

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

**ALISHER NAVOIY NOMIDAGI SAMARQAND
DAVLAT UNIVERSITETI
FIZIKA FAKULTETI**

Qo'l yozma huquqida

UDK: 538.63.

NORQULOV OYBEK

Kobaltning nomagnit metallar bilan birikmalarining magnit
xossalari yuqori temperaturalarda o'rganish.

5A140202 –fizika

Magistr akademik darajasini olish uchun yozilgan dissertasiya

Ilmiy rahbar: dots. Shakarov X.O.

Samarqand – 2013

Mundarija.

Kirish	3
---------------------	---

I-Bob. Adabiyotlar sharhi

1.1. Temir guruhi metallarining (TGM) elektron tuzilishi.....	6
1.2. Co-(Si,Ge,Sn) sistemalarining holat diagrammalari va undagi birikmalarining kristall tuzilishi.....	8
1.2.1. Co-Si-sistemi	8
1.2.2. Co-Ge-sistemi	11
1.2.3. Co-Sn-sistemi	13
1.3. Paramagnitizmning Van – Flek nazariyasi.....	15
1.4. Almashinuv magnit o'zaro ta'sir nazariyasi.....	18
1.5. TGM va ularning nomagnit metallar bilan birikmalarining yuqori temperaturalardagi magnit xossalari.....	21
1.6. Tadqiqot muammosining qo'yilishi.....	25
I-bobga doir xulosalar	25

II-Bob. O'lchash usuli va texnikasi. Namunalarni tayyorlash

2.1. Magnit qabul qiluvchanlikni o'lchash usullari.....	27
2.2. O'lchash qurilmasining tuzilishi va ishlash prinsipi.....	30
2.3. Magnit qabul qiluvchanlikni o'lchash xatoliklari.....	38
II-bobga doir xulosalar	40

III-Bob. Tadqiqot natijalari va ularning muhokamasi

3.1 Kobalt va uning nomagnit-kremniy hamda germaniy bilan birikmalarining qattiq va suyuq holatlardagi magnit qabul qiluvchanligini o'lchash natijalari va	
--	--

ularni tushuntirish.....	41
3.1.1. Go-Si-sistemi	41
3.1.2. Go-Ge-sistemi	46
3.2. Co-(Si,Ge,Sn) sistemalaridagi birikmalarning asosiy magnit xarakteristikalarini aniqlash.....	49
III-bobga doir xulosalar.....	54
Ilova.....	55
Xulosalar.....	56
Adabiyotlar.....	58

KIRISH.

Mavzuning dolzarbligi.

Bugungi kunda temir guruhi metallari (TGM) va ular asosida hosil bo'ladigan birikmalarning fizik xossalarini shu jumladan magnit xossalarini o'rganishga bo'lgan qiziqish ularning elektron tuzilishining o'ziga xosligi va amalda keng qo'llanilishi bilan bevosita bog'liqdir. Bu materiallarda kechikib to'ladigan 3d – elektron qobiqlarning mavjud bo'lishi, ularning kinetik, optik, magnit va boshqa fizikaviy, ximiyaviy xossalarining o'ziga xosligini aniqlaydi. Ulardan doimiy magnitlar, transformator va drossellarning o'zaklari tayyorlashda, axborotlarni yozishda va qayta eshittirish texnikasining xotirlash qismlari sifatida hamda boshqa o'ziga xos magnit xossali yangi magnit materiallari yaratishda keng qo'llaniladi. Bu materiallarning fizik xossalarini o'rganish ilmiy jihatdan ham ahamiyatlidir. Chunki, bu materiallardagi almashinuv va magnit o'zaro ta'sirlar tabiati hali to'la aniqlanmagan. Ularning o'ziga xos magnit xossalarini 3d-sathlar bilan bog'lab tushuntiradigan yangi nazariy modellar yaratildi [1,2] va yaratilishi zarur.

Ilmiy va amaliy ahamiyatga ega bo'lgan bu masalani hal etish uchun ularning elektron, kristall va magnit tuzilishi haqida to'la ma'lumotga ega bo'lish kerak bo'ladi. Hozirgi kunda mavjud bo'lgan bunday ma'lumotlar yetarli emas. Ayniqsa, TGM va ular asosidagi birikmalarning magnit xossalari haqidagi ma'lumotlar ularning magnit tartiblangan holati uchun yetarli darajada bo'la turib, magnit tartibsiz-paramagnit holati uchun, ya'ni qattiq va suyuq holatlarini qamraydigan yuqori temperaturalardagi ma'lumotlar adabiyotlarda bugungi kunda juda kam uchraydi. Bu yuqori temperaturalarda magnit o'lchashlar tajribasini o'tkazishning qiyinchiliklari va olingan natijalarni talqin qiladigan tugal nazariyaning hali yo'qligi bilan bog'liqdir.

Ma'lumki, kechikib to'ladigan elektron qobiqli (3d-, 4f-, va h.z.)

materiallarning magnit xossalari (qabul qiluvchanligi) shu qobiqning elektronlar bilan to'lish xususiyatlarini va bu elektronlarning kristall panjara tugunlarida o'troqlashish (lokallashish) darajasini bevosita o'zida aks ettiradi. Bundan tashqari, magnit qabul qiluvchanlikning temperaturaga bog'lanishi [$\chi(T)$] bu materiallarning kristall panjarasida yuz beradigan strukturaviy allotropik va magnit fazaviy o'tishlarni ham sezadigan fizik xossa hisoblanadi.

Yuqorida aytilganlaridan kelib chiqqan holda ushbu magistrlik dissertatsiyada kobalt va uning nomagnit metallar - kremniy va germaniy bilan hosil qiladigan birikmalarining magnit xossalari ularning qattiq holati, erish jarayoni va suyuq holatini qamraydigan yuqori temperaturalar sohasida o'rganishni **asosiy maqsad** qilib qo'yildi. Bu maqsadni amalga oshirish uchun quyidagi **vazifalarni** bajarish zarur deb hisoblandi.

1. Co-(Si,Ge) sistemalaridagi birikmalarni sintez qilish;

2. Kobalt va uning nomagnit metallar – Si-Ge bilan hosil qiladigan birikmalari magnit qabul qiluvchanligining temperaturaga bog'lanishlarini [$\chi(T)$] ularning qattiq holati, erish jarayoni va suyuq holatini qamraydigan yuqori temperaturalar oralig'ida o'lchash va o'lchash natijalarini nazariy jihatdan tushuntirish;

3. O'rganilayotgan namunalarning $\chi^{-1}(T)$ tajribaviy bog'lanishlaridan foydalanib, ularning asosiy magnit xarakteristikalarini – paramagnit Kyuri temperaturasi (θ_p), Kyuri – Veyss doimiysi (C), ximiyaviy formula birligiga to'g'ri keladigan magnit momentini (μ_f) va magnitafaol bitta kobalt atomiga to'g'ri keladigan effektiv magnit momentni (μ_{eff}) aniqlash;

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

Ilmiy yangilik.

Bu magistrlik dissertatsiyada Co-(Si,Ge) sistemalaridagi intermetallik birikmalarning $\chi(T)$ bog'lanishini ularning qattiq va suyuq holatini qamraydigan yuqori temperaturalarda tajribada birinchi marta o'lchandi va o'lchash natijalaridan foydalanib ularning asosiy magnit xarakteristikalari (θ_p , C , μ_f , μ_{eff}) aniqlandi.

Ilmiy va amaliy ahamiyati.

Ushbu ishda olingan natijalar TGMning nomagnit metallar bilan hosil qiladigan birikmalarida amal qiladigan magnit o'zaro ta'sir tabiati, umuman olganda, ularning paramagnit holat nazariyasini yuqori temperaturalarda takomillashtirishga va ulardan yangi magnit materiallari yaratishga xizmat qiladi.

Himoya qilinadi.

1. Kobalt va uning nomagnit metallar kremniy va germaniy bilan birikmalarining $\chi(T)$ bog'lanishini ularning qattiq va suyuq holatida o'lchash natijalari va o'lchash natijalarini tushuntirish bo'yicha olingan natijalar.
2. Co-(Si,Ge) germaniy sistemasidagi birikmalarning tajribaviy $\chi^{-1}(T)$ bog'lanishlaridan foydalanib ularning asosiy paramagnit xarakteristikalarini (θ_p , C , μ_f , μ_{eff}) hisoblash natijalari.

Ishning tuzilishi va hajmi.

Malakaviy bitiruv ishi kirish, uchta bob, xulosalar va 28 ta nomdagi adabiyotlar ro'yxatidan tashkil topgan bo'lib, 61 bet lotin alifbosida, bosma shaklda bayon qilingan. Uning mazmuni 12 ta rasm va 7 ta jadval yordamida ko'rgazmali bayon qilingan.

I – Bob. Adabiyotlar sharhi.

1.1. Temir guruhi metallarining (TGM) elektron tuzilishi.

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

Temir guruhi atomlarida 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 muhitida tugunlarida „yalong'och” holatda, ya'ni tashqi ta'sirlardan xususan, kristall panjara elektr maydonidan ekranlashmagan (himoyalangan) holatda bo'ladilar. TGM metallaridan Cr, Mn, Fe, Co va Ni kuchli magnit xossaga (magnit tartiblangan holatga) ega bo'lgan metallar bo'lib hisoblanadi.

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

1.1-jadval

TGM atomlari va ionlarining elektron tuzilishi.

№	Elektron	Atom uchun		Ion uchun					
		Elektron konfiguratsiya	Asosiy holat termi	Ion	Elektron konfiguratsiya	S	L	I	Asosiy holat termi
21	Se	[Ar]3d ¹ 4s ²	³ D _{3/2}	Se ²⁺	[Ar]3d ⁰	0	0	0	¹ S ₀
22	Ti	[Ar] 3d ² 4s ²	³ F ₂	Ti ³⁺	[Ar]3d ¹	1/2	2	3/2	³ S _{3/2}
23	V	[Ar] 3d ³ 4s ²	³ F _{3/2}	V ³⁺	[Ar]3d ²	1	3	2	³ F ₂
24	Cr	[Ar] 3d ⁵ 4s ¹	⁷ F ₉	Cr ³⁺	[Ar]3d ³	3/2	3	3/2	³ F _{3/2}
25	Mn	[Ar] 3d ⁵ 4s ²	⁶ S _{5/2}	Mn ³⁺	[Ar]3d ⁴	2	2	0	⁵ D ₀
				Mn ²⁺	[Ar]3d ⁵	5/2	0	5/2	⁶ S _{5/2}
26	Fe	[Ar] 3d ⁶ 4s ²	⁵ D ₄	Fe ³⁺	[Ar]3d ⁵	5/2	0	5/2	⁶ S _{5/2}
				Fe ²⁺	[Ar]3d ⁶	2	2	4	⁵ D ₄
27	Co	[Ar] 3d ⁷ 4s ²	⁴ F _{9/2}	Co ²⁺	[Ar]3d ⁷	3/2	3	9/2	⁴ F _{9/2}
28	Ni	[Ar] 3d ⁸ 4s ²	³ F ₄	Ni ²⁺	[Ar]3d ⁸	1	3	4	³ F ₄
29	Cu	[Ar] 3d ¹⁰ 4s ¹	⁵ S _{1/2}	Cu ²⁺	[Ar]3d ⁹	1/2	2	5/2	² D _{5/2}
				Cu ¹⁺	[Ar]3d ¹⁰	0	0	0	¹ S ₀

1.2. Co-(Si,Ge) sistemalarining holat diagrammalari va undagi birikmalarning kristall tuzilishi.

Co-(Si,Ge) sistemalarining intermetallik birikmalarining $\chi(T)$ bog'lanishlarini, bitiruv ishining kirish qismida bayon qilinganidek, ularning qattiq holati, erish jarayoni va suyuq holatini qamraydigan keng yuqori temperaturalar oralig'ida o'lchashni asosiy maqsad qilib qo'yilgan. Buning uchun intermetallik birikmalarida, shu keng temperaturalar oralig'ida yuz beradigan polimorf va allotropik fazoviy o'tish (erish) temperaturalarini bilish zarur bo'ladi. Bunday ma'lumotlarni o'rganilayotgan sistemaning holat diagrammasidan bilish mumkin. Shuni hisobga olib, o'rganilayotgan binar sistemalarining holat diagrammasini quyida qarab chiqish maqsadga muvofiqdir.

1.2.1. Co-Si-sistemi.

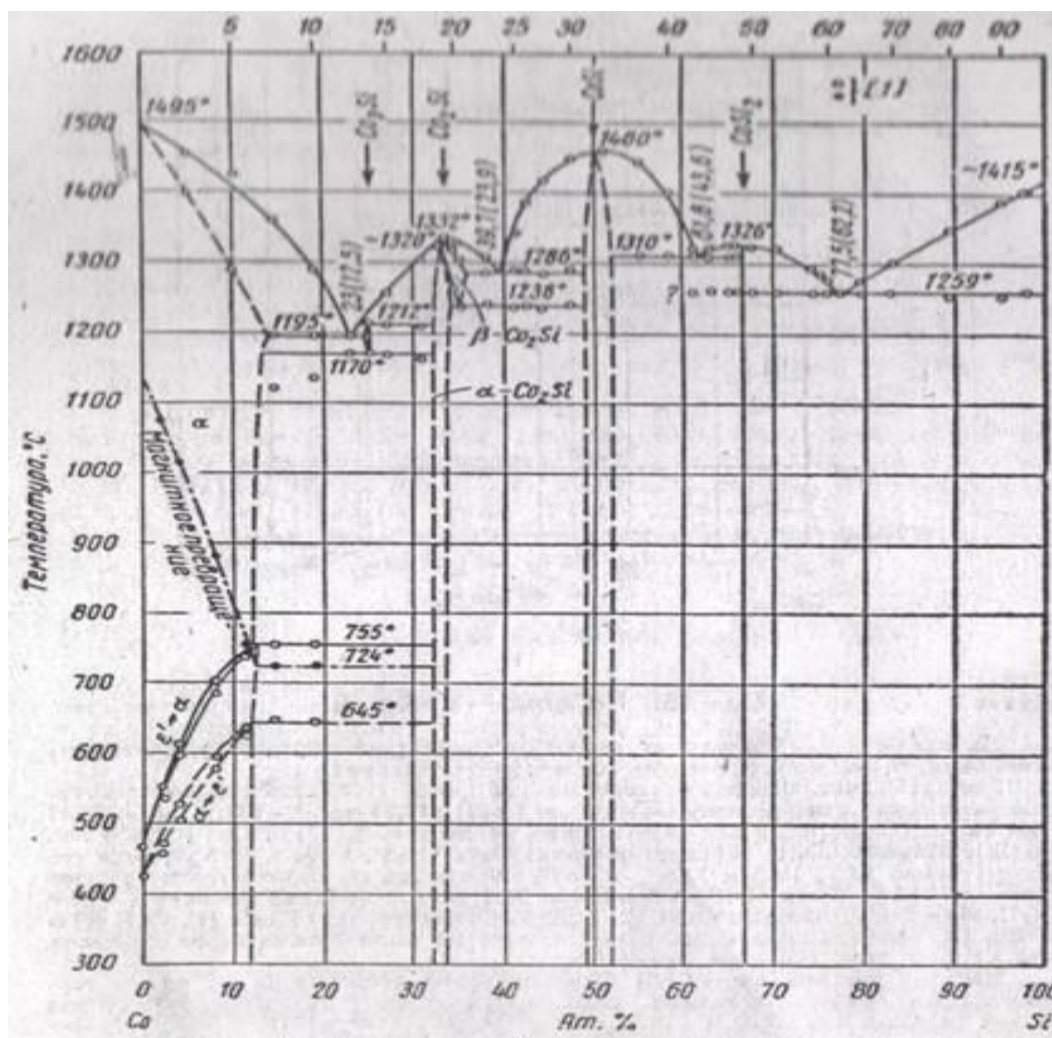
Co-Si-sistemi holat diagrammasini ko'rishga va kristall strukturani o'rganishga oid ilmiy-tadqiqot natijalari [3-5] manbalarda umumlashtirib bayon qilingan. Co-Si- sistemasi holat diagrammasi, komponentlari (Co,Si) suyuq holatda chiqib bir-birida chegaralanmagan darajada eriydigan, qattiq holatda esa intermetallik (ximyaviy) birikmalar (oraliq fazalar) hosil qiladigan diagramma turiga mansubdir (1.1-rasm).

Co-Si-sistemada to'rtta intermetallik birikma hosil bo'lishi 1.1-rasmdan ko'rinib turibdi [4]: Co_3Si , Co_2Si , CoSi va CoSi_2 . Endi shu birikmalarda yuz beradigan fazoviy o'tishlar haqida qisqacha to'xtalamiz. Chunki, namunalarning $\chi(T)$ bog'lanishlarini o'chash jarayonida fazoviy o'tishlarning shu $\chi(T)$ bog'lanishga ta'sirini o'rganish uchun, fazoviy o'tishlar yuz beradigan temperaturalarini bilish zarur bo'ladi.

1. 1.1-rasmda keltirilgan diagrammadan ko'rinib turibdiki, Co_3Si birikma 1212°C temperaturada, suyuq + $\text{Co}_2\text{Si} \rightarrow \text{Co}_3\text{Si}$ peritektik reaksiya bo'yicha hosil bo'ladi. Bu birikma qattiq holatda, $1212-1170^\circ\text{C}$ temperaturalar oralig'ida, turg'un bo'lib, 1170°C temperaturada $\text{Co}_3\text{Si} \rightarrow \alpha + \text{Co}_3\text{Si}$ peritekoid reaksiya bo'yicha

parchalanadi (bunda α -chegaraviy qattiq eritma). Demak 1170°C dan past temperaturada, Co_3Si birikma tarkibiga mos keladigan ikki fazali mexanik aralashma α -chegaraviy qattiq eritma va Co_2Si birikmalarning mexanik aralashmasi mavjud bo'ladi. Bu aralashmada 755°C da polimorf va 724°C da esa magnit fazaviy o'tish (ferromagnit \rightarrow paramagnit) yuz beradi. Co_3Si 1232°C dan yuqori temperaturada suyuq holatda bo'ladi.

2. Co_2Si birikma 1232°C da kongruent ravishda eriydi. Bu birikmada 1320°C temperaturada



1.1-rasm. Co_2Si sistemasining holat diagrammasi.

$\alpha - Co_2Si \rightarrow \beta - Co_2Si$ polimorf fazoviy o'tish yuz beradi. Birikma ensiz gomogenlik sohasiga ega va uy temperaturasigacha turg'un bo'lgan birikmadir.

3. CoSi birikma 1460⁰C temperaturada kongruent kristallanadi (eriydi). [suyuqlikdan kristall holatga o'tadi (yoki aksincha eriydi)]. U ham, Co₂Si birikma kabi, ensiz gomogenlik sohasiga ega va uy temperaturasigacha turg'un bo'lgan birikmadir.

4. CoSi₂ birikma 1226⁰C temperaturada kongruent eriydigan (suyuqlikdan kristallanadigan) birikmadir. U uy temperasigacha turg'un holatda bo'ladi.

Co₃Si-ning kristall panjarasi rombik turdagi element yacheykaga ega. Element yacheykaga 12-atom mavjud. Co₂In-Ni₂In turdagi panjara (geksogonal); CoSi-FeSi turdagi (kubik); CoSi₂-CaF₂ turdagi (kubik) panjaraga ega bo'lar ekan [4]

5. Co-Si sistemasidagi birikmalarning kristall strukturasi haqidagi ma'lumotlar 1.2-jadvalda keltirilgan.

1.2-jadval.

Co-Si sistemasidagi birikmalarning kristall strukturasi haqidagi ma'lumotlar [4].

Birikma	Panjara turi	Singoniya turi	Panjara davri, A ⁰		
			a	c	c
Co ₃ Si	Rh ₂ Ge	Rombik	7,109	4,918	3,788
Co ₂ Si	PbCe ₂	Geksagonal	-	-	-
CoSi	FeSi	Kubik	4,447	-	-
CoSi ₂	CaF ₂	Kubik	5,367	-	-

1.2.2. Co-Ge-sistemesi.

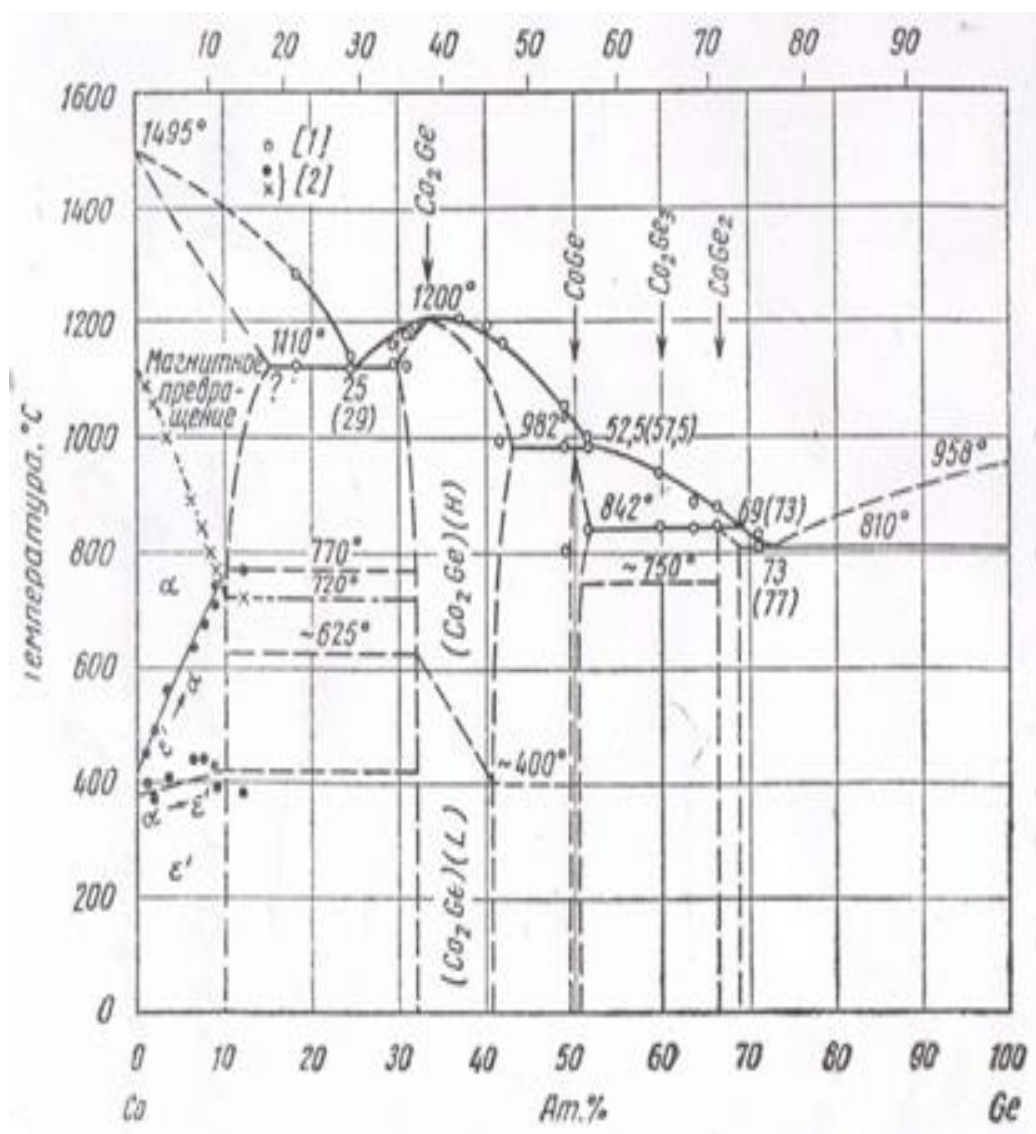
Bu sistemaning holat diagrammasini qurish va ulardagi intermetallik birikmalarning kristall tuzilishini aniqlash bo'yicha ilmiy-tadqiqot ishlari [4-7] manbaalarda tahlil qilinib umumlashtirilgan. Shulardan [4] manbaada termik, mikroskopik va rentgeno-grafik tadqiqotlar asosida qurilgan, Co-Ge sistemaning holat diagrammasi berilgan va bu diagramma 1.2-rasmda keltirilgan [4].

1.2-rasmdan ko'rinib turibdiki, Co-Ge-sistemesining holat diagrammasi ham, Co-Si-sistemesining holat diagrammasiga o'xshash bo'lib, komponentalar suyuq holatda chegaralanmagan darajada komponentlari bir-birida eriydigan, qattiq holatda esa oraliq fazalar (intermetallik birikmalar) hosil qiladigan diagramma turiga mansubdir. Sistemada 4-ta oraliq faza hosil bo'ladi: Co_2Ge , CoGe , Co_2Ge_3 va CoGe_2 . Shulardan uchta - Co_2Ge , CoGe va CoGe_2 kengroq gomogenlik sohasiga ega bo'lgan fazalardir. Ularning gomogenlik sohasining chegaralari punktir tik chiziqlar bilan ko'rsatilgan. Co_2Ge_3 -birikma gomogenlik sohasiga ega emas.

Birikmalarda yuz beradigan fazaviy o'tishlarni qaraymiz.

1. Co_2Ge -stexiometrik formulaga mos tushadigan oraliq faza NiA_5 (B8) tipdagi kristall strukturaga ega ekan. Bu birikma 1200°C temperaturada suyuqlikdan kongruent ravishda kristallanadi. Uning temperaturasi pasayishi bilan, 600°C temperaturada, unda $\text{Co}_2\text{Ge} (\text{H}) \rightarrow \text{Co}_2\text{Ge} (\text{L})$ polimorf fazaviy o'tish yuz beradi. $\text{Co}_2\text{Ge} (\text{L})$ -faza atomlari yuqori darajada tartiblangan (sverx struktura) faza ekan. Bu faza uy temperaturasigacha turg'un holatda bo'ladi.

2. CoGe -oraliq faza 982°C da $\text{Co}_2\text{Ge} + \text{suyuqlik} \rightarrow \text{CoGe}$ peritektik reaksiya bo'yicha kristallanadi. U uy temperaturasigacha turg'un holatda bo'ladi. CoGe 1030°C temperaturadan yuqorida suyuq holatda bo'ladi.



1.2-rasm. Co-Ge sistemasining holat diagrammasi [4].

3. Co_2Ge_3 -stexemetrik formulaga mos keladigan oraliq faza 750°C $\text{CoGe} + \text{CoGe}_2 \rightarrow \text{Co}_2\text{Ge}_3$ periteptoid reaksiya bo'yicha hosil bo'ladi. U $842\text{-}950^\circ\text{C}$ temperaturalar oralig'ida eriydi va 950°C dan yuqorida suyuq holatda bo'ladi; 750°C dan uy temperaturasigacha turg'un holatda bo'ladi.

4. CoGe_2 oraliq faza 842°C temperaturada $\text{CoGe} + \text{suyuqlik} \rightarrow \text{CoGe}_2$ periteptik reaksiya bo'yicha hosil bo'ladi. U 880°C dan yuqori temperaturalarda suyuq holatda bo'ladi; 842°C dan uy temperaturasigacha turg'un holatda bo'ladi.

Kobalt-germaniy sistemasidagi birikmalarning kristall tuzilishi haqidagi ma'lumotlar 1.3-jadvalda keltirilgan.

**Co – Ge sistemasidagi metallarning kristall tuzilishi haqidagi
ma'lumotlar. [4,5]**

Birikma	Panjara turi	Singoniya turi	Panjara davri, A ⁰		
			a	c	c/a
Co ₂ Ge(H.T)	Ni As	Geksagonal	3.918	4.979	1.271
Co ₂ Ge(L.T)	Ni ₂ In	Geksagonal	-	-	-
CoGe	Ni ₃ Sn ₄	Ortorombik	-	-	-
CoGe ₂	CoGe ₂	Rombik	5,68	10,82	1,904

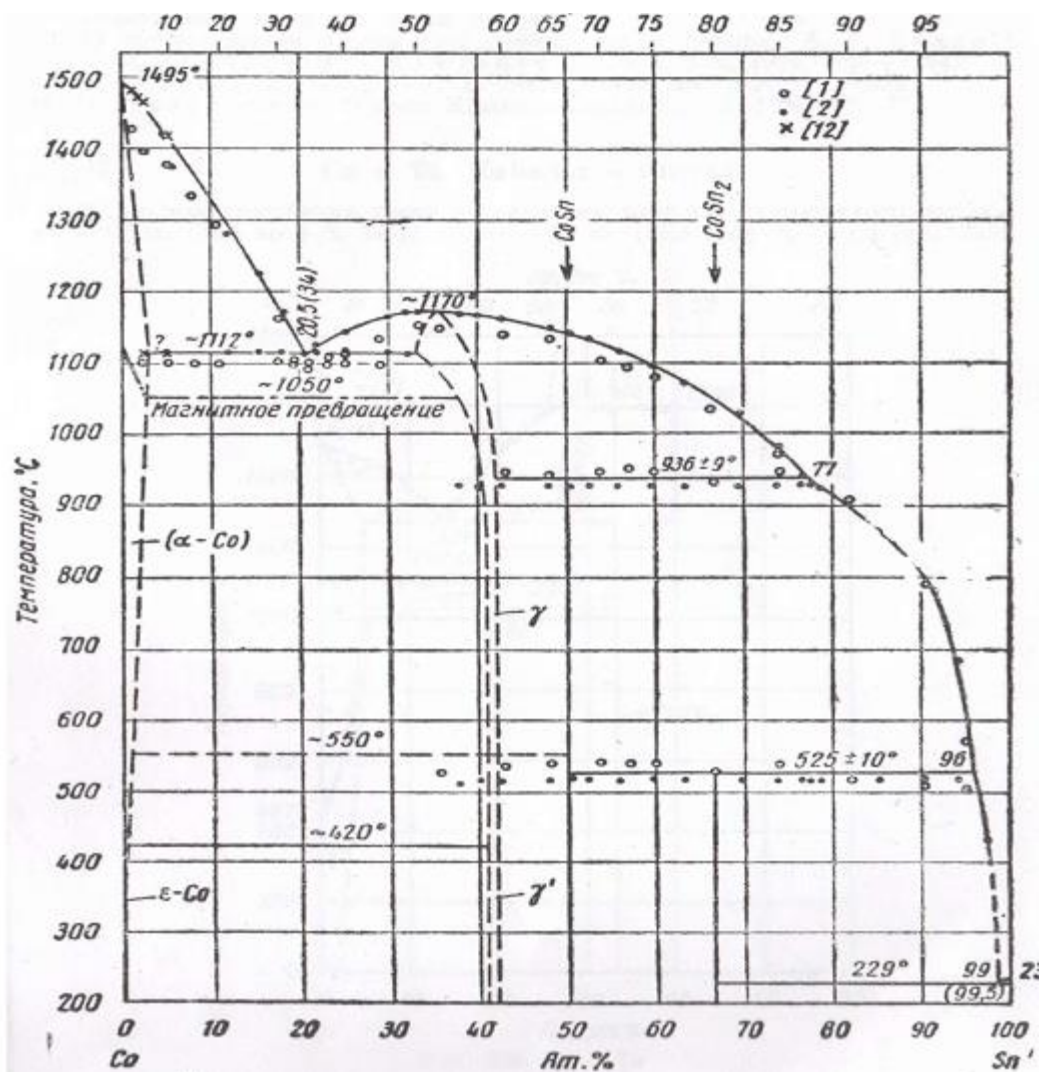
1.2.3. Co-Sn-sistemasi.

Co-Sn-binar sistemasining holat duagrammasi 1.3-rasmda keltirilgan [4]. Bu rasmda tahlil qilish shuni ko'rsatadiki, Co-Sn-sistemasining holat diagrammasi, kamponentlari suyuq holatda bir-birida chegaralanmagan darajada eriydigan, qattiq holatda esa oraliq fazalar (birikmalar) hosil bo'ladigan diagramma turiga mansubdir. Sistemada uchta oraliq faza mavjud: γ -faza, CoSn va CoSn₂-intermetallik birikmalar.

γ -faza 41-42 at.% Sn gomogenlik sohasiga ega bo'lib, unda 550⁰C temperaturada γ - γ' polimorf fazaviy o'tish yuz beradi. γ -fazaning tarkib Co₃ Sn₂ sexnometrik formulaga yaqindir. 1.3-rasmdan ko'rinib turibdiki, bu faza 1170⁰C da kongruent ravishda suyuq fazadan kristallanadi.

CoSn-birikma 936-900°C ([4] bo'yicha turli manbalarga 850-950°C gacha) temperaturada γ +suyuqlik \rightarrow CoSn-peritektik reaksiya hosil bo'ladi. Bu birikma 1140°C da eriydi.

Co₂Sn-birikma 525 ± 5°C temperaturada CoSn+suyuqlik \rightarrow Co₂Sn peri



1.3-rasm. Co-Sn sistemasining holat diagrammasi [4].

teptik reaksiya bo'yicha hosil bo'ladi. U 525-1040°C temperatura oralig'ida eriydi; 1040°C dan yuqorida faqat suyuq holatda bo'ladi. 1.4-jadvalda Co-Sn-sistemadagi oraliq fazalarning kristall strukturasi haqidagi ma'lumot keltirilgan.

1.3 – jadval.

Co – Ge sistemasidagi metallarning kristall tuzilishi haqidagi ma'lumotlar. [4,5]

Birikma	Panjara turi	Singoniya turi	Panjara davri, A ⁰		
			a	c	c/a
Co ₂ Ge(H.T)	Ni As	Geksagonal	3.918	4.979	1.271
Co ₂ Ge(L.T)	Ni ₂ In	Geksagonal	-	-	-
CoGe	Ni ₃ Sn ₄	Ortorombik	-	-	-
CoGe ₂	CoGe ₂	Rombik	5,68	10,82	1,904

1.3. Paramagnitizmning Van – Flek nazariyasi.

Ushbu ishda tekshiriladigan namunalarning paramagnit xossalari o'rganilganligi uchun , ularning paramagnit holati nazariyasini quyida, qisqacha bo'lsada, qaraladi.

Paramagnitizmning umumiy kvanto – mexanik nazariyasi Van – Flek tomonidan ishlab chiqilgan.[1,8,9]

Temir guruhi elementlari atomlari (ionlari) ning 3d-qobiq elektronlarining uyg'ongan va asosiy energetik sathlar energiyalarining farqi $\Delta E \ll k_B T$ (T-absolyut temperatura) bo'lgani uchun Van – Flek nazariyasidan bu elementlar magnit qabul qiluvchanligining temperaturaga bog'lanishini hisoblash uchun quyidagi ifodani olish mumkin [8]:

$$\chi = \frac{N_A}{M} \frac{\mu_B^2}{3k_B T} [4S(S+1) + L(L+1)], \quad (1.1)$$

bu ifodaga quyidagi belgilashlar kiritamiz:

$$C = \frac{N_A}{M} \frac{\mu_B^2}{3k_B T} [4S(S+1) + L(L+1)] = \frac{N_A}{M} \frac{\mu_{ef}^2}{3k_B}, \quad (1.2)$$

Bundagi

$$\mu_{ef} = [4S(S+1) + L(L+1)]^{\frac{1}{2}} \mu_B, \quad (1.3)$$

(1.2) da asosan (1.1) dan quyidagi Kyuri-Veyss qonunining empirik ifodasini olish mumkin:

$$\chi = \frac{C}{T - \theta_p}, \quad (1.4)$$

bundagi θ_p – kristall panjara tugunlarida o'troqlashgan 3d – elektronlarining tugunlararo magnit o'zaro ta'sirini xarakterlash uchun kiritilgan kattalik bo'lib, unga **paramagnit Kyuri temperaturasi** deyiladi.

(1.3) ifoda yordamida temir guruhi elementlari erkin ionlaridagi 3d qobiq elektronlari magnit momentining nazariy qiymatini hisoblash mumkin.

Shuni alohida qayd etish kerakki, (1.3) ifoda bo'yicha nazariy hisoblangan μ_{ef} ning, ya'ni effektiv magnit momentining qiymati (masalan nikel uchun $\mu_{ef} = 4.47 \mu_B$ ga teng) bo'lib, tajriba natijasidan 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 (1.3) ifodadagi orbital tashkil etuvchisini, ionlar metall ichida bo'lganda, hisobga olmaydigan darajada kichik deb qarash mumkin. ($L \approx 0$) u holda (1.3) ifodani quyidagicha yozish mumkin.

$$\mu_{ef} = 2[S(S+1)]^{\frac{1}{2}} \mu_B. \quad (1.5)$$

Agar multipletlik - $2S+1$, yoki 3d qobiqdagi juftlashmagan elektronlar soni - N aniq bo'lsa, μ_{ef} ning qiymatini (1.5) dan kelib chiqadigan quyidagicha ham topish mumkin ($S = \frac{N}{2}$):

$$\mu_{ef} = \sqrt{N(N+2)} \mu_B, \quad (1.6)$$

TGM bitta atomiga to'g'ri keladigan magnit moment-effektiv magnit momentning tajribaviy qiymatini (1.2) dan olinadigan quyidagi formuladan topiladi [8]:

$$\mu_{ef}^{aj} = \frac{1}{\mu_B} \left(\frac{3k_B}{N_A} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot (M \cdot C)^{\frac{1}{2}} \mu_B = 2,83(M \cdot C)^{\frac{1}{2}} \mu_B \quad (1.7)$$

Bu yerda:

μ_B – Bor magnitoni, k_B – Bolsman doimiysi, N_A – Avogadro doimiysi, M – molyar massa, C – Kyuri – Veyss doimiysi.

(1.7) ifodadagi doimiy C namunaning tajribaviy $\chi^{-1}(T)$ bog'lanishidan ya'ni (1.4) ifodadan foydalanib aniqlanadi. Bu haqida III – bobda batafsil to'xtalamiz.

Shuni alohida qayd etish lozimki, TGM ionlari uchun (1.5) yoki (1.6) ifodalar bo'yicha hisoblash natijalar tajriba natijalari bilan yaxshi mos tushadi.

TGM ionlarining asosiy magnit xarakteristikalari 1.5 – jadvalda keltirilgan.

1.5 – jadval.

TGM (Fe, Co, Ni) ionlarining asosiy magnit xarakteristikalari.[1.8]

Ion	3d – elektronlar soni (n)	N-juftlashmagan elektronlar soni	$\mu_{ef, naz}, \mu_B$ [(1.6) bo'yicha]	$\mu_{ef, taj}, \mu_B$ [(1.7) bo'yicha]
Fe³⁺	5	5	5.92	5.2 – 6.0
Fe²⁺	6	4	4.9	5.0 – 5.5
Co²⁺	7	3	3.87	4.4 – 5.2
Ni²⁺	8	2	2.83	2.9 – 3.4

1.4. Almashinuv magnit o'zaro ta'sir na'zariyasi.

Kechikib to'ladigan qobiqqa ega bo'lgan atomlardan (aniqrog'i, kristall panjara tugunlarida joylashgan ionlardan) tashkil topgan metallarning kuchli magnit xossasini (magnit tartiblangan holatini) shu qobiq elektronlarning tugunlararo magnit o'zaro ta'sir hosil qiladi. Bunday o'zaro ta'sir **almashinuv o'zaro ta'sir** nomi bilan ataladi. Kamyob yer metallari (KEM) (yoki lantanoidlar qatorida) 4f – kechikib to'ladigan elektron qobiqqa ega bo'lgan ionlar ularning kristall panjarasi tugunlarida joylashadilar.

4f qobiq elektronlari $5s^25p^6$ qobiqlardagi elektronlar bilan tashqi ta'sirlardan himoyalangan bo'ladi. Shu sababga ko'ra ularning tugunlararo bevosita o'zaro ta'siri (f – f o'zaro ta'sir deb ham ataladigan) amalga oshmaydi. Demak ularning magnit tartiblangan holatini bunday bevosita o'zaro ta'sir hosil qila olmaydi. Bunday holat tajribalar ko'rsatadiki, past temperaturalarda (masalan Gd uchun bu temperatura eng yuqori hisoblanadi – 292 K) kuzatilar ekan. Bunday tartiblangan holatni 4f – qobiq elektronlarining o'tkazuvchan (ya'ni tugunlar orasida umumlashgan) elektronlar ($6s^2$ va $5d^1$ -elektronlar) orqali o'zaro ta'sir hosil qilar ekan. Bunday o'zaro ta'sir f – S – f qisqacha S-f o'zaro ta'sir yoki **bilvosita o'zaro ta'sir** deyiladi [1]. Bunday o'zaro ta'sir nazariyasi KEM uchun birinchi marta Ruderman, Kittel, Kasuya va Iosidalar tomonidan ishlab chiqilgani uchun **RKKI nazariyasi** ham deb yuritiladi. Bu nazariya [1]da batafsil yoritilgan.

KEMning paramagnit Kyuri temperaturasi (θ_p) RKKI o'zarota'sir energiyasining o'lchovi hisoblanadi va u quyidagi ifoda bilan aniqlanadi[1]:

$$\theta_p = \frac{3\pi m^2}{k_B \Omega^2 E_F} A_{sf}^2(0)(g_l - 1)^2 I(I + 1) \sum_{n \neq m} F(2\vec{k}_F(\vec{R}_n - \vec{R}_m)), \quad (1.8)$$

Bu yerda n – umumlashgan elektronlar konsentratsiyasi,

$A_{sf}(0)$ - bilvosita S-f o'zaro ta'sir doimiysi (integrali); E_F -Fermi sathi energiyasi;

k_F – Fermi sirtining to'lqin vektori; $(\vec{R}_n - \vec{R}_m)$ – n- va m-tugunlar orasidagi masofa;

$F(x) = F(2\vec{k}_F(\vec{R}_n - \vec{R}_m)) = (x \cos x - \sin x) / x^4$ – Ruderman – Kittel funksiyasi;

(1.8) ifodadagi

$$G = (g_l - 1)^2 I(I + 1), \quad (1.9)$$

kabi aniqlanuvchi G – kattalikka ge Jen faktori deyiladi. Bu ifodadagi g_l -Lande

faktori deyilib quyidagicha aniqlanadi.

$$g_l = 1 + \frac{I(I+1) + S(S+1) - L(L-1)}{2I(I+1)},$$

bundagi I, S va L-4f va 3d-qobiqdagi elektronlarning to'liq kvant sonlari.

RKKI nazariyasi bo'yicha (θ_p) va G kattaliklar orasida quyidagicha bog'lanish olingan [1]:

$$\theta_p = A(g_l - 1)^2 I(I+1) = AG, \quad (1.10)$$

Bunda

$$A = \frac{9\pi n^2}{k_B \Omega^2 E_F} A_{sf}^2(0) \sum_{n \neq m} F(2\vec{k}_F(\vec{R}_n - \vec{R}_m)), \quad (1.11)$$

(1.9), (1.10) va (1.11) larga asosan (1.8)dan quyidagini olamiz:

$$\theta_p = \frac{1}{3k_B} AG, \quad (1.12)$$

1.1. dan ma'lumki, TGM ionlaridagi 3d qobiq elektronlari kristall panjara tugunlarida „yalang'och" qoladi. Shu tufayli bu qobiq elektronlarining bevosita magnit o'zaro ta'siri yuz berishiga halaqit beradigan, ya'ni ularni ekranlovchi elektron qobiqlar (KEMdagi $5s^25p^6$ larga o'xshash) yo'q. Demak, TGMda faqat bilvosita emas, balki bevosita ta'sir ham amalga oshadi. Bunga d – d o'zaro ta'sir ham deyiladi.

TGMda magnit tartiblangan holatni mana shu bevosita almashinuv o'zaro ta'sir hosil qiladi.

Shunday o'zaro ta'sirning energetik o'lchovi TGMda ham Kyuri temperaturasi hisoblanadi. Almashinuv o'zaro ta'sir nazariyasi TGMning paramagnit Kyuri temperaturasi uchun quyidagi ifodani beradi [1]:

$$\theta_p = \frac{zA}{k_B}, \quad (1.13)$$

Bu yerda z -koordinatsiya soni; A -almashinuv o'zaro ta'sir doimiysi; k_B - Bolsman doimiysi.

1.5. TGM va ularning nomagnit metallar bilan birikmalarining yuqori temperaturalardagi magnit xossalari.

Toza TGMning (Fe, Co, Ni) magnit qabul qiluvchanligining temperaturaga bog'lanishini [$\chi(T)$] tajribada o'rganish va bu tajribaviy bog'lanishdan foydalanib ularning asosiy magnit xarakteristikalarini aniqlash bo'yicha bugungi kunda qilingan ishlar yetarlicha bor. Masalan, bunday ishlarning natijalari [10-16] ishlarda batafsil bayon qilingan.

Bu ishlarning tahlili shuni ko'rsatadiki, temirning $\chi(T)$ bog'lanishi uning kristall panjarasida yuz beradigan polimorf fazaviy o'tishlarida [$\alpha \rightarrow \gamma$ (910°C), $\gamma \rightarrow \delta$ (1392°C)] va erish jarayonida (1536°C) sakrab o'zgaradi. Har bir fazada bu bog'lanish Kyuri – Veyss qonuniga (1.4) bo'ysunadi.

Kobaltning $\chi(T)$ bog'lanishini o'rganish bilan bog'liq ishlarning natijalarini tahlil qilish shuni ko'rsatadiki, uning qattiq va suyuq holatlarida χ temperatura ortishi bilan kamayadi. Uning $\chi^{-1}(T)$ bog'lanishi chiziqli tabiatga ega ekan, ya'ni Kyuri – Veyss qonuniga bo'ysunadi. χ -ning kamayishi qattiq holatda, suyuq holatga nisbatan, keskinroq yuz beradi. Kobaltning erish temperaturasida χ sakrab kamayadi.

Nikelning paramagnit holatida uning $\chi(T)$ bog'lanishini tajribada o'rganish bilan bog'liq ishlarning natijalarini tahlil qilish shuni ko'rsatadiki, temperatura ortishi bilan uning magnit qabul qiluvchanligi qattiq holatda ham, suyuq holatda ham monoton kamayadi. Uning erish jarayonida $\chi(T)$ bog'lanishida keskin o'zgarish yuz bermaydi.

Toza temir guruhi metallarining (Fe, Co, Ni) asosiy magnit xarakteristikasi quyidagi 1.5 – jadvalda keltirilgan.

TGMning nomagnit metallar (Ge, Zn, Bi, Si va h.z.) bilan birikmalarining magnit tartiblangan holatida etarli darajada o'rganilgan bo'lib ularning paramagnit holatida, ya'ni qattiq holati, erish jarayoni va suyuq holatini qamraudigan yuqori temperaturalarda kam o'rganilgan. Bunday tadqiqotlarga bag'ishlangan ishlar bugungi kundagi ilmiy adabiyotlarda kam uchraydi. Bunday ishlarni misol qilib [17-19] ishlarni ko'rsatish mumkin.

[17] ishda Ni-Si sistemasidagi qotishmalarda magnit qabul qiluvchanligining Si konfiguratsiyasiga bog'lanishi 1450°C va 1600°C temperaturalar uchun berilgan. Bu bog'lanishlarni tahlil qilish shuni ko'rsatadiki, Si atomlari konfiguratsiyasining oshishi bilab qotishmalarning χ kamayadi. 1450°C Ni_3Si , NiSi va NiSi_2 birikmalar uchun mos ravishda, $\chi = 1,2 \cdot 10^{-6} \text{cm}^3/2$, $0,8 \cdot 10^{-6} \text{cm}^3/2$ va $=0$ natija olingan.

[16] ishda Fe, Co va Ni silisidlarining magnit hossalarni o'rganish bo'yicha olib borilgan ishlarga sharh berilgan. Shu haqida qisqacha to'xtalamiz. Fe_3Si birikmaning $\chi(T)$ bog'lanishi $700-1200^{\circ}\text{C}$ temperaturalar oralig'ida o'rganilgan bo'lib, bu bog'lanish (1.4) ko'rinishdagi Kyuri – Veyss qonuniga bo'ysunadi va (1.4) dagi C va θ_p lar uchun mos ravishda $1,6 \cdot 10^2 \frac{\text{sm}^3 \text{g}}{\text{K}}$ va 660°C natijalarda aniqlangan.

Co_2Si va N_2Si birikmalarining $\chi(T)$ bog'lanishlari ham, mos ravishda, $300-800^{\circ}\text{C}$ va $300-1000^{\circ}\text{C}$ temperaturalar intervalida o'rganilgan. Co_2Si ning magnit qabul

qiluvchanligi temperatura ortishi bilan monoton ravishda $6,4 \cdot 10^{-6} \text{ sm}^3/\text{g}$ dan (300°C), $5,2 \cdot 10^{-6} \text{ sm}^3/\text{g}$ (300°C) gacha kamayib (1.4) ko'rinishdagi Kyuri – Veyss qonuniga qonuniga bo'ysunadi. Ni_2Si birikma uchun χ temperatura bilan juda kam o'zgaradi (kamayadi) ($\chi_{xona} = 0,3 \cdot 10^{-6} \text{ sm}^3/\text{g}$).

Monosilisidlar FeSi, CoSi va NiSi xona temperaturasida mos ravishda $1,2 \cdot 10^{-6}$, $-0,3 \cdot 10^{-6}$ va $-0,3 \cdot 10^{-6} \text{ sm}^3/\text{g}$ magnit qabul qiluvchanlikka ega bo'lailar. FeSi birikmaning $\chi(T)$ bog'lanishi $200-900^\circ\text{C}$ temperatura oralig'ida o'rganilgan. Bu bog'lanish ekstremal tabiatga ega ekan: temperatura ortishi bilan χ dastlab oshadi, 250°C da $\chi = \chi_{\max}$ ga erishadi. So'ngra (1.4) ko'rinishdagi Kyuri – Veyss qonuniga bo'ysunib kamayadi. Bu birikma uchun quyidagi asosiy magnit xarakteristikalar aniqlangan: $C = 1,64 \frac{\text{sm}^3 \cdot \text{g}}{\text{K}}$, $\theta_p = -149 \text{ K}$, $\mu_{ef} = 2,26 \mu_B$.

Kremniyga boy silisidlar (FeSi, CoSi, NiSi) kuchsiz paramagnit hossaga ega bo'lar ekanlar. FeSi_2 birikmaning $\chi(T)$ ($\chi_{xona} = 7,9 \cdot 10^{-6} \text{ sm}^3/\text{g}$) bog'lanishi $193-900^\circ\text{C}$ temperaturalar oralig'ida o'rganilgan va ekstremal tabiatga ega: 230°C da $\chi = \chi_{\max}$ ga erishadi, so'ngra kamayadi, $T > 600^\circ\text{C}$ tempetaraturalarda (1.4) qonunga bo'ysunadi. CoSi_2 uchun $\chi(T)$ bog'lanish $20-600^\circ\text{C}$ ($\chi_{xona} = 0,4 \cdot 10^{-6} \text{ sm}^3/\text{g}$) temperaturalar oralig'ida deyarlik o'zgarmaydi, yani birikma Pauli paramagnetigi hisoblanadi. NiSi_2 birikma uchun ham χ temperaturaga kuchsiz bog'liq ekan.

[17] ish mualliflari Ni-Si sistemasidagi 3,6,9,12,18,21,27 at.% Si tarkibli qotishmalar (birikmalar emas) $\chi(T)$ bog'lanishini $1100-2000^\circ\text{C}$ temperaturalar oralig'da o'rganganlar va olingan natijalar bo'yicha asosiy paramagnit xarakteristikalarini (C, θ_p, μ_{ef}) aniqlangan.

Toza TGM (Fe, Co, Ni) ning tajribaviy paramagnit xarakteristikalari.

TGM	Qattiq holat		Suyuq holat		Manba
	μ_{ef}, μ_B	θ_p, μ_B	μ_{ef}, μ_B	θ_p, μ_B	
α - Fe	3.54	1093			16
γ - Fe	5.0	-2000			13
	6.47	-2027			16
δ - Fe	3.30	1053	4.37	146	13
	2.99	1245	4.3	-303	12
	3.34	1100	5.0	420	16
Co	3.10	1413	3.10	1413	13
	2.82	1450	2.72	10500	11
	2.9	1467	3.10	1354	12
	3.32	1408	2.58	1543	16
Ni	2.0	630	2.8	-997	16
			1.8	323	11

1.6. Tadqiqot muammosining qo'yilishi.

Yuqoridagi adabiyotlar sharhidan shu ma'lum bo'ldiki, bugungi kunda TGMning nomagnit metallar, shu jumladan kremniy va germaniy bilan birikmalarining magnit xossalarini yuqori temperaturalarda, xususan uning paramagnit qattiq holati, erish jarayoni va suyuq holatini qamraydigan keng yuqori temperaturalarda o'rganishga bag'ishlangan ishlar hali adabiyotlarda yo'q. Suyuq holat uchun umuman yo'q.

Shunday sharoitlarda olingan ma'lumotlar TGMning nomagnit metallar bilan birikmalarining elektron tuzilishi va paramagnit holati nazariyasini yanada mukammal yaratilishiga xizmat qilgan bo'lar edi.

Shuni hisobga olib ushbu magistrlik dissertatsiyasida quyidagi vazifalarni yechish dalzarb masala qilib qo'yildi:

1. Kobalt va uning nomagnit metallar kremniy va germaniy bilan birikmalarining $\chi(T)$ bog'lanishini, ularning paramagnit qattiq holati, erish jarayoni va suyuq holatini qamraydigan keng yuqori temperaturalar oralig'ida o'lchash va o'lchash natijalarini tushuntirish.

2. O'rganilayotgan namunalarning tajribaviy $\chi^{-1}(T)$ bog'lanishlaridan foydalanib, ularning asosiy paramagnit xarakteristikalarini (θ_p, C, μ_{ef}) aniqlash va ularni tushuntirib berish.

3. O'lchash va hisoblash natijalarini mavjud nazariyalar bo'yicha tahlil qilib tegishli xulosalar chiqarish.

I-bobga doir xulosalar

1. Magistrlik dissertatsiyasida tadqiqot obektlarining magnit xossalarini yuqori temperaturalarda o'rganish uchun zarur bo'lgan, ularning quyidagi yo'nalishdagi adabiyotlardagi o'rganilganlik holatiga sharh berilgan:

- 1). Temir guruhi metallarining (TGM) elektron tuzilishiga:
- 2). Go-(Si, Ge)-binar sistemalarining holat diagrammalariga:
- 3). Paramagnetizmning kvant Van-Flek va almashinuv o'zaro ta'sir

nazariyalariga:

4). TGM va ularning no'magnit metallar bilan magnet xossalarini yuqori temperaturlarda o'rganilgan ishlarga:

5). Adaboyotlar sharhidan kelib chiqqan holda, magistrlik dissertatsiyasining dolzarbligi va maqsadi asoslangan.

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 bir jinsli bo'lmagan magnit maydoniga kiritilgan namunaga ta'sir qiluvchi mexanik kuchni o'lchashga asoslangan. Umumiy fizika kursidan ma'lumki [21], magnit maydoni bir jinslimasligi faqat \mathcal{X} 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 kuchlanganliga 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.

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

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

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 namunalarda 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.

Faraday 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'zgarimas deb hisoblash mumkin. (2.3) bilan magnit qabul qiluvchanlikni hisoblash uchun maydon gradiyenti 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 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. O'lchash qurilmasining tuzilishi va ishlash prinsipi.

Tekshirilayotgan masalaning qo'yilishiga qarab xilma – xil qurilmalar yasalgan. Bu qurilmalar bir qatorda ishlarda [20-24] yoritilgan. Na'munalarning solishtirma magnit qabul qiluvchanligini o'lchashda [22-24] 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 χ 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 chuqurch-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 gorizontol o'rnatilgan sterjenga mahkamlangan molibden sim kirib turadi. Shu simning uzunligi va 15-yoritgichdan 2-ko'zgu gacha va ko'z gudan 16-shkalagacha bo'lgan masofa shunday tanlanganki, shkala bo'lab siljiydigan 15-yoritgich shulasi ipning siljishida, 11-osma uchidagi 12-kontrenerning magnit maydoni ta'siridagi χ o'q bo'ylab siljishi 120 marta kuchaygan holda aks etadi. Elektromagnit maydonining o'lchashlarga salbiy ta'sirini yo'qotish uchun tarozining hamma qismlari nomagnit materiallardan (molibden, mis, dyuralyumen, latun) yasalgan. Tarozi sistemasi tebranishlarini tez so'ndirish uchun u moyli demfer-23 bilan ta'minlangan.

Tarozining muvozanatdan chetlanishini qayd etish prinsipi quyidagicha (2.2 – rasmga qarang). Yoritgichdan ko'z guga 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 (Ret) kuchlanish tushuvi $U = R_e$ $U = IR_e$ salenoidlardagi tokka (I) proporsional bo'lib, raqam ko'rsatgichli elektron voltmotr (BK – 2-20) yordamida o'lchanadi. Solenoidlarga beriladigan tokning manbai sifatida Y1999 rusumli o'zgarimas tok stabilizatori ishlatiladi. $F_x \sim U$ bo'lganligi uchun (2.4)dan quyidagini topamiz:

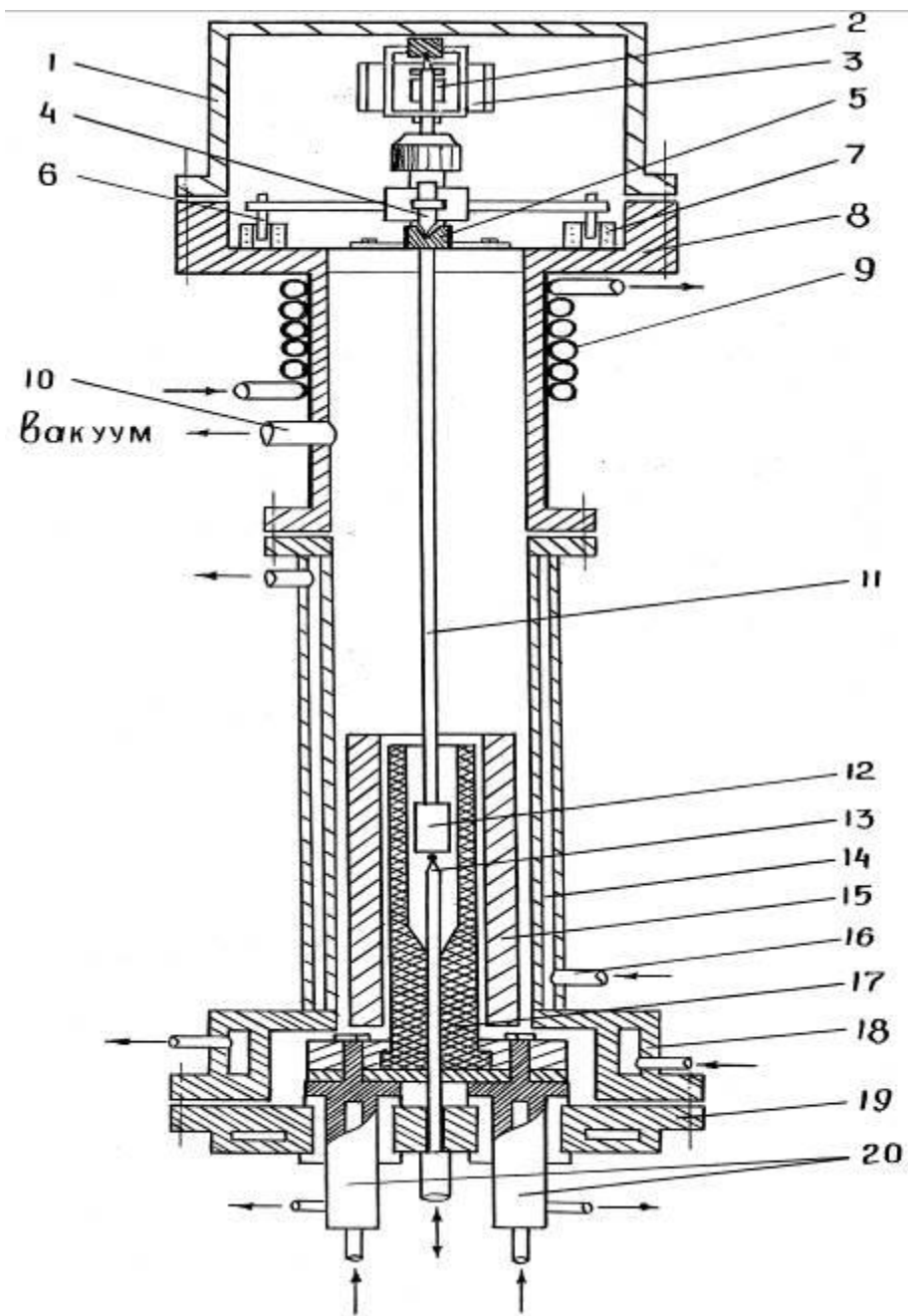
$$\chi = \frac{m_{et}}{m} \chi_{et} \left(\frac{U_t - U_{tigt}}{U_{et} - U_{tig}} \right), \quad (2.5)$$

bu yerda, U_t va U_{tigt} –t mos ravishda temperaturali tekshiriladigan namunali va namunasiz tigellar uchun solenoid zanjirlaridagi etalon qarshilikda kuchlanish tushuvlari; U_{et} va U_{tig} uy temperaturasidagi etalonli va etalonsiz tigellar uchun etalon qarshilikda kuchlanish tushuvlari.

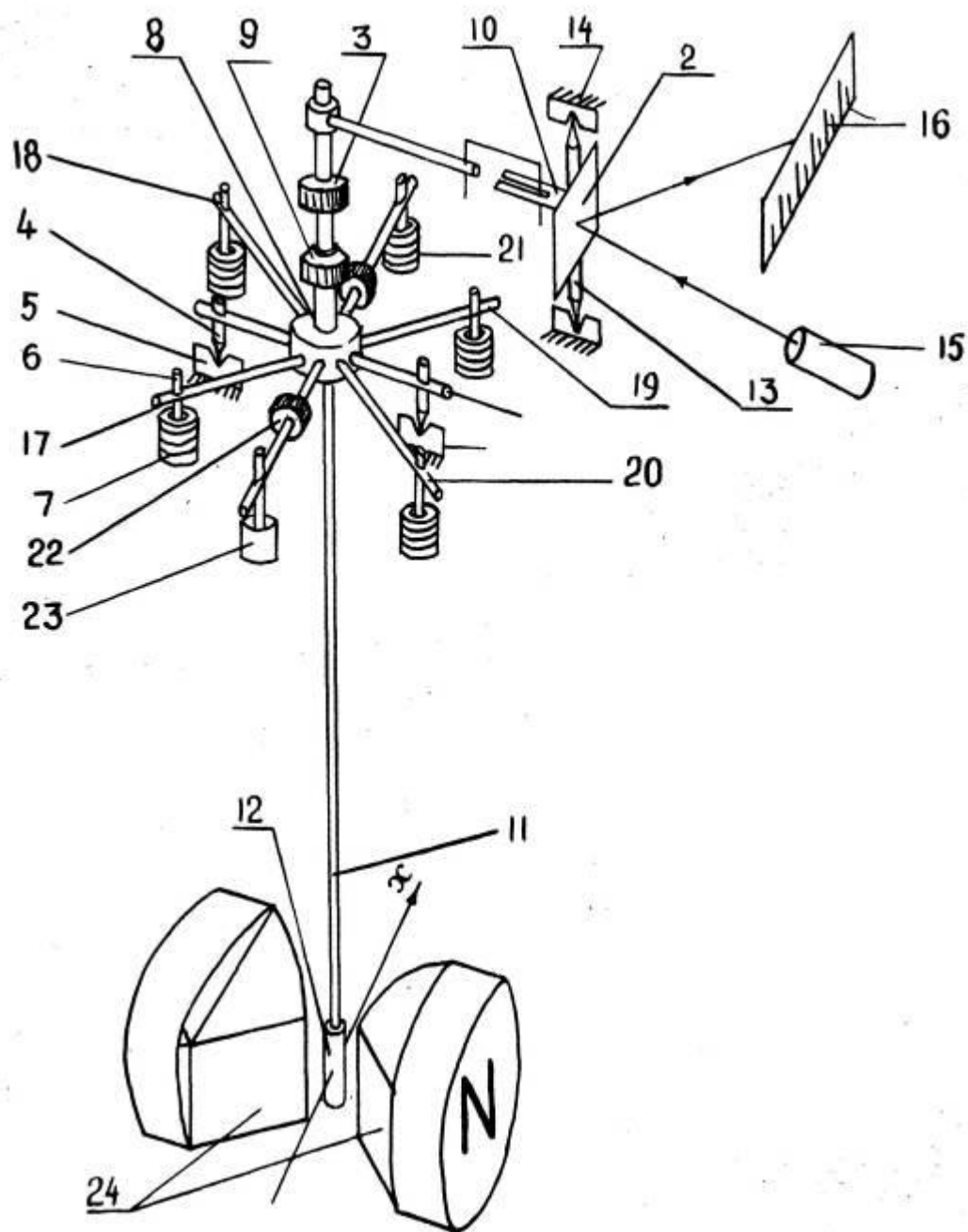
Etalon sifatida Mor tuzi ($\text{FeSO}_4(\text{NH}_4)\text{SO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) ishlatildi. Uning T uy temperaturasidagi solishturma magnit qabul qiluvchanligining temperaturaga bog'liqligini quyidagicha :

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

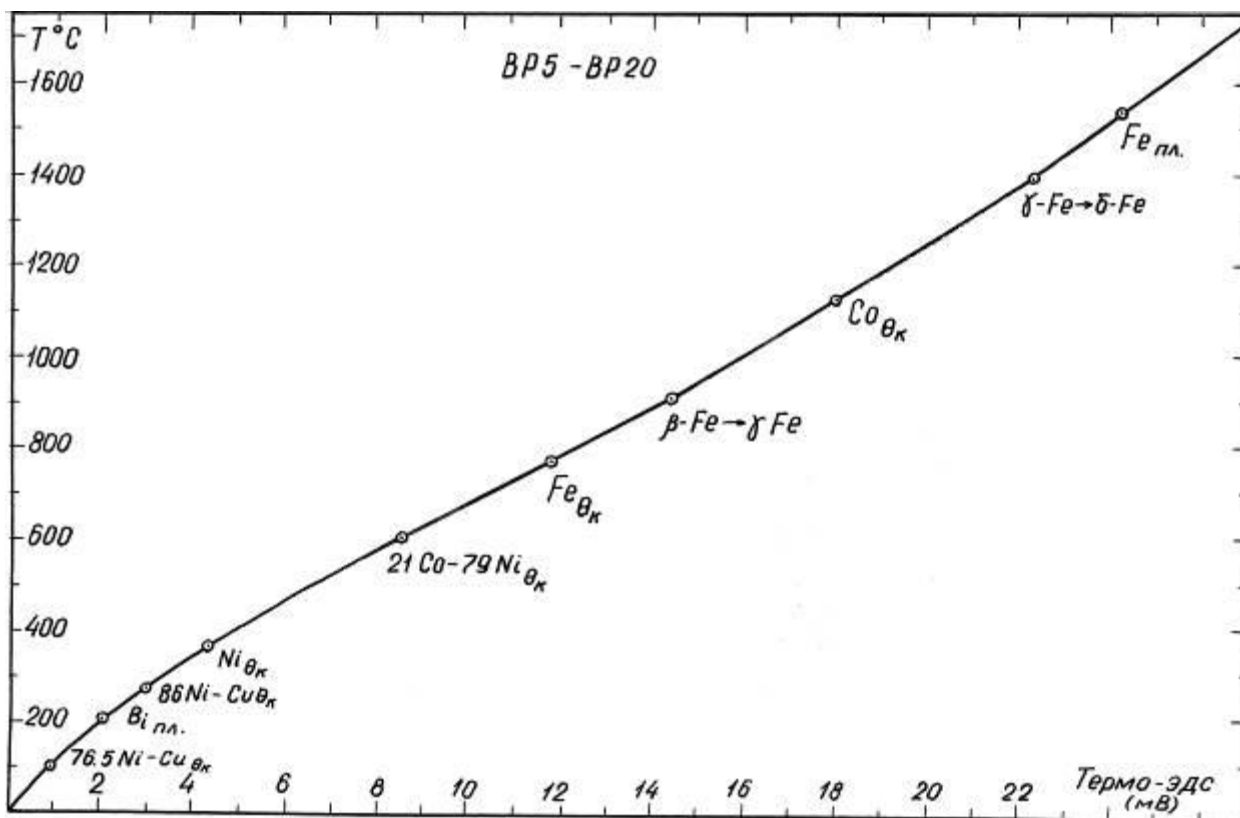
Qizdirgich. Namuna solishtirma magnit qabul qiluvchanligining temperaturaga bog'liqligini o'rganish uchun 2.1 – rasmdagi kamera ichida kesimi ko'rsatilgan 17 – trubkasimon grasitdan yasalgan qizdirgichdan foydalanildi. U bifulyar



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



2.2 – rasm. Yuqori temperaturalarda magnet qabulqiluvchanligini o’lchovchi mayatniksimon magnet tarozi.



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

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

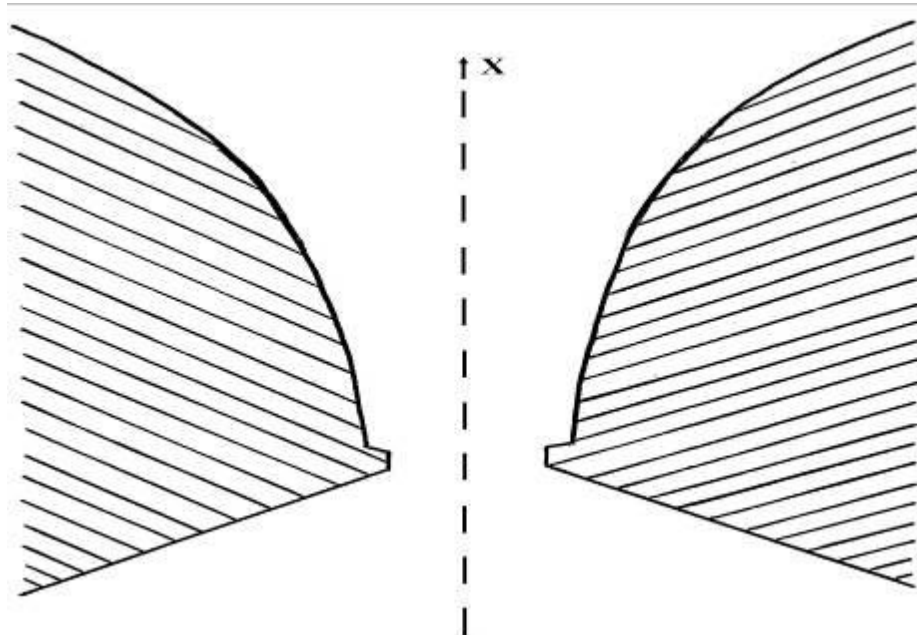
tayyorlangan, 13 – termoparadan foydalanildi.

Termoparaning sovuq kavshari “ Ноль – В “ rusumli termostat ichidagi 0°C sharoitda, issiq kavshari esa na'munali konteyner ostiga undan 2 mm pastda joylashtirildi. Termo EYUK ni qayd etish bir vaqtda BK – 2-20 rusumli elektron voltmetr va ПП – 63 rusumli potensimetri vositasida amalga oshirildi. Tajriba sharoiti uchun termoparani darajalash temirning erish temperaturasi (1540°C) va polimorf o'tishlar temperaturalarini [$\alpha-\gamma(910^{\circ}\text{C}), \gamma-\beta(1392^{\circ}\text{C})$]; Buning erish Ni temperaturasi (270°C); ba'zi qattiq eritmalarning Kyuri temperaturalarini [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 temo EYUK bilan, shu tartibda aniqlangan, bog'lanishi (darajalash egri chizig'i) 2.3 – rasmda ko'rsatigan.

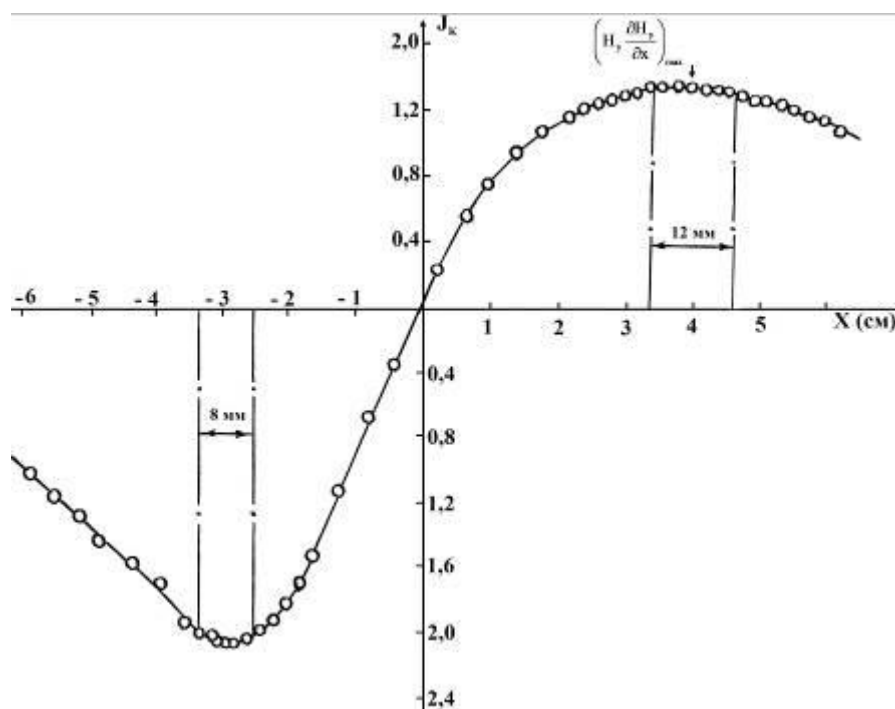
Elektromagnit. Magnit maydoni hosil qilish uchun ФЛ – 1 laboratoriya elektromagnitdan foydalanildi. Unga ST – 2000 rusumli o'zgaruvchan kuchlanish stabilizatori tog'rilagich va filtr bloklari orqali o'zgarmas tok berildi.

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.



2.4 – rasm. Elektromagnit qutblarining vertikal kesimi.



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

Bunday shkaladagi qutblar orasiga χ 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 (χ kordinatasi) orasidagi bog'lanishi ko'rinishida 2.5 – rasmda keltirilgan.

Vakuu kamerasi. Magnit tarozi va isitgich suv bilan sovutiladigan 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 MГ rusumli forvakuum nasosi va vakuum agregat (BA – 01 – 1) 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 magnet 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.

3. Konteynerning har safar elektromagnit qutblari orasida aynan $H_y \left(\frac{\partial H_y}{\partial x} \right) = const$ bo'lgan sohasiga aniq tushmasligi ($\pm 0,2$ mm);

4. Elektromagnit orqali bir xil tok berishdagi xatolik;

5. Namunalarning yuqori temperaturadagi bug'lanishi;

6. Namuna temperaturasini o'lchashdagi xatolik ($\pm 0,5$ °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.

II-bobga doir xulosalar

1. Tadqiqot obektlarining magnit qabul qiluvchanligini o'lchashning Gui va Faradey usullari bayon qilingan.
2. Tadqiqot obektlarining magnit qabul qiluvchanligining temperaturaga bog'lanishini qattiq va suyuq holatlarda o'lchash qurilmasining tuzilishi va ishlash prinsipi bayon qilingan.
3. Magnit qabul qiluvchanligini o'lchash xatoliklari baholangan.

III – Bob. Tadqiqot natijalari va ularning muhokamasi.

3.1. Kobalt va uning nomagnit metallar kremniy hamda germaniy bilan birikmalarining qattiq va suyuq holatlardagi magnit qabul qiluvchanligini o'lchash natijalari.

Ushbu paragrafda Co-(Si, Ge) sistemalaridagi na'munalarning magnit qabul qiluvchanligini, ularning qattiq holati, erish jarayoni va suyuq holatini qamraydigan yuqori temperaturalarda o'lchash natijalari va ularni tushuntirish bayon qilinadi. O'lchash jarayoni bu sistemalarning 1.2-da bayon qilingan holat diagrammasiga tayanib amalga oshirilganligini alohida qayd etish o'rinlidir.

3.1.1. Co-Si sistemasi

Co-Si sistemasida hosil bo'ladigan birikmalar, ularda temperatura o'zgarishi bilan yuz beradigan fazaviy o'tishlar va ularning kristall tuzilishi haqida 1.2.1. da bayon qilingan edi. Ushbu paragrafda toza kobalt va uning nomagnit metall kremniy bilan birikmalari magnit qabul qiluvchanligining temperaturaga bog'lanishi [$\chi(T)$] ni o'lchash natijalari bayon qilinadi va ular talqin etiladi.

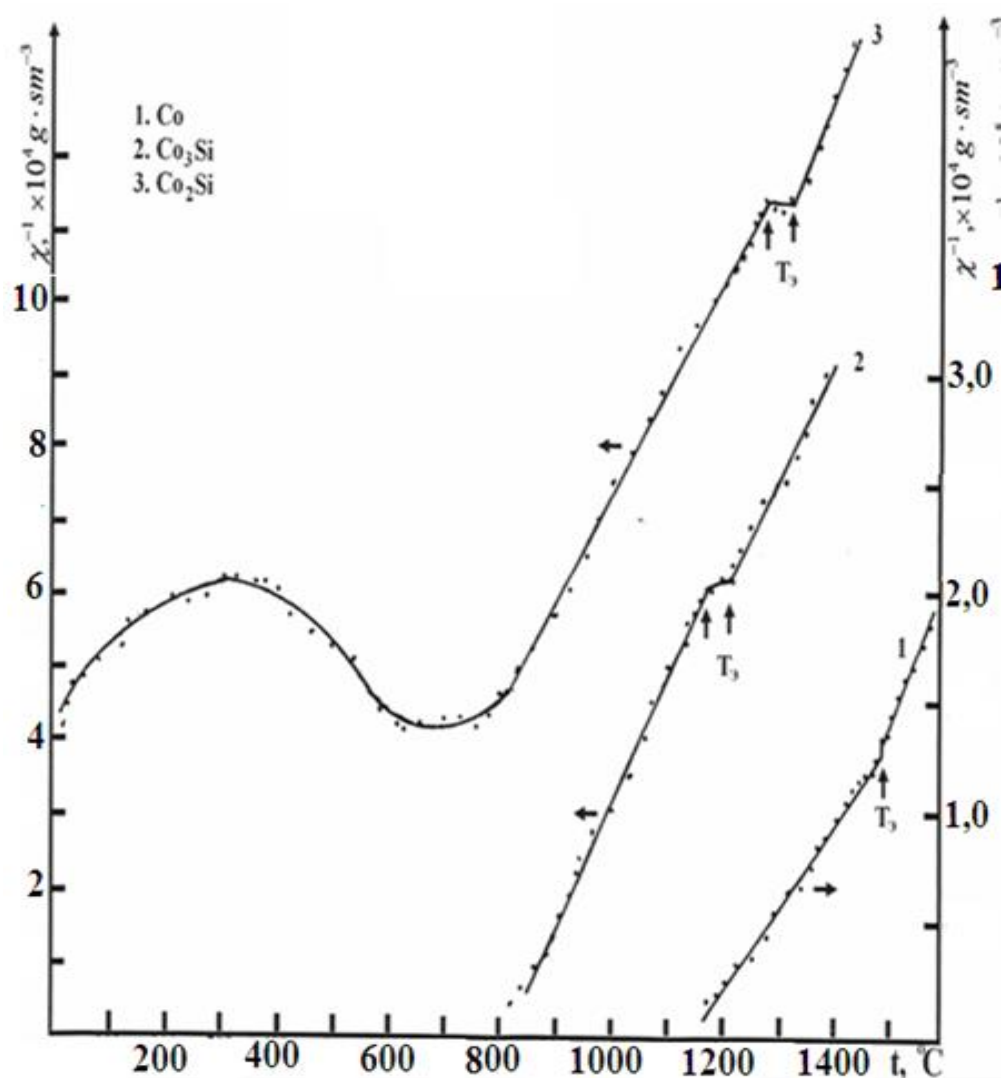
Toza kobaltning $\chi(T)$ bog'lanishi uning paramagnit qattiq holati, erish jarayoni va suyuq holatini qamraydigan 1150-1600⁰C temperaturalar intervalida o'lchanadi $\chi^{-1}(T)$ bog'lanish ko'rinishida 3.1-rasmda keltirilgan [25]. Shuni aytish joizki bu natijalar [10,11,15,16] ishlarning o'lchash natijalari bilan qoniqarli darajada mos keladi. Bu ushbu malakaviy bitirish ishida olingan tajriba natijalarining ishonchligidan dalolat beradi.

3.1-rasmni tahlil qilish shuni ko'rsatadiki, toza kobalt uchun $\chi^{-1}(T)$ bog'lanish qattiq holatda ham suyuq holatda ham chiziqli tabiatga ega. Bu kobaltning $\chi(T)$ -bog'lanishi (1.4) ko'rinishdagi chiziqli Kyuri-Veyss qonunidan bo'ysunishidan dalolat beradi. Kobaltning erish jarayoni uning $\chi^{-1}(T)$ bog'lanishiga sezilarli ta'sir ko'rsatmaydi ($t=t_{erish}$ -temperaturasida $\chi^{-1}(T)$ bog'lanishda sezilarli daromad

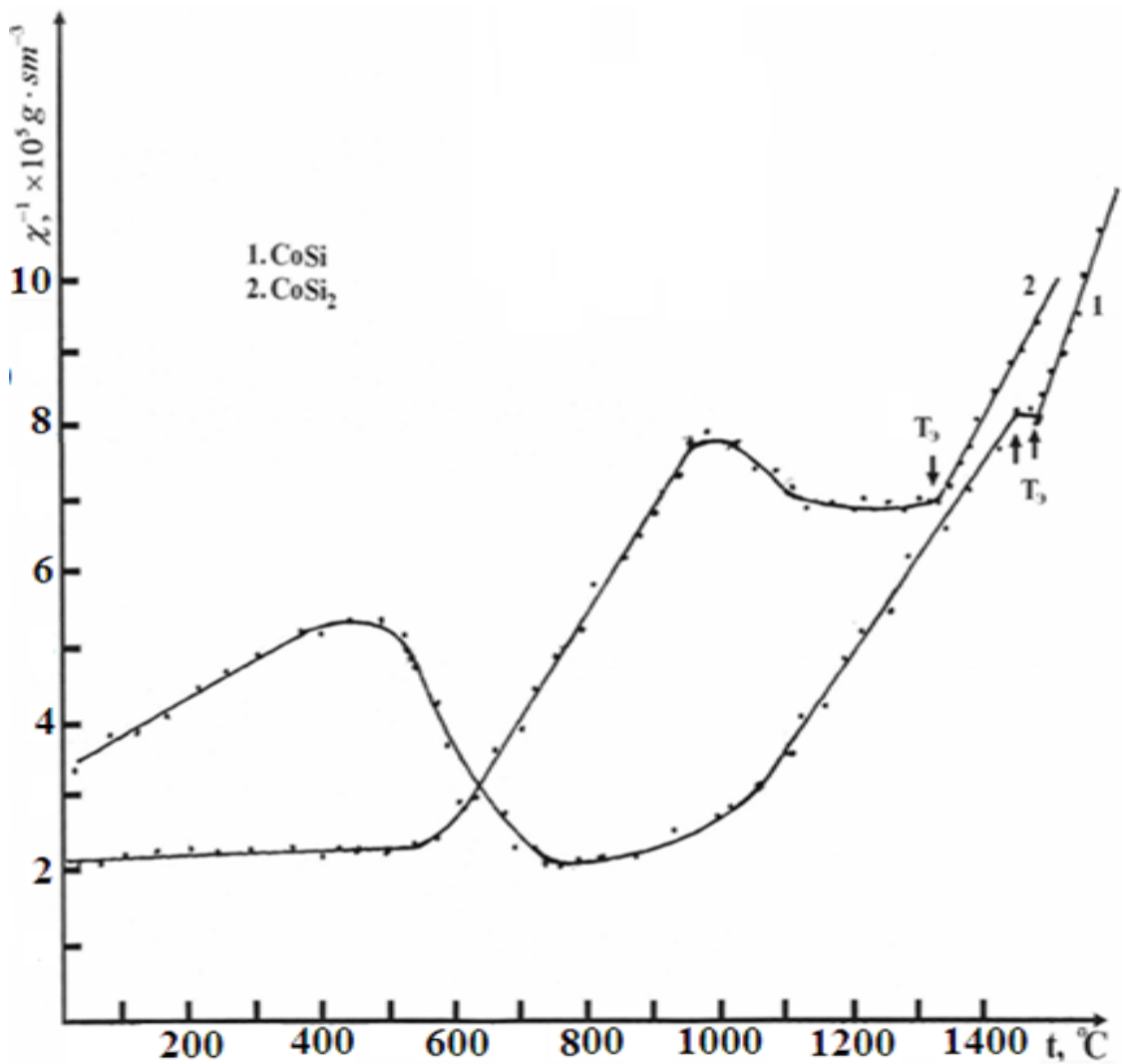
anomaliya, masalan sakrab o'zgarish yuz bermaydi). Butajribaviy dalil kobaltning magnit hossasiga sababchi bo'lgan 3d-qobiq elektronlarining soni, o'troqlashish darajasi va energetik holati, erish jarayonida (qattiq holat → suyuq holat fazaviy o'tishda) deyarlik o'zgarmasligini bildiradi.

Co-Si sistemasida hosil bo'ladigan birikmalarning $\chi^{-1}(T)$ bog'lanishlari 3.1 va 3.2-rasmlarda keltirilgan. Endi shu bog'lanishlarning tabiati haqida to'xtalamiz.

Co_3Si uchun $\chi^{-1}(T)$ bog'lanish 850-1400°C temperaturalar oralig'ida o'lchandi. 1.1-rasmda keltirilgan Co-Si sistemasining holat diagramma



3.1-rasm. Co, Co_3Si va Co_2Si uchun $\chi^{-1}(T)$ bog'lanishlar.



3.2-rasm. CoSi va CoSi₂ birikmalar uchun $\chi^{-1}(T)$ bog'lanishlar.

masi bilan bog'lab Co₃Si birikmaning $\chi^{-1}(T)$ bog'lanishini tahlilqilinadigan bo'lsa, quyidagilarni aytish mumkin: Bu birikma 1170-1212⁰C temperaturalar oralig'ida turg'undir. Bu temperaturalar oralig'i $\chi^{-1}(T)$ bog'lanishda vertikal strelkalar bilan ko'rsatilgan. 1212⁰C dan yuqori temperaturalarda u suyuq holatda bo'ladi. Birikmaning suyuq holati uchun $\chi^{-1}(T)$ bog'lanish chiziqli tabiatga ega (3.1-rasm). 1212⁰C da u peritektik ravishda eriydi. 1170⁰ C dan past temperaturalarda birikma qattiq holatda, α va Co₂Si fazalarning mexanik aralashgan ikki fazali holatda bo'ladi. 3.1-rasmdan ko'rinib turibdiki birikmaning bunday qattiq holati uchun ham

$\chi^{-1}(T)$ bog'lanish chiziqli tabiatga ega. Demak Co_3Si birikmasining $\chi(T)$ bog'lanishi, uning qattiq holati uchun ham, suyuq holati uchun ham (1.4) ko'rinishdagi Kyuri-Veyss qonuniga bo'ysunadi.

Co_2Si birikmaning $\chi^{-1}(T)$ bog'lanishi murakkab tabiatga ega (3.1-rasm). Bu birikma 1332°C da kongruent eriydi (1.1-rasm). 1280°C da birikmada $\beta\text{-Co}_2\text{Si}-\alpha\text{-Co}_2\text{Si}$ polimorf o'tish yuz beradi. $\chi^{-1}(T)$ bog'lanishda birikmaning erishi va polimorf o'tishi vertikal strelkalar bilan ko'rsatilgan. Birikmaning erishi va polimorf o'tishi $\chi^{-1}(T)$ bog'lanishida kichik anomal o'zgarishlar (sinishlar) ko'rinishda aks etadi. $\chi^{-1}(T)$ bog'lanish birikmaning suyuq holatida va $800\text{-}1280^{\circ}\text{C}$ temperaturalar oralig'ida chiziqli tabiatga ega. Bu $\chi^{-1}(T)$ bog'lanishning ko'rsatilgan temperaturalar sohasida (1.4) ko'rinishidagi Kyuri-Veyss qonuniga bo'ysunishdan dalolat beradi. 800°C dan to uy temperaturasigacha bo'lgan temperatura oralig'ida $\chi^{-1}(T)$ bog'lanishi murakkab tabiatga ega ekanligi 3.1-rasmdan ko'rinib turibdi (biror qonuniyatga bo'ysunmaydi). Ko'rsatilgan temperaturalar oralig'ida $\chi^{-1}(T)$ bog'lanish ekstremal tabiatga ega: dastlab temperatura oshishi bilan noxiziqli ravishda oshadi, 300°C da maksimal qiymatga erishadi, so'ng noxiziqli ravishda kamayib 680°C da minimal qiymatga erishadi va so'ng yana 800°C gacha noxiziqli ravishda oshadi. TGM-kremniy-binar sistemalaridagi ayrim birikmalarning $\chi^{-1}(T)$ bog'lanishi ekstremal tabiatga ega bo'lishi mumkinligi haqida [18] da bayon qilinganligi haqida 1.5 da qayd etilgan edi. Ikkinchi tomondan Co_2Si birikmasi uchun $\chi^{-1}(T)$ bog'lanishning ekstremal tabiatga ega bo'lishini Co-Si sistemasi holat diagrammasi bo'yicha (1.1-rasm) tushuntirib bo'lmaydi. Chunki bu birikmaning $\alpha\text{-Co}_2\text{Si}$ fazasida 800°C dan to uy temperaturasigacha hech qanday fazaviy o'tishlar yuz bermaydi. Bunday temperatura oralig'ida $\chi^{-1}(T)$ bog'lanishning ekstremal tabiatini, Co_2Si birikmasidan Si konsentrasiyalangan birikmani sintez qilish jarayonida kamayishi, bilan izihlash mumkin. Haqiqatdan ham diagrammaning $\alpha\text{-Co}_2\text{Si}$ -ikki fazali sohasida, magnit va polimorf fazaviy o'tishlar mavjud.

CoSi va CoSi₂ birikmalarining $\chi^{-1}(T)$ bog'lanishlari, 3.2-rasmdan ko'rinib turibdiki, murakkab tabiatga ega.

CoSi birikmaning $\chi^{-1}(T)$ bog'lanishi uy temperaturasidan boshlab temperatura ortishi bilan to 400⁰C gacha chiziqli ravishda oshadi (Kuyri-Veyss qonuniga bo'ysunadi) va 450⁰C da maksimumga erishadi; so'ngra kamayadi va 800⁰C da minimumga erishadi; so'ngra yana 1050⁰C gacha nochiziqli ravishda oshadi; 1050-1450⁰C temperaturalar oralig'ida chiziqli oshadi (Kuyri-Veyss qonuniga bo'ysunadi); 1460⁰C da $\chi^{-1}(T)$ bog'lanishning tikligi oshib sinadi va so'ng chiziqli ravishda oshadi (Kuyri-Veyss qonuniga bo'ysunadi). Co-Si-sistemasining holat diagrammasi bo'yicha 1460⁰C da CoSi-birikma kongruent ravishda eriydi. [18]-adabiyotda FeSi, CoSi va NiSi monosilisidlar $\chi(T)$ bog'lanishining ekstremal tabiatga ega bo'lishligi haqida yozilgan. Biroq nima uchun shunday tabiatga ega bo'lishligi haqida yozilmagan. CoSi-sistemasining holat diagrammasi bo'yicha CoSi birikmada uning erish temperaturasidan to uy temperaturasigacha hech qanday magnit yoki strukturaviy fazaviy o'tish yuz bermaydi.

CoSi₂ birikma, 1.1-rasmda keltirilgan holat diagramma bo'yicha, 1326⁰C temperaturada suyuqlikdan kongruent ravishda kristallanadi va uy temperarturasugacha turg'undir, yani unda erish temperaturasidan to uy temperaturasugacha hech qanday magnit yoki strukturaviy fazaviy o'tishlar yuz bermaydi. Birikmaning 3.2-rasmda keltirilgan $\chi^{-1}(T)$ bog'lanishini tahlil qilish shuni ko'rsatadiki, uning suyuq holati uchun bu bog'lanish chiziqli tabiatga ega (Kuyri-Veyss qonuniga bo'ysunadi). Biroq uy temperaturasidan to erish temperaturasi 1326⁰C gacha $\chi^{-1}(T)$ bog'lanish murakkab tabiatga ega: uy temperaturasidanto 550⁰C gacha deyarlik o'zgarmaydi (birikma Pauli paramagnetigi hisoblanadi); so'ngra 600-950⁰C temperaturalar oralig'ida chiziqli ravishda oshadi (Kuyri-Veyss qonuniga bo'ysunadi) va 1000⁰C da maksimal qiymatga erishadi; so'ngra yana kamayib 1100-1320⁰C temperaturalar oralig'ida yana dearlik o'zgarmay qoladi (to erish temperaturasigacha).

3.1.2. Co-Ge sistemasi

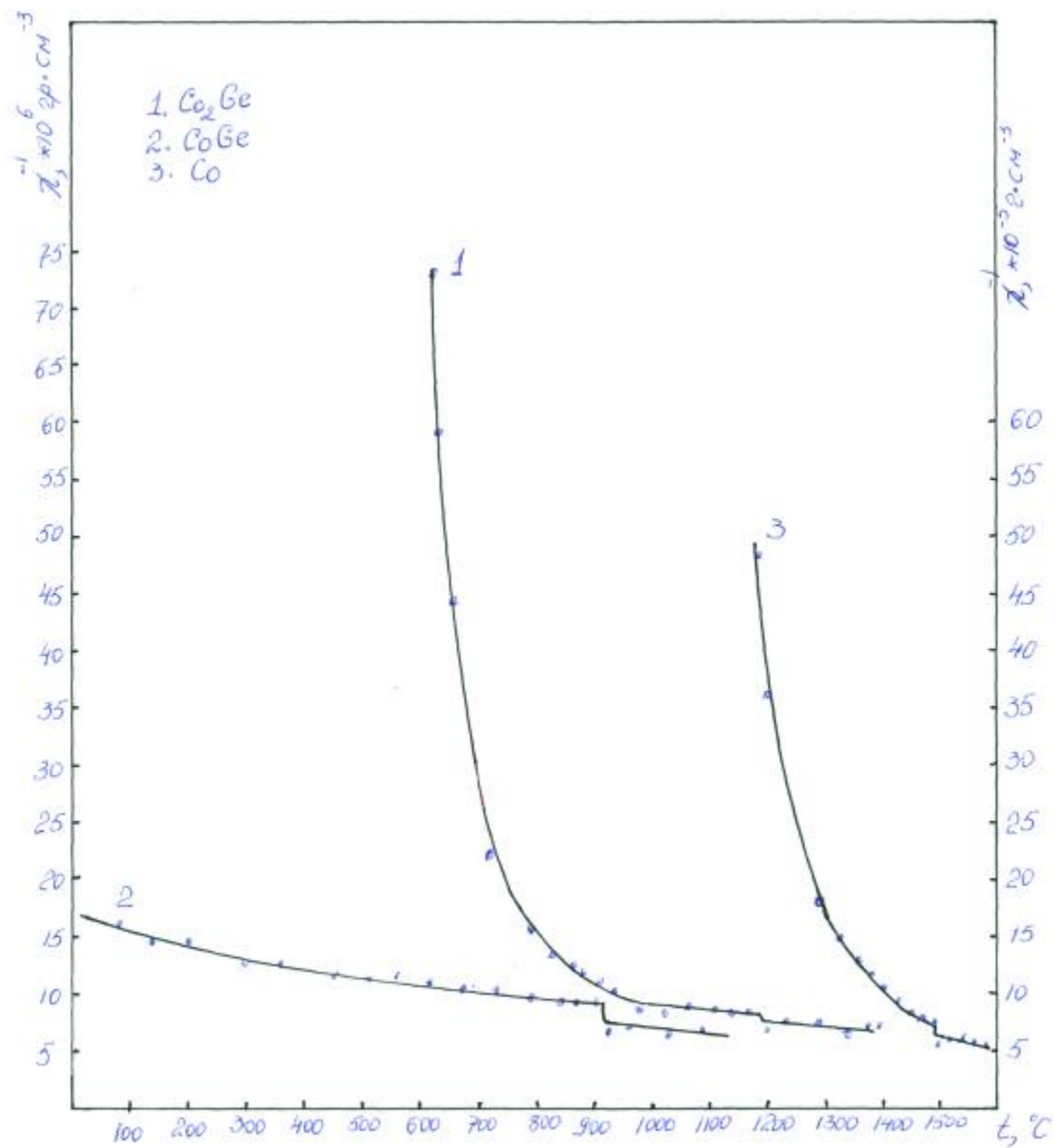
Kobalt – germaniy sistemasida hosil bo'ladigan intermetallik birikmalar va va ularning kristall tuzulishi hamda erish temperaturalari haqida 1.2 – paragrafda bayon qilingan edi. Ushbu paragrafda toza kobalt va uning germaniy bilan birikmalarining magnit qabul qiluvchanligining temperaturaga bog'lanishini [$\chi(T)$] o'lchash natijalari bayon qilinadi [26].

Toza kobaltning $\chi(T)$ bog'lanishi uning paramagnit holatida ($T > \theta_p$) 1200 – 1600⁰C temperatura intervalida, kobalt bilan germaniy birikmalarining (Co₂Ge, CoGe) $\chi(T)$ bog'lanishlari esa 100 – 1400⁰C temperaturalar intervalida, ularning qattiq va suyuq holatlarida o'lchanadi. O'lchash natijalari $\chi(T)$ va $\chi^{-1}(T)$ bog'lanishlar ko'rinishida, mos ravishda, 3.3 va 3.4 – rasmlarda keltirilgan.

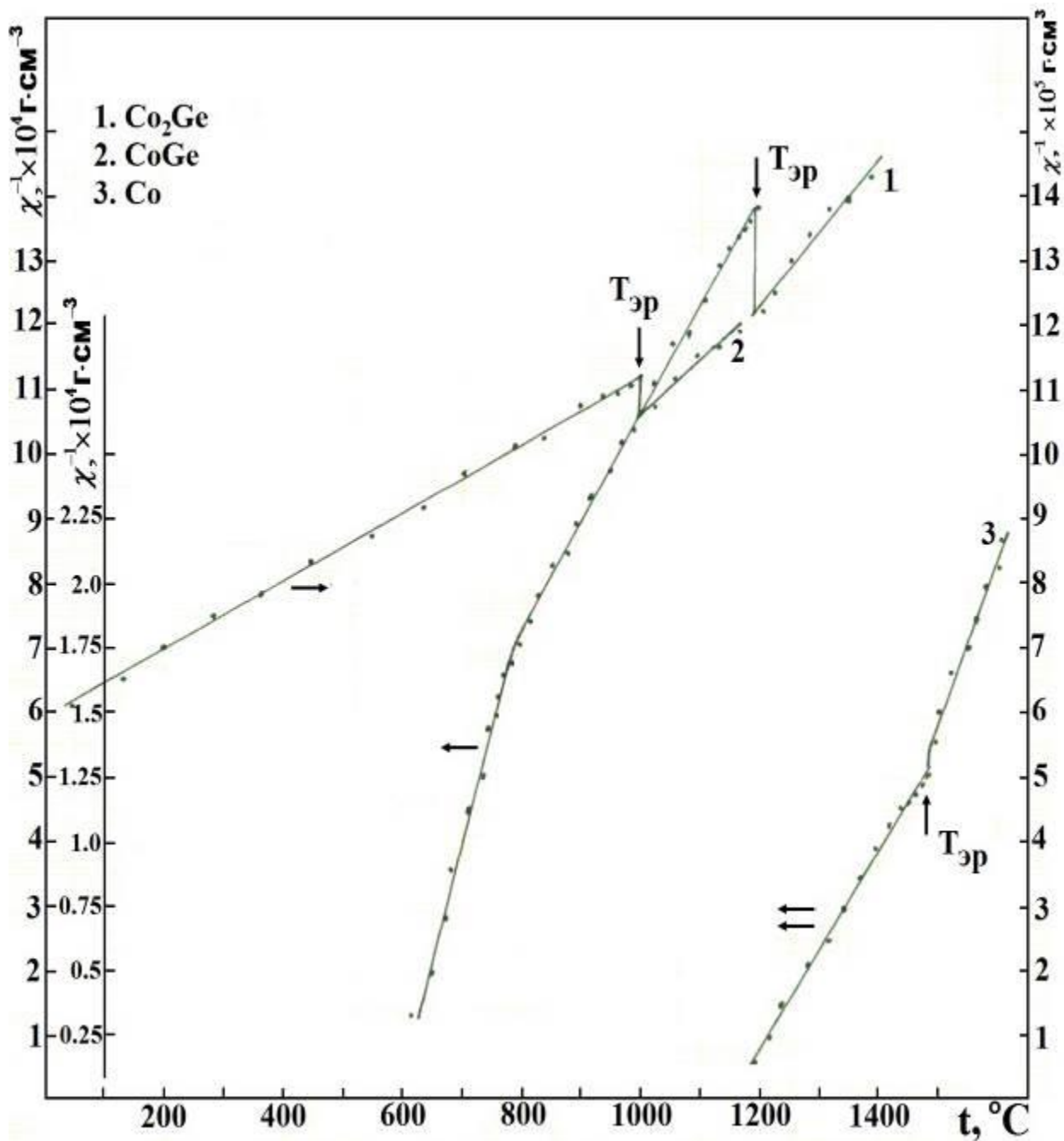
3.3 – rasmdagi $\chi(T)$ bog'lanishlarni tahlil qilish shuni ko'rsatadiki, toza kobaltning va uning germaniy bilan hosil qiladigan birikmalarining magnit qabul qiluvchanligi temperatura ortishi bilan qattiq holatda ham, suyuq holatda ham monoton ravishda kamayadi.

3.4 – rasmdagi $\chi^{-1}(T)$ bog'lanishlarini tahlil qilish shuni ko'rsatadiki, bu bog'lanishlar Co va CoGe lar uchun ularning qattiq holati uchun ham, suyuq holati uchun ham chiziqli tabiatga ega. Bu tajribaviy dalil o'rganilayotgan na'munalarning $\chi(T)$ bog'lanishlari (1.4) ko'rinishdagi Kyuri – Veyss qonuniga bo'ysunishidan dalolat beradi. Toza kobaltning erish temperaturasida uning magnit qabul qiluvchanligi kamayadi. Co₂Ge birikmaning erish temperaturasida (982⁰C ga), uning magnit qabul qiluvchanligi oshadi, Co₂Ge birikmaning $\chi^{-1}(T)$ bog'lanishida 700⁰C temperaturada sinish [$\chi^{-1}(T)$ ning tikligi kamayadi] va 1200⁰C temperatura erish temperaturasida sakrab kamayish (6% ga) kuzatiladi (3.4-rasm). 1.2-rasmda keltirilgan Co-Ge-sistemasining holat diagrammasi bo'yicha, 700⁰C temperaturada birikmada Co₂Ge (H.T.) → Co₂Ge (L.T.) strukturaviy fazaviy o'tish yuz beradi. Bu fazaviy o'tish birikmaning $\chi^{-1}(T)$ bog'lanishida, yuqorida orttirilganidek tikligi kamayib sinish ko'rinishda aks etadi.

Shunday qilib, birikmalarning (Co_2Ge va CoGe) $\chi^{-1}(T)$ bog'lanishlarida ularning erish temperaturalarida kuzatiladigan kichik sakrashsimon



3.3 – rasm. Toza kobalt va kobalt - germaniy sistemasidagi birikmalarning $\chi(T)$ bog'lanish grafiklari.



3.4 – rasm. Toza kobalt va kobalt - germaniy sistemasidagi birikmalarning $\chi^{-1}(T)$ bog'lanish grafiklari.

o'zgarishlarga va ularning erishiga mos temperaturalar 1.2. – rasmda keltirilgan Co – Ge sistemasining holat diagrammasiga to'la mos keladi.

Toza kobaltning germaniy qo'shilishi natijasida , magnet qabul

qiluvchanligining kamayishini va Co –Ge sistemasi birkmalari magnit qabul qiluvchanligining ularda germaniy atomlarining stexometrik konsentratsiyasining ortishi bilan kamayishini quyidagicha tushuntirish mumkin. Germaniy metalli nomagnit metal hisoblanadi. Kobalt $\theta_p=1130^0$ C dan past temperaturalarda ferromagnit tartiblanishga (kuchli magbit xossaga) ega bo'lgan, $T>\theta_p$ temperaturalarda esa, paramagnit (magnit tartibsiz) holatda bo'ladigan metallidir. Kobaltning kristall panjarasi muhitiga germaniy kirishi natijasida magnit ionlar va kobalt orasidagi magnit o'zaro ta'sir kamayadi. Bu kamayish , germaniy konsentratsiyasining oshishi bilan yana sezilarli darajada yuz beradi.

Yuqorida 3.1.1. va 3.1.2-paragraflarda qaralgan Co-(Si,Ge)-sistemalaridagi o'rganilgan na'munalarning erish jarayonida, ularning magnit qabul qiluvchanligini sezilarli darajada o'zgarishidan quyidagi muhim hulosaga kelish mumkin. O'rganilgan sistemalardagi birikmalarning magnit hossalari hosil qiluvchi 3d – elektronlarinig Co^{2+} ioni ichidagi energetik holati erish jarayonida, umuman olganda $\chi(T)$ bog'lanishlar o'lchangan temperaturalar oralig'ida ($100 - 1400^0$ C) deyarlik o'zgarishsiz qolishidan dalolat beradi.

Shuni alohida qayd qilish lozimki, toza kobalt uchun ushbu ishda $\chi(T)$ ni tajribada o'lchash natijalari boshqa tadqiqotchilar ishlari bilan [10,11,15,16] qoniqarli mos tushadi.

3.2. Co–(Si,Ge) sistemasidagi birikmalaning asosiy magnit xarakteristikalarini aniqlash.

Co –(Si,Ge) sistemalaridagi na'munalarning asosiy magnit xarakteristikalari, ularning 3.1. da bayon qilingan tajribaviy $\chi^{-1}(T)$ bog'lanishlaridan foydalanib aniqlandi. Bu quyidagicha amalga oshirildi. Kyuri – Veyss qonunining (1.4) ko'rinishdagi ifodasiga eng kichik kvadratlar usuli (EKKU) qo'llanildi. Dastlab [27,28] ishlarda bayon qilingan tavsiyalardan foydalanib, (1.4) ifoda quyidagi ko'rinishda yozildi:

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

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

$$y = Ax + B. \quad (3.1)$$

Bu tenglamaning A va B koeffitsientlarini, EKKU ning normal tenglamalarini yechishdan kelib chiqadigan, quyidagi ifodalar yordamida hisoblanadi:

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

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

Bu ifodalardagi n – y kattalini x ga bog'liq ravishda o'lchashlar soni,

A va B – koeffitsientlarni (3.2) va (3.3) ifodalar bo'yicha EHMda hisoblash dasturini tuzish uchun quyidagi algoritm tuzildi.

1. O'lchashlar soni (n) va tajribada o'lchangan x_i va y_i kattaliklar ni mashina xotirasiga kiritish;

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

3. A va B koeffitsientlarni (3.2) va (3.3) 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 algoritm yordami asosida hisoblash dasturini tuzishdan oldin (3.2) va (3.3) ifodalarda quyidagicha belgilashlar kiritamiz:

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

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

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

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

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

Hisoblab topilgan Kyuri – Veyss doimiysining (C) qiymatidan foydalanib, toza kobaltning bitta atomiga to'g'ri keluvchi effektiv magnet momentini (μ_{ef}), birikmaning ximyaviy formulasi birligiga (Co_nGe_m yoki Co_nSi_n) tog'ri keladigan magnet moment (μ_f) va birikmada bitta Co atomiga to'g'ri keladigan magnet moment (μ_{Co}) hisoblandi.

Toza kobalt uchun μ_{ef} (1.7), ya'ni quyidagi ifoda bo'yicha hisoblanadi:

$$\mu_{ef} = 2.83\sqrt{CM}\mu_B, \quad (3.6)$$

Bu yerda M – kobaltning atomar massasi.

Birikmaning ximyaviy formulasi birligiga to'g'ri keluvchi magnet momenti quyidagi ifoda bo'yicha hisoblanadi:

$$\mu_f = 2.83\sqrt{C(n \cdot M_1 + mM_2)}\mu_B, \quad (3.7)$$

Bunda n va m mos ravishda birikma ximyaviy formulasidagi Co va Si yoki atomlarining soni; M_1 va M_2 - mos ravishda Co va Si (yoki Ge) ning atomar massalari.

Agar birikma komponentalaridan biri nomagnit element bo'lsa, ya'ni magnit momentiga ega bo'lmasa, birkmadagi bitta magnit faol metal atomiga to'g'ri keladigan effektiv magnit momentni hisoblash maqsadga muvofiqdir [19,22]. Ushbu ishda tadbiiq qilingan birikmalarda shunday magnit faol matall kobalt hisoblanadi. O'rganilgan birikmalarda bitta kobalt atomiga tog'ri keladigan effektiv magnit momenti quyidagi ifaoda bo'yicha hisoblanadi [19]:

$$\mu_{Co} = 2.83\sqrt{C(M_1 + \frac{xM_2}{100-x})}\mu_B, \quad (3.8)$$

Bunda M_1 va M_2 – mos ravishda kabalt va kremniy (yoki germaniyni) atomar massalari; x – nomagnit element (kremniy yoki germaniyni) birikmadagi at. % dagi konsentratsiyasi.

O'rganilgan Co-Si va Co-Ge sistemalaridagi birikmalarning asosiy magnit xarakteristikalarini hisoblash natijalari 3.1 – jadvalda kaltirilgan.

Bu jadvalni tahlil qilishdan quyidagilar ma'lum bo'ladi: Toza Co uchun hisoblangan asosiy magnit xarakteristikalarini, xususan $\mu_f = 3.43\mu_B$, (1.6) ifoda bo'yicha Co^{2+} ionini uchun hisoblangan (1.3, 1.4 – jadval) $\mu_{ef} (3.87\mu_B)$ ga yaqin. Bundan magnit xossaga sababchi bo'lgan 3d – elektronlarning birikmalardagi holati erkin Co^{2+} ionidagi 3d elektronlarning energetik holatiga (${}^4F_{9/2}$) yaqin holatda bo'ladi deyish mumkin.

3.1-jadval

(Co-Si,Ge) sistemalaridagi o'rganilgan birikmalarning asosiy magnet xarakteristikalari.

№	Na'muna	Temperatura oralig'i	Qattiq holat					Suyuq holat				
			$\theta_P,$ K	$C \cdot 10^4,$ $\frac{k \cdot cm^3}{g}$	μ, μ_B (tajribaviy)			$\theta_P,$ K	$C \cdot 10^4,$ $\frac{k \cdot cm^3}{g}$	μ, μ_B (tajribaviy)		
					μ_{eff}	μ_f	μ_{Co}			μ_{eff}	μ_f	μ_{Co}
1	Co		1408	222	3,23			1548	142	2,58		
2	Co ₃ Si		1093	57,17		3,06	1,77	1103	62,5		3,2	1,85
3	Co ₂ Si		783	68,29		2,82	2,00	1013	50,0		2,42	1,74
4	CoSi	20-400	-377	20,82		1,21	1,20	-	-		-	-
		106-1440	1093	7,80		0,78	0,74	1433	4,17		0,54	0,54
5	CoSi ₂		688	7.06		0,81	0,81	1188	5,88		0,74	0,74
6	Co ₂ Ge	800-1550	643	6,14		0,97	0,68	403	8,51		1,14	0,81
		600-800	873	2,84		0,66	0,46					
7	CoGe		-777	19		1,41	1,41	13	11,94		1,12	1,12

Kobaltga nomagnit element kremniy yoki germaniy birikishi bilan, kobaltning paramagnit Kyuri temperaturasi kamayadi.

Birikmalarda nomagnit element Ge konsentratsiyasining oshishi bilan absolyut qiymat bo'yicha θ_p kamayadi. Bunday qonuniyat μ_{Co} va μ_f qiymatlari uchun ham kuzatiladi. Kobaltning kristall panjarasi muhitida nomagnit element Si yoki Ge ning mavjudligi, birikma kristall panjarasi tugunlardagi magnit faol Co^{2+} ionlari orasidagi masofaning oshishiga va demak, shu ionlar orasidagi magnit o'zaro ta'sirining kamayishiga sabab bo'ladi. Bu bilan o'rganilgan birikmalarning paramagnit Kyuri temperaturasining, μ_{Co} va μ_f -larning kobaltnikiga nisbatan ancha kamayganligini tushuntirish mumkin.

III-bobga doir xulosalar

1. Co-Si va Co-Ge birikmalari magnet qabul qiluvchanligini temperaturaga bog'lanishi [$\chi(T)$] yuqori temperaturalar oralig'ida (20-1550°C) o'lchandi.
2. O'rganilgan birikmalarning $\chi(T)$ tajribaviy bog'lanishlari Kyuri – Veyss qonuniga bo'ysunishi aniqlandi.
3. $\chi^{-1}(T)$ tajribaviy bog'lanishlaridan foydalanib EKKU bo'yicha o'rganilgan na'munalarning asosiy magnet xarakteristikalari (θ_p , C va $\mu_{\phi\phi}$) aniqlandi.

III – Bobga ilova.

O'rganilgan namunalarning asosiy magnit 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-XX2)
150. B=(X2*YY-XX*YY)/(N*X2-XX2)
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.

Ushbu magistrlik dissertatsiyasida qo'yilgan maqsad va vazifalar bo'yicha bajarilgan ishlarni umumlashtirib quyidagicha xulosalash mumkin.

1. Co-Si va Co-Ge sistemalarida hosil bo'ladigan intermetallik birikmalarning $\chi(T)$ bog'lanishlari, ularning qattiq holati, erish jarayoni va suyuq holatini qamraydigan, keng temperaturalar oralig'ida (50-1550⁰C) birinchi marta o'lchandi.
2. Toza kobalt, Co₃Si birikma va Co – Ge sistemasida o'rganilgan barcha birikmalarning birikmalarning $\chi(T)$ bog'lanishlari ularning qattiq holatida ham , suyuq holatlarida ham Kyuri – Veyss qonuniga bo'ysunadi; Co₂Si va CoSi birikmalar uchun mos ravishda 800⁰C va 1100⁰C dan yuqori temperaturalarda, Kyuri – Veyss qonuniga bo'ysunadi; CoSi₂ birikma uchun 50-550⁰C va 600-950⁰C temperaturalar oralig'ida va suyuq holatda Kyuri – Veyss qonuniga bo'ysunadi; Co₂Si, CoSi va CoSi₂ birikmalatning $\chi^{-1}(T)$ bog'lanishlari ekstremal qiymatga ega ekanligi aniqlandi.
3. Co-Si va Co-Ge sistemalaridagi o'rganilgan barcha birikmalarning magnit qabul qiluvchanligi, ulardagi nomagnit element Si va Ge konsentratsiyasining oshishi bilan kamayadi.
4. Kobalt va uning kremniy hamda germaniy bilan birikmalarining magnit qabul qiluvchanligini, ularning erish jarayonida sezilarli o'zgarmaydi. Ularning $\chi^{-1}(T)$ bog'lanishi erish temperaturalarida sinish yoki kichik sakrash bilan o'zgaradi. Bu tajribaviy dalil, o'rganilgan namunalarning magnit xossasini hosil qiluvchi, 3d – qobiq elektronlarining energetik holati va soni qattiq – suyuq fazaviy o'tish jarayonida deyarlik o'zgarmay qolishidan dalolat beradi.
5. O'rganilgan namunalarning tajribaviy $\chi^{-1}(T)$ bog'lanishlariga EKKU ni qo'llab ularning asosiy magnit xarakteristikalari: Kyuri – Veyss doimiysi – C, paramagnit Kyuri temperaturasi - θ_p , birikmalarning ximiyaviy formula

birligiga to'g'ri keluvchimagnit momenti - μ_f va birikmadagi bitta kobalt atomiga to'g'ri keluvchi effektiv magnit momenti μ_{Co} hisoblanadi. Hisoblash natijalarini tahlil qilish shuni ko'rsatadiki, yuqori temperaturada (15500C) ham toza Co va 3d elektrolarning kvant holati, Co^{2+} erkin ionining 3d-elektronlarning kvant holatiga ${}^4F_{9/2}$ yaqin bo'ladi. Kobaltga nomagnit metallar – kremniy va germaniy qo'shilishi bilan, uning asosiy magnit xarakteristikalarini ($\theta_p, \mu_{Co}, \mu_f$) kamayadi. Bu kristall panjara tugunlarida joylashgan Co^{2+} ionlari orasidagi masofaning, nomagnit element atomlari (Si, Ge) muhiti ta'sirida kamayishi bilan tushuntiriladi.

Adabiyotlar.

1. Вансовский С.В. Магнетизм. - М:Наука, 1971. - 1032 с.
2. Кондорский Э.У. Зонная теория магнетизма. Ч.2. - М: Изд.во. МГУ, 1977.
- 94с.
3. Гельд П.В., Баум Б.А., Петрушевский М.С. Расплавы ферромагнитного производства. –М.: “Металлургия”, 1973-289с.
4. Хансен М.И. Андерко К. Структура двойных сплавов. Т.Т, 533-546; с. 504-505. - М.:„Металлургиздат” , 1962.
5. Carter G.C. Bennet H.,Kahan D.J. Metallic shifts on NMR, part II. Oxford. New York : Pergamon press: 1977, PP. 981 – 982; 1036-1037.
6. Эллиот Р.П. Структуры двойных сплавов. Т.І, - М.:„Металлургия”, 1970 – с.337.
7. Вол А.Е. Строение и свойства двойных металлических систем, Т. І,- М.:„физ. мат. Лит”, 1962.
8. Сельвуд П.И. Магнетохимия.- М.; И.Л., 1958. - 460с
9. Van Fleck J.M. The Theory of electronic and magnetic susceptibilities. – Oxford: Oxford Univ. press , 1932-384p.

10. Вертман А.А, Самарин А.М. Магнитная восприимчивость никеля, кобалта и железа при высоких температурах. //ДАН. СССР, 134, 1960. – С. 326-329.
11. Невзорова Э.Г., Гальтеков Б.П., Радовский И.З., Гельд П.В. Магнитная восприимчивость никеля и железа при высоких температурах. Изв. ВУЗ ов. Черная металлургия, № 9, 1972. – С. 108-109.
12. Довгопал С.Г, Радовский И.З, Гельд П.В. Влияния плавление на магнитные характеристики железа, кобалта и никеля. - //ДАН СССР, 212, 1973, N1. – С. 83-85.
13. Urbain G, Ubelacher E. The measurement of the magnetic susceptibility of some elements (Fe, Co, Ni, Ge, Sr, Te) in the liquid state.// Adv. Phys. 16, 1967. –P. 429-437.
14. Terry E.M. The magnetic properties of iron, nickel and cobalt above the Curie point and Reensson's quantum theory of magnetism. //Phys. Rev, 9, 1977.- P. 394-413.
15. Кувондииков О.К, Шакаров Х.О., Салохитдинова М.К. Магнитные свойства интерметаллических соединений РЗМ с ПМ (Fe, Co, Ni) в твердом и жидком состоянии. // Узб. физ. жур., 1998, N:5. – С. 53-63.
16. Kuvandikov O.K., Shakarov Kh.O., Sayfullayeva D.A. , Salakhitdinova M.K. Investigations of magnetic properties of compounds of rare – earth metals with metals of the iron group in the range of the solid – liquid phase transition. //The physics of Metals and Metallography. Vol. 93, Suppe. 1, 2002.

– Р. 548-553.

17. Вертман А.М., Самарин А.М. Свойства расилатов железа. – М.: Наука, 1969.-280с.
18. Гельд П.В. Сидоренко Ф.А. Силициды переходных металлов четвертого периода,- М.: Металлургия, 1971.- 580с.
19. Антропов В.А., Радовский И.З., Давгопол С.П., Гельд П.В. Магнитная восприимчивость никель-кремниевых сплавов при высоких температурах. // Укр. физ. журнал. Т. 21, 1976, №3.- с. 360-364.
20. Чечерников В.И. Магнитные измерения // М: Изд. МГУ, 1969.- 388с.
20. Кувондииков О. К, Шакаров Х.О „Методы измерения некоторых физических величин в общем курсе физике". // Руководство для НИРС ИУИРС. - Самарканд. Изд. СамГУ. 1984.- 45с.
22. Шакаров Х.О. Магнитная восприимчивость интерметаллических соединений лантаноидов с индием при высоких температурах. // Кандидатская диссертация. Самарканд. 1983.
23. Кувондииков О. К, Шакаров Х.О., Иргашев К.М. Высоко-температурная установка для измерения магнитной восприимчивости 3d- и 4f- металлов в твердом и жидком состояниях. В. Сб.: Оптика - акустические, электрические, магнитные исследования конденсированных сред. Самарканд, СамГУ, 1982. –С. 122 - 130.

24. Kuvondiqov O. K, Shakarov X.O, Shodiyev Z.M, Rustamov A. Analysis of the magnetic properties of $(La_{1-x} Sr_x)_{0.93} K_x MnO_3$ magnetics at high temperatures. // Journal of communications technology and electronics. Vol 52, №9. 2007.-P. 1058-1061.
25. О.Қ. Қувандиқов, Х.О. Шакаров, З.М. Шодиев, Б.У. Амонов, У. Нуримов, О. Норқулов. (Co, Ni)-Si системасидаги бирикмаларнинг магнит хоссаларини юқори температураларда ўрганиш. // “Замонавий физиканинг долзарб муаммолари” мавзусидаги материаллар тўплами. 12-14 бетлар. Бухоро – 2012.
26. Х.О. Шакаров, Х.Р. Абдукаримова, З.М. Шодиев, Б.У. Амонов, Н. О. Норқулов. Кобальт-германий системаси интерметаллик бирикмаларининг магнит қабул қилувчанлигини юқори температураларда ўрганиш. // “Замонавий физиканинг долзарб муаммолари” мавзусидвги Республика илмий-назарий анжумани метериаллари. 1 қисм: Фундаментал тадқиқотлар натижалари. 55-58 бетлар. Термез, 2013.
27. Шакаров Х.О., Усманов Б.И. Применение микро ЭВМ в НИРС по физике Методические рекомендации. Самарканд. СамГПИ, 1959.-37с.
28. Shakarov X. O. Fizikadan laboratoriya mashg'ulotlarida kompyuterlardan foydalanish. // „Uzluksiz ta'lim tizimida yangi pedagogik va information texnologiyalar” mavzusidagi ilmiy – amaliy konferensiya materiallari, 2 – qism, Samarqand. 2003, 13-14-may, 109-111b.