit moment (μ_{eff}) aniqlandi(hisoblandi). Bu [33,34]-ishlarda bayon qilingan tavsiyaga asoslanib quyidagicha amalga oshirildi. O'rganilgan namunalarning $\chi^{-1}(T)$ -tajribaviy bog'lanishlariga EKKUni qo'llash maqsadida, dastlab Kyuri-Veyss qonuning (1.12) yoki (3.1) ifodasini quyidagi ko'rinishda yozamiz:

$$\chi^{-1} = \frac{T-\theta_p}{C} = \frac{T}{C} - \frac{\theta_p}{C} . \quad (3.2)$$

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

$$y = Ax + B. \quad (3.3)$$

Bu tenglamaning A va B koeffisientlarini, EKKU ning normal tenglamalarini yechishdan kelib chiqadigan, quyidagi ifodalar yordamida hisoblanadi [37]:

$$A = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n y_i)^2}, \quad (3.4)$$

$$B = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i^2 \sum_{i=1}^n y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n x_i y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n y_i)^2} \quad (3.5)$$

Bu ifodalardagi n-y kattalikni x ga bog`liq ravishda o`lchashlar soni, A va B - koeffisientlarni (3.4) va (3.5) 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 koeffisientlarni (3.4) va (3.5) 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 (3.4) va (3.5) ifodalardga quyidagicha belgilashlar kiritildi:

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

(3.4) va (3.5) ifodalarni shu operatorlar bo'yicha yozamiz:

$$A = \frac{n \cdot xy - xx \cdot yy}{n \cdot x^2 - (xx)^2}, \quad (3.6)$$

$$B = \frac{x^2 \cdot yy - xx \cdot xy}{n \cdot x^2 - (xx)^2}. \quad (3.7)$$

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

Hisoblab topilgan Kyuri-Veyss doimiysining (C) qiymatidan foydalanib, namunalarning kinyoviy formulasiga to'g'ri keladigan magnit moment quyidagi ifoda bo'yicha hisoblandi:

$$\mu_f = 2.83 \sqrt{CM} \mu_B, \quad (3.8)$$

bundagi M-minerallning atomar massasi [masalan Fe₃O₄-magnetit uchun M=3M_{Fe}+4M_O].

Hisoblash natijalari ya'ni o'rganilgan minerallarning asosiy magnit xarakteristikalarini 3.1-jadvalda keltirilgan.

3.1-jadval

Magnetit va xromitning asosiy magnit xarakteristikalarini

Namuna	Temperatura oralig'i, °C	$C, 10^{-4} \text{ sm}^3 \text{ Kg}^{-1}$	θ_p, K	μ_f, μ_B
FeFe ₂ O ₄	580-960	105.2	873	4.41
	960-1250	49.4	1083	3.03
FeCr ₂ O ₄	20-450	134.3	63	4.91
	660-900	7.21	523	1.18

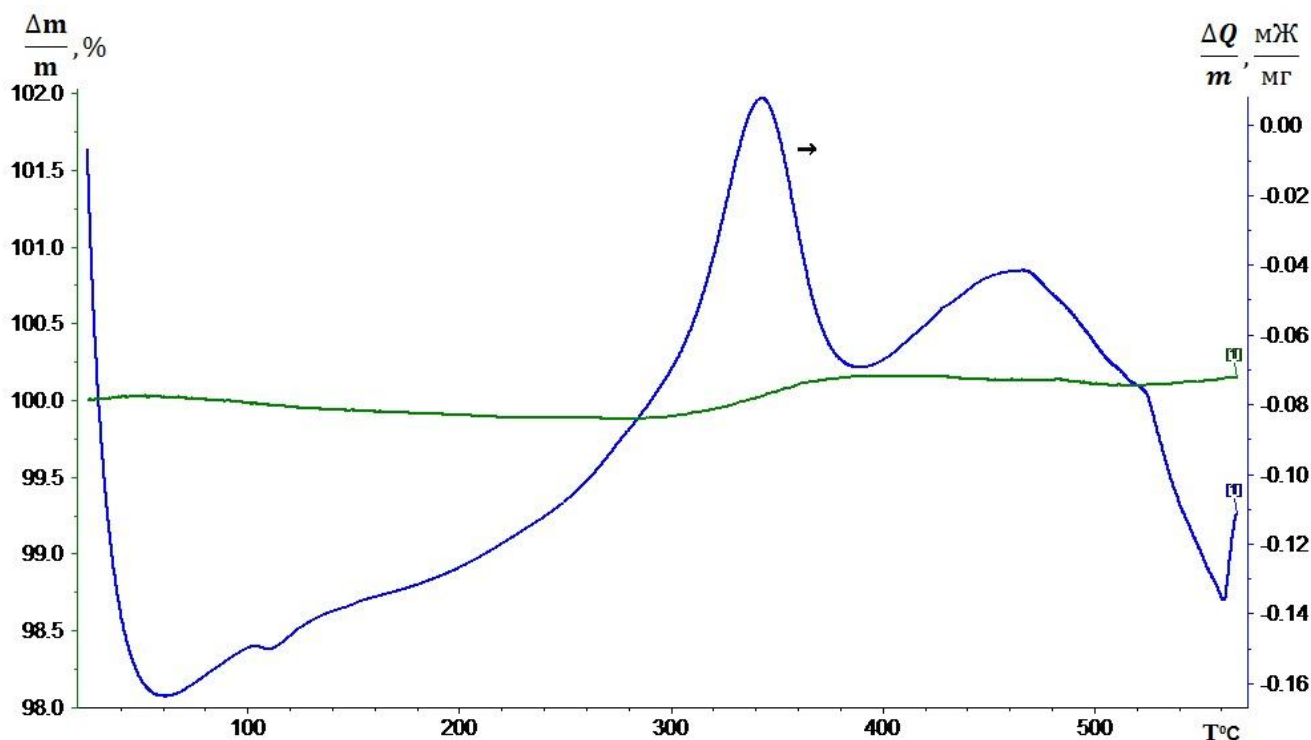
3.1-jadvalni tahlil qilish shuni ko'rsatadiki, minerallarda yuz beradigan strukturaviy (polimorf) fazaviy o'tishda ularning paramagnit Kyuri temperaturasi (θ_p) oshadi, Kyuri-Veyss doimiysi (C) va minerallarning kimyoviy formulasiga

to'g'ri keladigan magnit moment (μ_f) esa kamayadi. Jadavaldan yana shu narsa ko'rinib turibdiki o'rganilgan minerallarning paramagnit Kyuri temperaturasi toza temirning paramagnit Kyuri temperaturasiga ($\theta_p=1043K$) nisbatan kichik. Bu minerallarning kimyoviy formulasi tarkibida nomagnit element kislorodning mavjud bo'lishi bilan tushuntiriladi. O'rganilgan minerallarining kristall panjarasida kislorodning mavjud bo'lishi, bu minerallarning magnit xossasini hosil qiladigan, temir ionlaridagi 3d - qobiq elektronlarining almashinuv o'zaro ta'sirini susayishiga sabab bo'ladi. Natijada bunday o'zaro ta'sirning energetik o'lchovi hisoblanadigan θ_p qiymati ham kamayadi.

3.3. Magnetit va xromitni differensial termik tahlil qilish natijalari

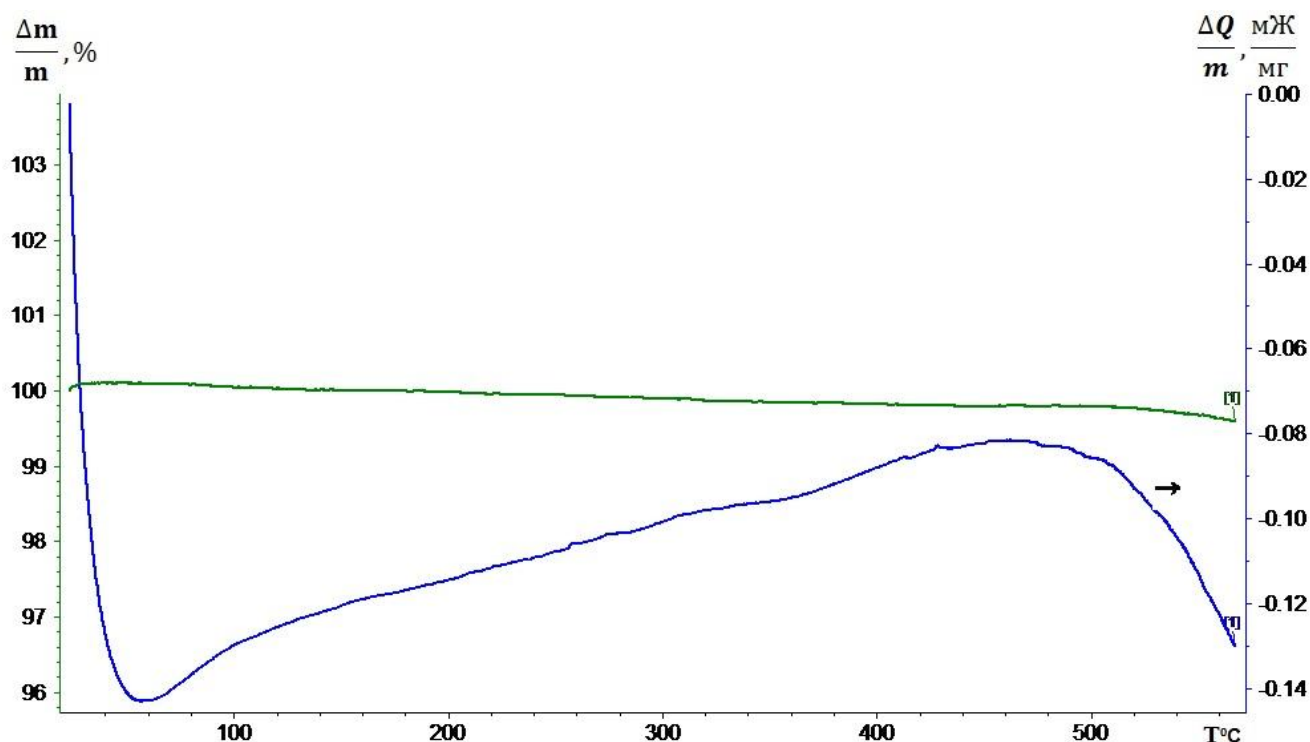
Magnetit va xromitning magnit termik tahlilida, ya'ni ularning $\chi^{-1}(T)$ bog'lanishlarida kuzatilgan(magnetitda 960°C va xromitda 570°C temperaturalarda) anomal o'zgarishlarni §3.1da ularda strukturaviy (polimorf) fazaviy o'tish bilan bog'lab tushuntirildi. Bu farazni tajribada tasdiqlash maqsadida namunalarni DTT qilish zarur edi. O'rganilayotgan minerallarni differensial termik tahlili (DTT), odatda, §1.4da bayon qilingan tajriba usuli va asbobi yordamida bajariladi. Namuna bilan termoinert etalon modda (vol'fram) temperaturalari farqiga(ΔT) to'g'ri proporsional bo'lgan, ular tomonidan yutiladigan(yoki ajratadigan) issiqlik miqdorlari farqining namuna massasiga nisbatini $(\frac{\Delta Q}{m})$ namuna temperaturasining(T) funksiyasi $[\frac{\Delta Q}{m}(T)]$ ko'rinishda avtomatik tarzda derivatograf deb ataladigan asbob yordamida yozib olindi. Ikkinchi tomondan tekshiriladigan temperatura intervalida tigel ichidagi namuna massasining uning dastlabki massasiga(m) nisbatan o'zgarish darajasini foizlarda xarakterlovchi $\frac{\Delta m}{m}$ (bunda $\Delta m=m-m_b$, m_b -bug'langan massa) nisbatning namuna temperaturasining funksiyasi $[\frac{\Delta m}{m}(T)]$ ko'rinishda avtomatik tarzda derivatograf yordamida yozib

olindi. Ana shu $\frac{\Delta Q}{m}(T)$ va $\frac{\Delta m}{m}(T)$ -bog'lanishlar magnetit va xromit uchun, mos ravishda, 3.3 va 3.4-rasmlarda keltirilgan.



3.3-rasm. Magnetitning (FeFe_2O_4) $\frac{\Delta Q}{m}(T)$ va $\frac{\Delta m}{m}(T)$ -bog'lanishlari.

3.3-rasmdan ko'rinib turibdiki magnetitning $\frac{\Delta Q}{m}(T)$ va $\frac{\Delta m}{m}(T)$ -bog'lanishlari tekshirilgan temperatura intervali unda $\chi^{-1}(T)$ bog'lanishda (3.1-rasm) kuzatilgan anomal o'zgarish(sakrab kamayish) temperaturasi - 960°C temperaturani qamramaydi. Shuning uchun ham magnetitda shu temperaturada yuz beradigan polimorf fazaviy o'tishni DTT yordamida tasdiqlashning iloji bo'lmadi. 3.3-rasmdagi $\frac{\Delta Q}{m}(T)$ -bog'lanishda kuzatilgan issiqlik effektlari magnetitning magnit tartiblangan holatida yuz beradigan qandaydir fazaiy o'zgarishlarga mos tushadi. $\frac{\Delta m}{m}(T)$ -bog'lanishni tahlil qilish shuni ko'rsatadiki magnetitning massasi 570°C temperaturagacha deyarlik o'zgarmay qoladi.



3.4-rasm. Xromitning (FeCr_2O_4) $\frac{\Delta Q}{m}(T)$ va $\frac{\Delta m}{m}(T)$ -bog'lanishlari.

3.4-rasmni tahlil qilish shuni ko'rsatadiki, xromitning $\frac{\Delta Q}{m}(T)$ -bog'lanishi 3.2-rasmda uning tajribaviy $\chi^{-1}(T)$ bog'lanishida kuzatilgan polimorf fazaviy o'tish temperaturasi-570°C temperaturani qamraydi. Haqiqatdan ham $\frac{\Delta Q}{m}(T)$ -bog'lanishda taxminan 570°C temperaturada issiqlik yutilishi effekti yuz beradi. Bu effekt xromitning temirga tegishli kristall panjarasida HMK-YoMK polimorf fazaviy o'tish bilan bog'liq ravishda yuz beradi. Shunday qilib DTT natijasi MTT natijasini tasdiqlaydi. 3.4-rasmdagi $\frac{\Delta m}{m}(T)$ -bog'lanishni tahlil qilish shunu ko'rsatadiki, xromitning massasi tekshiriladigan temperaturalar oralig'ida deyarlik o'zgarmay qoladi.

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.
```

III-bobga doir xulosalar

1. Tog' minerallari-magnetit va xromitning $\chi(T)$ -bog'lanishi mos ravishda 580-960°C va 20-900 °C temperaturalar oralig'ida o'lchandi. Bu bog'lanishlar ma'lum temperaturalarda sakrab o'zgaradigan murakkab tabiatga egaligi aniqlandi. $\chi(T)$ -bog'lanishlarning chiziqli sohalari Kyuri-Veyss qonuniga bo'ysinishi ko'rsatildi.
2. O'rganilgan minerallarning $\chi^{-1}(T)$ -bog'lanishlaridagi murakkab (anomal) o'zgarishlarni, ularning kristall pajarasida ma'lum temperaturalarda yuz beradigan polimorf (strukturaviy) fazaviy o'tishlar bilan bog'lab tushintirildi: magnetitda 960°C temperaturada, xromitda esa 570°C temperaturada polimorf fazaviy o'tishlar yuz beradi.
3. Minerallarning tajribaviy $\chi^{-1}(T)$ -bog'lanishlariga EKKUni qo'llab EHM yordamida ularning asosiy magnit xarakteristiklari-Kyuri-Veyss doimiysi (C), paramagnit Kyuri temperaturasi (θ_p), minerllarning kimyoviy formulasiga to'g'ri keladigan magnit moment (μ_f) hisoblandi. Hisoblash natijalariga ko'ra minerallarning asosiy magnit xarakteristiklari toza temirning asosiy magnit xarakteristikasiga nisbatan kichikligi aniqlandi. Bu minerallarning kimyoviy formulasi tarkibida nomagnit element kislorodning mavjud bo'lishi bilan tushuntiriladi. O'rganilgan minerallarining kristall panjarasida kislorodning mavjud bo'lishi, bu minerallarning magnit xossasini hosil qiladigan, temir ionlaridagi 3d - qobiq elektronlarining almashinuv o'zaro ta'sirini susayishiga sabab bo'ladi. Natijada bunday o'zaro ta'sirning energetik o'lchovi hisoblanadigan θ_p qiymati ham kamayadi.
4. Namunalarning termografik tahlil egri chiziqlari olindi va bu egri chiziq xromit uchun 570°C temperaturada $\chi^{-1}(T)$ bog'lanishda yuz beradigan anomal o'zgarishni (polimorf o'tishni) tasdiqladi. Termografik tahlilning temperaturalar oralig'i (20-570°C) magnetitda polimorf o'tish temperaturasi (960°C) qamramagani uchun, bu mineral uchun magnitotermik tahlil natijasini tasdiqlashning iloji bo'lmadi.

XULOSLAR

Ushbu bitiruv malakaviy ishida qo'yilgan maqsad vazifalar bo'yicha bajarilgan ishlarni umumlashtirib quyidagi xulosalarga kelish mumkin:

1. Tog' minerallari-magnetitning $\chi(T)$ -bog'lanishi 580-1250°C, xromitniki esa 20-900°C temperaturalar oralig'ida birinchi marta o'lchandi. Magnetit uchun bu bog'lanish 580-960 °C va 960-1250°C temperaturalar oralig'ida chiziqli tabiatga ega ekanligi, ya'ni Kyuri-Veyss qonuniga bo'sinishi va 960°C temperaturada sakrab kamayishi, xromit uchun esa 20-450°C va 660-900°C temperaturalar oralig'ida chiziqli tabiatga ega ekanligi, ya'ni Kyuri-Veyss qonuniga bo'sinishi va 550°C temperaturada keskin oshishi aniqlandi.
2. O'rganilgan minerallar-magnetit va xromitning $\chi^{-1}(T)$ -bog'lanishlarida, mos ravishda, 960 va 550 °C temperaturalarda kuzatilgan anomal o'zgarishlarni, ularning temirga oid kristall pajarasida shu temperaturalarda strukturaviy (polimorf) fazaviy o'tishlar yuz berishi bilan bog'lab tushuntirildi.
3. Magnetit va xromitning $\chi^{-1}(T)$ -bog'lanishlarida kuzatilgan anomal o'zarishlar strukturaviy fazaviy o'tish bilan bog'liqligini tekshirib ko'rish maqsadida ular termografik tahlil qilindi. Termografik tahlil natijasi xromitda haqiqatdan ham 550 °C temperaturada strukturaviy fazaviy o'tish yuz berishini tasdiqladi. Termografik tahlilning temperaturalar oralig'i (20-570°C) magnetitda polimorf o'tish temperaturasini (960°C) qamramagani uchun, bu mineral uchun magnitotermik tahlil natijasini tasdiqlashning iloji bo'lmadi.
4. O'rganilgan minerallarning tajribaviy $\chi^{-1}(T)$ -bog'lanishlariga EKKUni qo'llab EHM yordamida ularning asosiy magnit xarakteristiklari-Kyuri-Veyss doimiysi (C), paramagnit Kyuri temperaturasi (θ_p), minerallarning kimyoviy formulasiga to'g'ri keladigan magnit moment (μ_f) hisoblandi. Hisoblash natijalariga ko'ra minerallarning asosiy magnit xarakteristiklari toza temirning asosiy magnit xarakteristikasiga nisbatan kichikligi aniqlandi. Bu minerallarning kristall panjarasida nomagnit element kislorodning mavjud bo'lishi bilan tushuntirildi:

minerallarning magnit xossasini hosil qiladigan temir kationlari kislorod anionlarining qurshovida joylashadi. Bu temir ionlaridagi 3d - qobiq elektronlarining almashinuv o'zaro ta'sirini susayishiga sabab bo'ladi. Natijada bunday o'zaro ta'sirning energetik o'lchovi hisoblanadigan θ_p qiymati ham kamayadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI

1. Вонсовский С.В. «Магнетизм». – М.: Наука, 1971 – 1032с.
2. Бетехтин А.Г. Курс минералогии. М.: Гос. издательство геолог. лит., 1951.- 543с.
3. Боровик Е.С., Еременко В.В., Мильнер А.С. Лекции по магнетизму-М.: Физматлит. 2005. -512с.
4. Van Flack J.H. The theory of electric and magnetic suscrtibilities. – Oxford: Univ. pess, 1932 – 384p.
5. Сельвуд П.И. Магнетохимия. – М.: ИЛ. 1958 – 460с.
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. Довгопол С.Г., Радовский И.З., Гельд Г.В. Влияние плавления на магнитные характеристики железа, кобальта и никеля//ДАН СССР. – 212. – 1973. –с.83-85.
8. Вертман А.А., Самарин А.М. Магнитная восприимчивость никеля, кобальта и железа при высоких температурах в жидком состоянии// ДАН СССР.– 134.– 1960.– с.326-329.
9. Невзорова Э.Г., Гальтеков Б.П., Радовский И.З., Гельд П.В. Магнитная восприимчивость никеля и железа при высоких температурах// Изв.ВУЗов.– Черная металлургия.– № 9.– 1972.– с.108-109.
10. Новохатский И.А., Архаров В.И., Кисунько В.З. О структурных превращениях в жидком железе// ДАН СССР.– 208, 1973.– с.334-337.

11. Arajs S. And Miller D.S. Magnetic susceptibilities of Fe and Fe-Si alloys//J. Appl. Phys..– 1960.– vol.31.– №6.– pp.986-991.
12. Nakagawa V. Change of magnetic susceptibility of transition metals and alloys at their melting points//J. Phys. Soc. Jap..– 1956.– vol.11.– №8.– pp.855-863.
13. Шакаров Х.О. Магнитная восприимчивость интерметаллических соединений лантаноидов с индием при высоких температурах: Канд. диссертация. - Самарканд, 1983г.
14. Нагата Т. Магнетизм горных пород. - М.: Мир, 1965.
15. Шолпо Л.Е. Использование магнетизма горных пород для решения геологических задач. Л., Недра, 1977.
16. Дортман Н.Б., Дубинчик Э. Я., Розентал И.В., Никифорова А.С. Пара- и ферромагнетизм магматических пород. -Киев, Наукова Думка, 1974, вып. 60. с. 86-91.
- 17.Кувандиков О.К., Шакаров Х.О., Шодиев З.М., Ачилов А.А. Линейные и нелинейные изменение магнитной восприимчивости минералов – FeCr_2O и TiFe_2O_4 от температуры в парамагнитном состоянии. “Узлуксиз таълим тизимида физикани ўқитишни такомиллаштиришнинг долзарб муаммолари” мазудаги Республика илмий-амалий анжумани материаллари тўплами. 1-қисм. 92-93 б. Гулистон: 2017 й. 29-апрель.
- 18.Кувандиков О.К., Шакаров Х.О., Шодиев З.М., Умиркулов Ж. И. Изучение парамагнитных свойств горных минералов содержащих металлов группы железа при высоких температурах. “Замонавий физиканинг долзарб муаммолари”. VII Республика илмий назарий анжумани материаллари. 19-20 май. 2017 й. Термиз. 59-60 б.
19. Чечерников В.И. Магнитные измерения.–М.:Изд-во МГУ.– 1969.–388с.
20. Вертман А.А. Смарин А.Н. «Измерение магнитной восприимчивости жидких металлов». // Завдск. лаб. 1958, с. 309-310.

21. Кувондигов О.К., Шакаров Х.О. Методы измерения некоторых физических величин в общем курсе физики.// Руководство для НИРС и УИРС. – Самарканд. Изд. СамГУ, 1984. – 45с.
22. Шакаров Х.О. Магнитная восприимчивость интерметаллических соединений лантаноидов с индием при высоких температурах.// Кандидатская диссертация, Самарканд, 1983.
23. Кувондигов 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.
24. Kuvondikov O.K., Shakarov X.O., Shodiyev Z.M., Rustamov A. Analysis of the magnetic properties of $(La_{1-x}Sr_x)_{0.93}K_xMnO_3$ manganites at high temperatures.// Journal of communications technology and electronics. 2007.- vol. 52.- No.9. – p. 1058-1061.
25. Топор Н.Д. Дифференциально-термический и термовесовой анализ минералов. -М.: Недра, 1964. - 160 с.
26. Лапин В.В. Термический анализ минералов. – М.: Наука, 1978, – 142 с.
27. А.В. Падинин, Физические свойства горных пород. Новосибирск, 2010.
28. Чепуштанова Т.А., Луганов В.А. Термический анализ. Методическое указание к лабораторным работам (для студентов специальностей 05.16.02 «Металлургия»). – КазНТУ. – 2006. – 45с.
29. Хеммингер В., Хёне Г. Калориметрия. Теория и практика: Пер. с англ./ - М.: Химия, 1990. -. Пер. изд.: ФРГ, 1984. – 176с.
30. Топор Н.Д., Огородова Л.П., Мельчакова Л.В. Термический анализ минералов и неорганических соединений.-М.: Изд-во МГУ, 1987.
31. Горбунова И.Е., Григорьева В.М. и др. Поведение пентландита при нагреве в различных средах// Металлы. – 1978. - №4. – С. 35-38.

32. Иванова В.П., Касатов Б.К., Красавина Т.Н., Розинова Е.Л. Термический анализ минералов и горных пород. – Л., «Недра», 1974. – 399 с.
33. Шакаров Х.О., Усмонов Б.Н. Применение микро ЭВМ в НИРС по физике. Методические рекомендации. Самарканд, Изд. СамГПИ, 1959. – 37с.
34. 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.
35. Mindraw.web.ru/mineral_spinel.htm
36. www.mineralienatlas.de
37. www.ziyonet.uz
38. www.edu.uz