

O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY VA O'RTA
MAXSUS TA'LIM VAZIRLIGI
ZAHIRIDDIN MUHAMMAD BOBUR NOMIDAGI
ANDIJON DAVLAT UNIVERSITETI
Fizika kafedrası

Qo'lyozma huquqida

Noibjonov Ravshanbek Rustamovich

O'TA O'TKAZUVCHANLIK HODISASI VA UNING FIZIK MOHIYATI

5140200 – fizika
ta'lim yo'nalishi bo'yicha
bakalavr akademik darajasini olish uchun yozilgan

BITIRUV MALAKAVIY ISH

Ish rahbari: f.-m.f.n., dotsent A.U.Abdurahimov

Andijon – 2017 yil

MUNDARIJA

KIRISH.....	3
1-BOB. O'TKAZGICHLARDA TOK O'TISHINING FIZIK MEXANIZMLARI	5
1.1. Metallarning tuzilishi va elektr o'tkazuvchanligi	5
1.2. Metallar elektr o'tkazuvchanligining haroratga bog'liqligi	9
1.3. Metall qotishmalari va birikmalari	10
1.4. Nometall moddalarda elektr o'tkazuvchanlik.....	
1.4.1. Dielektriklarning elektr o'tkazuvchanligi.....	13
1.4.2. Gazlarning elektr o'tkazuvchanligi.....	17
1.4.3. Suyuq dielektriklarning elektr o'tkazuvchanligi.....	19
1.4.4. Qattiq dielektriklarning elektr o'tkazuvchanligi.....	21
1.4.5. Qattiq dielektrlarda sirtiy elektr o'tkazuvchanlik....	24
1.4.6. Nometall o'tkazgichlar.....	26
1.5. Krioo'tkazgich moddalar.....	28
1.6. O'tkazuvchanligi yuqori bo'lgan toza metall va metall qotishmalarining qo'llanilishi.....	29
Bobning qisqacha xulosalari.....	33
2-BOB. O'TA O'TKAZGICHLAR VA ULARNING XOSSALARI	
2.1. O'tkazuvchanlikning haroratga bog'liqligi.....	34
2.2. Simobning o'tkazuvchanligi haqida.....	36
2.3. Yuqori haroratli o'ta o'tkazuvchanlik.....	37
2.4. O'ta o'tkazgichlarning fizikaviy xossalari.....	40
2.5. O'ta o'tkazgichlarning magnit xossalari.....	44
Bobning qisqacha xulosalari	
3-BOB. O'TA O'TKAZGICHLARNING QO'LLANILISHI	
3.1. O'ta o'tkazgich moddalarning elektron texnikasidagi o'rni	45
3.2. O'tao'tkazgich materaillarning mashinasozlikda qo'llanilishi	46
Bobning qisqacha xulosalari.....	55
XULOSA.....	57
FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI	59
ILOVA	61

KIRISH

O'zbekiston Respublikasining "Ta'lim to'g'risida"gi qonuni, "Kadrlar tayyorlash milliy dasturi" hamda Prezidentimiz asarlari mamlakatimiz xalq xo'jaligining barcha tarmoqlarini rivojlangan mamlakatlar darajasiga ko'tarish dastur-amalidir. Ushbu qonun va dasturning maqsadi, ta'lim sohasini tubdan isloh qilish, uni o'tmish kamchiliklaridan holi qilish, rivojlangan demokratik davlatlar darajasidagi, yuksak ma'naviyatli, ahloqiy, yuqori malakali kadrlar tayyorlash milliy tizimini yaratishdan iboratdir.

Zamonaviy elektron texnikasida ko'p imkoniyatlarga ega bo'lgan mikroelektron qurilmalar ishlab chiqarish uchun yarimo'tkazgichlar va elektrklar bilan bir vaqtda turli xildagi elektr tokini yaxshi o'tkazuvchi moddalar ham ishlatiladi. Yaratilgan elektron asbobni oldindan qo'yilgan talablarga to'la javob berishi uchun foydalanilgan har bir moddani sinchkovlik bilan o'rganib, ularni xossalari boshqa moddalar hususiyatlari bilan mutanosib bo'lishiga erishish zarur.

Shu maqsadda asbobsozlikda ko'p qo'llaniladigan elektr o'tkazuvchi moddalarni hususiyatlarini tarkibiy tuzilishini, ularda kechadigan ko'plab effektlar fizik-kimyoviy asoslarini, o'tao'tkazuvchan moddalarda yuz beradigan voqealar mohiyatini yengilroq tarzda tushuntiradigan ma'lumotnomaga g'oyat katta zarurat vujudga keldi.

Klassik elektron nazariyaga muvofiq metallarning solishtirma qarshiligi sovishda barcha temperaturalarda chekli, qolgan holda monoton kamayishi kerak. Qarshilikning bunday temperaturaviy bog'lanishi anchagina ham yuqori temperaturalarda kuzatiladi. Biroq temperaturalarni yetarlicha past (bir necha kelvin) olinsa, bu bog'lanish batamom boshqacha bo'ladi. Avvalo solishtirma qarshlik temperaturaga bog'liq bo'lmay qoladi va biror chegaraviy qoldiq qiymatga erishadi. Bu qiymat turli moddalar va hatto bir moddaning turli namunalari uchun ham turlicha bo'ladi. Bu qoldiq qarshilik

ayniqsa qotishmalarda katta bo`ladi, biroq sof metallarda ham bo`ladi. Tajribada metal qanchalik toza bo`lsa va tekshirilayotgan namuna qanchalik strukturaviy nuqsonlardan holi bo`lsa, qoldiq qarshilik shuncha kichik bo`lishini ko`rsatadi.

Agar temperatura yanada pasaytirilsa, u holda ba`zi moddalarda ajoyib hodisa - o`ta o`tkazuvchanlik hodisasi kuzatiladi.

Absolyut nolga yaqin temperaturalarda ba`zi metallarning elektr qarshiligini birdaniga butunlay yo`qotish hodisasi bilan bog`liq o`ta o`tkazuvchanlik holati 1911-yilda gollandiyalik fizik G.Kamerling-Onnes tomonidan kashf qilingan. U toza simobning elektr qarshiligi juda past temperaturalarda birdaniga nolgacha kamayib ketishini aniqladi. Keyinchalik, ba`zi boshqa metallarda ham o`ta o`tkazuvchanlik hodisasi kuzatiladi.

O`ta o`tkazgich orqali oqayotgan tok kuchi ma`lum o`tkazgich uchun belgilangan tok kuchidan juda katta va uzoq vaqt o`zgarmasdan saqlanishi kerak. Tajribalardan aniqlanishicha, o`ta o`tkazgichdan yasalgan berk zanjir bo`ylab elektr toki uch yil davomida intensivligi o`zgarmagan tarzda saqlaydi. O`ta o`tkazuvchanlikning bu xossasi turli amaliy maqsadlarda foydalanish imkonini yaratishi mumkin. Jumladan, maydon kuchlanganligi nihoyatda katta bo`lgan kichik o`lchamli elektromagnitlar yaratishda, uyurma toklarga asoslanib ishlovchi transport vositalarini yaratishda ishlatilishi mumkin

O`ta o`tkazuvchanlik hodisasi tashqi ta`sirlarga kuchli bog`liq. Masalan, materialning temperaturasining oshishi, elektr va magnet maydonlarning ta`siri tufayli moddaning o`ta o`tkazuvchanlik holati buziladi.

Shu munosabat bilan ushbu BMIda asosiy e`tiborni yuqorida aytilgan moddalardagi elektr toki o`tish jarayonlarini tahliliga bag`ishlandi. Shulardan kelib chiqqan holda, mazkur **bitiruv malakaviy ishining maqsadi** - o`tkazgichlarda

elektr toki mexanizmlarini, o'ta o'tkazgich moddalar, yuqori temperaturali o'ta o'tkazuvchanlik hodisasining mohiyatini, o'ta o'tkazgich materiallarning elektron texnikasi va mashinasozlikda qo'llanilishini o'rganish va bu sohalarda adabiyotlardagi ma'lumotlarni jamlash va tahliliy o'rganishdan iborat qilib belgilandi.

Bitiruv malakaviy ishning vazifalari:

1. Moddalarning elektr tokini o'tkazish xususiyatlari va unga ko'ra turkumlash tamoyillarini o'rganish;
2. O'ta o'tkazuvchanlik haqida berilgan ma'lumotlarni adabiyotlar orqali o'rganish va tahlil etish;
3. O'ta o'tkazuvchanlikka oid klassik va zamonaviy nazariyalar bilan tanishish;
4. O'ta o'tkazgichlar, yuqori haroratli o'ta o'tkazgichlar va ularning elektron texnikasida hamda mashinasozlikda qo'llanilishini o'rganish.

Bitiruv malakaviy ishining ob'ekti sifatida o'tkazgich va o'ta o'tkazgich moddalar olindi. Ishning **predmeti** sifatida esa moddalarni elektr xususiyatlariga ko'ra sinflash prinsiplari, o'ta o'tkazgichlarda yuz beruvchi fizik jarayonlar mexanizmlaridan iborat.

Bitiruv malakaviy ishining metodlari:

- Mavjud ilmiy, ilmiy-ommabop manbalarni o'rganish, tahlil qilish, ularda mavjud ma'lumotlarni umumlashtirish.

Bitiruv malakaviy ishining hajmi va asosiy mazmuni: mazkur bitiruv malakaviy ishi kirish, uchta bob, xulosa, foydalanilgan adabiyotlar ro'yhati va internet tarmog'idan olingan ma'lumotlardan iborat. Har bir bob oxirida bobga oid qisqacha xulosalar keltirilgan bo'lib, ishning umumiy hajmi 62 betdan iborat.

1-BOB. O'TKAZGICHLARDA TOK O'TISHINING FIZIK MEXANIZMLARI

O'tkazgich moddalar sifatida qattiq jismlar, suyuqliklar va ma'lum sharoitlarda esa gaz ham qo'llanilishi mumkin. Elektr texnikada qo'llaniladigan aksariyat qattiq o'tkazgich moddalarga metall va uning qotishmalari kiradi.

Yuqori elektr o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan o'tkazgich moddalarga normal harorat sharoitda solishtirma qarshiligi $\rho \leq 0,05$ mkOm·m bo'lgan metallar kiradi. Normal haroratda solishtirma qarshiligi kamida 0,3 mkOm·m bo'lgan qotishmalar yuqori qarshilikka ega qotishmalar deyiladi. Yuqori o'tkazuvchanlikka ega metallar sim, tok o'tkazuvchi kabellarda, elektr mashinasi va transformatorlarning chulg'amlarida va boshqa asbob-uskunalarda ishlatiladi. Yuqori qarshilikka ega metall va qotishmalar rezistorlar, elektr isitkich asboblari, cho'g'lanma lampalarning tolalarini tayyorlashda foydalaniladi.

O'ta past (kriogen) haroratlarda solishtirma qarshiligi o'ta kichik bo'lgan moddalar - o'ta o'tkazgichlar va krioo'tkazgichlar alohida ahamiyatga ega.

1.1. Metallarning tuzilishi va elektr o'tkazuvchanligi

Qadimdan metallar insonlar hayotida muhim o'rin tutgan. Fan va texnika rivojlanishini metallarsiz tasavvur qilish qiyin. Tabiatda metallar miqdor jihatdan ko'p bo'lmasada, ularning turlari ko'p uchraydi. Elementlar davriy jadvalidagi bizga ma'lum 107 elementlarning 83 tasi metallar hisoblanadi. Metal so'zi yunoncha "metallon" so'zidan kelib chiqqan bo'lib, shaxta, ruda, nayza kabi ma'nolarni bildiradi.

Metallar elektr tokini va issiqlikni yaxshi o'tkazadi, elektromagnit to'lqinlarni yaxshi qaytaradi. Ularning mexanik xossalarida boshqa qattiq jismlarga nisbatan bir qancha afzalliklar bor. Metallarning bu xossalari, ularning molekula (yoki atom) lari orasidagi bog'lanish tabiatidan, ularning kristall panjarasi va energetik

zonalarini tuzilishidan kelib chiqadi. Ko'p hollarda metallar hajmiy yoki markazlashgan kubik va geksagonal tuzilishga ega bo'lgan, molekula (yoki atom)lari zich joylashgan kristall panjarasi hosil qiladilar.

Metallarning yuqorida keltirilgan ajoyib xossalari olimlarni o'ziga jalb qiladi. Metallarni fizik xossalarini tushuntirib beruvchi nazariyalar va modellar yaratish XIX asr oxirlari XX asr boshidan boshlangan. Hozirgi kunda mumtoz modellarning ko'pchiligi talabga javob bermasada, ba'zi modellardan foydalanib kelinmoqda. SHuning uchun ham biz dastavval yaratilgan metallar nazariyalarini qisqacha ko'rib o'tamiz.

Qattiq o'tkazgich ion panjarali kristall sistema ko'rinishida bo'lib, ichki qismida ozod elektronlar joylashgan deb faraz qilinadi. Odatda, bu elektronlar issiqlik ta'sirida betartib, elektr maydoni ta'sirida esa aniq yo'nalish bo'yicha harakatlanadi. Elektronlar harakati davomida kristall panjara tugunlari bilan to'qnashishi natijasida ajralib chiqadigan energiyani ta'riflovchi Joule-Lens qonuni keltirib chiqarilgan, ya'ni metallarda elektr o'tkazuvchanlik va elektr energiya isrofi tushuntirib berilgan. Bundan tashqari, mazkur qonun metallarning elektr va issiqlik o'tkazuvchanliklari orasidagi bog'lanishni ham izohlaydi. Metallarning asosiy xossalari 1.1-jadvalda keltirilgan.

1.1-jadval

Ayrim metallarning asosiy xossalari

Metall nomi	Zichligi, $\times 10^3, \text{kg/m}^3$	Eriş harorati, $^{\circ}\text{C}$	Solishtirma issiqlik sig'imi, $\text{J/kg}\cdot\text{K}$	Chiziqli kengayishi $\text{TK}_l, \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$	Solishtirma qarshiligi, $\text{mK}\cdot\text{Om}\cdot\text{m}$	Elektronlar ning chiqish ishi, eV	Qayishqoqli k moduli, Gpa
Simob	13,60	-38,9	138	61,0	0,958	4,5	-
Seziy	1,87	26,5	234	95,5	0,210	1,9	1,8
Talliy	5,91	29,7	381	18,0	0,560	-	-
Kaliy	0,87	63,7	753	80,0	0,09	2,2	-
Natriy	0,97	97,6	1260	70,0	0,046	2,3	10

Indiy	7,28	156,0	243	25,0	0,090	-	10,5
Litiy	0,53	186,0	3620	-	-	-	4,9
Qalay	7,31	232,0	226	23,0	0,120	4,4	54,0
Kadmiy	8,65	321,0	230	30,0	0,076	4,0	62,3
Qo'rg'oshin	11,4	32,0	130	29,0	0,210	-	15,7
Ruh	7,14	420,0	90	31,0	0,059	-	92,2
Magniy	1,74	651,0	1040	26,0	0,045	3,6	44,3
Aluminiy	2,7	657,0	922	24,0	0,028	4,3	70,8
Bariy	3,5	710,0	268	17,0	0,500	-	12,6
Kumush	10,5	961,0	234	19,0	0,016	4,4	80
Oltin	19,3	1063	126	14,0	0,024	4,8	77,5
Mis	8,94	1083,0	385	16,0	0,017	4,3	129
Berilliy	1,85	1284,0	200	13,0	0,04	3,9	287
Nikel	8,9	1455,0	444	13,0	0,073	5,0	196
Kobalt	8,71	492,0	435	12,0	0,062	-	200
Temir	7,87	1535,0	452	11,0	0,098	4,5	211
Palladiy	12,1	1554,0	243	12,0	0,110	-	121
Titan	4,5	1724,0	577	8,1	9,480	-	104
Xrom	7,1	1850,0	-	6,5	0,210	-	245
Platina	21,4	1770,0	134	9,0	0,105	-	170
Toriy	11,5	1850,0	113	11,2	0,186	3,3	79,2
Sirkoniy	6,5	1860,0	276	5,1	0,410	3,7	68,4
Iridiy	22,5	2350,0	-	-	-	-	528
Niobiy	8,57	2410,0	272	7,2	0,140	4,1	100
Molibden	10,2	2620,0	264	5,0	0,057	4,2	294
Tantal	16,7	2850,0	142	6,5	0,35	4,1	177
Reniy	20,5	3180,0	138	4,7	0,210	4,8	405
Volfram	19,3	3380,0	218	4,4	0,055	4,5	407

O'tkazgich moddalarning xossalarini ifodalaydigan asosiy ko'rsatkichlar quyidagilardan iborat:

- 1) solishtirma qarshilik (ρ) yoki solishtirma o'tkazuvchanlik ($\gamma=1/\rho$);
- 2) solishtirma qarshilikning harorat koeffitsienti α_ρ ;
- 3) issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsienti (γ_T);
- 4) kontakt potentsiallar farqi va termoelektr yurituvchi kuch (TEYuK);
- 5) elektronlarning metallardan chiqish ishi;
- 6) cho'zilishdagi mustahkamlik chegarasi (σ_r) va uzilish oldidagi nisbiy cho'zilish ($\Delta l/l$).

O'tkazgichdagi tok zichligi va elektr maydon kuchlanganligi o'zaro quyidagicha bog'lanishga ega:

$$J=\gamma \cdot E$$

bunda : J - tok zichligi, A/m²; γ - o'tkazgich moddaning solishtirma elektr o'tkazuvchanligi, V/m.

Metallarda solishtirma o'tkazuvchanlik elektr maydoni kuchlanganligiga bog'liq bo'lmaydi. Solishtirma o'tkazuvchanlikka teskari kattalik solishtirma qarshilik ($\rho=1/\gamma$ deyilib, qarshiligi R uzunligi bir va o'zgarmas kesim yuzasi S bo'lgan o'tkazgich uchun u quyidagicha hisoblanadi:

$$\rho=R \cdot S/l \text{ [Om} \cdot \text{m]}.$$

Metallarning klassik qonuniyatiga asosan metall o'tkazgichlarning solishtirma o'tkazuvchanligi quyidagichadir:

$$\gamma=e_2 n_0 \lambda / 2 m v_u,$$

bunda: e - elektronning zaryadi; n_0 - metallning hajm birligidagi ozod elektronlar soni; λ - elektron erkin bosib o'tgan yo'lining o'rtacha uzunligi; v_u - metalldagi ozod elektron issiqlik harakatining o'rtacha tezligi.

Turli xil metallar uchun elektronlarning betartib issiqlik harakat tezligi v_u taxminan bir xildir. Shu sababli, solishtirma o'tkazuvchanlik qiymati elektronlar erkin bosib o'tgan yo'lining o'rtacha tezligi va o'tkazgich moddaning tuzilishiga

bog'liq bo'ladi. Nisbatan to'g'ri kristall panjarali sof metallarning solishtirma qarshiligi eng kichik qiymatga ega. Agar metall tarkibiga qo'shimcha kiritilsa, uning kristall panjarasi deformatsiyalanib, ρ qiymatining o'sishiga olib keladi.

1.2. Metallar elektr o'tkazuvchanligining haroratga bog'liqligi

Metallar elektr o'tkazuvchanligi (qarshiligi) haroratga bog'liq ravishda o'zgaradi. Harorat ortishi bilan elektr o'tkazuvchanlik (qarshilik) kamayib (ortib) boradi, pasayganda esa ma'lum haroratgacha ortib (pasayib) boradi. Juda past haroratlarda metallarning solishtirma o'tkazuvchanligi (qarshiligi) ma'lum bir tayinli qiymat $\sigma_A (\rho_A)$ ga erishadi va u harorat o'zgarishiga bog'liq bo'lmaydi. $\sigma_A (\rho_A)$ metaldagi yot aralashmalarga va nuqsonlarga bog'liq bo'lib, uni qoldiq o'tkazuvchanlik (qarshilik) deb ham yuritiladi.

Hozirgi tasavvurlarga ko'ra, metalning solishtirma elektr qarshiligi elektronlarning fononlar va nuqsonlar bilan ta'sirlashuvidan kelib chiqadi, ya'ni

$$\rho = \rho_f + \rho_n \quad (1.1)$$

yoki o'tkazuvchanlik orqali yozsak,

$$\frac{1}{\sigma} = \frac{1}{\sigma_f} + \frac{1}{\sigma_n} \quad (1.2)$$

Oxirgi ikki ifoda Mattisen qoidasi deb nomlanadi.

Yuqori (xona) haroratlarda solishtirma qarshilikning haroratga bog'liqligi

$$\rho = \rho_o(1 + \alpha t) \quad (1.3)$$

ko'rinishida bo'ladi, bunda α - solishtirma elektr qarshilikning harorat koeffitsienti deb ataladi. Ba'zi metallar va metall birikmalari uchun α ning qiymatlari 1.2-jadvalda keltirilgan.

Mutloq nolga yaqin haroratlarda (1.3) ifoda bajarilmaydi, unda solishtirma qarshilikni

$$\rho = \rho_A + AT^2 + BT^5 \quad (1.4)$$

ifoda bilan aniqlanadi. Ushbu munosabatdagi BT^5 qo'shiluvchi elektronlarning panjara tebranishlari bilan o'zaro ta'siri tufayli, AT^2 esa elektronlarning o'zaro to'qnashuvini hisobiga hosil bo'lgan qarshiliklar. A va B lar haroratga bog'liq bo'lmagan doimiylar.

1.2-jadval

Ba'zi metallar metallar va metall qotishmalari uchun solishtirma elektr qarshilikning harorat koeffitsienti qiymatlari

№	Metall nomi	$\alpha, 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$	№	Metall nomi	$\alpha, 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
1	Alyuminiy	1.2	12	Qalay	4.4
2	Volfram	5	13	Platina	3.9
3	Temir	6	14	Qo'rg'oshin	3.7
4	Oltin	4	15	Simob	1.0
5	Konstantan	0.05	16	Kumush	4.1
6	Jez	0.1-0.4	17	Ruh	4.2
7	Magniy	3.4	18	Po'lat	1-4
8	Mis	0.39	19	Mangan	0.01
9	Nikelin	0.1	20	Cho'yan	1.0
10	Nikel	6.5	21	Fekral	0.1
11	Nixrom	0.1			

1.3. Metall qotishmalari va birikmalari

Toza metallar odatda, mustahkamligi past va uncha yuqori bo'lmagan texnologik xususiyatlarga ega bo'ladi. Shu sababli texnikada metall qotishmalari qo'llaniladi. Metall qotishmasi deb, bir qancha tur moddalarni birga eritishdan hosil bo'lgan murakkab moddaga aytiladi. Qotishmaning tarkibiy moddalari sifatida metallar, nometallar va kimyoviy birikmalar olinadi. Qotishmaning tarkibiy moddalari soniga qarab ular ikki tarkibli, uch tarkibli va ko'p tarkibli bo'lishi mumkin. Qotishmaning tarkibiy moddalari soni va turi fizik-kimyoviy o'zaro ta'sirlashuvda, qotishmaning holatini xarakterlovchi fazalar hosil qiladi.

Faza – qotishmaning muayyan tarkibi, kristall panjarasi turi va bo'laklar sirtining bir-biridan ajralishi bilan xarakterlanadigan birjinsli qismi. Tarkibida mavjud fazalar miqdoriga bog'liq ravishda qotishmalar bir fazali, ikki fazali va ko'p fazali qotishmalarga ajratiladi. Qotishmaning tarkibidagi suyuq holatdagi tarkibiy moddalari odatda, bir-birida cheklanmagan miqdorda eriydi va suyuq eritma hosil qiladi. Qattiq holatdagi tarkibiy moddalar esa qattiq eritmalar, mexanik aralashmalar, kimyoviy birikmalar hosil qiladi.

Agar qotishmaning tarkibiga kiruvchi elementlar, suyuq holatdan qattiq holatga o'tganda bir-birida erimasa va o'zaro ta'sirlashmasa, u holatda mexanik aralashma (masalan, qalay-qo'rg'oshin, alyuminiy-mis) hosil bo'ladi. Bunday mexanik aralashmalarda tarkibiga kiruvchi har ikki element kristall panjarasining turi mavjud bo'ladi.

Tuzilishiga ko'ra kimyoviy birikmalar ularni hosil qiluvchi elementlar xossaligidan tubdan farq qiluvchi, muayyan erish haroratiga ega bo'lgan bir jinsli qattiq jism hisoblanadi. Kimyoviy birikmalarning tarkibi stexiometrik proporsiyada sodda A_mB_n formula bilan ifodalanadi. Kimyoviy birikmalarning ikki turi mavjud: metall-nometall va metall-metall. Metall-nometall kimyoviy birikmalarga ion bog'lanishli fazalar: sulfidlar, oksidlar, fosfidlar va suqilish fazalari: karbidlar, nitridlar, boridlar va gidridlar mansub. Metall-metall tizimlarga esa elektronli birikmalar misol bo'ladi. Elektronli birikmalar bir valentli metallar (mis, kumush, litiy) bilan bir tomondan o'tish guruhi metallari (temir, marganets, kobalt) bilan hosil bo'lsa, ikkinchi tomondan esa valentligi 2 dan 5 gacha qiymatlarni qabul qiladigan metallar (alyuminiy, berilliy, magniy, ruh) bilan hosil qilinadi. Elektronli birikmalar muayyan elektron konsentrasiyaga, ya'ni valent elektronlari sonining atomlar soniga nisbatiga ega bo'ladi. Agar bu nisbat - 3/2 ga teng bo'lsa, bunday birikmalar hajmiy markazlashgan kub (HMK) ko'rinishidagi kristall panjara hosil qiladi, bundaylarga CuZn, CuBe, Cu₃Al qotishmalari; 21/13 ga teng bo'lsa, bunday birikmalar murakkab kubik panjara hosil qiladi, ularga Cu₅Zn₈, Co₅Zn₂₁, Fe₅Zn₂₁ qotishmalari; 7/4 ga teng bo'lsa, ularga geksagonal

panjara hosil qiladi ular CuZn_3 , Cu_3Sn_2 , Cu_3Si qotishmalari misol bo'ladi. Elektronli birikmalar misli qotishmalar (latun va bronza) uchun xarakterlidir.

Tarkibiy moddalaridan biri (erituvchi) o'zining kristall panjara shaklini saqlagan holda, boshqa tarkibiy modda (eruvchi) uning kristall panjarasiga joylashib, qisman uni egrilanishi yuz beradigan birikmaga qattiq qorishma deyiladi. Qattiq qorishmalar ikki turda bo'ladi: o'rinbosar (o'rin almashinish) qattiq qorishma va suqilma (suqilish) qattiq qorishma. O'rinbosar qattiq qorishmalar nisbatan tartibli strukturaga ega bo'ladi va o'zining xususiyatlari bo'yicha kimyoviy birikmalarga yaqin turadi, cheklanmagan eruvchanlikka ega bo'lishi mumkin. So'qilma qattiq qorishmalarda esa eruvchanlik nisbatan cheklangandir.

Muvozanat holatidagi turg'un fazalarning mavjudlik shartlari Gibbsning fazalar qoidasi bilan aniqlanadi. Ushbu qoida fazalar soni F , tarkibiy moddalari miqdori K va erkinlik darajasi soni S o'rtasidagi miqdoriy munosabatni o'rnatib, qotishmani qizdirish va sovutish jarayonida yuz beruvchi jarayonlarni oldindan aytish imkonini beradi va berilgan shartlarda tizimning fazalar sonini aniqlaydi. Fazalar qoidasi quyidagi sodda formula $S = K + P - F$ bilan ifodalanadi.

Tizimning erkinlik darajasi, yoki tizimning variantliligi S deyilganda, muvozanat holatida turgan fazalar sonini o'zgartirmagan holda o'zgarishi mumkin bo'lgan tashqi (harorat, bosim) va ichki (zichlik) omillarning soni tushuniladi. Metall qotishmalari uchun tashqi omil harorat ekanligini e'tiborga olsak, unda fazalar qoidasi $S = K + 1 - F$ ko'rinishiga keladi.

Tizimning erkinlik darajasi, yoki tizimning variantliligi S manfiy bo'lmasligini e'tiborga olsak, metall qotishmalarining muvozanati uchun, ular tarkibiy tuzilmasidagi fazalar soni F , tarkibiy moddalar soni K dan ko'pi bilan birga ortiq bo'lishi mumkin.

Toza metallning kristallanishida ikkita - qattiq va suyuq fazalar mavjudligini inobatga olsak, uning erkinlik darajalari soni 0 ga teng bo'ladi, ya'ni mazkur tizim invariant hisoblanib, tizimdagi har ikkala faza qat'iy haroratda muvozanatda

bo'ladi. Toza metall suyuq holatda 1 ga teng bo'lgan erkinlik darajasiga ega (monovariant tizim), ya'ni fazalar sonini o'zgartirmasdan haroratning ma'lum chegaralarda o'zgartirish imkoniga ega.

Gibbsning fazalar qoidasidan, ikki tarkibli sistemalarda bir vaqtning o'zida mavjud bo'ladigan fazalar soni 3 ta bo'lishi kelib chiqadi va tarkibiy moddalar soni ko'p bo'lgan qotishmalarda muvozanatli holat mavjud bo'lmasligi ham mumkin.

1.4. Nometall moddalarda elektr o'tkazuvchanlik

1.4.1. Dielektrlarning elektr o'tkazuvchanligi

Jismda elektr zaryadlarining tartibli harakati elektr tokini hosil qiladi. Zaryadlarning bunday tartibli harakati elektr maydon kuchlanganligi ta'sirida vujudga keladi. Dielektrikda elektr o'tkazuvchanlik uning tarkibidagi erkin zaryadlar hisobiga sodir bo'ladi. Hajm birligidagi n ta zaryad tashuvchisi bo'lgan va zaryad qiymati q ga teng bo'lgan dielektrikka tashqi elektr maydoni (E) ta'sir ettirilsa, shu elektr maydon ta'sirida zaryad kuch chiziqlari yo'nalishida ma'lum tezlik ϑ oladi. Jismning ko'ndalang yuzasidan vaqt birligida o'tadigan elektr miqdori, ya'ni tok zichligi:

$$J = nq\vartheta \quad (1.5)$$

yoki

$$J = \frac{E}{\rho} \quad (1.6)$$

$\rho = 1/\gamma$ ekanligini hisobga olsak:

$$J = E\gamma \quad (1.7)$$

bu erda ρ - solishtirma elektr qarshilik ($\text{Om}\cdot\text{m}$); γ - solishtirma elektr o'tkazuvchanlik ($\text{Om}^{-1}\text{m}^{-1}$).

Jism elektr o'tkazuvchanligi elektronli, ionli (yoki elektrolitik) va molionli (yoki elektroforetik) ko'rinishlarga egadir. Dielektrlarda asosan ionli elektr o'tkazuvchanlik kuzatiladi. Odatda, dielektrik oz bo'lsada, ma'lum miqdordagi

elektr tokini o'zidan baribir o'tkazadi. Bu esa erkin zaryad tashuvchilar mavjudligi bilan tushuntiriladi.

Izolyatsiya moddasi odatda juda katta solishtirma qarshilikka ega bo'ladi. Bu qiymat qancha yuqori bo'lsa, dielektrikdan shuncha kam miqdorda elektr toki o'tadi. Bunday xossaga ega dielektriklar yuqori sifatli hisoblanadi. Elektr maydoni ta'sirida gaz, suyuqlik va qattiq holatdagi dielektrlardan qandaydir miqdorda elektr toki o'tib, dielektrikda elektr energiya isrofi kuzatiladi. Bunday isroflarni aniqlashda dielektrlarning elektr o'tkazuvchanligini o'rganish katta amaliy ahamiyatga egadir. Elektr o'tkazuvchanlikni o'rganishda izolyatsiya moddasidan yasalgan va metall elektrodlar bilan jihozlangan namunaga kuchlanish beriladi. Namuna asosan yassi taxtacha shaklida tayyorlanib, elektrodlar uning bir yoki qarama-qarshi ikki yuzasiga o'rnatiladi. Dielektrikning hajmiy qarshiligini aniqlash uchun elektr toki namunaning hajmi bo'yicha o'tkaziladi va elektrodlar qarama-qarshi yuzaga o'rnatiladi. Mazkur elektrodlar galvanometr orqali elektr manbaiga ulanadi. Dielektrikning yuza qarshiligini aniqlashda esa elektrodlar namunaning bir yuzasiga o'rnatilishi mumkin.

Dielektrikka o'zgarmas kuchlanish ulangandan so'ng ma'lum vaqt (bir daqiqa) o'tgandan so'ng, tok o'zining qandaydir o'zgarmas qiymatiga erishadi va u tok ichki tok (I_{ich}) deyiladi. Dielektrikning qarshiligi R berilgan kuchlanish (U) ga to'g'ri proporsional, dielektrikdan o'tayotgan ichki tokka esa teskari proporsional bo'ladi:

$$R = \frac{U}{I_{ich}}, \quad (1.8)$$

Dielektrikning elektr o'tkazuvchanligi, aksincha, qarshilikka teskari proporsionaldir:

$$\gamma = \frac{1}{R} = \frac{I_{ich}}{U} \quad (1.9)$$

Dielektrik sirti bo'ylab o'tadigan tokni sirt toki (I_s) deb atalib, bu tok miqdorining hajmiy tok I miqdori bilan yig'indisi esa dielektrikdan o'tadigan umumiy tok (I_u) ni tashkil etadi:

$$I_y = I_s + I, \quad (1.10)$$

bunda

$$I = U\gamma = \frac{U}{R}; \quad I_s = U\gamma_s = \frac{U}{R_s}.$$

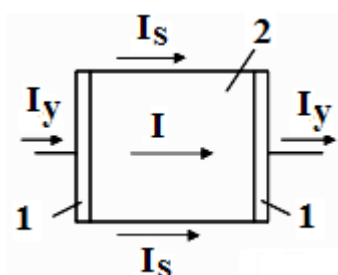
Dielektrikning umumiy elektr o'tkazuvchanligi quyidagicha aniqlanadi:

$$\gamma = \gamma + \gamma_s \quad (1.11)$$

yoki

$$\frac{1}{R_y} = \frac{1}{R} + \frac{1}{R_s}; \quad R_y = \frac{R \cdot R_s}{R + R_s},$$

ya'ni dielektrikning umumiy qarshiligi bir-biriga parallel ravishda ulangan xajmiy va yuza qarshiliklar yig'indisidan iborat bo'ladi.



1.1-rasm. Dielektrik orqali o'tayotgan ichki va yuza tok oqimlari

Ko'ndalang kesim yuzasi S va uzunligi h bo'lgan dielektrikning hajmiy qarshiligi R quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$R = \rho \frac{h}{S}, \quad (1.12)$$

Dielektrikning solishtirma yuza qarshiligi esa:

$$\rho = R \frac{S}{h}, \quad (1.13)$$

Xalqaro birliklar tizimi (SI) ga asosan bu qarshilik $Om \cdot m$ yoki $Om \cdot mm^2 / m$ birliklarda olinadi: $1 Om \cdot m = 100 Om \cdot sm = 10^6 Om \cdot mm^2 / m = 10^6 mkOm \cdot m = 10^8 mkOm \cdot sm$.

Dielektrikning solishtirma hajmiy o'tkazuvchanligi uning solishtirma hajmiy qarshiligiga teskari proporsionaldir. Elektr o'tkazuvchanlik jismning holati (gaz, suyuq, qattiq) ga, unga ta'sir etuvchi kuchlanish turi va miqdoriga, muhit harorati, namligi va boshqa ta'sirlarga bog'liq bo'ladi. O'zgaruvchan elektr maydoni ta'siridagi dielektrikdan o'tuvchi tok oqimi ichki va absorbsiya toklari yig'indisidan tashkil topadi. O'zgarmas kuchlanish ta'sirida bo'lgan dielektrikdan faqat ichki tok o'tib, absorbsiya toki faqat kuchlanishni ulash yoki uzish paytida kuzatiladi. Past sifatli suyuq va qattiq izolyatsiya moddalarida $\rho \approx 10^6 - 10^8 \text{ Om}\cdot\text{m}$ bo'lib, yuqori (oliy) sifatli dielektriklarda esa, bu qiymat $10^{14} - 10^{18} \text{ Om}\cdot\text{m}$ ga teng bo'lishi mumkin. Yaxshi sifatli dielektrik va elektr o'tkazgich modda orasidagi solishtirma hajmiy qarshiliklar farqi $10^{22} - 10^{25} \text{ Om}\cdot\text{m}$ ga etib boradi. Dielektrikning solishtirma yuza qarshiligi elektrodlar o'zaro teng va yuzaga parallel ravishda o'rnatilganda:

$$\rho_s = R_s \frac{d}{I}, \quad (1.14)$$

bunda: R_s - dielektrikning yuza qarshiligi (Om); d - elektrodning uzunligi (m); I - mazkur elektrodlar orasidagi masofa (m).

Bu kattalik yordamida dielektrikning solishtirma yuza o'tkazuvchanligi ($\gamma = I/\rho$) aniqlanadi. Elektr o'tkazuvchanlikning o'lchov birligi sifatida simens (Sm) qabul qilingan. Qattiq dielektrikning to'liq elektr o'tkazuvchanligi uning yuza va hajmiy elektr o'tkazuvchanliklari yig'indisidan iboratdir. Kuchli va kuchsiz elektr maydonlarida joylashgan dielektrlarda zaryad tashuvchilar turli holda sodir bo'ladi. Dielektrikning agregat holatiga qarab, kuchsiz elektr maydoni ta'sirida ionli elektr o'tkazuvchanlikka egadir. Elektr o'tkazuvchanlikka dielektrik tarkibidagi qo'shimcha va begona zarrachalar ham sababchi bo'ladi. Bular dielektrikning elektr o'tkazuvchanligini oshiribgina qolmay, uning elektr mustahkamligining pasayishiga ham olib keladi. Kuchli elektr maydoni ta'sirida zaryad tashuvchilar neytral zarrachalar bilan to'qnashib, ularni ionlashtiradi va natijada, urilish ionlashishi sodir bo'ladi. Elektr maydoni o'zining kritik qiymatidan o'tganida, erkin zaryad tashuvchilar miqdori keskin ortadi va dielektrik

o'zining izolyatsiyalash xossasini yo'qotadi. Bunday holatda dielektrikda teshilish hodisasi sodir bo'ladi. Qattiq va suyuq dielektriklar uzoq vaqt kuchlanish ta'sirida bo'lganda, ulardan o'tadigan tok miqdori kamayishi yoki ortishi mumkin. Birinchi holda dielektrikdagi elektr o'tkazuvchanlikni, asosan, turli xil qo'shimchalar keltirib chiqarib, vaqt o'tishi natijasida namunada elektr tozalanishi sodir bo'ladi va dielektrikdan o'tayotgan tok miqdori kamayadi. Aksincha, vaqtga nisbatan tokning ortishi esa, dielektrikdagi zaryadlar hisobiga ro'y beradi. Uzluksiz ta'sir etadigan kuchlanish dielektrikning eskirishiga olib keladi va bu jarayon uning teshilishi bilan yakunlanadi.

Kondensatorning doimiy zaryadsizlanish vaqti amaliy jihatdan keng foydalanadigan kattalik bo'lib, u quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$\tau_0 = R_{iz} \cdot C = \rho \cdot \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_k \quad (1.15)$$

bunda: R_{iz} - kondensator izolyatsiyasining qarshiligi, Om; C - kondensatorning sig'imi, F.

1.4.2. Gazlarning elektr o'tkazuvchanligi

Gazlarda elektr toki erkin elektronlar yoki ionlar hisobiga sodir bo'ladi. Kuchsiz elektr maydonidagi gaz neytral elektr zarrachalar - molekula yoki atomlardan tashkil topadi. Tashqi ta'sir-ionizator orqali sodir bo'ladigan o'tkazuvchanlik gazning elektr o'tkazuvchanligi deyiladi. Ikkita yassi elektrod ionlashtirilgan gaz muhitiga kiritilib, ularga kuchlanish berilsa, ionlar harakatga kelib zanjirdan elektr toki o'tadi.

Normal sharoit ($T=20^{\circ}\text{C}$, $\varphi=65\%$, $p=760$ mm. sim. ust)da havoda to'yingan tok zichligi I juda kichik qiymatga, ya'ni kuchlanishning 0.6 V/m qiymatida 10^{-15} A/m² ga to'g'ri keladi. SHuning uchun ham, havo yaxshi dielektrik hisoblanadi. Gazlarda mustaqil bo'lmagan elektr o'tkazuvchanlik tashqi ionizatorlar - kosmik yoki radioaktiv nurlar bartaraf etilsagina to'xtaydi. Bunda zaryad tashuvchilar keskin kamayishi sababli, gazdan o'tayotgan tok nolga intiladi.

Yuqori qiymatli elektr maydonining erkin zaryad tashuvchilarga kuchli ta'sir etishi natijasida zaryadlarning harakat tezligi ortadi. Gaz molekulalari bilan to'qnashuvi oqibatida mazkur zaryadlarning kinetik energiyasi molekulalarining ionlashish energiyasidan ortib ketadi. Tezkor elektronlarning neytral molekula bilan to'qnashuvi natijasida molekula musbat ion va elektrodga parchalanadi. Har bir to'qnashuvda ikkita elektron hosil bo'lib, ular o'z navbatida yana ikki molekulani parchalaydi va hokazo. Bu jarayon urilish ionlashishi deyiladi.

Fotoionlashish deb, molekulalarning uyg'ongan holatidan asl holatiga o'tishi tushuniladi. Bu jarayonda ma'lum miqdordagi energiya nurlanishga sarf bo'ladi. Nur molekulaga ta'sir etib, yangidan-yangi erkin zaryad tashuvchilarni keltirib chiqaradi. Urilish ionlashishi va fotoionlashish jarayonlari bir vaqtning o'zida sodir bo'ladi.

Agar ionlashtirilgan gaz o'zaro parallel joylashgan ikkita yassi elektrod oralig'ida bo'lib, bu elektrodga kuchlanish berilsa, mazkur kuchlanish ta'sirida ionlar maydon yo'nalishi tomon siljiydi va zanjirdan tok o'ta boshlaydi. Bunda ionlarning bir qismi elektrodga neytrallanadi, qolgan qismi esa rekombinasiya hisobiga yo'qoladi. Kuchlanish oshirib borilsa, ionlar elektrodga tomon yo'naladi va rekombinasiya bo'lishiga ulgurmaydilar. Bunda, gazdagi elektrod oralig'idagi barcha ionlar kuchlanishning ma'lum qiymatida faqat elektrodga zaryadsizlanadi.

To'yinish toki (U_t U_i oralig'idagi o'zgarmas tok) normal sharoitdagi havo uchun elektrod oralig'i 10 mm va maydon kuchlanganligi 0.6 V/m bo'lganda sodir bo'ladi. Bu tok qiymati havoda juda kam bo'lib, taxminan 10^{-15} A/m² ga teng bo'ladi. Shu sababli, urinish ionlashishi sodir bo'ladigan holatga qadar havo yaxshi dielektrik hisoblanadi. Urilish ionlashishi sodir bo'lganda gazlarda mustaqil elektr o'tkazuvchanlik hosil bo'ladi. Kuchlanishning U_i qiymatidan yuqori holatlarida va kuchlanish o'sishi bilan tok keskin o'sa boshlaydi. Havoda bu holat maydon kuchlanganligi $E_i \approx 10^5 - 10^6$ V/m ga teng bo'lgan paytda sodir bo'ladi.

1.4.3. Suyuq dielektrlarning elektr o'tkazuvchanligi

Suyuqlikning elektr o'tkazuvchanligi uning molekula tuzilishi va tarkibidagi qo'shimchlarga bog'liqdir. Qutbli suyuqlik qutbsiz suyuqlikdan o'zining kam elektr o'tkazuvchanligi bilan farqlanadi. Aksariyat suyuqliklarning molekulari ionlashmaganligi sababli, ularning elektr o'tkazuvchanligida qo'shimcha (nam, tuz, ishqor, kislota va hokazo) larning ta'siri katta bo'ladi. Suyuqlik tarkibida juda oz miqdorda bo'lgan bunday qo'shimchalar dielektrikning elektr o'tkazuvchanligini sezilarli darajada oshiradi. Suyuqlikda ionlarning yoki zaryadlangan kolloid zarralarning siljishi undan tok o'tishini ta'minlaydi.

Qutbli suyuqliklar yuqori elektr o'tkazuvchanlikka ega bo'lib, ularning dielektrik singdiruvchanligi ortishi natijasida dielektrikning elektr o'tkazuvchanligi ham ortadi. O'ta qutbli suyuqliklar yuqori elektr o'tkazuvchanlikka egaligi sababli bunday suyuqliklar ionli elektr o'tkazuvchanlikka ega o'tkazgichlar deb qaraladi.

Suyuq dielektrik tarkibidagi qo'shimchalardan tozalansa, uning solishtirma qarshiligi birmuncha ortadi. Masalan, qutbsiz suyuq dielektrik orqali uzoq vaqt elektr toki o'tkazilsa, ionlarning elektrodlarida yig'ilishi natijasida mazkur suyuqlik qo'shimchalardan tozalanadi va dielektrik qarshiligi ortadi. Natijada suyuq dielektrikda elektr tozalanishi sodir bo'ladi.

Suyuq dielektrlarning solishtirma o'tkazuvchanligi haroratga uzviy ravishda bog'langan bo'lib, haroratning ortib borishi bilan uning qovushqoqligi kamayadi. Oqibatda ionlarning siljuvchanligi ortib, suyuqlikning elektr o'tkazuvchanligi ko'payadi.

Suyuq dielektrikning solishtirma o'tkazuvchanligi quyidagicha aniqlanadi:

$$\gamma = A \exp\left(-\frac{a}{T}\right), \quad (1.16)$$

bunda: A, a- berilgan suyuqlikni ifodalaydigan o'zgarmas kattaliklar.

Suyuqlikning solishtirma o'tkazuvchanligi va qovushqoqligi orasidagi bog'lanish qovushqoq muhitda doimiy kuch ta'sirida siljuvchi shar harakatiga

asoslangan Stoks qonunidan foydalanib o'rganiladi. Ushbu qonunga asosan, suyuq muhitda joylashgan sharning harakat tezligi:

$$\vartheta = \frac{F}{6\pi r \eta}, \quad (1.17)$$

bunda: F - kuch, N ; r - shar radiusi, m; η - suyuqlikning dinamik qovushqoqligi.

Agar ion shar ko'rinishli, uning zaryadi q va harakatlantiruvchi kuchi $F=Eq$ deb olsak, u holda suyuqlikning solishtirma elektr o'tkazuvchanligi Om qonuniga asosan quyidagicha aniqlanadi.

$$\gamma = \frac{n_0 q^2}{6\pi \eta}, \quad (1.18)$$

bunda: n_0 – zaryad tashuvchilar miqdori.

Ushbu ifodaga asosan, suyuqlik qiziganda, uning qovushqoqligi kamayishi sababli, dielektrikning elektr o'tkazuvchanligi ortadi. Elektr o'tkazuvchanlik kolloid birikmalarida ham kuzatilib, ularda zaryad tashuvchi vazifasini molionlar bajaradi. Elektr texnikasida kolloid birikmalaridan asosan emulsiya, suspenziya (suyuqlikdagi qattiq zarrachalar) va aerezollar (gaz tarkibidagi qattiq va suyuq zarrachalar) ishlatiladi. Elektr maydonida ionlar harakati elektroforez ko'rinishida bo'ladi va jarayon elektrolizdan yangi modda hosil qilmasligi bilan farqlanadi. Elektroforetik elektro o'tkazuvchanligi tarkibida suv zarrasi bo'lgan yog'da, qatron (smola)li organik suyuqliklarda kuzatiladi.

Ba'zi suyuq dielektrlarda p qiymatining ε_r qiymatiga bog'liqligi 1.3-jadvalda keltirilgan.

1.3-jadval

Ba'zi suyuqliklarning 20°C dagi solishtirma hajmiy qarshiligi
va dielektrik singdiruvchanligi

Suyuqlik	Tuzilish xususiyati	ρ ; Om·m	ε_r
Transformator moyi	Qutbsiz	10^{10} - 10^{13}	2,3
Benzin			2,0
Kanakunjut	Qutbli	10^8 - 10^{10}	4,5
Atseton		10^4 - 10^5	22
Distillangan suv	O'ta qutbli	10^3 - 10^4	81

1.4.4. Qattiq dielektriklarning elektr o'tkazuvchanligi

Qattiq jismlarning elektr o'tkazuvchanligi ular tarkibidagi ionlar yoki boshqa zarralarning siljishi hisobiga sodir bo'ladi. Ba'zi qattiq jismlarda esa elektr o'tkazuvchanlikni erkin elektronlar keltirib chiqaradi. Kuchli elektr maydoni ta'sirida jismda elektronli elektr o'tkazuvchanlik kuzatiladi. Elektr o'tkazuvchanlik turi Faradey qonunini qo'llash orqali tajriba yo'li bilan aniqlanadi. Ion tuzilishli dielektriklarda elektr o'tkazuvchanlik, asosan, issiqlik harakati ta'sirida ozod bo'ladigan ionlar siljishi hisobiga ro'y beradi. Past haroratda kristall panjarada bo'sh bog'langan ionlarga, xususan, qo'shimchalarning ionlari siljiydi. Atom yoki molekula panjarali dielektrikning elektr o'tkazuvchanligi qo'shimchalari hisobiga ro'y beradi. Bu holda uning solishtirma elektr o'tkazuvchanligi juda kichik qiymatni tashkil etadi. Har bir muayyan hol uchun elektr o'tkazuvchanlik jarayoni zaryad tashuvchining aktivatsiya energiyasi qiymatiga asoslanib aniqlanadi.

Dielektrikdagi elektronlarning siljuvchanligi ionlarning siljuvchanligidan ancha yuqori bo'ladi. Ion tizimli dielektrikning elektr o'tkazuvchanligi quyidagi ifoda orqali aniqlanadi:

$$\gamma = A \exp(-b/T), \quad (1.19)$$

bunda: $b=(W_0+W_c)/k$; W_0 - ionlarni ozod etish energiyasi; W_c - ionning siljish energiyasi; b - koeffitsient (qattiq jismlarda $b=10000-22000$ K ga teng); T - harorat, $1.38 \cdot 10^{-23}$ J/K- Bolsman doimiysi.

(1.19) ga asosan, dissotsiatsiya va siljish energiyalari qancha katta qiymatga ega bo'lsa, solishtirma elektr o'tkazuvchanlik bilan harorat shuncha kuchli ravishda o'zgaradi.

Agar dielektrikdagi tok turli xil ionlar siljishidan kelib chiqsa, (1.19) ifoda quyidagicha ko'rinishga keladi:

$$\gamma = \sum_i A_i \exp\left(-\frac{W_i}{kT}\right). \quad (1.20)$$

Ushbu ifodada γ ni $1/p$ ga almashtirib, soddalashtirsak, solishtirma hajmiy qarshilikning haroratga bog'lanishini aniqlaymiz:

$$\rho = B \exp\left(\frac{b}{T}\right) \quad \text{yoki} \quad p = p_0 \exp(-\alpha t) \quad (1.21)$$

(1.21) ifodaga asosan solishtirma qarshilikning harorat koeffitsienti quyidagi ko'rinishga ega:

$$TK\rho = \alpha\rho = -\frac{b}{T^2}. \quad (1.22)$$

Ion panjarali kristall tuzilishga ega jismlarda elektr o'tkazuvchanlik ion valentligi bilan bog'liq. Bir valentli ionli kristallarning elektr o'tkazuvchanligi ko'p valentli ionli kristallarga nisbatan yuqori bo'ladi. Masalan, NaCl kristallarining elektr o'tkazuvchanligi MgO yoki Al_2O_3 kristallarining elektr o'tkazuvchanligiga qaraganda yuqori bo'ladi.

Kristallarda elektr o'tkazuvchanlik kristall o'qlari bo'yicha bir xil bo'lmaydi, amorf jismlarda esa elektr o'tkazuvchanlik turli yo'nalish bo'yicha bir xil bo'ladi. Yuqori molekulali organik polimerlarda solishtirma elektr o'tkazuvchanlik ularning polimerlanish va vulkanlanish darajasi bilan aniqlanadi. Organik qutbsiz amorf dielektrik (polistirol va hokazo)ning solishtirma elektr o'tkazuvchanligi ancha kichikdir. Shishaning elektr o'tkazuvchanligi uning kimyoviy tarkibiga bog'liq bo'lgani sababli mazkur qiymatni texnologik jarayonda boshqarish mumkin bo'ladi. Masalan, kvartsli shisha juda kichik solishtirma elektr o'tkazuvchanlikka ega. Agar uning tarkibiga turli xil metall oksidlari kiritilsa, shishaning elektr o'tkazuvchanligi birmuncha o'zgaradi. Shisha tarkibiga Mendeleev jadvalining birinchi guruhidagi ishqoriy metall oksidlari kiritilsa, uning solishtirma o'tkazuvchanligi keskin o'sadi va bu o'sish qiymati metall ionning radiusiga bog'liq bo'ladi. Ion radiusi qancha kichik bo'lsa, solishtirma o'tkazuvchanlik qiymati shuncha yuqori bo'ladi.

Agar shishaga og'ir oksidlar (bariy, qo'rg'oshin oksidlari) kiritilsa, uning solishtirma o'tkazuvchanligi anchaga pasayadi. Quyida ba'zi shishalarning 200°C dagi solishtirma hajmiy qarshiligi keltirilgan:

Natriy peroksidi	$2 \cdot 10^6 \text{ Om} \cdot \text{m}$
Kaliy peroksidi	$8 \cdot 10^9 \text{ Om} \cdot \text{m}$
Qo'rg'oshinli shisha	$2 \cdot 10^{10} \text{ Om} \cdot \text{m}$

Tarkibida shisha bo'lgan elektrotexnika chinnisiga bariy oksidi kiritilganda dielektrikka oz miqdorda nam kirishi natijasida uning solishtirma elektr o'tkazuvchanligi keskin ortadi. Agar nam muhitda saqlangan bunday dielektrik quritilsa, uning solishtirma qarshiligi ko'tariladi.

Qattiq jismning yuqorida keltirilgan elektr o'tkazuvchanligi elektr maydon kuchlanganligining kichik qiymatlariga nisbatan tegishlidir. Maydon kuchlanganligi qiymati oshirilsa, kristall tuzilishga ega jismlarda elektronli tok oqimi hosil bo'ladi va natijada Om qonuni buziladi. Maydon kuchlanganligi 10-100 MV/m dan yuqori bo'lganda elektr o'tkazuvchanlikni kuchlanganlikka bog'liqligi Pulning empirik formulasi orqali ifodalanadi:

$$\gamma = \gamma_0 \exp(\beta E), \quad (1.23)$$

bunda; E - maydon kuchlanganligi, MV/m; γ - Om qonuni buzilmaydigan sohaga tegishli solishtirma elektr o'tkazuvchanlik, sm^{-1} ; β - moddaning xususiyatlariga bog'liq koefitsient.

Maydon kuchlanganligining qiymati teshilish kuchlanganligiga yaqin bo'lganida solishtirma o'tkazuvchanlik Frenkel ifodasi orqali aniqlanadi:

$$\gamma = \gamma_0 \exp(\beta \sqrt{E}) \quad (1.24)$$

Elektr maydoni ta'sirida bo'lgan dielektriklar eskirish xususiyatiga ega bo'lib, bunda moddalarning dielektrik, mexanik va boshqa xossalari yomonlashadi. Sopolda bunday o'zgarish juda kam bo'lsa ham, lekin unda elektrkimyoviy eskirish kuzatiladi, bu jarayon sopolning kristall panjarasidan kislorod chiqib ketishi va elektr o'tkazuvchanlikda ionning ishtiroki bilan tushuntiriladi.

1.4.5. Qattiq dielektrlarda sirtiy elektr o'tkazuvchanlik

Dielektrik sirtiga chang yoki nam qatlam o'tirishi natijasida sirtiy elektr o'tkazuvchanlik sodir bo'lib, uning qiymati mazkur qatlamlar qalinligi bilan aniqlanadi. Suvning solishtirma elektr o'tkazuvchanligi yuqori bo'lganligi sababli, uning dielektrik yuzasidagi juda yupqa qatlami ham sirtiy elektr o'tkazuvchanlikning sezilarli darajada ortishiga olib keladi.

Dielektrikning solishtirma sirtiy qarshiligini aniqlash uchun halqa ko'rinishdagi ikkita elektroddan foydalanish mumkin.

Bunda dielektrikning yuza qarshiligi R va solishtirma yuza qarshiligi R_s orasidagi bog'lanish quyidagicha bo'ladi:

$$R_s = \frac{Ps}{2\pi} \ln \frac{r_2}{r_1} = \frac{Ps}{2\pi} \ln \frac{d_2}{d_1}, \quad (1.25)$$

bu erda; r_1, d_1 – birinchi ichki halqa radiusi va diametri, cm; r_2, d_2 - ikkinchi tashqi halqa radiusi va diametri, m;

Agar $r_2 - r_1 \ll r_1$ bo'lsa, yuqoridagi ifoda quyidagi ko'rinishda yozilish mumkin:

$$R_s = \frac{Ps(r_2 - r_1)}{\pi(r_1 + r_2)} = \frac{Ps(d_2 - d_1)}{\pi(d_1 + d_2)}. \quad (1.26)$$

Qutbli dielektrikning sirtiy qarshiligi atrof-muhitning namlik darajasi qancha yuqori bo'lsa, shuncha kam bo'ladi. Qutbli dielektrikda chang qatlami yaxshi o'tiradi va bu qatlamning to'yinib namlanishi R_s qiymatini keskin tushirib yuboradi. G'ovak jismda namlik butun yuza bo'yicha uning hajmiga singib, sirtiy qo'shimcha suv pardasi hosil qilishi natijasida dielektrikning sirtiy qarshiligi pasayib ketadi. Dielektrikning sirtiy qarshiligini yuvish, issiqda toblash va boshqa turli usullar orqali ko'tariladi. Dielektrik sirtini tozalash usullaridan biri uni distillangan suvda qaynatishdan iboratdir. Dielektrikning sirtini loklash bilan ham uning sirtiy qarshiligini oshirish mumkin. Agar jism sirti turli birikma va iflosliklardan halos qilinsa, u katta sirtiy qarshiligiga erishadi va bu qiymat (P_s)

namlik muhitda ko'p o'zgarmaydi. Dielektrik tarkibida dissosiasiyalanadigan ionli qo'shimchalar bo'lsa, namlik ta'sirida uning solishtirma sirtiyl qarshiligi keskin pasayadi.

Atrof-muhit havosi tarkibida ma'lum miqdorda suv bug'i bo'ladi. Normal sharoitda havoning nisbiy namligi 65% ni tashkil etadi. Dielektrik sirtiga o'tirgan yoki unga singigan namlik izolyatsiya qarshiligini keskin (10^6 martagacha) pasaytiradi, bu suvning past solishtirma qarshiligi ($P \approx 10^3 - 10^4 \text{ Om} \cdot \text{m}$) bilan tushuntiriladi. Suv dielektrikka singib borishi natijasida uning tarkibida erkin ionlar miqdori ko'payadi. Dielektriklar namlikka bo'lgan chidamliligi jihatidan quyidagi uch turga: nam singdiradi yoki namlanadigan; nam singdirmaydigan lekin sirti namlanadigan; namlanmaydigan va nam singdirmaydigan dielektriklarga bo'linadi. So'nggi turdagi moddalar kam uchraydi. Bularga misol tariqasida parafin, serezin, ftoroplast kabi qutbsiz dielektriklarni ko'rsatish mumkin.

Metallarning o'ziga nam singdirish qobiliyati ularning tarkibidagi makro yoki mikro, yoxud submikroskopik bo'shliqlarga bog'liq bo'ladi va u gigroskopiklik yoki suv singdirish bilan ifodalanadi.

Modda yuzasining namlanishi izolyasion qutblanish tabiatiga bog'liqdir. Ionli qutblanuvchi jism sirtida qarama-qarshi ishorali ionlar joylashib, ular qutbli suv molekulalarini o'ziga tortadi va izolyatsiya yuzasida bir necha molekulalar qatlamini hosil qiladi. Dipol qutblanuvchi jism sirtida zaryadlangan dipollar betartib joylashib, suvni yuqoridagi (ion qutblanish) ga nisbatan kamroq miqdorda o'zida singdiradi yoki yupqa qatlam hosil qiladi. Faqatgina elektron qutblanishga moyil neytral sirtga ega bo'lib, suv molekulalarini o'ziga mutlaqo tortmaydi. Shu sababli, ionli dielektrik suv bilan yaxshi namlanadi, dipollisi nisbatan kamroq namlanadi, neytral dielektrik esa umuman namlanmaydi.

Issiqlik ta'sirida dielektrikda erkin ionlar ko'payishi natijasida uning solishtirma qarshiligi keskin pasayadi. Dielektrikda solishtirma sirt qarshiligining haroratga nisbatan o'zgarishi quyidagicha ifodalanadi.

$$\lg p_t = \lg p_{20} - \beta(t - 20^\circ \text{C}). \quad (1.27)$$

Anorganik moddalarda $\beta \approx 0.01-0.02$, organiklarida esa $\beta \approx 0.03-0.04$. Agar harorat 15°C dan 25°C gacha o'zgartirilsa, u holda ρ_s qiymati ikki barobar o'zgaradi. Bu qiymat 100°C ga farq qilsa, dielektrikning ρ_s qiymati katta, ish haroratida esa undagi tok oqimi kam bo'lishi kerak.

Elektr mashina va apparatlarning izolyatsiya qarshiligi deganda, sim izolyatsiyasi va shu jihoz qismlari orasidagi qarshilik tushuniladi. Izolyatsiya qarshiligining o'lchov birligi qilib $1 \text{ T}\Omega = 10^6 \text{ }\Omega$ qabul qilingan. Izolyatsiyaning umumiy solishtirma qarshiligi sirt va ichki qarshiliklari yig'indisidan iboratdir. Shu sababli izolyatsiya qarshiligi namlik va harorat ta'sirida o'zgaradi. Amalda izolyatsiya qarshiligi tayyor elektr uskunasi sharoitida harorat va namlik ta'sirida tekshiriladi. Dielektrikda solishtirma qarshilik (ρ)ning qiymati moddaning o'zgarmas kuchlanish ta'sirida ishlashi mumkinligini ifodalaydi. Uning qiymati qancha yuqori bo'lsa, izolyatsiya shuncha yaxshi bo'ladi. Ammo bu xarakteristika dielektrikning o'zgaruvchan kuchlanishda ishlashi yoki ishlay olmasligini ifodalamaydi.

1.4.6. Nometall o'tkazgichlar

Qattiq nometall o'tkazgichlar orasida uglerod asosidagi moddalar muhim ahamiyatga egadir. Uglerodning allotropik o'zgargan shakllari bo'lib, bunda olmosdagi uglerod atomlari tetraedr ko'rinishida bir-biridan aniq masofada ($2.5 \text{ \AA}$) joylashadi, grafitda ular bir tekislikda yotib, tomonlari $2.5 \text{ \AA}$ li olti burchak hosil qiladi; mazkur tekisliklar orasidagi masofa ($3.4 \text{ \AA}$) atomlar orasidagi masofadan kattadir. Shuning uchun, grafit atomlari orasidagi bog'lanish nisbatan bo'shligi natijasida, elektronlarning bir qismi ozod bo'lishiga imkon yaratiladi. Grafitning solishtirma qarshiligi $10 \text{ m}\Omega \cdot \text{m}$, ya'ni nixromnikidan 10 marta yuqoridir.

Uglerod amorf holatda bo'lishi yoki mayda kristallardan tashkil topishi mumkin. Yupqa qatlamli uglerodda $\rho = 50-55 \text{ m}\Omega \cdot \text{m}$, $\alpha_r = (200-500) \cdot 10^{-6} \text{ grad}^{-1}$

bo'ladi. Uning yupqa qatlamidan foydalanib (vakuumda 900-1000°C da parchalab), sopol o'zak sirtida qiymati 30-50 kOm bo'lgan kichik hajmli qarshiliklar olinadi. O'zakning uglerodlangan sirti qayroq tosh yordamida spiralsimon qilib o'yiladi va kerakli kenglik (uzunlik)da ma'lum qarshilikka ega qatlam olinadi (1.4-jadval). O'zakning uchlariga kontaktli qalpoqchalar kiygiziladi va ular yuzasi yupqa lok qatlami bilan qoplanadi.

1.4-jadval

Ko'mir elektrodslarning parametrlari

Elektrod turi	Zichligi, 10^3 kg/m^3	Solishtirma qarshiligi, mkOm·m	Massaga nisbatan kukuni %	Cho'zilishdagi mustahkamlik, σ_r MPa	Siqilishdagi mustahkamlik, MPa
Ko'mirli	1,5	50	5-12	700-1100	2300-4100
Grafitlangan	2,0	15	0,03-0,2	600-700	200-500

Silit uglerod, sof kremniy va kremniy karbidi aralashmasidan olinib, undan ish harorati 1500°C ga mo'ljalangan, solishtirma qarshiligi (ρ) qiymati 0.001-0.01 Om·m li o'zaklar tayyorlanadi.

Uglerodli moddadan elektr mashinalarning cho'tkasi, proyektor uchun elektrodlar, galvanik element anodlari kabi detallar yasaladi. Ko'mir kukuni mikrofonlarda tovush bosimiga qarab o'zgaradigan qarshiliklar tayyorlashda ishlatiladi. Elektrod o'zaklar olish uchun mahsulot maydalangan bog'lovchi xomashyo (qatron, suyuq shisha) bilan aralashtirilib, bosim ostida ishlov beriladi. So'ngra u pishirish jarayonini o'taydi. Pishirish jarayoni oddiy elektr mashina cho'tkalarini tayyorlashda 800°C da, grafitlangan cho'tkalarni tayyorlashda esa 2200°C da amalga oshiriladi.

Cho'tkalar elektr mashinasining aylanuvchan va qo'zg'almas qismlari orasida elektr kontakt hosil qilib beradi. Ular ko'mir-grafitli (KG), grafitli (G), elektr grafitlangan (EG), mis-grafitli (MG) turlarga bo'linadi.

Chiziqli bo'lmagan va simsiz rezistorlarda o'tkazgich modda sifatida tabiiy grafit qorakuyasi, pirolitik uglerod hamda yuqori qarshilikka ega metall qotishmalari qo'llaniladi (1.5-jadval).

1.5-jadval

Grafit va pirolitik uglerod parametrlari

Modda	Zichligi, $\times 10^3$ kg/m^3	Solishtirma qarshiligi, $\text{mkOm}\cdot\text{m}$	Solishtirma qarshiliklar ning harorat koeffitsienti, $10^4, \text{K}^{-1}$	Chiziqli kengayish harorat koeffitsienti $10^6, \text{K}^{-1}$
Polikristalli grafit	2,26	8	-10	7,5
Monokristalli grafit: bazis tekisliklari yo'nalishida	2,24	0,4	-9	6,6
Bazis tekisliklariga ko'ndalang yo'nalishda	2,24	100	-400	2,6
Pirolitik uglerod	2,10	10-50	-2	6,5-7,0

Qurum mayda dispersli uglerod bo'lib, unga lok qo'shilganda solishtirma qarshiligi kichik mahsulot hosil bo'ladi. Undan yuqori kuchlanishli elektr mashinalarida elektr maydonini tekislashda foydalaniladi.

1.5. Krioo'tkazgich moddalar

Krioo'tkazgichlarga o'ta kuchli sovutilganda (-173°C dan past) yuqori elektr o'tkazuvchanlikka ega bo'luvchi, biroq o'tao'tkazuvchan holatga o'tmaydigan moddalar mansub. Ya'ni, kriogen moddalarda Meysner-Oksenfeld effekti kuzatilmaydi. Bu holat odatdagidek, past haroratlarda o'tkazgichning solishtirma qarshiligi moddada kirishmalar va kristall panjara nuqsonlari mavjudligi bilan belgilanishi orqali tushuntiriladi. Solishtirma qarshilik kristall panjaraning issiqlik tebranishlari hisobiga energiya sochilishi tufayli yuzaga keluvchi tashkil etuvchisining e'tiborsiz darajada kichikligi, krioo'tkazgich sifatida -240°C dan -190°C gacha ishchi harorat oralig'ida minimal solishtirma qarshilikka

ega bo'lgan, yaxshilab qizdirib, so'ng sovutilgan yuqori toza metallni ishlatish zaruratini hosil qiladi.

Eng arzon sovuq tashuvchi - suyuq azot haroratida minimal solishtirma qarshilik xususiyatiga berilliy ega. Biroq, ushbu metall texnologik ishlov jihatdan noqulay, tannarxi qimmat va yuqori darajada zaharli. Krioo'tkazgich modda sifatida (A999 markali, suyuq azot haroratida 0.001% gacha kirishmali, solishtirma qarshiligi ko'pi bilan $1...2 \cdot 10^{-6}$ mkOm·m bo'lgan) alyuminiy nisbatan qulay va texnologik ustunroq hisoblanadi. Elektr mashinalar, apparatlar va elektrotexnik qurilmalarda o'tao'tkazgichlar o'rniga krioo'tkazgichlarning qo'llanilishi issiqlik himoyasining soddalashuvi va arzonlashuvi, sovutishga sarflanadigan quvvatning kamayishi, harorat ortishi bilan qarshilikning bir maromda ortishi kabi afzal jihatlarni ko'rsatish mumkin. Krioo'tkazgichlar asosan, suyuq vodorod (-252.6°C), suyuq neon (-245.7°C) va suyuq azot (-195°C) haroratida ishlovchi kabel simlari, o'tkazgichlar tayyorlash uchun ishlatiladi.

1.6. O'tkazuvchanligi yuqori bo'lgan toza metall va metall qotishmalarining qo'llanilishi

Elektr o'tkazuvchanligi yuqori bo'lgan moddalarning solishtirma qarshiligi nisbatan kichik bo'ladi. O'tkazgichdan tok o'tayotganda bunday moddalarda energiya isrofi ham ancha kam bo'ladi. Ana shunday xususiyatlar tarkibida qo'shimchalar bo'lmagan sof metallarga xosdir.

Kumush solishtirma qarshiligi eng kichik ($\rho=0.016$ mkOm·m) metallidir. Kumushning oksidlanishga chidamliligi yuqoridir. Kumushning narxi yuqori bo'lganligi sababli, undan faqat juda zarur hollardagina foydalaniladi.

Elektr texnikada qo'llaniladigan asosiy o'tkazgich moddalaridan biri mis hisoblanadi. U tabiatda keng tarqalgan modda bo'lib, mexanik mustahkamlikka va yaxshi o'tkazuvchanlikka egadir. Misning solishtirma qarshiligi (ρ) qiymati kumushnikiga nisbatan biroz yuqoridir. Elektr texnikada asosan "Elektrolitik"

misdan foydalanadi. Bunday mis elektroliz usuli bilan yaxshilab tozalanish natijasida uning tarkibidagi qo'shimchalar miqdori 0,05-0,07% dan ortmaydi. Xalqaro standartga muvofiq tozalangan misning normal sharoitdagi solishtirma o'tkazuvchanligi 58 mkSm/m, ya'ni $\rho=0,017241$ mkOm·m bo'lishi kerak.

Sanoat sharoitida mis sim ishlab chiqarish jarayonida qattiq mis (QM) uchun $\rho \approx 0,0178$ mkOm·m, yumshoq mis (YuM) uchun $\rho \approx 0,0175$ mkOm·m qilib olingan. Ushbu simning mexanik xossalari 1.6-jadvalda keltirilgan.

1.6-jadval

O'tkazuvchanlik xususiyati yuqori bo'lgan moddalar

Ko'rsatkich	Mis		Alyuminiy	
	QM	YuM	QA	YuA
CHo'zilishdagi mustahkamligi, MPa	250-500	200-280	160/170	80
Nisbiy uzayishi, %	0,5-2,5	18-35	0,5-20	10-25
Solishtirma qarshiligi mkOm·m	0,0179-0,0182	0,01754	0,0283	0,0280
Statik qayishqoqlik moduli, GPa	122-132	177	72	66

Agar metallning mexanik mustahkamligi (σ_r) qiymati katta va $\Delta l/l$ qiymati kichik bo'lsa, zarur mexanik mustahkamlikni ta'minlash uchun moddaning kesim yuzasini kichikroq olsa ham bo'ladi. Tozalangan mis simlarni tayyorlashda metallning mexanik xossalari hisobga olinadi. Qattiq misning egiluvchanlik chegarasi 300 MPa ga to'g'ri keladi, bu esa mazkur metall dan elektr o'tkazuvchi prujina tayyorlash imkonini bermaydi. O'tkazgich moddalarning mexanik xossalarini yaxshilash maqsadida mis qotishmalari (jez va bronza) dan foydalaniladi.

Jez – mis bilan ruhning birikishidan hosil bo'lgan qotishma. Bunday moddani shtampovkalash ancha qulaydir. Jezning ba'zi maxsus turlariga qirqish usuli bilan ishlov beriladi. Jezning turiga qarab undagi ruh miqdori 10÷40% atrofida bo'ladi. Jezning solishtirma qarshiligi sof misnikidan yuqori bo'lib, bu qiymat 0.04÷0.35 mkOm·m ni tashkil etadi.

Bronza asosan mis bilan qalay birikmasidan tashkil topgan qotishma bo'lib, o'tkazuvchi prujina tayyorlash maqsadida uning maxsus fosforli (P - 0.05÷0.1%, Sn - 3-7%, Al - 2.5%, Zn - 2%) va boshqa turlari qo'llaniladi. Bronzaning mexanik mustahkamligi $\sigma_r=800\div1200$ MPa ga yaqin bo'lib, bu qiymat qattiq misning qiymatidan ikki barobar yuqoridir. Berilliyli bronza (Be - 2.25%) nisbatan egiluvchan bo'lib, uning mexanik mustahkamligi (σ_r) qiymati 1350 MPa gacha ko'tariladi. Bronzaning aksariyat turlarida solishtirma qarshilik $\rho=0.03\div0.22$ mkOm·m bo'ladi. Kadmiyli bronzaning (0.9÷1.0% Cd) solishtirma qarshiligi 0.019÷0.21 mkOm·m, cho'zilishdagi mustahkamligi 650÷700 MPa bo'lib, uning edirilishga chidamliligi nisbatan yuqoridir. Mazkur turdagi bronza elektr tortgich simlari va ko'tarma kranlar uchun mo'ljallangan simlarni tayyorlashda ishlatiladi.

Alyuminiy o'zining elektr o'tkazuvchanlik xususiyati jihatidan misdan keyingi o'rinda turadigan o'tkazuvchi moddadir. Qattiq alyuminiyning mexanik mustahkamligi yumshoq alyuminiyga nisbatan 2 barobar ortiq, solishtirma qarshiligi esa 60% yuqoridir. Mis bilan bir xil o'tkazuvchanlikka ega bo'lishi uchun alyuminiy simining ko'ndalang kesim yuzasini 60% ga oshirish talab qilinadi. Bu esa alyuminiy ishlatilgan elektr mashina va jihozlarning hajmi va tannarxi nisbatan katta bo'lishiga olib keladi.

Havo orqali elektr uzatgichlarda alyumin-po'lat simlari keng miqyosda qo'llaniladi. Bunday simning o'zagi bir-biriga o'ralgan po'lat simlardan iborat bo'lib, uning ustidan esa alyuminiy simlari o'raladi. Mazkur simlarda mexanik kuchlanish po'lat, elektr kuchlanishi esa alyuminiy moddalari zimmasiga tushadi. Qog'ozli va pardali kondensator tayyorlashda izolyasiya qatlamlari orasida 5-10

mkm qalinlikka ega yupqa alyuminiy zarvaraqlari ishlatiladi. Sof alyuminiydan (tarkibidagi alyuminiy (99.95÷99.99%) tayyorlangan zarvaraqlar elektrolitik kondensatorlarda ishlatilib, izolyasiya modda sifatida esa mazkur zarvaraqlar sirtiga alyuminiy oksidi yuritiladi. Bunday izolyasiya qatlamining qalinligi o'zining juda ham kichik qiymati bilan ajralib turadi.

Alyuminiy tarkibiga ba'zi boshqa elementlar kiritilishi orqali nisbatan yuqori mexanik mustahkamlikka ega va o'tkazuvchanligi deyarli o'zgarmaydigan ($\rho \approx 0,03-0,032 \text{ mkOm}\cdot\text{m}$) metall olish mumkin. Bunga misol qilib aldrey (0,5÷0,7% Mg, 0,5÷0,6% Si, 0,3% Fe, qolgani Al) moddasini keltirish mumkin.

Temir o'tkazuvchi modda sifatida narxi arzonligi va yuqori mexanik mustahkamligi bilan ajralib turadi. Hatto, sof temirning ham solishtirma qarshiligi mis va alyuminiyga nisbatan ancha yuqori ($\rho = 0,1 \text{ mkOm}\cdot\text{m}$) bo'lib, mazkur qarshilik o'zgaruvchan tok ta'sirida yanada ortadi. Temir (po'lat) simlarning asosiy kamchiligi korroziyaga bo'lgan chidamsizligidir. Shu sababli, bunday simlar sirti himoya qoplamasi (ruh pardasi) bilan qoplanadi. Sof temirning mexanik mustahkamligi nisbatan past bo'lganligi uchun, aloqa va elektr uzatkichlarda (qishloq sharoitida) tarkibida 0,1-0,35% uglerod, cho'zilishdagi mustahkamligi 700÷750 MPa bo'lgan yumshoq po'lat ishlatiladi. Bunday po'lat, asosan, kichik quvvatli havo elektr uzatkichlarning simlari sifatida ishlatiladi. Po'latdan o'tkazuvchi modda sifatida tramvay va elektrlashtirilgan temir yo'l (metro)da rels ko'rinishida foydalaniladi.

O'tkazuvchan bimetall (qo'shmetall) – sirtiga bir tekis qilib mis qoplangan po'lat simdir. Bunday sim tarkibidagi mis miqdori 44-45% bo'lib, simning solishtirma qarshiligi 0.03÷0.04 mkOm ga teng. Bimetall simlarning tashqi diametri 1÷4 mm, σ_r ning o'rtacha qiymati (simning butun kesimi bo'yicha) 550÷700 MPa, $i = \Delta l/l \approx 21\%$ bo'ladi. Bir kilometr uzunlikdagi bunday simning diametriga nisbatan qarshiligi (normal sharoitda va o'zgarmas tokda) 60 Om/km ni

($d = 1$ mm bo'lganda) va 4 Om/km ($d = 4$ mm bo'lganda)ni tashkil etadi. Bunday simlar elektr va aloqa liniyalarida ishlatiladi.

Bobning qisqacha xulosalari

Ushbu bobning xulosasi sifatida yuqori temperaturali o'ta o'tkazgichlarning tabiatini yuqorida bayon etilgan Bardin, Kuper, Shriffer (BKSh), Bogolyubovlar yaratgan nazariya orqali tushuntirib bo'lmashligini ko'rsata olamiz.

Bundan tashqari yangi topilgan yuqori temperaturali o'ta o'tkazgich materiallarning xarakterli belgilaridan biri: ularning kristall parjasi tarkibida yo CuO_2 dan iborat qatlam mavjudligi, boshqa birida esa xam CuO_2 qatlami xam CuO atomlardan iborat zanjir borligidir. Ko'pina mutaxasislarni ta'kidlashicha, yuqori temperaturali o'ta o'tkazuvchanlik xuddi shu CuO_2 qatlami bilan bog'liq emish. Tushuntirish qiyin bo'lgan ba'zi xossalarni bitiruv malakaviy ish 2-bobining asosiy xulosalari sifatida sanab o'taman:

- Optik va boshqa elektrofizik tajribalar ko'rsatishicha, energetik tirqish o'ta o'tkazuvchanlikning kritik temperaturasidan ancha yuqorida T^* ($T^* > T_c$) paydo bo'lar ekan.
- Korrelyativalangan xolda qarshilikning kamayishi xam o'ta o'tkazuvchanlikning kritik temperaturasidan ancha yuqori T^* da boshlanar ekan. (Past temperaturali eski o'ta o'tkazgichlardagi qarshilik kritik nuqta T_c dayok sakrab nolga tenglashadi)
- Kislorodni molyar miqdorini ma'lum bir kritik qiymatida metall-yarimo'tkazgich fazaviy o'tishi sodir bo'lar ekan v. x.

Xuddi shunga o'xshash bir necha faktlar mavjudki, ularni BKSh va Bogolyubovlar modeli orqali tushuntirib bo'lmaydi. Hozirgi kunda yuqori temperaturali o'ta o'tkazgichlarning nafaqat eksperimental qidirishda, balki uning tub mohiyatini tushuntirib bera oladigan yangi modellar ustida ham olimlar bosh qotirishmoqda.

2-BOB. O'TA O'TKAZGICHLAR VA ULARNING XOSSALARI

O'ta o'tkazgichlar fizikasi fani bo'yicha 1911 yildan boshlab ham amaliy, ham nazariy ilmiy tadqiqot ishlari keng miqyosda olib borilmoqda. 1986 yilda yaratilgan metall oksidlari asosidagi yuqori haroratli o'ta o'tkazgichlarning paydo bo'lishi bu sohaning kelajagi yanada porloq ekanligidan dalolat berib, mazkur yo'nalishga bo'lgan bu sohaga e'tiborni yanada kuchaytirishga da'vat qildi.

O'ta o'tkazuvchanlik fizikasi sohasidagi tadqiqotlar faqat past haroratlardagina olib borilishi kerakligi sababli, suyuq geliy, suyuq vodorod, suyuq azot va kislorod sovutgichlari bilan uzviy bog'langan. Demak, o'ta o'tkazuvchanlik sohasida amaliy tadqiqot ishlarini olib borish uchun past haroratli muhitga (suyuq geliy) ega bo'lish zarurdir.

O'ta o'tkazuvchanlik hodisasining yaratilishi inert geliy gazining suyultirilishi bilan uzviy bog'langan bo'lib, bu yutuq 1908 yili mashhur gollandiyalik fizik, Leydendagi past haroratlar fizikasi laboratoriyasining asoschisi va rahbari Gayk Kamerling Onnes (1855-1926 y.) tomonidan amalga oshirildi. Inert geliy gazini suyuq holatga o'tkazuvchi haroratga (4,2 K) erishildi.

Kamerling Onnes 1908-yilning oktabr oyida past haroratlar fizikasi sohasida olib borgan tadqiqotlari va erishgan yutuqlari haqida Parijda o'tkazilgan past haroratlar fizikasi yo'nalishidagi birinchi halqaro kongresda ma'ruza qildi.

Suyultirilgan geliyning olinishi, olimlar uchun absolyut nolga yaqin bo'lgan (1-10 K) past harorat sharoitida ilmiy tadqiqot ishlarini olib borish uchun imkoniyat yaratdi.

2.1. O'tkazuvchanlikning haroratga bog'liqligi

Ma'lumki, geliy gazining suyultirilishi bu vodoroddan keyingi o'rinda turuvchi inert gazning suyultirilishidir. Gazlarning suyulish haroratini aniq tasavvur etish maqsadida 2.1-jadvalda aks ettirilgan raqamlarga murojat qilamiz.

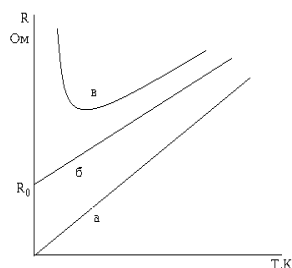
Unda moddalarning qaynash (T_{qay}) va erish (T_{erish}) haroratlari keltirilgan. 2.1-jadvaldagi past haroratli suyuqliklarning olinishi, metallar elektr qarshiligining haroratga bog'lanishini ifodalovchi qonuniyatni amalda aniqlash uchun juda ko'p keldi. Ilk marta bunday tajribalarni amalga oshirish imkoniyatiga Kamerling Onnes ega bo'ldi. U metallar qarshiligini haroratga bog'lanishi qanday ko'rinishda bo'lishini tekshirib ko'rish maqsadida ilmiy izlanishla olib borib, qator metallar uchun, harorat xona haroratiga yaqin bo'lganda ularning elektr qarshiligining haroratga bog'lanishi to'g'ri chiziqli proportional bog'lanishda ekanligini va haroratning pasayishi bilan qarshilik kamayishi tezligining sekinlashishini kuzatdi.

2.1-jadval

Modda	He	H ₂ [*])	Ne	N ₂	O ₂	H ₂ O
T_{qay}, K	4,2	20,3	27,2	77,4	90,4	373,16
T_{erish}, K	λ 2,18	14,0	24,5	63,3	54,7	273,16

Agar qarshilik xuddi shunday chiziqli kamaya boshlasa, harorat nolga etganda uning qiymati manfiy bo'lishi mumkinligini aniqladi. Bu izlanishlar natijalari tadqiqotchini metallar elektr qarshiligining haroratga bog'liqligini quyidagi uch xil ko'rinishda (2.1-rasmda keltirilgandek) bo'lishi mumkin degan xulosaga olib keldi:

1. Harorat kamayishi bilan metallning elektr qarshiligi nolga intiladi (2.1a-chiziq).
2. Qarshilik o'zgarmas R qiymatga intiladi (2.1-rasm, b-chiziq).
3. Qarshilik kamayib ma'lum bir qiymatga erishgandan so'ng cheksiz katta qiymatga intiladi (2.1-rasm, v-chiziq).

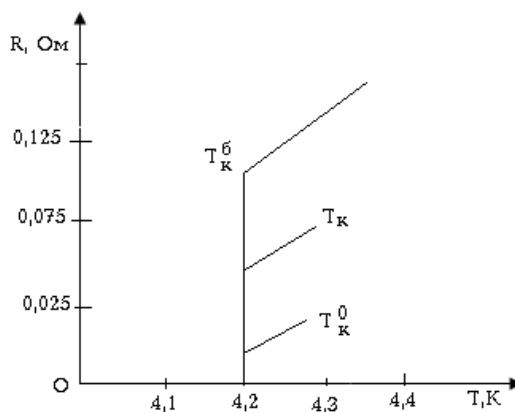


2.1-rasm. Metallar elektr qarshiligining haroratga bog'lanish grafiklari

Ushbu mulohazalarni amalda tekshirib ko'rish uchun toza metallar platina va oltindan foydalanildi. Mazkur o'tkazgichlar uchun haroratning kamayishi bilan ularning qarshiligini o'zgarmas qiymatga intilishi va hatto juda kichik kuzatib bo'lmaydigan darajada kichrayishi mumkinligi haqida Onnes qator ilmiy anjumanlarda axborot berdi. Uning olgan natijalari o'sha davrning jadal sur'atlar bilan rivojlanayotgan kvant nazariyasiga zid bo'lmadi.

2.2. Simobning o'tkazuvchanligi haqida

Onnesning fikricha juda sof moddalarning qarshiligi ularning kristall panjaralardagi atomlarning tebranishi orqali aniqlanishi kerak edi. Keyingi olib borilgan ilmiy izlanishlar natijalari bu fikrning haqiqatga yaqin ekanligini tasdiqladi. Onnes o'z ilmiy mulohazalarini tasdiqlash maqsadida, o'sha vaqtning toza metali hisoblangan simobdan ilmiy tadqiqot ob'ekti sifatida foydalandi. Simob qarshiligining haroratga bog'lanishi o'rganilayotganda, uning qarshiligini harorat 4,2 K ga yaqinlashgach to'satdan keskin kamayishi kuzatildi. qarshilik shunchalik kichik qiymatgacha kamaydiki, uni o'lchash mumkin bo'lmay qoldi.



2.2-rasm. Simob elektr qarshiligining haroratga bog'lanishini ifodalovchi grafik

Keyinchalik takomillashtirilgan asboblardan yordamida o'tkazilgan tajribalar shuni ko'rsatdiki, simobning qarshiligi haroratning yuzdan bir Kelvin oralig'ida keskin kamayar ekan. Onnes tomonidan 1913-yilda olingan simob elektr qarshiligining haroratga bog'liqligi 2.2-rasmida o'z aksini topgan. Ushbu rasmda

keltirilgan chizma, ya'ni qarshilikning ma'lum haroratda keskin kamayishi haqida Onnes shunday degan edi: "Harorat 4,2 K dan pastroq qiymatga etganda, ya'ni yuzdan bir Kelvin atrofida, simobning qarshiligi to'satdan, qarshilikning tebranma nazariyasiga mos kelmagan holda, keskin kamaydi, qarshilik o'zining boshlang'ich qiymatidan million martadan ham ko'proq martaga kamaydi. Demak, simob yangi holatga o'tdi. Uning farqli o'laroq elektr xossalarini e'tiborga olib, bu holatni "o'ta o'tkazuvchanlik" holati deb atasa ham bo'ladi".

O'ta o'tkazuvchanlik hodisasining kashf etilishi asosli ravishda, fundamental fikrlarning amalga tadqiq qilish jarayonida tasodifan yaratildi deb aytish mumkin.

O'ta o'tkazuvchanlik hodisasining yaratilishini insoniyat uchun naqadar zarur va ahamiyatli ekanligini, 1913-yilda, Onnesga o'ta o'tkazuvchanlik holatini kashf etganligini va past haroratlar fizikasi fanidan erishgan yutuqlarni baholab berilgan Nobel mukofotidan ham bilsa bo'ladi. Demak, fanda yangi bir soha o'ta o'tkazuvchanlik sohasi yaratildi.

2.2-rasmda keltirilgan T_k^6 - o'ta o'tkazuvchanlikka o'tishning boshlanishini ko'rsatuvchi harorat, T_k^0 - o'ta o'tkazuvchanlikka to'la o'tishini ko'rsatuvchi harorat ($R \approx 0$). T_k - o'ta o'tkazuvchanlik holatiga o'tishi ko'rsatuvchi kritik harorat. Lekin olimlar yuqori temperaturalarda, ayniqsa uy temperaturasida o'ta o'tkazgich xususiyatiga ega bo'lgan materiallarni yaratish uchun izlanishlarini davom ettirishdilar.

2.3. Yuqori haroratli o'ta o'tkazuvchanlik

1986 yil qattiq jismlar fizikasi sohasida olamshumul ahamiyatga ega bo'lgan hodisa yuz berdi. Metall oksidlari asosidagi yuqori haroratli o'ta o'tkazgichlarning yangi gruppasi kashf qilindi. Asosan, mis oksidlarining murakkab tarkibi birikmalaridan iborat bo'lgan bu yangi materiallar ancha yuqori (80 K-150 K) temperaturalari o'ta o'tkazgich xususiyatiga ega bo'ladi. Bu sohada olib borilayotgan tadqiqotlarning ko'rsatishicha yaqin kelajakda oddiy xona

temperaturasida ham o'ta o'tkazgich materiallarni hosil qilish imkoniyati paydo bo'ladi. Bu esa o'z navbatida fan va texnika sohasida katta o'zgarishlarga asos bo'ladi.

Yuqori haroratli o'ta o'tkazgichlar asosan beshta gruppaga bo'linadi:

1. Ittiryli o'ta o'tkazgichlar ($T_0 \sim 80 \text{ K}$)
2. Vismutli o'ta o'tkazgichlar ($T_s \sim 130 \text{ K}$)
3. Talliyli o'ta o'tkazgichlar ($T_s \sim 150 \text{ K}$)
4. Lantanli o'ta o'tkazgichlar ($T_s \sim 90 \text{ K}$)
5. Neodimli o'ta o'tkazgichlar ($T_s \sim 35 \text{ K}$)

A) Ittiryli o'ta o'tkazgich. Umumiy strukturasida -Y-Ba-Cu-O

Murakkab tarkibidagi kislorodning miqdoriga qarab bu birikma o'ta o'tkazgich xususiyatiga ega bo'ladi:

$YBa_2Cu_3O_7$ -birikmasi yarim o'tkazgich xususiyatiga ega bo'lib, o'ta o'tkazuvchanlikka o'tish temperaturasi $T_0 \sim 80 \text{ K}$ ga tengdir.

$YBa_2Cu_3O_6$ -birikmasi yarim o'tkazgich xususiyatiga ega. Bu birikmalar o'zlaridagi kislorod miqdori bilan bir-birlaridan farq qiladi. Tajribalarning ko'rsatishicha «o'ta o'tkazgich-yarim o'tkazgich» fazaviy o'tish strukturadagi kislorodning 6,68 miqdorida yuz beradi.

B) Vismutli o'ta o'tkazgich. Umumiy strukturasida -Bi-Sr-Ca-Cu-O

Strukturadagi vismutning bir qismini strontiy atomlari bilan almashtirilganda o'ta o'tkazuvchanlik hodisasi yuz beradi.

O'ta o'tkazuvchan struktura quyidagicha: $Bi_2Sr_2CaCu_7O_8$.

O'ta o'tkazuvchanlikka o'tish temperaturasi $T_s \sim 80 \text{ K}$

V) Talliyli o'ta o'tkazgich. Umumiy tarkibi -Tl-Ba-Ca-Cu-O

O'ta o'tkazuvchanlikka o'tish temperaturasi taxminan $T_0 \sim 60 \text{ K}$

O'ta o'tkazgich tarkibi: $Tl_2Ba_2CaCu_2O_8$.

G) Lantanli o'ta o'tkazgich. Umumiy tarkibi -La-Sr-Cu-O

Tarkibidagi lantan atomlarining bir qismini strantiy atomlari bilan almashtirish asosida o'ta o'tkazuvchanlikka erishiladi.

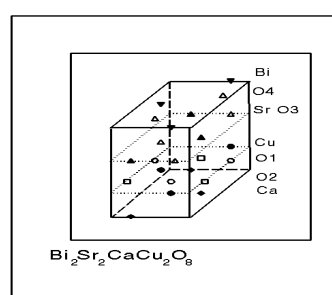
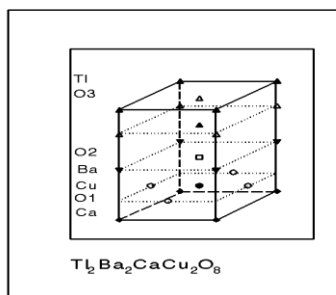
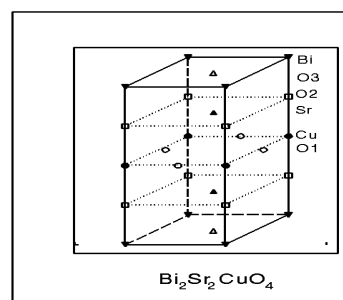
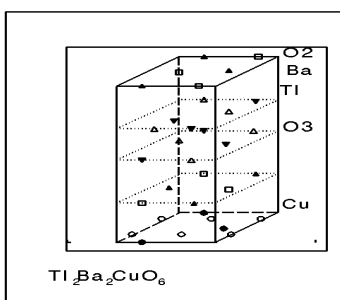
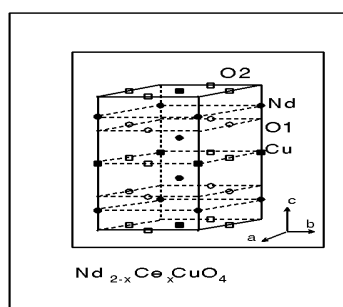
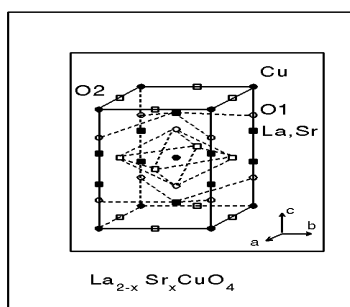
O'ta o'tkazuvchanlikka o'tish temperaturasi $T_s -41\text{ K}$

D) Neodimli o'ta o'tkazgich. Umumiy tarkibi - $Nd - Ce - Cu - O$.

Strukturadagi neodim atomlarining bir qismi seriy atomlari bilan almashtirish asosida o'ta o'tkazuvchanlikka o'tish temperaturasi $T_s -22\text{ K}$.

Shulardan aqat bittasi elektron o'tkazuvchanlikka ega bo'lib, qolganlarning barchasi teshikli o'tkazuvchanlikka egadir.

O'ta o'tkazuvchanlikka o'tish temperaturasidan yuqorida ular o'tkazgich, ba'zilar yarim o'tkazgich xususiyatiga ega bo'ladilar. Ulardan ba'zilarining panjara strukturasi quyidagi 2.3-rasmda berilgan. Yuqori haroratli o'ta o'tkazgichla nazariyasi hozirgi aniq bir yo'nalish bera olgan yo'q. SHuning uchun ham bu sohada tinimsiz tadqiqotlar olib borilmoqda.



2.3. Yuqori haroratli o'ta o'tkazgichlarning strukturaviy tuzilishi

Yuqori haroratli o'tao'tkazgichning elektrofizik xususiyatlarini strukturadagi kislorod atomi belgilaydi, deb hisoblanadigan nazariya haqiqatga yaqinroqdir. O'ta o'tkazuvchanlik hodisasi uzoq davom etgan ilmiy izlanishlardan so'ng faqat 1957 yildagina, ya'ni yaratilganidan 46 yildan so'ng nazariy asosga ega bo'ldi. Bu jahonshumul nazariya bir-birlari bilan bog'lanmagan holda J.Bardin, L.Kuper va J.Shriffer tomonlaridan yaratildi. Bu nazariya mualliflar familiyasining bosh harflaridan tashkil topgan qisqacha "BKSh nazariyasi" degan nom bilan olimlar orasida mashhurdir.

Sizlarga tanish bo'lgan elektr toki oqimining hosil bo'lishi o'tkazuvchan elektronlarning tartibli xarakati natijasida sodir bo'lish mexanizmi o'ta o'tkazgichlar uchun ham xosdir. BKSh nazariyasida esa elektr tokining oqimi o'tkazuvchan elektronlarning ikkita-ikkitadan bo'lib juftlashgan holdagi harakatiga asoslangan. Juftlashish elektronlarning kristall panjara tebranish to'lqinlari (fononlar) orqali o'zaro ta'sirlashuvi natijasida sodir bo'ladi. Bu elektron juftlarning impulsar yig'indisi nolga teng. Elektronlar juftlashganda ularning umumiy energiyasi namoyishini birinchi bo'lib L. Kuper ko'rsatgan. SHuning uchun bu elektron juftlar Kuper juftlari deb ataladi. J. Bardin, L. Kuper va J. Shriffier o'ta o'tkazuvchanlik hodisasini shu Kuper juftlari orqali tushuntira oladigan nazariya yaratganliklari uchun 1972-yilgi fizika sohasida Nobel mukofotiga sazovor bo'ldilar. Shuning tajribaviy tasdiqlari ham mavjud bo'lib, ular asosan emission Messbauer spektroskopiyasi yordamida olingan. Hozircha eng sezgir hisoblangan Messbauer spektroskopiyasigina o'rganish bo'yicha asosan, tadqiqot usuli bo'lib turibdi.

2.4. O'ta o'tkazgichlarning fizikaviy xossalari

O'ta o'tkazuvchanlik hodisasi simobda kuzatilgandan so'ng qator metallarda va ularning birikmalarida ham bu hodisa namoyon bo'ldi.

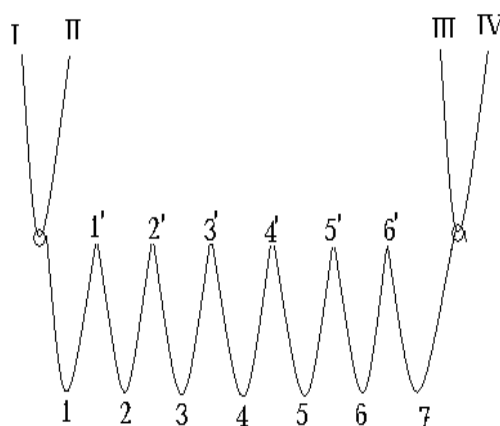
O'ta o'tkazgichlarning xossalari har tomonlama o'rganila boshlandi va ular ustida juda keng ilmiy-tadqiqot ishlari olib boriladi. Olingan natijalar shuni ko'rsatdiki, o'ta o'tkazuvchanlik xossasi faqatgina haroratning o'zgarishiga bog'liq bo'lib qolmasdan, balki undan oqayotgan tok kuchiga va unga ta'sir etuvchi magnit maydonining kuchlanganligiga ham uzviy bog'liq ekan. Ya'ni, o'ta o'tkazgich faqatgina harorat kritik qiymatga (T_k) etgandagina emas, balki undan oqayotgan tok zichligining qiymati kritikka (J_k) etganda yoki uning atrofidagi magnit maydoni kuchlanganligi kritikka (N_{kr}) etganda ham normal holatga o'tishi kuzatildi. Agar o'ta o'tkazgich ma'lum bir chegaraviy qiymat N_{kr} ka teng yoki undan katta bo'lgan qiymatdagi magnit maydonida joylashtirilsa u normal holatga o'tadi va magnit maydoni kuch chiziqlari uning hajmini kesib o'ta boshlaydi, bu uni normal o'tkazgichlarga mos bo'lgan xususiyatga ega bo'lishga olib keladi.

Biz oldingi ma'ruzada eslatganimizdek o'ta o'tkazgichdan tok o'tganda, unda hosil bo'lgan kuchlanish o'lchov asboblarning aniqlik darajasida nolga tengligi keltirilgan edi. Haqiqattan ham qarshilikning kuchlanish va tok kuchi bilan o'zaro bog'lanishi ($I=R*U$) ni e'tiborga olsak, $U=0$ bo'lganda $R=0$ bo'ladi.

Birinchi bo'lib bu tajribani Kamerling Onnes amalga oshirgani yuqorida eslatilgan edi. U simob qarshiligini o'lchashda quyidagicha yo'l tutdi. Ma'lumki, xona haroratida simob suyuq holatda bo'ladi. Undan sim yasash qiyin, bu qiyinchilikni hal etish maqsadida, K. Onnes ettita U shaklidagi kesim yuzali, uning ichiga uncha to'ldirilmagan holda simob soldi.

Tayyor bo'lgan namuna 2.4-rasmda keltirilgan ko'rinishga ega bo'ladi. Shisha naysimon idishni simob yordamida qisman to'ldirish yo'li bilan harorat o'zgarganda simob hajmiy o'zgarishini uzluksizligi ta'minlandi va shisha idish yorilishini oldi olindi. 2.4-rasmda ko'rsatilgan I, IV yoki II, III nuqtalardagi kuchlanish qayd qilindi. Tok manbai esa 0 va 7 nuqtalarga ulangan edi. Keltirilgan qurilma yordamida simob elektr qarshiligining haroratga bog'lanishi aniqlandi. Harorat pasaygan sari simobning qattiq holatga o'tish nuqtasidagi suyuq havo va vodorod haroratlariga mos keladigan qarshiliklari aniqlandi. Ushbu aniqlangan

qiymatlar, elekt qarshiligining haroratga bog'lanish chizmasida belgilanganda, kutilgandek chiziqli bog'lanishni berdi. Harorat suyuq geliy haroratining qiymatiga etganda jahonshumul, insoniyat kelajagi uchun zarur ibo'lgan, XX asr fizikasining sirli hodisalari orasida alohida ajralib turuvchi o'ta o'tkazuvchanlik hodisasi kuzatildi.

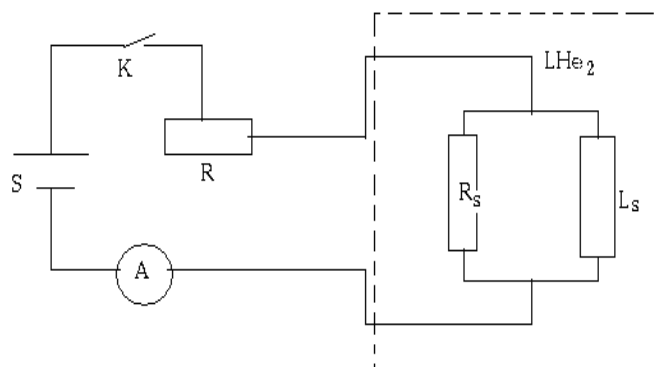


2.4-rasm. Elektr qarshilikni o'lchashda foydalanilgan simob namunasining tuzilishi

Mazkur kashfiyot yarim asrga yaqin davr davomida nazariy asosga ega bo'lmadi. Bu orada kvant mexanikasi va yadro fizikasi paydo bo'ldi, neytron, antizarralar va boshqa ko'pgina elementar zarralar bilan bir qatorda yadro va termoyadro reaksiyalari olindi. Fan olamida ko'pgina yangiliklar yaratildi ammo o'ta o'tkazuvchanlik hodisasining siri echilmaganligicha qoldi. Olimlarning bu sohada olib borgan tinimsiz fidoyi harakatlari tufayli, 1957-yildagina o'ta o'tkazuvchanlik hodisasining nazariy asosi, mikroskopik nazariya yaratildi. Ushbu nazariya muhokamasiga keyinchalik alohida qaytiladi.

1914-yilga kelib K. Onnes o'ta o'tkazgichning qarshiligini haqiqattan ham nolga tengligiga ishonch hosil qilish maqsadida, ya'ni qarshilikni katta aniqlik bilan o'lchash maqsadida 2.5-rasmda keltirilgan chizmadagi o'ta o'tkazuvchan halqadan oqayotgan tokning so'nishini qayd eta oladigan usuldan foydalanildi. Ma'lumki, o'tkazgichdan tok o'tganda undan Joul issiqligi ajralib chiqadi va natijada oqayotgan tok kuchining qiymati kamayadi. Agar vaqt o'tishi bilan xalqadagi tokning qiymati kamaysa demak, u ma'lum qarshilikka ega ekan. qarshilikning qiymatini aniqlash uchun kuzatish vaqti va halqaning geometrik

o'lchovlarini bilish shart. Bu usul tok kuchi va kuchlanishni o'lchashga nisbatan ko'p marta aniqroqdir. Masalan: qarshiligi R o'tkazuvchan halqa tashqi magnit maydoni kuch chiziqlariga perpendikulyar holda joylashtirilsa unda hosil bo'lgan magnit maydoni induktivligi L bo'lsa halqada hosil bo'lgan tokning qiymati magnit maydoni olingandan keyin ($t=L/R$ vaqtdan so'ng) so'nishi kerak. Ammo o'ta o'tkazgichlarda $R=0$ bo'lganligi sababli $t \rightarrow \infty$ kA intiladi. Bir qarashda halqada «muzlatilgan» magnit oqimi hosil bo'lgandek, ammo tajribalar shuni ko'rsatdiki ichi bo'sh o'ta o'tkazuvchan tilindirda faqatgina $F_0=2,07 \cdot 10^{-7} \text{ Vb} \cdot \text{sm}^2$ ga teng magnit oqimi kvantiga karrali qiymatlargina qabul qilinar ekan ($F_0=\pi\hbar c/e$; $\pi=3,14$; $\hbar$ -Plank doimiysi; c -yorug'likning vakuumdagi tezligi; e -elektronning zaryadi).



2.5-rasm. O'ta otkazuvchan halqadagi tok qiymatining o'zgarishini kuzatishda qo'llanilgan qurilma chizmasi. L_s – o'ta o'tkazuvchan halqa, R_s – o'ta o'tkazgich, A – ampermetr, K – kalit, S – tok manbai, R – o'zgaruvchan qarshilik.

Yuqorida keltirilgan usulda tok kuchining qiymati 2,5 yil davomida kuzatildi. Lekin, ushbu davrda tok kuchining hech qanday kamayishi kuzatilmadi. O'ta o'tkazgichning qarshiligi haqiqattan ham katta aniqlik bilan nolga tengligiga ishonch hosil qilindi. Demak, insoniyat yangi, ideal o'tkazgichga ega bo'ldi. Bunday o'tkazgichlar fan, texnika va xalq xo'jaligida foydalanilganda misli ko'rilmagan iqtisodiy va tasavvur qilinishi qiyin bo'lgan yirik o'zgarishlarga olib keladi.

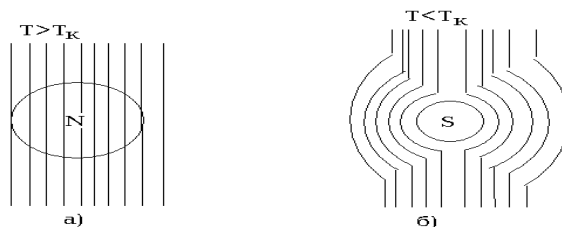
2.5. O'ta o'tkazgichlarning magnit xossalari

Ma'lumki, magnit maydonida joylashtirilgan har qanday jismning o'zi ham magnit maydoni manbaiga aylanadi. Tashqi va xususiy magnit maydoni kuchlanganliklarining nisbatlariga (μ) qarab, moddalar quyidagi turlarga bo'linadi:

$\mu > 1$ -paramagnetiklar; $\mu \gg 1$ -ferromagnetiklar; $\mu < 1$ -diamagnetiklar;

Diamagnetik moddalarning tashqi magnit maydoni bilan o'zaro ta'sirlashishi alohida xususiyatga ega. Agar diamagnetik moddani tashqi magnit maydonida joylashtirsak, u bu maydon bilan o'zaro ta'sirlashib, natijada hosil bo'lgan xususiy magnit maydoni tashqi magnit maydonini o'z sirtida kompensatsiyalashishini ko'z oldimizga keltirishimiz kerak.

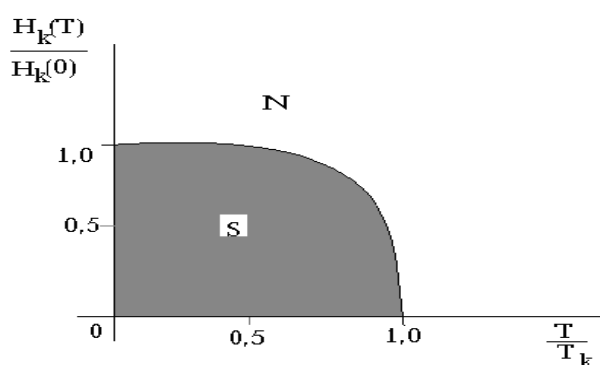
O'ta o'tkazgichlarning diamagnetik xossaga ega ekanligini birinchi bo'lib, 1933 yilda nemis fizik olimlari (V. Meyssner, R. Oksenfeld va F. Xaydenreyx) kuzatdilar. O'ta o'tkazuvchan metall magnit maydonida joylashtirilsa, u o'ta o'tkazuvchan holatda bo'lganda magnit maydoni undan itarilar ekan. Masalan, biror sharoitda tashqi magnit maydonida joylashtirilsa, uning ichidan magnit maydoni kuch chiziqlari kesib o'tishini kuzatishimiz mumkin. (2.6a-rasmda keltirilgan chizmaga e'tibor bering). Agar harorat kamaytirilib $T < T_k$ bo'lgan qiymatga erishilsa, tashqi magnit maydoni kuch chiziqlari o'ta o'tkazgichning ichidan siqib chiqariladi va aylanib o'ta boshlaydi (2.6b-rasmga qarang). O'ta o'tkazuvchan sharining ichida magnit maydoni bo'lmasligini magnit maydoni qayd etgichlari (datchiklar) yordamida ham katta aniqlik bilan kuzatish mumkin.



2.6-rasm. Magnit maydoni kuch chiziqlarining o'ta o'tkazgich bilan ta'sirini ifodalovchi chizma. a) $T > T_k$ bo'lgan hol, b) $T < T_k$ bo'lgan hol

O'ta o'tkazgichlardan magnit maydonining itarilish hodisasini birinchi bo'lib Meyssner kuzatganligi uchun uning nomi bilan bu hodisa ko'pgina adabiyotlarda "Meyssner effekti" deb yuritiladi.

Demak, o'ta o'tkazgichlar ideal diamagnitlar ekanligi aniqlandi. Bundan tashqari shuni ham e'tiborga olmoq kerakki, o'ta o'tkazgich magnit maydoni bilan o'zaro ta'sirlashganda tashqi magnit maydoni ma'lum bir kritik qiymatga erishganda o'ta o'tkazgich normal holatga o'tadi. Ya'ni, harorat o'zgarmaganda ham o'ta o'tkazgichni normal holatga o'tkazish mumkin ekan. Magnit maydonining bunday qiymatini o'ta o'tkazgichning kritik magnit maydoni (H_k) deb qabul qilamiz. Kritik magnit maydonining qiymati namunaning haroratiga uzviy bog'liq bo'lib turli o'ta o'tkazgichlar uchun mos ravishda o'ziga xos qiymatlarga egadir. O'ta o'tkazgichlar uchun kritik magnit maydonning haroratga bog'lanishi 2.7-rasmda keltirilgan chizma shaklida bo'ladi.



2.7-rasm. O'ta o'tkazgichlar uchun kritik magnit maydonining haroratga bog'lanishini ifodalovchi grafik. N – normal soha, S – o'ta o'tkazuvchan soha.

$H_k(0)$ -harorat $T=0$ bo'lgandagi kritik magnit maydon.

Bobning qisqacha xulosalari

Ushbu bobning xulosasi sifatida yuqori temperaturali o'ta o'tkazgichlarning tabiatini yuqorida bayon etilgan Bardin, Kuper, Shriffer (BKSh), Bogolyubovlar yaratgan nazariya orqali tushuntirib bo'lmasligini ko'rsata olamiz.

Bundan tashqari yangi topilgan yuqori temperaturali o'ta o'tkazgich materiallarning xarakterli belgilaridan biri: ularning kristall parjarasi tarkibida yo CuO_2 dan iborat qatlam mavjudligi, boshqa birida esa xam CuO_2 qatlami xam CuO atomlardan iborat zanjir borligidir. Ko'pina mutaxasislarni ta'kidlashicha, yuqori temperaturali o'ta o'tkazuvchanlik xuddi shu CuO_2 qatlami bilan bog'liq emish. Tushuntirish qiyin bo'lgan ba'zi xossalari bitiruv malakaviy ish 2-bobining asosiy xulosalari sifatida sanab o'taman:

1. Optik va boshqa elektrofizik tajribalar ko'rsatishicha, energetik tirqish o'ta o'tkazuvchanlikning kritik temperaturasidan ancha yuqorida T^* ($T^* > T_c$) paydo bo'lar ekan.
2. Xuddi shunga korrelyativlangan xolda qarshilikning kamayishi xam o'ta o'tkazuvchanlikning kritik temperaturasidan ancha yuqori T^* da boshlanar ekan. (Past temperaturali eski o'ta o'tkazgichlardagi qarshilik kritik nuqta T_c dayok sakrab nolga tenglashadi)
3. Kislorodni molyar miqdorini ma'lum bir kritik qiymatida metall-yarimo'tkazgich fazaviy o'tishi sodir bo'lar ekan.
4. Xuddi shunga o'xshash bir necha faktlar mavjudki, bularni BKSh va Bogolyubovlar modeli orqali tushuntirib bo'lmaydi. Hozirgi kunda yuqori temperaturali o'ta o'tkazgichlarning nafaqat eksperimental qidirishda, balki uning tub mohiyatini tushuntirib bera oladigan yangi modellar ustida ham olimlar bosh qotirishmoqda.

3-BOB. O'TA O'TKAZGICHLAR VA ULARNING QO'LLANILISHI

3.1. O'ta o'tkazgich moddalarning elektron texnikasidagi o'rni

Ma'lumki, elektron asbobsozlik va mikroelektronikada qo'llaniladigan barcha moddalar o'zlarining ahamiyati jihatidan asosiy va qo'shimcha moddalarga bo'linadi. Asosiy moddalar elektron qurilmalarning xususiyatlarini belgilash vazifalarini bajarsa, qo'shimcha moddalar ularni ishlab chiqarishga tayyorlash va himoya vositalari bo'lib xizmat qiladi.

Asosiy moddalar elektr o'tkazuvchanlik xususiyatlari bo'yicha elektr o'tkazuvchan, o'tao'tkazuvchan, yarimo'tkazgich va elektr o'tkazmaydigan (dielektrik) moddalarga bo'linadi. Elektr o'tkazuvchanlar metallar, metall qotishmalari, nometall o'tkazuvchan moddalar guruhidan iborat, ularga elektr qarshiligi 10^{-7} Om·m atrofida bo'lgan moddalar kiradi.

Ko'pgina metall va qotishmalar, ko'p tarkibli kimyoviy birikmalarda juda ham past (4-6 K) haroratlarda elektr qarshiligi keskin kamayib ketishi natijasida o'tao'tkazuvchanlik deb ataluvchi fizikaviy jarayon vujudga keladi. Hozirgi davrda ko'p tarkibli maxsus kimyoviy tuzilishga ega bo'lgan keramik moddalarda o'tao'tkazuvchanlikning kritik haroratini 160 K gacha etkazishga, ya'ni yuqori haroratli o'tao'tkazuvchanlik xususiyatiga ega bo'lgan moddalar yaratishga erishilmoqda.

1911 yilda golland olimi Kamerling-Onnes simob qarshiligining haroratga bog'liqligini o'rganish jarayonida harorat 4.15 K dan pasayganda, birdan qarshilik yo'qolganini aniqladi (3.1-rasm). Tez orada ba'zi boshqa metallarda ham shunday hodisa kuzatildi. Metallarning qarshiligi yo'qolgan holatini "o'ta o'tkazuvchanlik", bu metallarning o'zini esa "o'ta o'tkazuvchan" moddalar deb ataldi. Normal holatdan o'ta o'tkazuvchanlik holatiga o'tish haroratini kritik harorat T_c deyiladi.

O'ta o'tkazuvchanlik bir qancha moddalarda: metallar, qattiq qorishmalar, kimyoviy birikmalar va boshqalarda kuzatilgan. Misol tariqasida 3.1-jadvalda ba'zi moddalarning kritik harorati qiymatlari keltirilgan.

3.1-jadval.

Moddaning nomi	T_s, K	Moddaning nomi	T_s, K
Metallar		Kimyoviy birikmalar	
Al	1.175	NbN	17.3
Be	0.026	$(Y_{0.7}Th_{0.3})_2S_3$	17.0
Hg (α)	4.15	MoN	13.0-14.8
Hg (β)	3.95	$PbMo_6S_6$	15.0
Nb	9.25	$B_5Mo_{1.6}Zr_{0.31}$	15.2
Pb	7.23	$SnTe^*$	0.02-1.1
Ta	4.47	$La_2Se_3^*$	1.0
Te	7.78	$InTi^*$	1.0-3.5
V	5.43	$NbSe_2^{**}$	7.0
Qattiq qorishmalar		NbS_2^{**}	5.4
$Nb_{0.75}Zr_{0.25}$	11.0	TaS_2 (triton-13)***	5.0
$Nb_{0.75}Ti_{0.25}$	10.0	Oksidlar	
Intermetallidlar		$Li_{1+x}Ti_{2-x}O_4$	13.7
Nb_3Ge	23.2	$SrTiO_{3-x}$	1.0
Nb_3Sn	18.3	$BaPb_{1-x}Bi_xO_3$ ($x=0.25$)	14.0
Nb_3Al	18.9	$TiBa_2SeO_5$	4.2
Nb_3Te_3	10.5	$Bi_2Si_2SeO_6$	12
$Mo_{0.38}Pe_{0.62}$	14.6	Polimer birikmalar	
BiNI	4.25	(SN)	0.26
GeIn	4.7	$(TMTSSF)_2PF_6$	11
Pb_3Zr_5	4.6	$(BEDT-TTF)_2I_3$	8
		$(BEDT-TTF)_2IBr_2$	2.8

*Yarimo'tkazgich xossalari birikmalar, **qatlam tuzilishli birikmalar, *** interkalitlar.

Zamonaviy nazariyalar asosida metallar o'ta o'tkazuvchanligi hodisasini quyidagicha tushuntirish mumkin. Mutloq nolga yaqin haroratlarda elektronlarning o'zaro va kristall panjara tugunlaridagi atomlar bilan ta'sirlashuv xarakteri o'zgarib, bir xil zaryadlangan elektronlarning o'zaro tortishish imkoniyati paydo bo'ladi va elektronlarning (Kuper) juftlashishi yuz beradi. O'ta o'tkazuvchanlik holatida Kuper juftlarining juda katta bog'lanish energiyasiga ega bo'lishi sababli, ularning o'zaro va kristall panjara tugunidagi atomlar bilan energetik impuls

almashinishi yuz bermaydi. SHu holatda metallarning qarshiligi nolga tenglashib qoladi. Haroratning ko'tarilishi bilan elektronlarning bir qismi termik qo'zg'alib, odatdagi metallarga xos bo'lgan yakkalangan holatga o'tadi. Ma'lum T_c kritik haroratga erishilganda esa, metalldagi barcha Kuper juftlari parchalanadi va o'tao'tkazuvchanlik holati barham topadi (Bardin-Kuper-SHriffer modeli).

Yuqoridagi kabi holat o'tkazgichning xususiy va tashqi manbalari toki tufayli yuzaga keluvchi magnit maydonining muayyan (H_c - kritik kuchlanganlik yoki V_s - kritik induktiya) qiymatlarida kuzatilishi mumkin.

Agar toza metall T haroratda va magnit maydoni yo'qligida ($H=0$ da) - o'ta o'tkazuvchan holatda bo'lsa, u holda shunday kritik magnit maydoni kuchlanganligi H_c mavjud ekanki, $H > H_c$ bo'lganda, metallda o'ta o'tkazuvchanlik buzilib, u normal o'tkazgich holatiga o'tadi. Agar magnit maydon pasayib, $H < H_c$ bo'lsa, metall yana o'ta o'tkazuvchan holatga qaytadi. Bu qonuniyat quyidagi empirik formula bo'yicha aniqlanadi

$$H_c(T) = H_c(0) [1 - (T/T_c)^2] \quad (3.1)$$

Hozirgacha 35 ta o'tkazuvchan metallar, mingga yaqin o'tao'tkazuvchan qotishmalar va turli elementlarning kimyoviy birikmalari aniqlangan. Bundan tashqari, ayrim yarimo'tkazgichlar, masalan, indiy antimonid InSb, kumush antimonid AgSb, ksenon antimonid XeSb kabilarda o'ta o'tkazuvchanlik kuzatilgan. Kumush, mis, oltin, platina kabi ko'plab o'tkazgichlarda, hatto juda past haroratlarda ham o'tao'tkazuvchanlik holatiga erishilganicha yo'q.

O'zlarining fizik-kimyoviy xossalariga ko'ra elementar o'tao'tkazgichlar (toza metallar)ni yumshoq o'ta o'tkazgichlar (Hg, Sn, Pb, In) va qattiq o'tao'tkazgichlar (Ta, Ti, Zr, Nb)ga bo'lish mumkin. YUmshoq o'ta o'tkazgichlar uchun erish haroratining pastligi va ichki mexanik kuchlanishlarga ega emaslik xos bo'lsa, qattiq o'tao'tkazgichlarda etarlicha katta ichki kuchlanishlar mavjud bo'ladi.

O'tao'tkazgichlarni termodinamik nuqtai nazardan I, II va III turlarga ajratish qabul qilingan.

I tur o'tao'tkazgichlar uchun solishtirma issiqlik sig'iminin sakrab o'zgarishi xos bo'lib, juda past kritik haroratda va taxminan 1 kA/m magnit maydon kuchlanganligida yo'qoluvchi o'tao'tkazuvchan holatga o'tishning muayyan haroratiga egaligi, ulardan foydalanishni birmuncha qiyinlashtiradi. Bunday o'ta o'tkazgichlarda Meysner-Oksenfeld effekti kuzatiladi. Uning mohiyatiga ko'ra, namuna o'tao'tkazuvchan holatga o'tishda o'zidan magnit maydonini siqib chiqaradi, ya'ni ideal diamagnitga aylanadi.

II tur o'tao'tkazgichlar esa o'tao'tkazuvchan holatga sakrash bilan emas, balki asta-sekin o'tishi bilan farqlanadi. Ular uchun magnit maydonining $T_c < T_0$ haroratda ikkita kritik qiymatiga ega bo'lishi xosdir. Agar tashqi maydondagi magnit induktiyasi quyi kritik induktiya qiymatidan orta boshlasa, o'tao'tkazgich namunaning butun qalinligi bo'yicha magnit maydonining qisman singishi yuz beradi. Bunda Lorens kuchi ta'siridagi elektronlar aylana bo'ylab, uyurmalar hosil qilib harakatlana boshlaydilar. Uyurmaning ichida aylanish tezligi aylanish o'qiga yaqinlashgan sari, magnit maydoni kritik qiymatiga erishguncha va o'tao'tkazuvchanlikning "uzilishi" gacha ortib boradi. Tashqi magnit maydoni ortgan sari uyurmalar soni ortib, ular quyuqlashadi. Uyurmalar orasidagi masofa Kuper juftlari o'lchamiga tenglashganda, namuna to'lig'icha normal holatga o'tadi, ya'ni magnit maydoni namunaga to'liq singiydi. II tur o'tao'tkazgichlarga toza metallarga mansub niobiy Nb, vannadiy Va va texnetsiy Te larni ko'rsatish mumkin.

III tur o'tao'tkazgichlarni noideal II tur o'tao'tkazgich (qattiq o'tao'tkazgich)lar sifatida qarash mumkin. Ularda faza ajralishi yoki plastik deformatsiyalanishda yuzaga keluvchi yirik nobirjinslik mavjud bo'ladi. Bunday tuzilish nuqsonlari uyurmalarini tutuvchi tugunlar (pinning hodisasi) vazifasini bajaradi, bu esa namunadan o'tuvchi tokning qiymatini birmuncha orttiradi. III tur o'tao'tkazgichlarga asosan qotishma va kimyoviy birikmalar mansub.

1986 yilda suyuq azot haroratiga yaqin haroratda o'tao'tkazuvchan holatga o'tuvchi $\text{La}_{2-x}\text{M}_x\text{CuO}_4$ ($\text{M}=\text{Ba}, \text{Sr}$) moddalar aniqlandi. Keyinroq $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$

qotishmalarida o'tao'tkazuvchanlikka o'tishi -173°C va undan yuqorida kuzatildi. Ushbu moddalar yuqori haroratli o'tao'tkazgichlar deb ataldi. Ular perovskit ko'rinishli struktura (CaTiO_3 – tabiiy mineral tuzilishi)ga ega va atomlari o'ziga xos tartibda joylashgan keramik moddalardir. Bunday moddalarni ittiriy oksid bilan misli borkarbonat aralashmasini mayda kukunlab, so'ngra pishirish orqali olinadi. Bu usulda olingan o'tao'tkazuvchan keramika ikki faza (birikma)dan iborat. Birinchi faza 2:1:1 nisbatdagi ittiriy, bariy va misni, ikkinchi faza esa ko'p miqdordagi misni o'z ichiga oladi. Undagi ittiriy, bariy va misning nisbati 1:2:3 kabi. Xuddi shu faza o'tao'tkazuvchanlik xususiyatiga ega.

Hozirgi kunda eng mukammal o'rganilgan Y-Ba-Cu-O tizimning o'tao'tkazuvchanlik xususiyati ikki va uch valentli misning $\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}^{3+}$ nisbatiga bog'liq. Ushbu nisbatning qiymatini o'zgartirish bilan o'tao'tkazuvchan tizimning xususiyatini boshqarish mumkin. Xususan, -163°C gacha o'tish haroratiga va "an'anaviy" metall o'tao'tkazgichlardagidan kichik qiymatli 10^4 A/sm^2 gacha tok zichligiga ega bo'lgan o'tao'tkazgichlar olinadi.

Jahonning etakchi ilmiy markazlarida tok zichligi katta va o'tao'tkazuvchan holatga o'tish harorati nisbatan yuqori bo'lgan yangi moddalarni sintez qilish ustida ishlanmoqda. Bu jabhada kimyoviy ifodasi $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_2$ bo'lgan vismutli tizimlarning kelajagi porloq. Ularning o'tish harorati -158°C ga etadi.

Yana shunday yangi moddalarda biri bo'lgan $\text{Hg}_2\text{Ba}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_8$ birikmasining kuchli bosim ostidagi o'ta o'tkazuvchanlik kritik harorat qiymati $T_c=150 \text{ K}$ gacha ko'tarilgan.

Yangi topilgan yuqori haroratli o'tao'tkazgich moddalarning o'ziga xos belgilaridan biri ularning kristall panjarasi tarkibida yo CuO_2 dan iborat qatlam mavjudligi, yo ham CuO_2 qatlami, ham CuO atomlardan iborat zanjir borligidir. Ko'pgina mutaxassislarning ta'kidlashicha, yuqori haroratli o'tao'tkazuvchanlik aynan shu CuO_2 qatlami bilan bog'liq. Tushuntirish qiyin bo'lgan ba'zi xossalari sanab o'tamiz:

- optik va boshqa elektrofizik tajribalarning ko'rsatishicha, energetik tirqish o'tao'tkazuvchanlikning kritik haroratidan ancha yuqorida T^* ($T^* > T_c$) paydo bo'ladi;
- xuddi shunday korrelyatsiyalangan holda qarshilikning kamayishi ham o'tao'tkazuvchanlikning kritik haroratidan ancha yuqori T^* da boshladi (past haroratli eski o'tao'tkazgichlardagi qarshilik kritik nuqta T_c dayoq sakrab nolga tenglashadi);
- kislorod molyar miqdorining ma'lum bir kritik qiymatida metall-yarimo'tkazgich fazaviy o'tishi sodir bo'ladi.

Xuddi shunga o'xshash yana bir necha faktlar mavjudki, ularni yuqorida bayon qilingan BKSh va Bogolyubovlar modeli orqali tushuntirib bo'lmaydi.

Ancha vaqtdan buyon o'tao'tkazgich moddalar fan va texnikaning turli jabhalarida muvaffaqiyat bilan qo'llanmoqda. O'tao'tkazgich moddalar zaryadlangan zarrchalarning tezlatgichlarida, doimiy tok hosil qiluvchi o'tao'tkazuvchan magnit g'altaklarida, fazoning etarlicha katta sohasida o'ta kuchli magnit maydonlar hosil qilishda, massa va o'lchami odatdagidan kichik bo'lgan elektr mashina va transformatorlar, FIK yuqori bo'lgan quvvatli elektr energiya uzatuvchi tarmoqlar, so'nish darajasi kichik to'lqin uzatgichlar, quvvatli elektr energiya jamlovchilar, xotira va boshqarish qurilmalari uchun o'tao'tkazuvchan kabellar tayyorlashda ishlatiladi. O'tao'tkazgichlarga xos bo'lgan Meysner-Oksenfeld effektidan esa ishqalanishi bo'lmagan asoslar va FIK 100% ga teng bo'lgan aylanuvchi elektr mashinalar yaratishda foydalaniladi. O'tao'tkazuvchan ilmoq hodisasi giroskoplarda va o'ta katta tezlikli temir yo'l poezdlarida qo'llanadi.

Ilmiy bashoratlarga ko'ra, o'tao'tkazuvchanlik hodisasi xona harorati (300 K)da namoyon bo'lishiga erishilganda, jahon fani va texnologiyasida yarimo'tkazgichlar ixtiro etilgandan ham samaraliroq burilish yuz beradi. SHu ma'noda, bu sohadagi muammolarni yig'ish va tahlil etish uning rivojiga qo'shilgan salmoqli hissa bo'ladi.

3.2. O'tao'tkazgich materaillarning mashinasozlikda qo'llanilishi

Ancha vaqtdan beri o'tao'tkazgich materiallar texnika va texnologiyaning turli jabhalarida mufaffaqiyatli qo'llanilmoqda. Jumladan, o'tao'tkazgich materiallar zaryadlangan zarralarning tezlatgichlarida, doimiy tok hosil qiluvchi o'tao'tkazuvchan magnit g'altaklarida, fazoning yetarlicha katta sohasida o'ta kuchli magnit maydonlar hosil qilishda, massa va o'lchami odatdagidan kichik bo'lgan elektr mashina va transformatorlar, FIK yuqori bo'lgan elektr energiya uzatuvchi quvvatli tarmoqlar, so'nish darajasi kichik bo'lgan uzatgichlar, quvvatli elektr energiya jamlovchilar, hotira va boshqarish qurilmalari uchun o'tao'tkazuvchan kabellar tayyorlashda ishlatiladi. O'tao'tkazgichlarga xos bo'lgan Meysner-Oksenfeld effektidan esa ishqalanishi bo'lmagan asoslar va FIK 100% ga teng bo'lgan aylanuvchi elektr mashinalar yaratishda foydalaniladi. O'tao'tkazgichan ilmoq hodisasi giroskoplarda, o'tatezlikli temir yo'l poezdlarida qo'llaniladi.

Materialshunoslik nuqtai nazaridan muhim ahamiyat kasb etuvchi bunday materiallar mashinasozlikda ham muvaffaqiyatli qo'llanilib kelinmoqda. Mazkur fikrimizning isboti sifatida rivojlangan Osiyo davlatlarida urfga aylanayotgan MagLev – temir yo'l mashinalarini ko'rsata olamiz.

MagLev - havoda muallaq harakatlanuvchi poyezd bo'lib, uning nomi «Magnit» va «Levitatsiya» so'zlari birinchi bo'g'inlari birlashuvidan hosil bo'lgan. Va bu nom ularni qanday tamoyil asosida harakatlanishini ifodalaydi. Magnit levitatsiyasi - magnit maydoni ta'sirida, yerning tortish kuchining yengib, havoda muallaq turish hodisasidir. Bunda poyezd ostidagi o'ta o'tkazgichlarning magnit maydoni kuchi, yerni poezdni tortish kuchi va og'irlik kuchini o'zaro muvozanatlashi natijasida, poezd yerga tushib ketmasdan, boshqacha aytganda, yer sirtiga tegmasdan, havoda muallaq osilib turushi mumkin. Mazkur effekt fizikada «magnit yostiqcha» deyiladi. Mazkur ajoyib fizik effektini poyezd harakatiga tadbiq etilsa, an'anaviy g'ildirakli va sershovqin poyezdlarni, o'ta yuqori tezlikka

ega, shovqinsiz poyezdlar bilan almashtirish mumkin. Agar tarix sahifalariga murojaat qilsak, bunday yutuqqa erishish oson va tez bo'lmaganini ko'rishimiz mumkin.

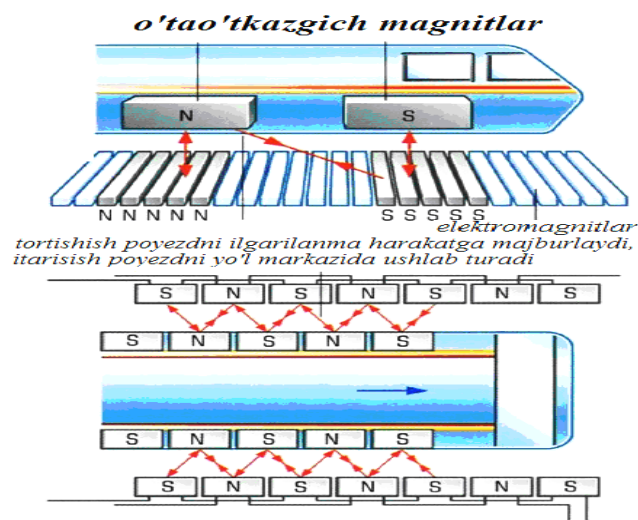
O'tgan asrning 50-yillarida, magnit maydon ta'siri ostida muallaq turuvchi mashina va mexanizmlarni yaratishga doir ingliz olimi Erik Leyzveyt ish olib borgan va tadqiqotlarining samarasi sifatida o'zgaruvchan magnit maydoni ta'sirida, elektromagnitning to'g'ri chiziq bo'ylab harakatlanishini ta'minlovchi asinxron elektrodvigatel yaratishga muvaffaq bo'ldi. Leyzveyt o'z tajribalari orqali, chiziqli asinxron dvigatellar poyezd g'ildiraklarini nafaqat rels bo'ylab aylanib harakatlanishga majbur qilishi, balki, butun boshli poyezdni relslarga mutlaqo teginmasdan ham ilgarilashga majbur qila oladigan darajadagi quvvatga ega magnit kuchini ham ishlab chiqishga yetarli ekanligiga ishonch hosil qildi. Shu tufayli agar poyezdlarda magnit kuchidan foydalansa, g'ildiraklarning umuman keragi bo'lmay qolishini ta'kidladi.

Hozirgi vaqtda magnit yostiqcha effekti bo'yicha harakatlanuvchi poyezdlarning asosan, elektromagnit va elektrodinamik tizimlaridan foydalanilmoqda.

Elektromagnit tizimda, poyezdning ostiga C-simon katta quvvatli o'ta'otkazuvchan materialdan tayyorlangan elektromagnitlar o'rnatiladi va ular relslarni qurshab oladi. O'ta'otkazuvchan elektromagnit va relslar orasida paydo bo'ladigan magnit itarish kuchiga asoslanib, poyezd havoda muallaq turishi va harakatlanishi mumkin bo'ladi (3.2-rasm). Zaruriy masofani katta quvvatli o'ta'otkazgich elektromagnitlar orqali ta'minlanadi. G'ildiraklar esa, «uchish» va «qo'nish» chog'ida zarur bo'ladi.

Elektrodinamik maglevlarda esa, rels - yo'lning boshidan oxirigacha to'liq magnitlangan, yo'naltiruvchi vosita sifatida namoyon bo'ladi. Bunda poyezd faqatgina relsning magnit maydoni ta'sirida itarilib yoki tortilib turadi. Bu usulning salbiy jihati – butun masofa bo'ylab relslarni magnitlab chiqish zaruratidir.

Maglev poyezdlarida g'ildirakdan tashqari dvigatel ham bo'lmaydi. Mazkur poyezd magnetizm prinsiplariga asoslangan elektromagnit tayanch bilan ishlaydi (3.2-rasm). Poyezdning tag qismida kuchli magnitlar o'rnatilgan. Elektrodinamik tizimli maglevlarda, rels va trassa devorlari bo'ylab joylashgan kuchli elektromagnitlar, poyezdlardagi magnitlarni itaradi. Bunga ko'ra esa poyezdlar relsdan bir necha santimetr masofada muallaq turib, bir vaqtning o'zida yo'lning markazidan chetga chiqib ketmay turadi. Poyezd levitatsiyaga kirishi bilan, ya'ni havoda muallaq turishi bilan, trassa devorlaridagi elektr g'altaklariga tok beriladi. Natijada devorlar bo'ylab bir nechta kuchli magnit maydonlari paydo bo'ladi va poyezdni harakatga keltiradi.



3.2-rasm. MagLev poyezdlari va elektromagnit tayanchning tuzilishi (www.orbita.uz, saytidan olindi)

MagLev poyezdlarining g'ildiraklarining yo'qligi sababli, u relslar ustida, havoda muallaq turib, magnit maydoni ta'sirida hosil bo'lgan magnit yostiqlar bo'ylab harakatlanadi. Bundan tashqari, MagLev poyezdlarida g'ildirak va relsning o'zaro ishqalanishi yo'q, natijada shovqin ham bo'lmaydi. Demak, MagLev an'anaviy poyezdlarga qaraganda yanada kattaroq tezliklarga erishishi mumkin. Ularning kamchiligi, bunday poyezdlarning energiya sarfi ancha kattaligidir.

Tajribada sinalgan MagLev poyezdlari, allaqachon temiryo'l tezlik rekordlarini yangilab bo'lishgan, masalan, 2003 yilda Yapon tajriba modeli JR Central MLX01 o'ta o'tkazgich magnit relslari bo'ylab taxminan 161.4 m/sek

tezlikka erishgan. Biroq, o'ta o'tkazgich magnit relsli bunday tizimning ishonchli va samarali ishlashini ta'minlash uchun qo'llaniladigan murakkab texnologik ishlanmalarning katta miqdorda sarf-harajatlar talab qilishi bu yo'nalishdagi tadqiqot va loyihalash ishlarini bir oz sekinlashtirmoqda. Biroq, mazkur soha yetakchi tadqiqotchilarining fikricha, hayot sur'atlarining tezlashivi tufayli, MagLev juda yaqin kunlarda an'anaviy temiryo'l tizimida tub burlish yasashi kerak.

Hozirgu kunda faoliyat yuritayotgan kam sonli shunday MagLev poyezdlaridan biri – Xitoy poytaxti aeroportidan Shanxay markaziga yo'lovchi tashiyotgan MagLev hisoblanib, u 120 m/sek tezlik bilan harakatlanadi. Bu kabi poyezdlar Janubiy Koreyada ham mavjud.

Sayyoramizda ekologik xatarlar miqdori keskin ortganligini va biz uchun qimmatli bo'lgan atrof-muhit musaffoligini saqlab qolish mas'uliyatini e'tiborga olsak, yuqorida ko'rib chiqilgan o'tao'tkazgich material asosli, ekologik toza mashina va mexanizmlarning mamlakatimizda ham yaratilishi, hayotimizga keng joriy etilishi kun tartibidagi dolzarb masalalardan ekanligini ko'rsatadi.

Bobning qisqacha xulosalari

Ushbu bobning xulosasi sifatida ancha vaqtdan buyon o'tao'tkazgich moddalar fan va texnikaning turli jabhalarida muvaffaqiyat bilan qo'llanilishini ko'rsata olamiz:

1. O'tao'tkazgich moddalar

- zaryadlangan zarrchalarning tezlatgichlarida;
- doimiy tok hosil qiluvchi o'tao'tkazuvchan magnit g'altaklarida;
- fazoning etarlicha katta sohasida o'ta kuchli magnit maydonlar hosil qilishda;
- massa va o'lchami odatdagidan kichik bo'lgan elektr mashina va transformatorlar;

- FIK yuqori bo'lgan quvvatli elektr energiya uzatuvchi tarmoqlar, so'nish darajasi kichik to'lqin uzatgichlar, quvvatli elektr energiya jamlovchilar, xotira va boshqarish qurilmalari uchun o'tao'tkazuvchan kabellar tayyorlashda ishlatiladi;

2. O'tao'tkazgichlarga xos bo'lgan Meysner-Oksenfeld effektidan esa ishqalanishi bo'lmagan asoslar va FIK 100% ga teng bo'lgan aylanuvchi elektr mashinalar yaratishda foydalaniladi.

3. O'tao'tkazuvchan ilmoq hodisasi giroskoplarda va o'ta katta tezlikli temir yo'l poezdlarida qo'llanadi.

Xulosa

Hozirgi kunda nafaqat yuqori haroratli o'tao'tkazgichlarni eksperimental qidirish, balki uning tub mohiyatini tushuntirib bera oladigan yangi modellar yaratish ustida ham olimlar bosh qotirishmoqda. Shu kungacha olingan nazariy va amaliy tadqiqotlar natijalarning ko'rsatishicha, o'tao'tkazuvchanlik hodisasi nafaqat metallar va yarimo'tkazgichlarda, balki o'ziga xos murakkab tuzilishga ega bo'lgan ko'p tarkibli moddalarda ham yuz berar ekan. Dastlab 6-8 K haroratlarda kuzatilgan o'tao'tkazuvchanlik, adabiyotlardagi ma'lumotlarga qaraganda, hozirgi kunda 160 K da ham kuzatilmoqda. Lekin, hanuzgacha bu hodisani mukammal ta'riflay oladigan yagona nazariyaning yo'qligi, etakchi olimlarning ilmiy g'oya va farazlari bir-biriga mos tushmayotgani bu muammoning yechimi qanchalik murakkabligini ko'rsatib turibdi.

Ancha vaqtdan buyon o'tao'tkazgich moddalar fan va texnikaning turli jabhalarida muvaffaqiyat bilan qo'llanmoqda. O'tao'tkazgich moddalar zaryadlangan zarrchalarning tezlatgichlarida, doimiy tok hosil qiluvchi o'tao'tkazuvchan magnit g'altaklarida, fazoning etarlicha katta sohasida o'ta kuchli magnit maydonlar hosil qilishda, massa va o'lchami odatdagidan kichik bo'lgan elektr mashina va transformatorlar, FIK yuqori bo'lgan quvvatli elektr energiya uzatuvchi tarmoqlar, so'nish darajasi kichik to'lqin uzatgichlar, quvvatli elektr energiya jamlovchilar, xotira va boshqarish qurilmalari uchun o'tao'tkazuvchan kabellar tayyorlashda ishlatiladi. O'tao'tkazgichlarga xos bo'lgan Meysner-Oksenfeld effektidan esa ishqalanishi bo'lmagan asoslar va FIK 100% ga teng bo'lgan aylanuvchi elektr mashinalar yaratishda foydalaniladi. O'tao'tkazuvchan ilmoq hodisasi giroskoplarda va o'ta katta tezlikli temir yo'l poezdlarida qo'llanadi.

Ilmiy bashoratlarga ko'ra, o'tao'tkazuvchanlik hodisasi xona harorati (300 K)da namoyon bo'lishiga erishilganda, jahon fani va texnologiyasida yarimo'tkazgichlar ixtiro etilgandan ham samaraliroq burilish yuz beradi. SHu

ma'noda, bu sohadagi muammolarni yig'ish va tahlil etish uning rivojiga qo'shilgan salmoqli hissa bo'ladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YHATI

1. Karimov I.A. Zamonaviy kadrlar - taraqqiyotimizning muhim omilidir. "Xalq so'zi" gazetasi, 1997 y., 7 iyun.
2. O'zbekiston Respublikasi qonuni. "Ta'lim to'g'risida". Toshkent, "Sharq" nashriyoti, 1997 y., – 24 b.
3. O'zbekiston Respublikasi qonuni. "Kadrlar tayyorlash milliy dasturi to'g'risida". Toshkent, "Sharq" nashriyoti, 1997 y., – 35 b.
4. Karimov I.A. "Barkamol avlod orzusi". Toshkent, O'zbekiston milliy ensikloneidiyasi Davlat ilmiy nashriyoti. 2000 y., – 97 b.
5. Karimov I.A. "Yuksak ma'naviyat - yengilmas kuch". Toshkent, "Ma'naviyat" nashriyoti. 2008 y., – 176 b.
6. Каримов И.А. Баркамол авлод - Ўзбекистон тараққиётининг пойдевори.- Шарқ, 1998 й., -225 б.
7. Bahodirxonov M.S., Zaynobidinov S.Z., Madaminov X.M. Elektron texnikasi moddalari. – T.: "Yangi nashr", 2016. – 352 b.
8. Тешабоев А., Зайнабидинов С., Эрматов Ш.А. Қаттиқ жисм физикаси. – Молия.: Тошкент, 2011. -357 б.
9. Нормуродов М.Т., Умирзоков Б.Э., Пармонкулов И.П. Электрон техника материаллари ва қурилмалари технологияси.- Т.: Мехнат, 2004.- 364 б.
10. Пасынков В.В., Сорокин В.С. Материалы электронной техники.- М.: Высшая школа, 1987.- 367 с.
11. Ельманов Г.Н., Залужный А.Г., Скрытный В.И., Смирнов Е.А., Яльцев В.Н. Физическое материаловедение. Учебник для вузов, том 1, Типография издательства "Тривант", Троицк. 2007. -636 с.
12. Жданов Г.С. Физика твердого тела. – М.: МГУ, 1961. – 501 с.
13. Федоров Г.Б., Яковлев Е.И. Металлофизика реакционных материалов. – М.: МИФИ, 1984. – 76 с.
14. Серебрянников С.В. Материалы.- М.: Высшая школа, 1992.- 94 с.

15. Тинкхам М. Введение в сверхпроводимость.- М.: Атомиздат, 1980.- 312 с.
16. Бардин Дж., Шриффер Дж. Новое в изучении сверхпроводимости.- М.: Физматгиз, 1962.- 171 с.
17. Сан-Жам Д., Сарма Г., Томас Е. Сверхпроводимость второго рода.- М.: Мир, 1970.- 366 с.
18. Федоров Г.Б., Яковлев Е.И. Атомное строение металлов и сплавов. - М.: МИФИ, 1985. – 64 с.
19. Смирнов Е.А. Термодинамика фазовых превращений. - М.: МИФИ, 1998. - 83с.
20. Нечаев В.В., Смирнов Е.А. Физическая химия сплавов. – М.: МИФИ, 2006. – 227 с.
21. Даркен Л.С., Гурри Р.В. Физическая химия металлов. – М.: Металлургия, 1960. – 582 с.
22. Лифшиц Б. В., Крапошин В. С., Линецкий Я. Л. Физические свойства металлов и сплавов. –2-е изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1980.-320 с.
23. Епифанов Г. И. Физика твердого тела. Учеб. пособие для втузов. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1977. – 287 с.
24. Смирнов Е.А., Соколов Н.А., Яковлев Е.И. Физические свойства металлов и сплавов. Учебное пособие. – М.: МИФИ, 1992. – 84 с.