

14-modul. Dielektriklar, yarim o'tkazgichlar va o'tkazgichlar.

Reja:

1. Elektr tokini o'tkazuvchi materiallar.
2. Metallardan yasalgan o'tkazgichlar.
3. O'ta o'tkazgichlar. Yuqori elektro qarshilikka ega qotishmalar. Kontakt materiallar. Uzuqchi kontaktlar uchun materiallar.

Materiallar elektr xossalari bo'yicha 3turga bo'linadilar: o'tkazuvchilar, yarim o'tkazgichlar, dielektriklar.

O'tkazgichlarning nisbiy elektrik qarshiligi $10^{-8}-10^{-5}$ Om*m bo'ladi va harorat ko'tarilishi bilan u ham ortadi.

Yarimo'tkazgichlarniki $10^{-5}-10^{-8}$ Om*m bo'ladi va harorat ko'tarilishi bilan u kamayadi. Bular tokni to'g'rilash, elektr signallarini ko'paytirish, har xil turdagi energiyalarni elektr energiyasiga aylantirish uchun ishlatiladi.

Dielektriklarning nisbiy elektr qarshiligi $10^{-8}-10^{-16}$ Om*m ga teng. Bular izolyator sifatida ishlatiladi.

Metall va ularning qotishmalaridan yasalgan o'tkazgichlar

Texnikada, Ayniqsa aviatsiyada tokni yuqori darajada o'tkazadigan yuqori o'tkazgich metallari va qotishmalari keng qo'llaniladi: oltin, kumush, mis, bronza, latun va h.k. Bular yuqori elektr o'tkazuvchanlik; yetarli mustahkamlik, plastiklik atmosfera sharoitida korroziyabardoshlik qobiliyatlariga ega.

Metallar qancha toza bo'lsa (qo'shimchalar-primelar va nuqsonlardan) shuncha ularning o'tkazuvchanligi yuqori bo'ladi.

Oksidlanmaydigan o'tkazgichlar, yuqori va o'ta yuqori chastotali asboblari-priborlarning kontaktlari va pechatli mikrosxemalar uchun kumush ishlatiladi. Kumush havoda oksidlanmaydi. Lozim bo'lganda mis, latun va tok o'tkazmaydigan materiallar (keramika, oyna, kvarts, polimer) ustiga maxsus usul bilan kumush qoplama beriladi. Ba'zi hollarda kumush oltin bilan almashtiriladi.

Mis amaliyotda juda keng ishlatiladi. U yuqori o'tkazish qobiliyatiga ega, mexanik xossalari yaxshi, arzon. Induktsiya usulida vakuumda olingan (kislordsiz) mis yuqori o'tkazgichlik va plastiklik qobiliyatiga ega. "Nagartovka" qilingan mis-MT yuqori puxtalikka ega.

Yumshoq mis-MO, M1 kabellarning ichaklarini, "obmotka" - o'rama simlarni yasash uchun ishlatiladi.

Kislordsiz mis-MOO ($0,02 < 0,02\%$) esa elektrovakuum asboblarda, SVCh-asbobida, mis "fol'gasi" yasash uchun ishlatiladi.

M2,M3,M4 markali simlar asosan qotishma olish uchun ishlatiladi. Mexanik xossalari yuqori bo'lishligi talab qilingan **mahsulotlar** uchun latunlar, kadmiyli va berilliyli bronzalar ishlatiladi.

Kadmiyli bronzadan "trolley"lar, sirpanuvchi kontaktlar, membranalar yasaladi. Latunlardan har xil tok o'tkazuvchanli detallar yasaladi.

Alyuminiy yuqori elektr o'tkazuvchanligi,plastikligi va kam zichligi bilan xarakterlanadi.O'ta toza alyuminiy-A999,A995 va yuqori tozlikdagi alyuminiy A99,A95 ishlab chiqariladi. Bulardan elektrolitik kondensatorlar,kabellarning himoya qobiqlari yasaladi. Texnikaviy alyuminiydan-A85,A7 kabellar va tok o'tkazuvchi shinalar yasaladi. Elektr o'zatuvchi liniyalar uchun alyumin qotishmasi-Al-Mg-Si ishlatiladi,yuqori puxtalikka ega. Ko'pchilik hollarda bilitollar ishlatiladi,tok o'tkazish simlari,o'zagi po'latdan qobig'i esa mis yoki alyuminiydan. Qobiq galvanik usulda yoki plakirovka usulida olinadi.

Temirning o'tkazuvchanligi ancha past. Lekin mustahkam ($\sigma=300+700\text{MPa}$). Bu uni oqlaydi. Asosan kam uglerodli ($S=0,1-0,15\%$)va oddiy sifatli po'latlar (St0,St1,.....St6) ishlatiladi. Bulardan tok shinalari,tramvay,metro temir yo'llari (elektropoezd\u) rel'slari yasaladi.

Ko'rsatgichlar	Ag	Au	Cu	Al
Zichlik, kg/m^3	10500	19300	8900	2700
Erish harorati, $^{\circ}\text{S}$	960	1063	1084	658
elektr qarshilikning haroratli koeffitsenti, $\alpha_p 10^3 \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$	3,6	0,4	4,5	4,3
Nisbiy elektroqarshilik, $r,\text{mkOm}^*\text{m}$	0,016	0,024	0,018	0,027

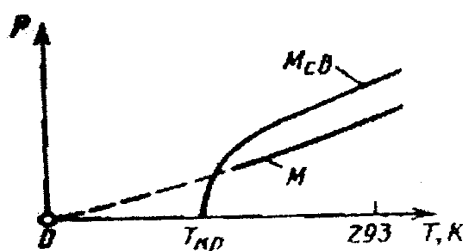
Qo'shimchalarning borligi tok o'tkazuvchanlikni ancha pasaytiradi.

Masalan misning o'tkazuvchanligini kremniy va marganetsning ozgina miqdori ham ancha pasaytiradi. Puxtalanish ham (naklep) o'tkazuvchanlikni ancha pasaytiradi: masalan: shtamplash, kiryalash usullarida olingan **mahsulotlar**.

O'ta o'tkazgichlar (sverxprovodniki)

Ba'zi metallar(30xil elementlar) va qotishmalar (10000xil) absolyut nol haroratiga yaqin haroratda o'ta o'tkazgich holatiga o'tadilar.

Bunda nisbiy elektroqarshilik yo'q hisobida bo'ladi: $r=10^{-25}\text{Om}^*\text{m}$. (O'tkazgichlarda eng kam qarshilik $r=10^{-15}\text{Om}^*\text{m}$)



Rasm 1. Haroratni o'ta o'tkazgichliligiga ta'siri

Materialning o'ta o'tkazgich holatiga uning haroratiga (T_{kr}), fizik xossalriga, materialning tozaligiga, kristallik panjarasining nuqsonlik darajasiga bog'liq.

Ma'lum kuchlanishdagi magnit maydoni (N_{kr}) ta'sirida o'ta o'tkazishlik yo'qoladi. Bunda magnit maydonini tashqi manбайдan ham, o'ta o'tkazgichdan o'tayotgan elektr toki vositasida ham barpo qilish mumkin.

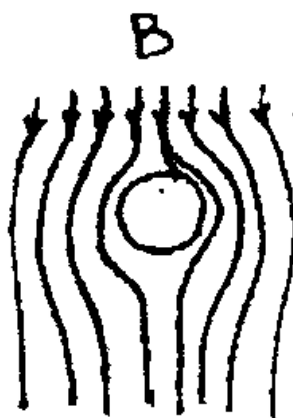
Eng ko'p tarqalgan o'ta o'tkazgich qotishmalariga quyidagilar kiradi: Nb-Zr; Nb-Ti; V-Ti; Ta-Ti. Markalanishi: 65BT va 35BT (gost 10994-74). 65BT da 22-26% Ti, 63-68% Nb va 8,5-11,5% Zr bor. $T_{kr}=9,7K(-263,3^{\circ}S)$. 35BT da 60-64% Ti, 33,5-36,5% Nb, 1,7-4,3% Zr bor.

Bu ikki qotishma kuchli generatorlarning o'ramalari ("obmotka"lari), quvvatli magnitlarning obmotkalari (magnit yostiqli poezdlardagi), EHMLarning tunnelli diodlari uchun ishlatiladi.

Nemis fizik olimlari V.Mayenev va R.Oksenfeld o'ta o'tkazgichlar shu haroratda ideal diamagnetikka aylanish hodisasini topdilar.

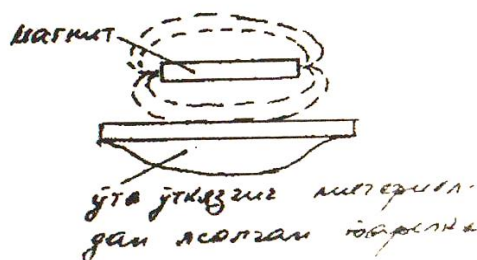


Rasm 2. Oddiy sharoitda o'ta o'tkazgichdan yasalgan shar bir tekis magnit maydonida joylashtirilgan.



Rasm 3.

Shu shar sovitilib, o'ta o'tkazgich holatiga keltirilgach, magnit maydoni shardan itarib chiqiladi.



Rasm 4. O'ta o'tkazgichlikni magnitli tarelkaga ta'siri

O'ta o'tkazgichli tarelka magnitni itarib chiqaradi va magnit havoda tarelka ustida muallaq osilib turadi.

Bu hodisadan yostiqcha ustidagi poezdlarda, gidronasoslarda, podshipniklarda foydalaniladi.

Yuqori elektroqarshilikka ega qotishmalar

Bunday qotishmalar qarshilik elementlari (patentsiometrlar obmotkasi, shuntlar, qarshilik g'altaklari, rezistorlar, termoparalar, tenzometrik ko'rsatkichlar) va isitgich priborlari va pechlari isitgich elementlari uchun ishlatiladi. Bu qotishmalar qattiq eritma strukturasi ega. Bu qotishmalarning elektr qarshiligi qotishmani tashkil etuvchi elementlar elektr qarshiligidan yuqori bo'ladi.

Reostat qotishmalar

Qotishma	Xim tartibi,%			Elektr xossalari		
	Ni	Mn	Cu	R,mkOm* m	Ar10 ⁵ l/ ^o S	t _{ish} ^o S
MNM _{ts} 40-1,5 (konstan)	39-41	1-2	qolgan i	0,48	3	500
MNM _{ts} 3-12 (manganin)	2,5- 3,5	11,6- 13,5	-----	0,43	2	200

Isitgich elementlari uchun qotishmalar.

Qotishma	Xim tartibi,%				Elektr xossalari		
	Cr	Al	Fe	Ni	Ar10 ⁵ l/ ^o S	Ar10 ⁵ l/ ^o S	t _{ish} ^o S
X23Yu5(xromel)	21,5- 24,5	4,6-5,3	Qolgan ni	<0,6	1,37	1,4	1200
X20N80(nixrom)	20-23	----	<1,5	Qolgan ni	1,11	9,0	1100

Kontakt materiallar

Elektr kontaktlari 3 turga bo'linadi: uzuvchi, sirpanuvchi, qimirlamaydigan. Bularning hammasiga umumiy talab kam o'tish elektroqarshiligi.

Uzuvchi kontaktlar uchun materiallar

Bu kontaktlar vaqti-vaqti bilan tutatish va uzish(elektr zanjirini) kerak va og'ir sharoitda ishlaydilar. Ish jarayonida uzuvchi kontaktlarda elektr uchquni yoki yoyi hosil bo'ladi. Bu korroziya va elektr yeyilishga (erroziya) olib keladi. Korroziya kontaktlarni oksidlanishiga olib keladi. Bu o'tish elektr qarshiligini oshiradi, bu esa kontaktlarni qizishiga va payvandlashishiga (yoki yopishib qolishiga) olib keladi. Erroziya kontaktlarning birida chuqurcha hosil bo'lishiga, ikkinchi kontaktda ignachalar hosil bo'lishiga olib keladi. Demak, kontakt materiallari elektr qarshiligi, korroziyabardoshligi hamda erroziyabardoshligi yetarli bo'lishi kerak.

Elektr quvvatiga qarab kontaktlar kam yuklangan va yuqori yuklangan guruhlarga bo'linadi.

Kam yuklangan kontaktlar nodir metallardan yasaladi: oltin, kumush, platina, palladiy va ularning qotishmalari. Eng ko'p ishlatiladigani kumush va uning qotishmalari. Bularni ichida ko'proq ishlatiladigani kumushning mis bilan qotishmasi.

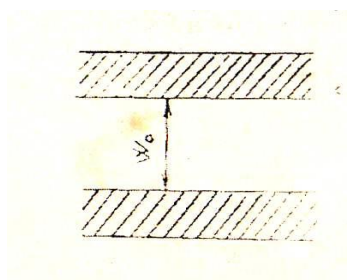
Yuqori yuklangan kontaktlar vol'fram, molibden, ularning qotishmalari va metallokeramikadan yasaladi. Eng quvvatli kontaktlarda kukun metallurgiyasi asosida olingan vol'fram – kumush (yoki mis) kompozitsiyasi ishlatiladi.

Sirpanuvchi kontaktlar uchun materiallar. Talablar: yuqoridagilarni o'zi. Materiali:metallo-keramika,mis yoki kumush ozgina grafit bilan. Markasi: MG3,MG5,SG3,SG5. M-mis, G-grafit (3,5%),S-kumush.

Yarimo'tkazgichlar

Yarimo'tkazgich materiallarga nisbiy qarshiligi $r=10^{-3}-10^{-10}\text{Om}\cdot\text{sm}$ bo'lgan materiallar kiradi. Bunga Mendeleev davriy sistemasidagi 12 element kiradi: bor, uglerod (olimoz), kremniy, germaniy, qo'rg'oshin (Sn_0), fosfor, myshyak, sur'ma, oltingugurt, selen, tellur, yod. Bundan tashqari birqancha kimyoviy birikmalar ham kiradi. Eng ko'p tarqalgan germaniy(Ge) va kremniy(Si).

Yarimo'tkazgichlarda tokni paydo bo'lishi uchun valent zonasidagi elektronlarning bir qismi tok o'tkazish zonasiga o'tib elektr zaryadini tashuvchisiga aylangan bo'ladi.



Rasm 5. Yarim o'tkazgichlarda tokni hosil bo'lishi

Elektronlar bir zonadan ikkinchisiga o'tish uchun ruxsat etilmagan-man etilgan energiya zonasidan o'tishi kerak

Buning uchun ma'lum energiya kerak. Bu tashqi energiya yorug'lik yoki issiqlik energiyasi bo'lishi mumkin. Qizdirilganda elektr tokini tashuvchilar "kontsentratsiya"si ko'payadi va yarimo'kazgichning elektr qarshiligi kamayadi. Wo qancha ko'p-keng katta bo'lsa,shuncha ko'p qizdirish kerak.

O'tkazuvchanlikka tok tashuvchilarning harakatchanligi ham ta'sir qiladi. Kristallik panjaraning nuqsonlari buni pasaytiradi(demak, o'tkazuvchanlikni xam). Xuddi shunday ta'sir qiladi tashuvchilarning "hayot davri" xam.

Shuning uchun, kristallik panjaralari nuqsonsiz yarim o'tkazgichlar-monokristallar ishlatiladi. Yuqori sifatli asboblarda ("pribor") uchun germaniy va kremniy monokristallaridan yasaladi.

Toza yarimo'tkazgichlardan tashqari murakkab yarimo'tkazgich birikmalar ham ishlatiladi. Mendeleev sistemasidagi $A^4 V^4$,uchinchi va beshinchi $A^3 V^5$ va $A^2 V^4$

$A^4 V^4$ tipdagi birikma vakili SiC

$A^3 V^5$ vakili ZnSb va GaAs(galiy arsenidi)

$A^2 V^4$ bular suʼfidlar (ZnSe),oksidlar(Cu_2O).

O`ta o`tkazuvchanlik holatidagi modda xossalari.

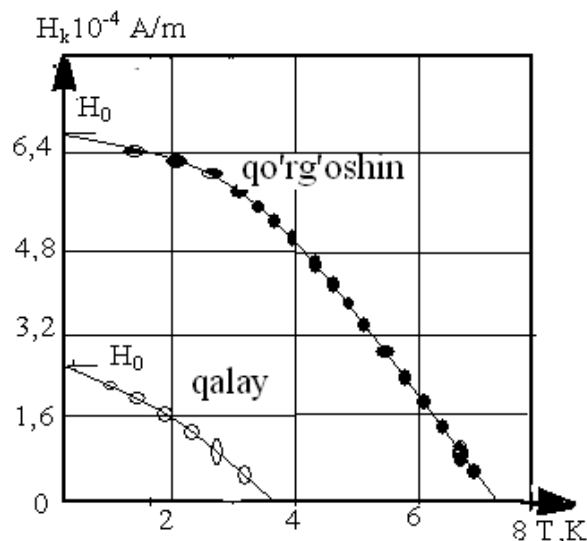
Hozirgi paytgacha o`ta o`tkazuvchanlik hodisasi ustida keng miqyosda izlanishlar olib borilmoqda va bu hodisani tushuntirish borasida katta yutuqlarga erishilgan. O`rganishlar asosida hozirgi vaqtda yigirmadan ortiq sof metallar, yuzdan ortiq qotishma va ximiyaviy birikmalardan iborat o`ta o`tkazgichlar aniqlangan. Shu narsa qizikki, odatdagi temperaturalarda eng yaxshi o`tkazgich bo`lib hisoblanadigan metallar absolyut nol temperaturada o`ta o`tkazgichlarga aylanmaydi.

Metallning o`ta o`tkazuvchanlik holatiga o`tish temperaturasi kritik temperature T_k deb yuritiladi. Masalan, o`ta otkazgichlardan talliy, qalayi va qo`rg`oshin uchun kritik temperatura, mos ravishda 2.35K, 3.73K va 7.19K ga teng.

O`ta o`tkazgich holatning asosiy xususiyati 1933-yilda V.Meysner va R.Oshenfeld tomonidankashf qilingan va tashqi magnit maydonni o`ta o`tkazgich ichidan itarib chiqarish hodisasi Meysner effektidan iborat. O`ta o`tkazgich ferromagnitga teskari ideal diamagnetik xossasiga ega. O`ta o`tkazgich ichida magnit maydon nolga teng. Meysner effektini ichki maydonni o`zgarmasligidan iborat ideal o`tkazuvchanlikning zaruriy sharti deb hisoblash noto`g`ri ekanligini Maksvell tenglamalariga asoslangan analizdan ko`rinadi.

Magnit maydonida o`ta o`tkazuvchanlik hodisasi

Magnitning o`ta o`tkazgich holatini tashqi magnit maydon H ta`sirida buzish mumkin. Maydon kuchlanganligining ushbu qiymatini kritik cheklanganlik H_k deyiladi.(1-rasm)

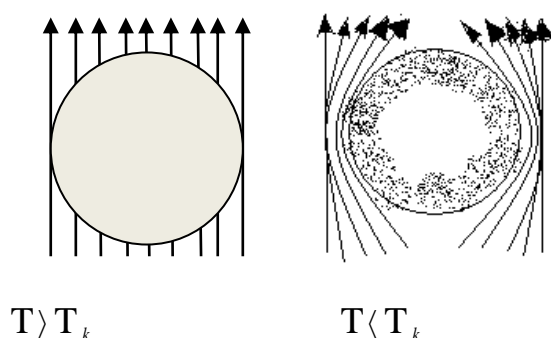


6-rasm. O`ta o`tkazuvchanlik holatiga o`tishda temperaturaning magnit maydonga ta`siri.

Agar bunday moddadan berk zanjir yasab, unda tok hosil qilinsa , u holda tok zanjirda istagancha uzoq vaqt sirkulyatsiya qilishi mumkin. Chunki tok tashuvchilar o`z energiyasini o`tkazgichni qizdirish uchun sarflamaydi.

Absolyut nolga yaqin temperaturalarda bir qator metall va qotishmalarning elektr qarshiliklari birdaniga sakrab nolga yalanadi, ya`ni modda o`ta o`tkazuvchanlik holatiga o`tadi.

O`ta o`tkazuvchanlik xususiyatiga ega bo`lgan metallarning tashqi magnit matdonga joylashtiraylik va temperaturani pasaytirib boraylik. Kritik temperaturadan yuqori ($T > T_k$) temperaturalarda metalldagi magnit maydon noldan farqli, ($T < T_k$) da esa metalldagi magnit maydon induksiyasi nolga teng ($B=0$) bo`ladi. (2-rasm)



7-rasm

Boshqacha aytganda, metal o`ta o`tkazuvchanlik holatga o`tganda magnit iduksiya chiziqlarini o`zidan itarib chiqaradi.

O`ta o`tkazgichdan qilingan biror jismni biz avval sovitib, o`ta o`tkazuvchan holatga keltirib, so`ngra induksiyasi (jism kiritilmaganda) $B_a = \mu_0 H_a$ ga teng bo`lgan tashqi magnit maydonga kiritdik deylik. Magnit maydon ulanganda o`ta o`tkazgichda qo`shimcha $B_i = \mu_0 H_i$ induksiya hosil qiluvchi induksion toklar paydo bo`ladi, bu qo`shimcha induksiya Lens qonuniga muvofiq B_a tashqi induksiyani kompensatsiyalaydi. Odatdagi o`tkazgichda induksion toklar darhol so`nadi va faqat magnitlovchi g`altak yuzaga keltirilgan oqingina qoladi. O`ta o`tkazgich bo`lgan holda esa kompensatsiyalovchi toklar mutloqo so`nmaydi va shuning uchun jism ichida natijaviy induksiya hamma vaqt $B = B_a + B_i = 0$ bo`ladi. Tashqi fazoda natijaviy induksiya chiziqlari 2-b rasmda ko`rsatilgandek bo`ladi: ularni jism o`zidan itaradi va ularn jismni aylanib o`tadi.

O`ta o`tkazuvchan holatning bu xossasi faqat elektr qarshilikning yo`qolishi bilangina bog`liq emas. Shunday o`tkazgichni ko`z oldimizga keltiraylikki, uning normal metallardan yagona farqi qarshilikning nolga tengligi bo`lsin. So`ngra, dastlab tashqi magnit maydon hosil qilamiz va keyingina o`tkazgichni uning

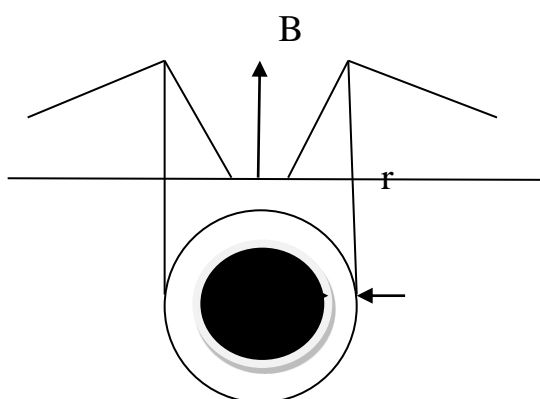
qarshiligi yo`qolguncha sovitamiz. Bunda tashqi maydon o`zgarmaydi, shuning uchun induksion toklar paydo bo`lmaydi, binobarin, qarshilik yo`qolgandan keyin ham o`tkazgich ichida magnit oqimi saqlanishi kerak. O`ta o`tkazgichlarda bu holda ham magnit oqimi yo`qoladi. Magnit induksiyaning nolga tengligi o`ta o`tkazuvchanlik holatining o`ziga xos alomatidir. Faqat magnitlovchi g`altak tufayli hosil bo`ladigan magnit maydon kuchlanganligi esa nolga teng bo`lmasligi ham mumkin. O`ta o`tkazuvchan modda magnit qabul qiluvchanlik $\chi = -1$ ga va magnit singdiruvchanligi $\mu = 1 + \chi = 0$ bo`lgan ideal diamagnetikdir deb aytish mumkin.

Bundan massiv o`ta o`tkazgich ichida tokning zichligi nolga teng bo`lishi kelib chiqadi. Haqiqatdan ham, jismning ichida magnit induksiya $B = \mu_0(H_a + H_i)$ ga teng bo`ladi. H_a va H_i maydonlarning har biri uchun magnit kuchlanish haqidagi teorema o`rinli bo`ladi va shuning uchun ixtiyoriy berk L kontur bo`ylab B dan olingan integralni hisoblasak, shunday yozish mumkin: $\int B_e dl = \mu_0 i$

Bundan i-kattalik L-kontur bilan chegaralangan ixtiyoriy sirt bo`ylab oquvchi tokning to`la kuchi. Agar L butunicha o`ta o`tkazgich ichida yotsa, u holda kontur bo`ylab olingan integral nolga teng, chunki konturning ixtiyoriy nuqtasida $B_e = 0$, binobarin, $i = 0$. O`ta o`tkazuvchi yaxlit jismda tok jismning yupqa sirtqi qatlamidagina to`plinishi mumkin.

Agar jism uzun slindr shaklidagi sim bo`lsa, u holda tashqi fazodagi H magnit maydon tokning simning kesimi bo`ylab qanday taqsimlanishiga bog`liq bo`lmaydi, balki to`liq tok kuchi bilangina aniqlanadi. To`g`ri simning sirtida magnit maydon kuchlanganligi $H_s = \frac{i}{2\pi a}$ bo`ladi, bu yerda a-simning radiusi. Simning tashqarisidan ichiga o`tishda B tez (eksponensial ravishda) 0 gacha kamayadi. Fazoda induksiya taqsimoti 3-rasmda ko`rsatilgandek bo`ladi.

8-rasm: to`g`ri simning o`ta o`tkazuvchan holatdagi magnit induksiyasi



Sirtidan B kattalik e marta kamayadigan chuqurlikkacha bo'lgan d masofa induksiyaning kirish chuqurligi deb ataladi. Bu chuqurlik turli moddalar uchun turlicha va temperatura ortish bilan u ham ortadi.

Metallning o'ta o'tkazgich holatiga o'tishi uning o'tkazuvchanlik zonasidagi elektron harakati bilan boshqa xossalari ham o'zgaradi. Jumladan, metallning issiqlik o'tkazuvchanligi, elektron issiqlik sig'imi, termoelektr yurituvchi kuch va magnit rezonans effektlarida keskin o'zgarish yuz beradi. Ushbu o'zgarishlar metallning o'ta o'tkazgich holati uning elektron strukturasi sifat jihatdan o'zgarishi bilan yuz berishini ko'rsatadi. Ayni holda, metallning holat o'zgarishini past temperaturalarda yuz berishi normal va o'ta o'tkazgich holatlarini bir-biridan energiya va entropiya jihatdan keskin farq qilmasligidan darak beradi. Bu xil holat o'zgarishlari ikkinchi tur faza o'tishlariga kiradi.

O'ta o'tkazuvchanlikning elektr maydonida kuzatilishi

O'ta o'tkazuvchanlik nazariyasi 1957-yilda Bardin, Kuper va Shriflerlar tomonidan ishlab chiqilgan (B.K.Sh nazariyasi) va H.H. Bogolyubov takomillashtirgan. Mazkur nazariyaga binoan metalldagi elektronlar bir-biridan kulon kuchlari bilan o'zaro itarishishdan tashqari, ular tortishishning maxsus turi bilan bir-birlariga tortishadilar ham. O'zaro tortishish va itarishishdan ustun bo'lganda o'ta o'tkazuvchanlik hodisasi sodir bo'ladi. O'zaro tortishish natijasida o'tkazuvchanlik elektronlari birlashib kuper juftlarini hosil qiladilar. Bunday juftlikka kirgan elektronlar qarama-qarshi yo'nalgan spinga ega bo'ladilar. Shuning uchun juftliklarning spini nolga teng va ular bezonga aylanadilar. Bezonlar asosiy energetik holatda to'planishga moyil bo'ladilar va ularni uyg'ongan holatga o'tkazish nisbatan qiyin. Agar kuper juftlar muvofiqlashgan harakatga keltirilsa shu holatda ular cheksiz uzoq vaqt qolishlari mumkin. Bunday juftlarning muvofiqlashgan harakati o'ta o'tkazuvchanlik tokini hosil qiladi.

Elektronlarning o'zaro tortishishi elektronlar va kristall panjara issiqlik tebranishlari (kristall panjaraning uyg'ongan holatlari kvazizarralar- zononlar yordamida tavsiflanishi) orasidagi o'zaro ta'sirlashish tufayli vujudga keladi. Bu ta'sirlashishda Fermi sathiga yaqin joylashgan sathlardagi elektronlar fononlarni chiqarishi (nurlantirishi) va yutishi mumkin. Mazkur jarayonni elektronlarning fononlar almashinishi (ya'ni birinchi elektron fonon chiqaradi, ikkinchisi esa bu fononni yutadi yoki aksincha) tarzda tasavvur etish mumkin. Bunday fonon almashinuv elektronlar orasidagi o'zaro ta'sirni vujudga keltirishi B.K.Sh nazariyasiga asoslanadi. O'ta o'tkazuvchanlik xususiyatiga ega bo'lgan moddalarda past temperaturalarda elektronlar orasidagi o'zaro tortishish kuchi kulon itarishish kuchidan katta bo'lib qoladi. Natijada qarama-qarshi yo'nalgan

spinli va impulsli ikki elektron “juft” bo`lib bog`lanib qoladi. Bunday juft elektronlarni bir-biriga yopishib qolgan ikki elektron tarzida tasavvar etish no`to`g`ri. Aksincha, juft elektronlar orasidagi masofa 10^{-6} m bo`lib, u kristall panjara doimiysi 10^{-10} m dan taxminan 10^4 marta katta. Binobarin, o`ta o`tkazgichlarda tabiatda kam uchraydigan uzoqdan bog`lanish sodir bo`ladi. Juft elektronlarning spini nolga teng, ya`ni ular bozonlardir. O`ta o`tkazuvchanlik nazariyasida qayd qilinganidek, bozonlar yetarlicha past temperaturalarda o`ta oquvchan holatda bo`la oladi, ya`ni ichki ishqalanishsiz oqadi. Demak, o`ta oquvchanlik boze-gaz (juft elektronlar) ning o`ta oquvchanligi deb tushunish mumkin. O`ta o`tkazuvchan moddada juft elektronlardan tashqari oddiy elektronlar ham mavjud. Shuning uchun o`ta o`tkazgichda ikki xil suyuqlik oddiy va o`ta oquvchan komponentlar mavjud, deya olamiz. O`ta o`tkazgich temperaturasi 0 K dan boshlab ortib borayotganda issiqlik harakat juft elektronlarni uzib yubora boshlaydi. Kritik temperatura T_k da esa juft elektronlar mutloqo yo`qoladi. Shuning uchun T_k dan yuqori temperaturalarda moddaning o`ta o`tkazuvchanlik xususiyati yo`qoladi.

Aytilgan gaplarni yanada boshqacharoq tushuntiradigan bo`lsak, T_k dan past temperaturalarda metallda harakatlanayotgan elektronlar, musbat ionlardan tashkil topgan metallning kristall panjarasini deformatsiyalaydi, ya`ni qutblaydi. Deformatsiya natijasida elektronlar, panjara bo`ylab elektron bilan kuchanadigan, musbat zaryadli bulut bilan chor atrofidan o`ralib qoladi. Elektronlar va uni o`rab olgan bulut boshqa elektronlarni o`ziga tortadigan, musbat zaryadlangan sistemaga aylanadi. Shunday qilib kristall panjara, elektronlar orasida tortishishni yuzaga keltiruvchi, oraliq muhit vazifasi o`tayda.

Kvant mexanikasi tili bilan aytganda bu hodisa elektronlar orasida fonon bilan almashishning natijasidir. Metallda harakatlanayotgan elektron panjaraning tebranish tartibini o`zgartirib fonon hosil qiladi (uyg`otadi). Panjaraning uyg`onish energiyasi boshqa elektronga uzatiladi, bu esa o`z navbatida fononni yutadi. Bu tarzidagi fonon almashish oqibatid elektronlar orasida, tortishish xarakteriga ega bo`lgan qo`shimcha o`zaro ta`sirlashish payda bo`ladi. Past temperaturalarda o`ta o`tkazgich moddalarda bu tortishish kulon tortishishdan ustun bo`ladi. Fonon almashish bilan bog`liq bo`lgan o`zaro ta`sirlashuvlar, impuls va spinlari qarama-qarshi bo`lgan elektronlar orasida kuchliroq namoyon bo`ladi. Natijada bunday ikkita elektron kuper juftliklarga birlashadi. Hamma o`tkazuvchanlik elektronlari kuper juftliklarni hosil qilishmaydi. Temperatura absolyut noldan farqli bo`lganda juftliklarning buzilishining ma`lum ehtimolligi mavjud. Shuning uchun har doim juftliklar bilan bir qatorda kristall bo`ylab oddiy tarzda harakatlanadigan “normal” elektronlar bo`ladi. Temperatura T_k ga yaqinlashgan sari normal elektronlarning

hissasi ortib boradi va T_k da birga teng bo`ladi. Demak, T_k dan yuqori temperaturalarda o`ta o`tkazuvchanlik holati bo`lishi mumkin emas.

O`tkazuvchanlik energetic zonasida siljiy oladigan tirqishga ega metal uchun elektron o`tkazuvchanlikni cheklovchi sochilish jarayonining yuz bermasligi kelib chiqadi. Natijada, metallda tashqi elektr maydon E ta`sirida Δp_ε impulsli elektronlar holati so`nmaydigan tok vujudga keladi.

O`ta o`tkazgichning tashqi elektr maydon bo`lmagandagi asosiy holati qarama-qarshi spinli va impulsli (ya`ni umumiy impulse nolga teng) elektron juftlari bilan xarakterlansa, tashqi maydon ta`sirida ushbu qarama-qarshi impulslar bir-biridan farq qiladi va Δp_ε natijaviy impulsni vujudga keltiradi.

O`ta o`tkazgichda tashqi elektr maydon qo`yilgandan so`ng vujudga kelgan Δp_ε va elektr toki

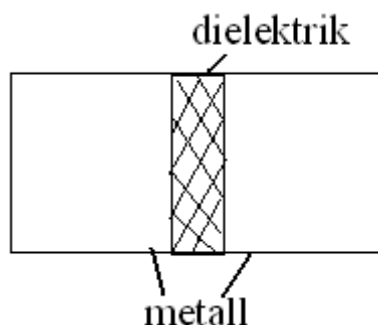
$$i = en v_\varepsilon = en \frac{\Delta p_\varepsilon}{2m_e} = \frac{en}{2m_e} e \varepsilon \Delta t = \frac{e^2 n}{2m_e} \Delta t \varepsilon \quad (1)$$

kabi vaqtga proporsional cheksiz o`shishi kerakdek tuyuladi. Aslida o`tkazgichda tokning o`shishi uni vujudga keltiradigan magnit maydon H ning ham o`shishiga olib keladi. Natijada, tashqi elektr maydon ε ga qarama-qarshi yo`nalgan induksion elektr maydon ε_{ind} vujudga keladi. Bu esa, o`z navbatida, i ga teskari induksion tokni i_{ind} hosil qiladi. i_{ind} esa induksion magnit maydonni H_{ind} vujudga keltiradi. Tashqi maydon ε ta`sirida i tokning o`shishi ma`lum vaqtdan so`ng $E_{ichki} = \varepsilon - \varepsilon_{ind} = 0$ va $H_{ichki} = H - H_{ind} = 0$ ga olib keladi. Ushbu muvozanatning saqlanishi uchun kuper juftlari (i) tokining istalgancha uzoq saqlanishi talab qilinadi. Buning uchun o`ta o`tkazgichning elektr qarshiligi nolga teng bo`lishi kerak.

Jozefson effektlari

Nihoyat yupqa ($\sim 10^{-9}$ m) dielektrik qatlam bilan bir-biridan ajratilgan ikki o`ta o`tkazgich (4-rasm) tunnel kontakt deb ataladi. Bunday qurilmadagi bir o`ta o`tkazgichdan ikkinchisiga elektronlar o`ta oladimi? Avval metal plastinkalar $T > T_k$ temperaturada, ya`ni o`ta o`tkazuvchan emas, balki normal holatda bo`lsin. Ikki metal orasidagi dielektrik qatlam elektronlar uchun potensial to`siq vazifasini bajaradi. Lekin elektron to`lqin xususiyatga ega bo`lgani uchun tunnel effekt tufayli elektronlarning dielektrik qatlamdan o`tish ehtimolligi noldan farqli bo`ladi. Lekin umumiy tok nolga teng, chunki dielektrik orqali chapdan o`ngga tomon elektronlarning o`rtacha soni o`ngdan chapga o`tgan elektronlarning o`rtacha soniga teng.

Agar tunnel kontaktidagi metallar temperaturasini $T < T_k$ gacha sovitsak, metallar o'ta o'tkazuvchan holatda bo'ladi



9-rasm

Bu holatda o'ta o'tkazgichlarda mavjud bo'ladigan juft elektronlar ham dielektrik qatlam orqali tunnel effect tufayli chapdan o'ngga va o'ngdan chapga o'tadi. Har bir o'tkazgichdagi juft elektronlar birday fazaga ega. Dielektrik qatlamda ikkala o'ta o'tkazgichdan chiqarilayotgan juft elektronlarning kogerent to'lqinlari o'zaro interfirensiyalashadi. Natijada umumiy tok qiymati

$$I = I_c \operatorname{scn}(\varphi_2 - \varphi_1) \quad (2)$$

munosabat bilan aniqlanadi. Bundagi φ_2 va φ_1 mos ravishda birinchi va ikkinchi o'ta o'tkazgichlar chiqarayotgan kogerent juft elektronlar to'lqin funksiyalarning fazalari, I_c esa tunnel kontakt orqali o'tadigan tokning maksimal qiymati.

Yuqorida bayon qilingan hodisa, ya'ni bir-biridan yupqa dielektrik qatlam bilan ajratilgan ikki o'ta o'tkazuvchan holatdagi metallardan iborat tunnel kontakt orqali elektr tok oqishi Jozefsonning statsionar effekti deb nom oldi. Shuni alohida qayd qilish kerakki, tunnel kontaktiga kuchlanish berilmaganda ham o'tkazuvchanlik toki oqadi. Metall plastinkalari o'ta o'tkazuvchan holatda bo'lgan tunnel kontakt (o'ta o'tkazgich – dielektrik- o'ta o'tkazgich) ni Jozefson elementi deb atalishining boisi ham shunda.

Endi, tunnel kontakti tashqi tok manbaiga ulab dielektrikda elektr maydon vujudga keltiraylik. Metall plastinkalar normal holatda bo'lsa (kritik temperaturadan katta $T > T_k$ lar uchun) tunnel kontakt orqali normal tunnel tok oqadi, uning qiymati qo'yilgan kuchlanishga proporsional bo'ladi.

Metall plastinkalar o'ta o'tkazuvchan holatda bo'lsa (kritik temperaturadan kichik $T < T_k$ lar uchun) tunnel kontakt orqali o'zgaruvchan o'ta o'tkazuvchanlik tok o'tadi. Xuddi tebranish konturidagi tok kabi tunnel kontaktdan o'tayotgan o'zgaruvchan tok elektromagnit to'lqinlar nurlantiradi. Jozefsonning nostatsionar effekti deb nom olgan mazkur hodisani quyidagicha kashf etiladi. O'ta

o`tkazgichda $T < T_k$ temperaturalarda vujudga kelgan juft elektronlar dielektrik qatlamdan o`tganda $2eU$ energiyaga ega bo`ladi. Ikkinchi plastikaga o`tgach, juft elektronlar o`z energiyalarini kamaytirib muvozanat holatga o`tishi kerak. Metall plastinka normal holatda bo`lganda kristall panjara bilan bir necha to`qnashuvda ortiqcha energiya issiqlikka aylangan bo`lardi. Lekin metal plastinka o`ta o`tkazuvchan holatda bo`lgani uchun elektr qarshilik nolga teng. Binobarin kristall panjara bilan to`qnashuvlar ham bo`lmaydi. Juft elektronning dielektrik qatlamdan o`tish chog`ida erishgan $2eU$ miqdordagi energiya ulushi esa elektromagnit to`lqin kvanti tarzida nurlantiradi.

Londonlar tenglamasi

O`ta o`tkazgichlarning issiqlik sig`imi, elektromagnit to`lqinlarni yutishi va qaytarishi ham, oddiy metallardan boshqacha bo`ladi. O`ta o`tkazuvchanlikning mikroskopik nazariyasi juda keng va o`ziga xos bo`lib, maxsus matematik apparatdan foydalanishni taqozo etadi. Shuning uchun biz F.London va G.London tomonidan birinchi marta ishlab chiqilgan, magnit maydon va tokning o`ta o`tkazgichdagi taqsimotini aniqlashga imkon beruvchi fenomenologik nazariyani bayon etish bilan kifoyalanamiz. Bu nazariya “ikki suyuqlik” modeliga asoslanadi. Unga ko`ra o`ta o`tkazuvchan holatdagi metall ikki xil normal(n) va o`ta o`tkazuvchan (n_s) elektronlar mavjud deb hisoblanadi. Normal elektronlar metallning odatdagi erkin elektronlari bo`lib, ular metal ichida harakatlenganda sochilishadi va ma`lum qarshilikka uchraydi, o`ta o`tkazuvchan elektronlar esa metal ichida hech qanday qarshiliksiz harakatlanadi deb qaraladi. O`ta o`tkazuvchan holatdagi metalldan o`tuvchan to`liq to kana shu ikki xil elektronlar tomonida hosil qilingan toklar yig`indisiga teng:

$$\vec{j} = \vec{j}_n + \vec{j}_s \quad (3)$$

Temperatura kritik temperaturadan katta bo`lganda ($T > T_k$) barcha elektronlar normal holatda bo`ladi, $T < T_k$ da esa ular normal va o`ta o`tkazuvchan holatlarda bo`lishi mumkin, ammo o`ta o`tkazuvchan elektronlar hech qanday qarshilikka uchramaganligi sababli har qanday kuchsiz nostatsionar elektr maydon ta`sirida yuzaga keluvchi tok to`liq ranishda ana shu elektronlar tomonidan olib o`tiladi, normal elektronlar bunda deyarli ishtirok etmaydi. Shuning uchun biz asosan H_s o`ta o`tkazuvchan elektronlar toki $j = j_s$ bilan ish ko`ramiz. O`ta o`tkazgich ichida \vec{E} elektr maydon bo`lsa, uning ta`sirida har bir o`ta o`tkazuvchan elektron tezlanish oladi va uning harakat tenglamasi