

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

Guliston Davlat Universiteti

«Umumiy fizika» kafedrası

Atom fizikasi

KURS ISHI

MAVZU: O'ta o'tkazuvchalik

Guliston – 2015

Reja:

Kirish

Asosiy qism

- 1.O`ta o`tkazuvchalik holatidagi modda xossalari
- 2.Magnit matdonida o`ta o`tkazuvchanlik hodisasi
- 3.O`ta o`tkazuvchanlikga elektr maydoning ta`siri
4. Jozefson effektlari
- 5.Londonlar tenglamasi

Xulosa

Foydalanilgan adabiyotlar

Kirish

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 qarshilik 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 temperature 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. Ushbu kurs ishimda moddalarning o'ta o'tkazuvchanlik holatidagi xossalari va ularga elektr va magnit maydonlarining ta'siri o'rganilib chiqiladi.

Asosiy qism

1.O'ta o'tkazuvchanlik holatidagi modda xossalari.

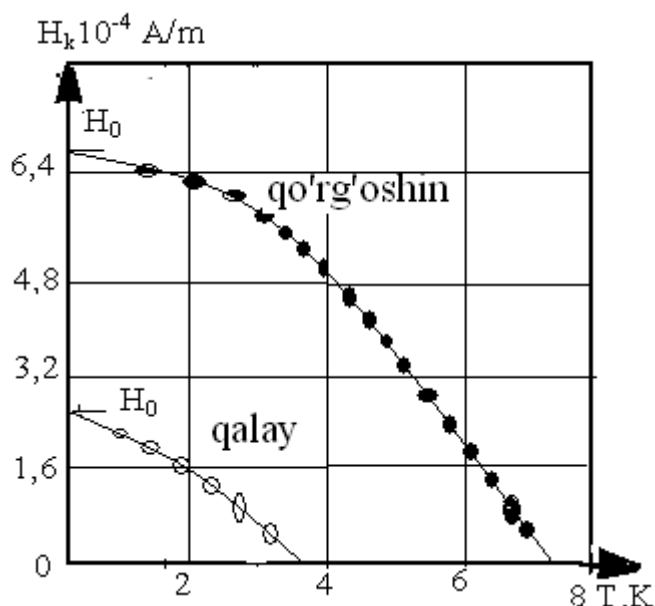
Hozirgi paytgacha o'ta o'tkazuvchanlik hodisasi ustida keng miqyosda izlanishlar olib borilmoqda va bu hodisani tushuntirish borasida katta yutuqlarga erishilgan. O'rganishlar asosida hozirgi vaqtda yigirmadan ortiq sof metallar, yuzdan ortiq qotishma va ximiyaviy birikmalardan iborat o'ta o'tkazgichlar 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 o'tkazgichlardan 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.Meyssner va R.Oshenfeld tomonidankashf qilingan va tashqi magnit maydonni o'ta o'tkazgich ichidan itarib chiqarish hodisasi Meyssner effektidan iborat. O'ta o'tkazgich ferromagnitga teskari ideal diamagnetik xossasiga ega. O'ta o'tkazgich ichida magnit maydon nolga teng. Meyssner effektini ichki maydonni o'zgarmligidan iborat ideal o'tkazuvchanlikning zaruriy sharti deb hisoblash noto'g'ri ekanligini Maksvell tenglamalariga asoslangan analizdan ko'rinadi.

2.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)

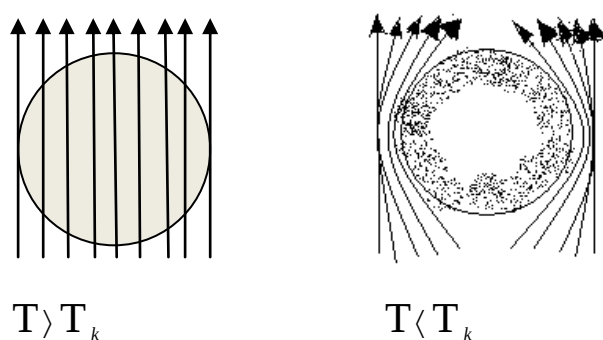


1-rasm. O`ta o`tkazuvchanlik holatiga o`tishda temperaturaning magnit maydonga ta`siri.

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)



2-rasm

Boshqacha aytganda, metal o`ta o`tkazuvchanlik holatga o`tganda magnit induksiya 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 induksiyaning kompensatsiyalaydi. Odatdagi o'tkazgichda induksion toklar darhol so'nadi va faqat magnitlovchi g'altak yuzaga keltirilgan oqimgina 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 ularni jismni aylanib o'tadi.

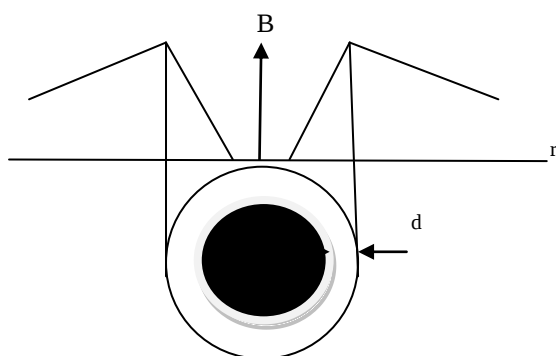
O'ta o'tkazuvchan holatning bu xossasi faqat elektr qarshilikning yo'qolishi bilangina bog'liq emas. Shunday o'tkazgichni ko'z oldimizga keltiraylikki, uning normal metallardan yagona farqi qarshilikning nolga tengligi bo'lsin. So'ngra, dastlab tashqi magnit maydon hosil qilamiz va keyingina o'tkazgichni 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: $\oint B_e dl = \mu_0 i$

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.

3-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.

3. O'ta o'tkazuvchanlikning elektr maydonida kuzatilishi

O'ta o'tkazuvchanlik nazariyasi 1957-yilda Bardin, Kuper va Shrifferlar 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 yoʻnalgan spinga ega boʻladilar. Shuning uchun juftliklarning spini nolga teng va ular bezonga aylanadilar. Bezonlar asosiy energetik holatda toʻplanishga moyil boʻladilar va ularni uygʻongan holatga oʻtkazish nisbatan qiyin. Agar kuper juftlar muvofiqlashgan harakatga keltirilsa shu holatda ular cheksiz uzoq vaqt qolishlari mumkin. Bunday juftlarning muvofiqlashgan harakati oʻta oʻtkazuvchanlik tokini hosil qiladi.

Elektronlarning oʻzaro tortishishi elektronlar va kristall panjara issiqlik tebranishlari (kristall panjaraning uygʻongan holatlari kvazizarralar- zononlar yordamida tavsiflanishi) orasidagi oʻzaro taʼsirlashish tufayli vujudga keladi. Bu taʼsirlashishda Fermi sathiga yaqin joylashgan sathlardagi elektronlar fononlarni chiqarishi (nurlantirishi) va yutishi mumkin. Mazkur jarayonni elektronlarning fononlar almashinishi (yaʼni birinchi elektron fonon chiqaradi, ikkinchisi esa bu fononni yutadi yoki aksincha) tarzda tasavvur etish mumkin. Bunday fonon almashinuv elektronlar orasidagi oʻzaro taʼsirni vujudga keltirishi B.K.Sh nazariyasiga asoslanadi. Oʻta oʻtkazuvchanlik xususiyatiga ega boʻlgan moddalarda past temperaturalarda elektronlar orasidagi oʻzaro tortishish kuchi kulon itarishish kuchidan katta boʻlib qoladi. Natijada qarama-qarshi yoʻnalgan spinli va impulsli ikki elektron “juft” boʻlib bogʻlanib qoladi. Bunday juft elektronlarni bir-biriga yopishib qolgan ikki elektron tarzida tasavvur etish noʻtoʻgʻri. Aksincha, juft elektronlar orasidagi masofa 10^{-6} m boʻlib, u kristall panjara doimiysi 10^{-10} m dan taxminan 10^4 marta katta. Binobarin, oʻta oʻtkazgichlarda tabiatda kam uchraydigan uzoqdan bogʻlanish sodir boʻladi. Juft elektronlarning spini nolga teng, yaʼni ular bozonlardir. Oʻta oʻtkazuvchanlik nazariyasida qayd qilinganidek, bozonlar yetarlicha past temperaturalarda oʻta oquvchan holatda boʻla oladi, yaʼni ichki ishqalanishsiz oqadi. Demak, oʻta oquvchanlik boze-gaz (juft elektronlar) ning oʻta oquvchanligi deb tushunish mumkin. Oʻta oʻtkazuvchan moddada juft elektronlardan tashqari oddiy elektronlar ham mavjud. Shuning uchun oʻta oʻtkazgichda ikki xil suyuqlik oddiy va oʻta oquvchan komponentlar mavjud, deya olamiz. Oʻta oʻtkazgich temperaturasi 0 K dan boshlab ortib borayotganda issiqlik harakat juft elektronlarni uzib yubora boshlaydi. Kritik temperatura T_k da esa juft elektronlar mutloqo yoʻqoladi. Shuning uchun T_k dan yuqori temperaturalarda moddaning oʻta oʻtkazuvchanlik xususiyati yoʻqoladi.

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'taydi.

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 tarzda 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 hissi 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 energetik 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_e 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 impulsar bir-biridan farq qiladi va Δp_e natijaviy impulsni vujudga keltiradi.

O'ta o'tkazgichda tashqi elektr maydon qo'yilgandan so'ng vujudga kelgan Δp_e va elektr toki

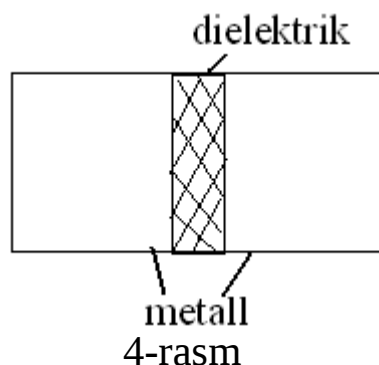
$$i = en v_{\varepsilon} = en \frac{\Delta p_{\varepsilon}}{2m_e} = \frac{en}{2m_e} e \varepsilon \Delta t = \frac{e^2 n}{2m_e} \Delta t \varepsilon \quad (1)$$

kabi vaqtga proporsional cheksiz o'sishi kerakdek tuyuladi. Aslida o'tkazgichda tokning o'sishi uni vujudga keltiradigan magnit maydon H ning ham o'sishiga 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'sishi 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.

4. 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



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 interfrensionalashadi. Natijada umumiy tok qiymati

$$I = I_c \sin(\varphi_2 - \varphi_1) \quad (2)$$

munosabat bilan aniqlanadi. Bunday 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 kontaktni 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.

5. 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 harakatlanganda 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

$$m \frac{dv_s}{dt} = e \vec{E} \quad (4)$$

bo'ladi (v_s - o'ta o'tkazuvchan elektronlarning elektr maydoni ta'siridagi tartiblashgan harakatning o'rtacha tezligi). U holda

$$\vec{j} = \vec{j}_s = en_s \vec{v}_s \quad (5)$$

bo'ladi. Buni (4) ga qo'yib

$$\frac{d\vec{j}_s}{dt} = \frac{n_s e^2}{m} \vec{E} \quad (6)$$

tenglamani olamiz. Bu tenglama

$$\text{rot } \vec{E} = -\frac{v}{vt} \vec{B} \quad (7)$$

$$\text{rot } \vec{B} = \mu_0 \vec{j}_s \quad (8)$$

Maksvell tenglamalari bilan birgalikda ideal o'tkazgichdagi tok zichligi va magnit maydonni aniqlaydi. Ammo o'ta o'tkazgichdagi tok zichligi va magnit maydonni aniqlash uchun F.London va G.London o'ta o'tkazgich ichida $\vec{B}=0$ bo'lishini ta'minlovchi qo'shimcha shart qabul qilish kerakligini ko'rsatishdi. Ana shu shartni aniqlaylik. (6)ni (7) ga qo'yib, quyidagini hosil qilamiz.

$$\frac{v}{vt} (\text{rot } \vec{j}_s \frac{n_s e^2}{m} \vec{B}) = 0 \quad (9)$$

Bu tenglama Maksvell tenglamasi bilan birga, ideal o'tkazgichlardagi $\vec{j}$ va $\vec{B}$ lar taqsimotini aniqlaydi. Haqiqatdan (9) ga ko'ra

$$\text{rot } \vec{j}_s + \frac{n_s e^2}{m} \vec{B} = \text{const} \quad (10)$$

bo'lib, vaqtga bog'liq emas. Bu tenglama ideal o'tkazgichlar uchungina o'rinli. F.London va G.London o'ta o'tkazgichlardagi maydon (10) tenglamanigina emas, balki

$$\text{rot } \vec{j}_s + \frac{n_s e^2}{m} \vec{B} = 0 \quad \text{yoki} \quad \text{rot } \vec{j}_s = -\frac{n_s e^2}{m} \vec{B} \quad (11)$$

tenglamani ham qanoatlantirishi kerak deb hisoblashdi. (11) tenglama Londonlar tenglamasi deb yuritiladi. (9) va (11) tenglamalar birgalikda o'ta o'tkazgichlardagi $\vec{j}_s$ va $\vec{B}$ lar taqsimotini aniqlaydi. Ularning har ikki tomoniga rotor operatsiyasini qo'llab

$$\text{rot rot } \vec{B} = \mu_0 \text{rot } \vec{j}_s = -\frac{I}{\lambda_2} \vec{B} \quad (12)$$

$$\text{rot} \vec{j}_s = -\frac{n_s e^2}{m} \text{rot} \vec{B} = -\frac{I}{\lambda_2} \vec{j}_s \quad (13)$$

ifodalarni olamiz yoki rotrot operatsiyasini odatdagidek o'zgartirib, $\text{div} \vec{B} = 0$, $\text{div} \vec{j}_s = 0$ ekanligini e'tiborga olsak

$$\Delta \vec{B} = \frac{I}{\lambda_2} \vec{B} \quad (14)$$

$$\Delta \vec{j}_{s0} = \frac{I}{\lambda_2} \vec{j}_s \quad (15)$$

Tenglamalar kelib chiqadi. Bulardan

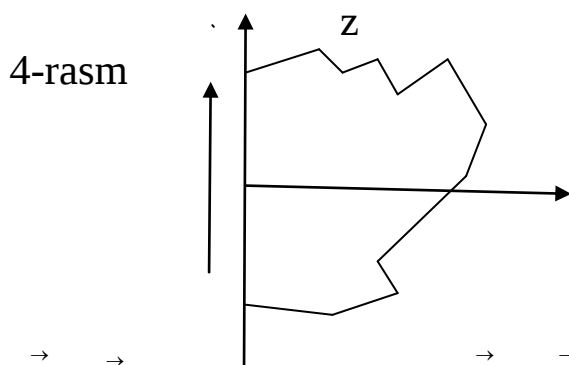
$$\Lambda = \left(\frac{m}{\mu_0 n_s e^2} \right)^{1/2} \quad (16)$$

Belgilash kiritildi. (14) va (15) tenglamalarning, xususan rasmda ko'rsatilgan hol uchun, fizik ma'noga ega bo'lgan yechimlari

$$\vec{B}(x) = \vec{B}_0 e^{-x/\Lambda}$$

$$\vec{j}_s(x) = \vec{j}_{s0} e^{-x/\Lambda}$$

ko'rinishga ega bo'ladi.



$$\vec{B}_0 = \vec{B}(0)$$

$$\vec{j}_{s0} = \vec{j}_s(0)$$

magnit maydon vat ok zichligining o'ta o'tkazgich sirtidagi kattaliklari. Ko'ramizki, tok zichligi va magnit maydon asosan o'ta o'tkazgichlar sirtiga yaqin bo'lgan Λ qalinlikdagi yupqa qatlamdagina bo'ladi. Hisoblashlarning ko'rsatishicha, $\Lambda \approx 10^2 : 10^3 \text{ A}^{-1} = 10^{-5} : 10^{-6} \text{ sm}$ ga teng

Xulosa

O'ta o'tkazuvchanlik haqidagi bor ma'lumotlar majmui shunday xulosa qilishga imkon beradi: o'ta o'tkazuvchan moddalarda elektronlar tabiati ikki suyuqlikning aralashmasi singari, ya'ni o'ta o'tkazuvchan elektronlar va normal elektronlar aralashmasidan iborat bo'lar ekan. n_o o'ta o'tkazuvchan elektronlar va normal n_n elektronlar konsentratsiyasi temperaturaga bog'liq bo'ladi. $T \gg T_{kr}$ bo'lganida $n_o = 0$ va barcha

elektronlar normal holatida bo'ladi. $T \rightarrow 0$, $n_n \rightarrow 0$ bo'lganida barcha elektronlar o'ta o'tkazuvchan bo'lib qoladi.

O'ta o'tkazuvchanlik holatidan normal holatga o'tish tashqi magnit maydonda ro'y bersa ya'ni $T < T_{kr}$ bo'lsa, u holda o'zgarmas temperaturada o'tish uchun tashqaridan issiqlik keltirish kerak bo'ladi. Bunday holda endi yashirin o'tish issiqligi nolga teng bo'lmaydi, bu tur 1-tur fazoviy o'tish bo'ladi. Moddaning issiqlik sig'imi esa $T = T_{kr}$ da sharsimon o'zgarishida fazoviy o'tishlar 2-tur o'tishlar deb ataladi.

1986-yilda Shvetsariyalik olimlar D.bernard va K.Myullerlar $T = 30K$ dan yuqori temperaturada keramika-lantan-bariy-mis-kislorod aralashmasidan iborat moddada o'tkazuvchanlik hodisasini ochdilar. O'sha yilning o'zida Yaponiya, AQSh va Xitoyda ham keramika-lantan-stronsiy-mis-kisloroddan iborat qotishmada o'ta o'tkazuvchan moddani hosil qildilar. Xuddi shuningdek, Rossiya fanlar akademiyasining fizika instituda A.Golovashkin rahbarligidagi laboratoriyada yuqori temperaturali o'ta o'tkazuvchan modda hosil qilindi. Uning temperaturasi $T = 90:100K$ ga teng.

Hozirgi paytda AQSh va Rossiya fanlari akademiyasida keramika materiallardan tayyorlangan yangi o'ta o'tkazuvchan moddalar hosil qilingan bo'lib, ulardan o'ta o'tkazuvchanlik hpdisasi $T = 250K$ dan boshlab ($-23\text{ }^{\circ}C$)kuzatiladi. Lekin bu holat turg'un bo'lmay, ba'zan o'zining xossasini yo'qotadi. Hozirgi paytda bunday moddalarning o'ta o'tkazuvchanlik holatiga o'tishlarining tabiatini o'rganish va yangi o'ta o'tkazuvchan moddalarni aniqlash sohasida katta ilmiy tadqiqot ishlari davom etmoqda.

D.Bernard va K.Myuller rekordi bir necha oy davomida bir necha marta orqada qoldirildi, nihoyat 1987-yilda P.Chu rahbarligidagi bir guruh amerika olimlari o'ta o'tkazuvchanlik holatiga o'tish kritik temperaturasi $T = 93K$ bo'lgan itriy-bariy-mis oksidi tarkibli keramika haqida xabar qildilar. Bu ajoyib voqea edi, chunki oson va arzon suyuq azotning qaynash temperaturasi $77K$ bo'lib, yuqoridagi keramik birikmani o'ta o'tkazuvchan holatga o'tkazish uchun shu suyuq azotning o'zi kifoya bo'ldi. O'ta o'tkazuvchan materiallarning texnikada keng qo'llanilishi imkoniyati ochildi.

Yuqori temperaturali o'ta o'tkazuvchan qo'llanishi mumkin sohalardan biri electron texnikadir. Bu asosda integral sxemalarda elementlar zichligini $10 / \text{sm}$ ga yetkazish mumkin.

Transport sohasida ham o'ta o'tkazuvchanlik katta samasra beradi. Kelejakda o'ta o'tkazuvchan materiallardan elektr harakatlantirgich

yasash mumkin. Uning hajmi o`shanday quvvatli odatdagisidan 10marta kichik bo`ladi.

Materiallardan magnet osmali transport elektro energiya jamg`argichlar MID- generatorlar va elektr energiyani uzatish yo`llari ishlab chiqishda foydalansa bo`ladi.

Ba`zi moddalarning kritik temperaturasi va kritik magnit maydon

Modda nomi	T_k , K kritik temperaturasi	B_k , vb/m ² kritik magnet maydon
Alyuminiy	1.175	0.016
Qalay	3.72	0.031
Nioboy	8.7	0.20
Qo`rg`oshin	7.18	0.0802
Titan	0.39	0.010
Vannadiy	5.13	0.134
Titan-vannadiy	7.99	-
Niobiy-qalay	17.9	-

Glossariy

Bozon-nol yoki butun sonli spinga ega bo`lgan zarra yoki kvazizarra.

Diamagnetik- tashqi magnetik maydonga qarama-qarshi yo`nalgan magnitlanganlik vujudga keladigan modda.

Dielektrik- elektrik tokni deyarli o`tkazmaydigan moddalar, ular qattiq, suyuq va gazsimon bo`lishi mumkin, tashqi elektrik maydonda qutblanadi.

Elektr maydon- elektr zaryadlar yoki o`zgaruvchan magnetik maydon hosil qilgan fizikaviy matdon.

Ferromagnetik- muayyan haroratdan pastroq atomlar yoki ionlar magnetik momentlarining (nometall kristallda) yo jamlashgan elektronlar magnetik momentlarining (metal kristallarda) ferromagnetik o`rnashadigan modda.

Fonon- kristall panjaradagi elastic to`lqinga mos keluvchi kvazizarra.

Induksion tok – yopiq konturda induksion elektrik yurituvchi kuch yuzaga keltirgan elektrik tok.

Kuper jufti- ikki fermionning Fermi suyuqlikka aylanishi, masalan. Metalldagi Boze-Enshteyn taqsimotiga bo`ysunuvchi ikki elektronning metallardagi o`taq o`tkazuvchanlikni hamda geliyning o`ta oquvchanligini ta`minlovchi qo`shiluvchi.

Kritik harorat- 1)moddaning kritik holatdagi harorati; 2) o`tkazgichning o`ta o`tkazuvchan holatdan normal holatga o`tish harorati.

Londonlar tenglamasi- o'ta o'tkazgichlarda magmetik maydonning taqsimlanishini tavsiflovchi fenomenologik tenglama.

Magnit maydon- magnit o'zaro ta'sir sodir bo'ladigan kuch maydoni

Spin – (ing. aylanmoq)- mikrozarraning xususiy impuls momenti.

Solishtirma qarshilik- namunaviy dielektrikning qarshiligini bir birlik uzunlikka ko'paytmasiga teng bo'lgan skalyar kattalik.

O'ta o'tkazgich- o'ta o'tkazuvchanlik xossasiga ega bo'lgan modda.

O'ta o'tkazuvchanlik- past haroratlarda ba'zi bir moddalar elektrik qarshiliklarining sakrash bilan nolga tushish hodisasi.

O'tkazuvchanlik toki- o'tkazgichda elektrik maydon ta'sirida yuzaga keluvchi elektrik tok.

O'ta oquvchanlik- suyuqlikning tor naylar va tirqishlardan ishqalanishsiz oqadigan holati.

Jozefson samarasi- o'ta o'tkazuvchanlik tokining ikki o'ta o'tkazgichni bo'lib turuvchi yupqa dielektrik qatlami bo'yicha oqishi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. R.Bekjonov B.Ahmadxo'jayev "Atom fizikasi" Toshkent-"O'qituvchi" nashriyoti 1979-yil
2. A.O'.Rahimov,.B.O.Otaqulov "Eektrodinamika va nisbiylik nazariyasi" I-kitob
Toshkent –"O'qituvchi" nashriyoti 1985-yil
3. O.Ahmadjonov "Fizika kursi" III tom Toshkent-"O'qituvchi" nashriyoti 1988-yil
4. N.Sultonov "Fizika kursi" Toshkent-"Fan va texnologiya" 2007-yil
5. A.Teshaboyev S.Zaynobiddinov Sh.Ermatov "Qattiq jism fizikasi" Toshkent –"Moliya" nashriyoti 2001-yil
6. S.G.Kalashnikov "Elektr" Toshkent-"O'qituvchi" nashriyoti 1979-yil
7. R.Sproul "Sovryomennaya fizika" 1979-yil
8. <http://www.gduportal.uz>.
9. <http://www.ZiyoNet.uz>.