

BIOLOGIYA-TUPROQSHUNOSLIK FAKULTETI FIZIOLOGIYA VA
BIOFIZIKA KAFEDRASI 5A140105-BIOFIZIKA MUTAXASSISLIGI
BIOFIZIKANING MURAKKAB SISTEMALARI VA
RADIOELEKTRONIKA FANIDAN

REFERAT

Yuqori o'tkazuvchanlik. Magnetiklar

BAJARDI: 2-kurs magistranti Karimova Z.M.

QABUL QILDI: b.f.d., professor Mirxodjayev U.Z.

Toshkent-2015

Yuqori o'tkazuvchanlik. Magnetiklar

Reja:

- 1. O'ta o'tkazuvchanlik**
- 2. Ferromagnitizmning tabiati**
- 3. Ferromagnetizm nazariyasi elementlari**
- 4. Ferritlar**
- 5. Antiferromagnitizm**

1. O'ta o'tkazuvchanlik.

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

Bunday temperatura kritik temperatura deyiladi va T_k bilan belgilanadi.

O'tkazgich solishtirma harshiligining temperaturaga bog'likligi quyidagi formula bilan ifodalanadi (5.1-rasm):

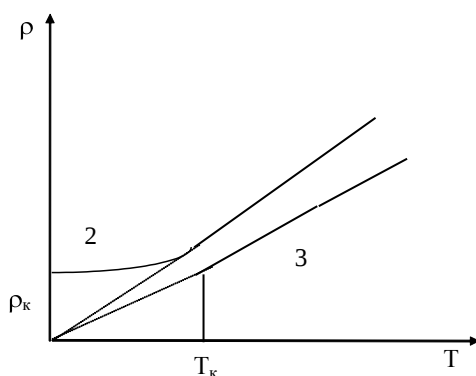
$$\rho = \rho_0 (1 + \alpha t) \quad (5.1)$$

bunda ρ_0 - $T=0$ gradusdagi o'tkazgichning solishtirma harshiligi; α - qarshilikning temperatura koeffitsiyenti.

Turli metallar uchun T_k turlicha. Masalan, simob uchun $T_k = 4,1$ K, qo'rg'oshin uchun $T_k = 7,3$ K. Umuman T_k o'ta o'tkazuvchanlik kuzatiladigan o'tkazgichlarda 20 K Yuqori emas. Lekin, o'ta o'tkazuvchan moddalarni Yuqori temperaturalarda ham hosil qilish bo'yicha ilmiy izlanishlar davom etib kelmoqda.

1986 yilda Shvetsariyalik olimlar Dj.Bednorts va K. Myullerlar $T=30$ K dan Yuqori temperaturada keramika-lantan-bariy-mis-kislorod aralashmasidan iborat moddada o'ta o'tkazuvchanlik hodisasini ochdilar. O'sha yilning o'zida Yapo-niya, AQSh va Xitoyda ham keramika-lantan-strontsiy-mis-kisloroddan iborat qotishmada ($T=40-50$ K) o'ta o'tkazuvchan moddani hosil qildilar. Xuddi shuningdek, Rossiya fanlar akademiyasining fizika institutida A.Golovashkin rahbarligidagi laboratoriyada Yuqori temperaturali o'ta o'tkazuvchan modda hosil qilindi. Uning temperaturasi $T=90-100$ K ga teng.

Hozirgi paytda AQSh va Rossiya fanlar akademiyasida keramik materiallardan tayyorlangan yangi o'ta o'tkazuvchan moddalar hosil qilingan bo'lib, ularda o'ta o'tkazuvchanlik hodisasi $T=250$ K dan boshlab (-23^0) 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.

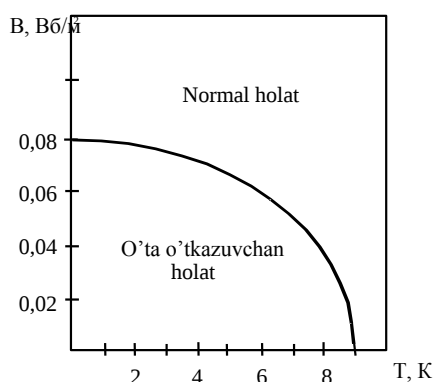


Tajribada o'ta o'tkazuvchanlik holatini ikki usulda kuzatish mumkin:

1. Tok o'tayotgan umumiy elektr zanjirga o'ta o'tkazgichdan iborat qismni qo'shish (ulash) yo'li bilan, bunda o'ta o'tkazuvchanlik holatga o'tayotganda qismning uchlaridagi potentsiallar ayrimasi ($U = 2 - 1 = 0$) nolga aylanadi.
2. O'ta o'tkazuvchan moddadan yasalgan halqani unga perpendikulyar bo'lgan magnit maydoniga joylashtirgandan so'ng, halqa T_K dan past temperaturaga sovuganda magnit maydonini uzish usuli bilan, bunda magnit maydon induksiyalagan tok halqada chekiz uzoq aylanib turaveradi.

Xuddi shunday tajribani 1911 yilda golland fizigi G.Kamerling - Onnes amalga oshirib o'ta o'tkazuvchanlik hodisasini kashf etdi.

1959 yilda Kollinz 2,5 yil davomida ham halqadagi tokning kamaymaganligini aniqladi. O'ta o'tkazuvchi moddalarda elektr qarshilikning yo'holishdan tashqari, ularga magnit maydoni ham kiraolmasligi aniqlandi, ya'ni ular magnit maydonini to'lasicha siqib chiqaradi. Bu hodisa Mayssner effekti deyiladi. Demak, o'ta o'tkazuvchan moddada $\mu = 0$, ma'lumki $\mu < 1$ moddalarni diamagnitliklar deyiladi. Demak, o'ta o'tkazgichlar ham ideal diamagnitliklardir.



5.2 -rasm.

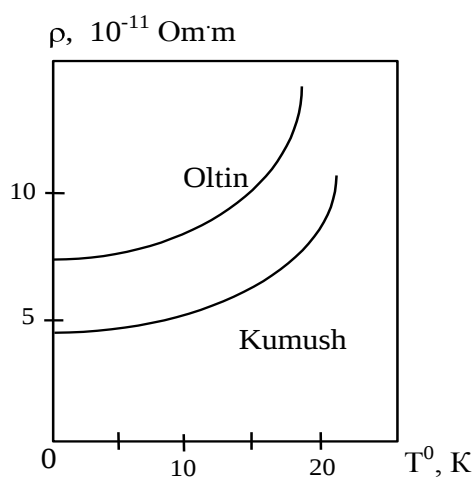
Metallar o'ta o'tkazuvchan holatga o'tganda ularni boshqa xossalari o'zgaradi (elektronlarning o'tkazuvchanlik zonasida harakati natijasida). Bu xossalarga ularning issiqlik sig'imi, issiqlik o'tkazuvchanligi, termo EDS lar kiradi.

Demak, metallarning normal va o'tkazuvchanlik holatlari ularning elektron strukturasi sifatidan farqlanishi bilan xarakterlanadi. Shu ikki faza chegarasida temperatura tashqi magnit maydoniga ta'sir ko'rsatadi. Bu bog'lanish $B = B_0(1 - T^2/T_K^2)$ rasmda keltirilgan.

Aytish joizki, oddiy sharoitlarda yaxshi o'tkazgich xisoblangan (kumush, mis va oltin) jismlar o'ta o'tkazuvchanlik xossasiga ega emas (5.3-rasm), chunki, quyida ko'ramiz, o'tkazuvchan moddalar uchun elektron - fonon o'zaro ta'sir asosiy rol o'ynaydi.

O'ta o'tkazuvchanlik nazariyasi 1957 yilda Bardin, Kuper va Shrifferlar tomonidan ishlab chiqilgan (BKSh). Mazkur nazariyaga binoan metalldagi elektronlar bir-birlaridan kulon kuchlari bilan o'zaro itarishishdan tashhari, ular, tortishishning maxsus turi bilan, bir-birlariga tortishadilar ham. O'zaro tortishish itarishishdan ustun bo'lganda o'ta o'tkazuvchanlik hodisasi sodir bo'ladi. O'zaro tortishish natijasida o'tkazuvchanlik elektronlari birlashib kuper juft-larni hosil qiladilar. Bunday juftlikka kirgan elektronlar qarama-qarshi yo'nalgan spinga ega bo'ladilar. Shuning uchun juftliklarning spini nolga teng va ular bozonga aylanadilar. Bozonlar asosiy energetik holatda to'planishga moyil bo'ladilar va ularni uyg'ongan holatga o'tkazish nisbatan qiyin. Agar ku-per juftlar muvofiqlashgan harakatga keltirilsa shu holatda ular cheksiz uzoq vaqt holishlari mumkin. Bunday juftlarning muvofiqlashgan harakati o'ta o'tkazuvchanlik tokini hosil qiladi.

Aytilgan gaplarni kengroq tushuntiramiz. T_k dan past temperaturalarda metalda harakatlanayotgan elektronlar, musbat ionlardan tashkil topgan metallning kristall panjarasini diformatsiyalaydi (qutblaydi). Deformatsiya natijasida elektron, panjara bo'ylab elektron bilan ko'chadigan, musbat zaryadli bulut bilan chor atrofidan o'ralib qoladi.



Elektron 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 vazifasini o'taydi.

Kvant mexanikasi tili bilan aytganda bu hodisa elektronlar orasida fanon bilan almashishning natijasidir. Metalda harakatlanayotgan elektron panjaraning tebranish tartibini o'zgartirib fonon hosil qiladi (yo'qotadi). Panjaraning uyg'onish energiyasi boshqa elektronga uzatiladi, u esa o'z navbatida fanonni yutadi. Bu tarzda fonon almashinish oqibatida elektronlar orasida, tortishish xarakteriga ega bo'lgan qo'shimcha o'zaro tasirlashish paydo bo'ladi. Past temperaturalarda o'ta o'tkazgich moddalarda bu tortishish kulon tortishishdan ustun bo'ladi. Fanon almashinish bilan bog'liq bo'lgan o'zaro tasirlashish, 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 juftlarning buzilishining ma'lum ehtimolligi mavjud. Shuning uchun xar doim juftliklar bilan bir qatorda kristall bo'ylab oddiy tarzda harakatlanadigan "normal" elektronlar bo'ladi. Temperatura T_k ga yaqinlashgan sari normal elektronlarning hisasi ortib boradi va T_k da 1ga teng bo'ladi. Demak, T_k dan yuqori temperaturalarda o'ta o'tkazuvchanlik holati bo'lishi mumkin emas.

Elektronlar jufti (kuper juftlari) ning hosil bo'lishi metallning energetik spektrini o'zgarishga olib keladi.

Elektron sistemani uyg'otish uchun (o'ta o'tkazuvchanlik holatida) xech bo'lmasa, bitta elektronlar jufti orasidagi bog'lanishni buzish kerak, buning uchun $E_{bog'}$ energiyasiga teng energiya berish kerak. Demak, o'ta o'tkazuvchan holatda energetik spektrda $E_{bog'}$ ga teng bo'lgan energetik tirqish paydo bo'ladi, bu tirqish Fermi sathi sohasida joylashgan. Demak, o'ta o'tkazuvchan holatda, elektron

sistemaning uyg'ongan holati asosiy holatdan E bog' energetik tirqish bilan ajralgan bo'ladi. Shuning uchun ular orasidagi kvant o'tishlar doimo bo'lavermaydi. Kichik tezliklarda elektron sistema uyg'onmaydi, bu esa harakatni qarshiliksiz bo'lishiga, ya'ni elektr qarshilikning yo'holishini ko'rsatadi. Temperaturaning ortishi bilan $E_{\text{bog'}}$ kengligi kichrayadi va T_k da $E_{\text{bog'}}$ =0 ga aylanadi. O'z navbatida barcha elektron juftlari buziladi va jism normal holatga o'tadi.

2. Ferromagnitizmning tabiati.

Jismlar magnitlanganda magnit momentlari vujudga keladi,

$$P_m = j_m V,$$

bunda j_m magnitlanish intensivligi, V jism hajmi. P_m magnit momenti maydonga joylashtirilgan alohida atomlar magnit momentlarini yig'indisidan hosil bo'ladi,

$$\vec{P}_m = \sum_{i=1}^n \vec{P}_{ai} \dots$$

$\vec{H}$ maydonida tartibli joylashgan P_m , mexanik moment L ni tartibli joylashti-radi. Chunki, jism magnitlanguncha L mexanik moment nolga teng, ammo magnit momenti P_m hosil bo'lishi bilan unga teskari yo'nalgan mexanik moment L paydo bo'ladi.

Bu momentlar nisbati

$$\frac{\vec{P}_{m,o}}{\vec{L}_0} = -\frac{e}{2m}$$

ifodalanadi. Ferromagnit jismlar magnitlashganda, ularda mexanik momen-tining paydo bo'lishini Eynshteyn va de-Gaaz, hamda Ioffe va Kapitsa tomoni-dan o'tkazilgan tajribalarda kuzatildi. Bu hadisa magnitomexanik effekt deyiladi.

Tajribalar asosida aniqlangan quyidagi munosabat

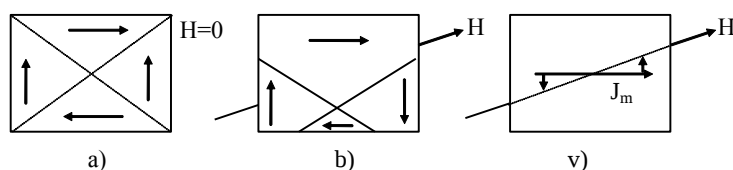
$$\frac{\vec{P}_{m,c}}{\vec{L}_c} = -\frac{e}{m}$$

dagiga nisbatan ikki marta katta bo'lib chiqdi. Bundan, ferromagnetiklarning magnit xususiyatlari ular tarkibidagi elektronlarning orbital magnit momenti bilan emas, balki spin magnit momentlari bilan bog'liq, degan xulosaga kelimiz.

Bu xulosa ferromagnetik xossasiga ega bo'lgan kimyoviy elementlarning elektron strukturasi bilan ham muvofiq keladi.

Ferromagnet kristallning panjarasidagi atomlar o'zaro bir-biri bilan juda kuchli ta'sirlashadi. Bu ta'sirlashuv, asosan, chetki qobiqdagi elektronlar orqali sodir bo'ladi. Kristalldagi qo'shni atomlarning elektron qobiqlari bir-birining ichiga kirib boradi, natijada atomlar bir-birlari bilan elektron-lar almashish imkoniyatiga ega bo'ladi. Bu ta'sirlashuv tufayli elektronlar-ning spin magnit momentlari o'zaro parallel joylashadi. Natijada ferro-magnet ichida shunday sohachalar vujudga keladiki, bu sohachalardagi spin magnit momentlari o'z-o'zidan bir tomonga yo'nalgan bo'ladi. Bu sohachalarni domen-lar deb ataladi. Tashqi magnit maydon bo'lmaganda domenlarning magnit momentlari turlicha yo'nalgan bo'ladi va domenlarning magnit momentlarining yig'indisi nolga teng bo'ladi (5.9 (a)-rasm).

Agar tashqi magnit maydoni bo'lsa, domenlarda siljish sodir bo'ladi. Bunda magnit momentlarining yo'nalishlari tashqi maydon yo'nalishiga yaqin bo'lgan domenlar boshqa domenlar hisobiga kattalashadi (5.9 (b)-rasm). Tashqi maydon orttirilsa, domenlar shunday buriladiki, natijada ularning magnit momentlari tashqi



5.9-rasm.

maydon bo'ylab yo'naladi (5.9 (v)-rasm). har bir domenlardagi barcha spin magnit momentlarining mutloq bir tomonga yo'nalishi, ya'ni domendagi spontan magnitlanishning maksimal

qiymatga erishishi, faqat $T=0K$ dagina sodir bo'ladi. haqiqatan, $T=0K$ dan farqli temperaturalarda issiqlik harakat energiyasi nolga teng bo'lmaydi. Shuning uchun issiqlik harakat energiyasining ta'siri tufayli domenlar ichidagi ba'zi spin magnit momentlari tashqi magnit maydon yo'nalishiga qarama-qarshi (antiparallel)

joylashib holadi. Temperatura ortgan sari domenlarning joylashuvida tartibsizlik kuchayib $T=T_k$ (Kyuri nuqtasi) da domenlarning spontan magnitlanishi butunlay yo'holadi, ya'ni har bir domen ichidagi parallel va antiparallel spinlar soni tenglashadi.

Magnitlanish jarayonida moddalarning shakli va o'lchamlari o'zgaradi. Bu hodisa magnitostriksiya deyiladi. Ferromagnitiklarda magnitostriksiya boshqa magnitiklarga haraganda sezilarli darajada bo'ladi. Jismning nisbiy uzayishi $\sigma = \frac{\Delta \ell}{\ell}$ magnitostriksiya doimiysi deyiladi. Masalan, nikel uchun $\sigma = 3 \cdot 10^{-5}$ ga teng bo'lib, uning qiymati uncha katta emas.

3. Ferromagnetizm nazariyasi elementlari.

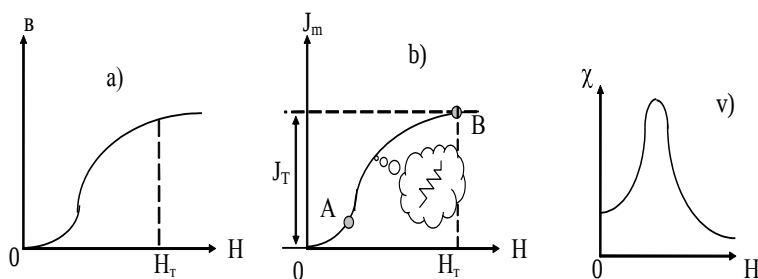
Kuchsiz magnitlanuvchi moddalar sinfiga kiruvchi dia- va paramagnitiklardan tashqari bir guruh moddalar o'zlarining kuchli magnitlanuvchanlik xossalari bilan ulardan ajralib turadi. Bu moddalarni ferromagnitiklar deyiladi. Ferromagnetiklarda tashqi magnit maydon bo'lmaganda ham spontan magnitlangan sohalar mavjud bo'ladi. Bu sohalar tashqi ta'sirlar: magnit maydoni, deformatsiya va temperaturaning o'zgarishi natijasida keskin o'zgaradi.

Bunday moddalarga temir, kobalt, nikel, gadolinii va ularni qotishmalari kiradi. Ferromagnetiklarda $\vec{j}_m$ va $\vec{H}$ lar orasidagi bog'lanish chiziqli bo'lmaydi. Ferromagnitiklarni magnitlanish qonunlari A.T. Stoletoy tomonidan tajribada chuqur o'rganilgan.

5.4-rasmda magnit induksiyasi $\vec{B}$, magnitlanish vektori $\vec{j}_m$ va magnit qabul qiluvchanlik χ_m larning magnit maydon kuchlanganligi $\vec{H}$ ga bog'liq grafigi keltirilgan.

$\vec{H}$ ning ortishi bilan $\vec{B}$ va $\vec{j}_m$ lar tez o'sib boshlaydi, so'ngra H_T da $\vec{j}_T$ to'yinish darajasiga erishadi. $\vec{B}$ esa $\vec{H}$ hisobiga sekinlik bilan o'sishni davom ettiradi. Bu holatni ferromagnitikning to'yinishi deyiladi.

Magnitlanish egri chiziqini sinchiklab o'rganish, tashqi magnit maydon $\vec{H}$ ning ortishi bilan magnitlanish vektori $\vec{j}_m$ ning ortishi tekis bo'lmasdan sakrashsimon bo'lishini ko'rsatadi (5.4-rasm). Ayniqsa, sakrashsimon ko'rinish rasmdagi egri chiziqning burilish sohasida (AV soha) yaxshi seziladi.



5.4-rasm.

Magnitlanish darajasini sakrashsimon o'zgarishini tajribada birinchi marta Barkgauzen kuzatdi va bu xodisani Barkgauzen effekti

deyiladi.

Magnit qabul qiluvchanlik χ_m dastlab N ortishi bilan tez ortadi, u maksimumga erishgach, N ning yanada ortishi bilan χ_m ning kamayishi kuzatiladi. Tashqi magnit maydonning nihoyatda katta qiymatlarida esa χ_m nolga intiladi.

Magnit maydoni to'yinishga erishgandan so'ng magnit induksiya

$$\vec{B} = \mu_0 \vec{H} + \mu_0 \chi_m \vec{H}$$

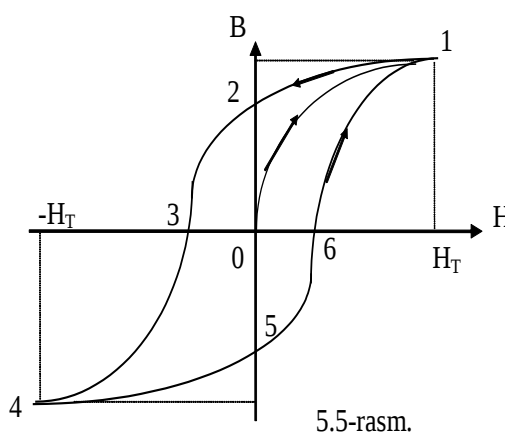
faqat $\vec{H}$ ning o'sishi hisobiga o'sib, formuladagi ikkinchi hadning hissasi bo'lmaydi, ya'ni bu had nolga aylanadi. Bundan shunday xulosaga kelamizki, katta kuchlanishga ega bo'lgan magnit maydonlarida ferromagnit o'zaklardan foydalanish maqsadga muvofiq emas.

Ferromagnetikdagi $\vec{B}$ ning tashqi $\vec{H}$ bog'liq holda o'zgarish 14.5-rasmda keltirilgan. $B=B(H)$ ning grafigi $0 \rightarrow 1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 5 \rightarrow 6 \rightarrow 1$ ko'rinishdagi berk egri chizikdan iborat bo'ladi.

$\vec{B}$ ning $\vec{H}$ ga bog'liq holda o'zgarishi magnit gisterezisi deyiladi.

Rasmdagi $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 5 \rightarrow 6 \rightarrow 1$ yopiq chiziqni gisterezis sirtmoqi deyiladi.

Gisterezis sirtmog'i bo'yicha kuzatsak, $H=0$ da $B=B_k$ ga (2 nuqta) teng qoldiq induksiya hosil bo'lganini ko'ramiz. $B_k=0$ bo'lishi uchun $H=-H_k$ (3 nuqta) teskari maydon berish kerak. H_k ni koertsitiv kuch deyiladi.



Ko'rinib turibdiki, ferromagnitkdagi magnet maydon induktsiyasi $\vec{B}$ ning qiymati magnetlovchi tashqi maydon $\vec{H}$ ning o'zgarishiga monand ravishda o'zgarmaydi.

Gisterezis sirtmoqi yuzasi ferromagnitkning magnitlash uchun sarflangan ishga proporsional bo'lib bu ish to'lasicha bitta tsikldagi magnitlashda ferromagnitkning birlik hajmida ajralgan issiqlikga

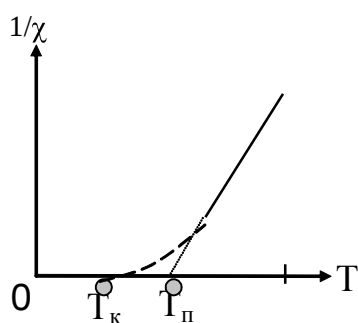
teng bo'ladi. Shuning uchun ferromagnetiklarni ko'p marta magnitlaganda qiziydi va gisterezis sirtmog'i qancha katta bo'lsa shuncha ko'p issiqlik ajralib chiqadi.

Koertsitiv kuchning darajasiga bog'liq holda ferromagnitliklar yumshoq va qattiq magnitlarga farqlanadi.

Agar $H_k \sim 0,8 \div 8$ A/m bo'lsa, yumshoq magnet xisoblanadi va magnitlash uchun oz energiya sarflanadi. Bunday materiallardan transformatorlar va elektr ma-shinalari uchun o'zaklar tayyorlanadi.

Qattiq magnitlarda esa $H_k \sim 10^4 \div 10^5$ A/m, bunda qoldiq induktsiya $V_k > 1$ Tl bo'ladi va ulardan doimiy magnetlar tayyorlanadi. Shunday qilib, ferromagnet moddalar gisterezis sirtmoqining shakli va yuzasiga harab "qattiq" va "yumshoq" magnitlarga bo'linadi.

Yumshoq magnetlar tor gisterezis sirtmoqiga, kichik koertsitiv kuchga va Yuqori magnet qabul qiluvchanlikka ega, qattiq magnetlar aksincha, keng sirtmoqqa va katta koertsitiv kuchga ega bo'ladi.



Ferromagnitlarda qoldi magnetlanish tashqi zarbalarga juda sezgir bo'lib u o'zini ferromagnetiklik xususiyatini yo'qotadi. Shuning uchun doimiy magnetlarni turli zarbalardan saqlash kerak.

Xuddi shuningdek xodisa ferromagnitliklarni qizdirganda ham paydo bo'ladi. Temperatura Kyuri nuqtasi (T_k) deb atalgan teperaturadan o'tishi bilan

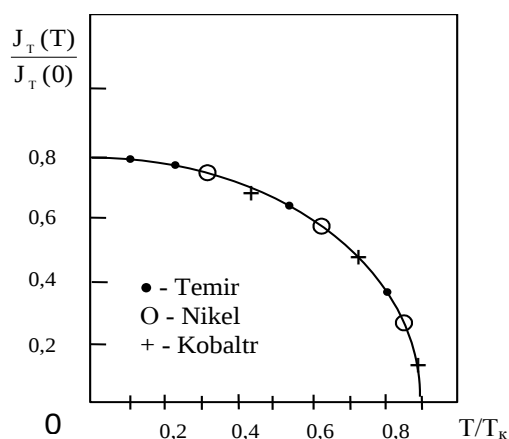
ferromagnit o'zini xossasini yo'qotadi va T_k dan Yuqorida u o'zini paramagnit modda kabi tutadi. $1/\chi$ ni T ga bog'liq holda o'zgarishi chiziqli bo'ladi (5.6-rasm).

Bu bog'lanish Kyuri-Veyss qonuni bo'yicha aniqlanadi, ya'ni

$$\chi = \frac{C}{T - T_k} \quad (5.3)$$

bunda S - Kyuri doimiysi, T_k - Kyuri nuqtasi.

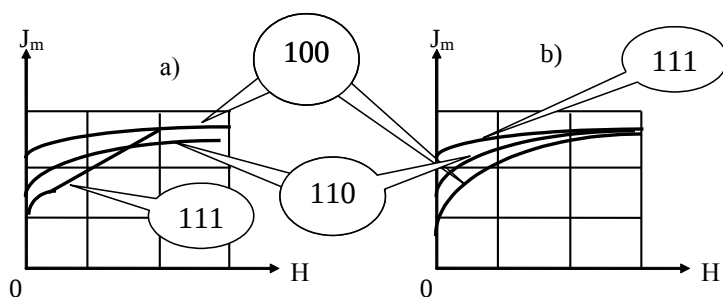
(5.6) rasmdan ko'rinadiki T_k - Kyuri nuqtasi, T_p paramagnit nuqtadan ancha pastda. 5.7 - rasmda temir, nikel va kobaltning magnit vektorini temperaturaga bog'liq holda o'zgarish grafigi keltirilgan. Rasmdan ko'rinadiki, nisbiy koordinatalarda uchala ferromagnit moddalar uchun magnitlanish vektorini tempera-turaga bog'liq holda o'zgarishi bir xil egri chiziqdan iborat.



5.7-rasm.

Temperaturaning ortishi bilan magnitlanish vektori kamayadi va Kyuri nuqtasida nolga teng bo'ladi. Kyuri nuqtasidan Yuqori temperaturada jismlar ferromagnit xossasini yo'qotishgina emas, balki uni issiqlik sig'imi, elektr o'tkazuvchanligi va boshqa ba'zi fizik xossalari ham o'zgaradi. Jismlarni ferromagnit holatdan paramagnit holatga o'tishida issiqlik yutilmaydi yoki aj-ralmaydi. Bu xulosa II tur fazoviy o'tishga misol bo'ladi.

Temir uchun Kyuri nuqtasi $T_k = 1043$ K, kobalt uchun $T_k = 1043$ K, nikel



5.8-rasm.

uchun $T_k = 631$ K ga teng. Monokristall ferromagnit moddalarda magnitlanish vektori anizotrop xossaga ega bo'ladi. 5.8-rasmda temir va nikel monokristallarda magnitlanish

vektori [111], [110] va [100] yo'nalishlarga bog'liq holda o'zgarishi keltirilgan.

Monokristallarda shunday yo'nalishlar mavjudki, magnitlanish bu yo'nalishlar bo'yicha oson va to'yinishga kichik larda erishiladi. Bu yo'nalishlarni engil magnitlanuvchi yo'nalishlar deyiladi.

Temirda shunday yo'nalish [100], nikelda esa [111]. holgan yo'nalishlarda magnitlanish qiyin bo'ladi, bu yo'nalishlar temir uchun [110] va [111], nikelda [110] va [100]. Shuning uchun bu yo'nalishlarni qiyin magnitlanuvchi yo'nalishlar deyiladi.

$$U_m = \int_0^B H dB$$

integral berilgan yo'nalishda jismni magnitlash uchun sarflangan ishni ifodalaydi.

Bu ish magnitlangan kristallning erkin energiyasiga aylanadi.

4. Ferritlar

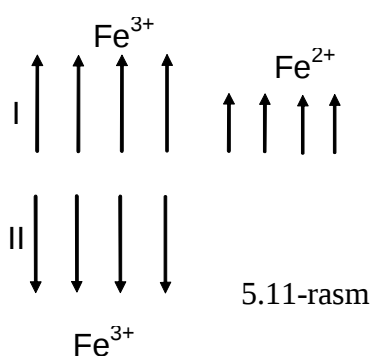
Antiferromagnitliklarni kristall panjarasini bir-birining orasiga kirgan ikkita panjaraning yig'indisi deb harash mumkin. Panjaralarning magnit momentlari miqdori bo'yicha teng, yo'nalishi esa qarama-qarshi. Shuning uchun ular bir-birini kompensatsiyalaydi. Lekin, shunday hollar ham uchraydiki, bir-birining orasiga kirgan birinchi va ikkinchi panjaralarning magnit momentlari nolga teng bo'lmaydi, chunki bu panjaralardagi atomlarni soni yoki tabiati turlicha bo'lishi mumkin (5.10-rasm).

Bu holda kristalda spontan magnitlanish hosil bo'ladi. Shunday ferromagnitliklarni ferrimagnetiklar deyiladi. Ferrimagnetiklar o'zlarini xuddi ferromagnitliklarga o'xshab tutadi, lekin ularning ichki tuzilishlarining farqlanishiga harab, spontan magnitlanishining temperaturaga bog'lanishi turlicha bo'ladi.

Ferromagnetiklarda temperatura ortishi bilan magnitlanish jmi bir tekis kamaymasdan, Kyuri nuqtasiga etguncha nol orqali o'tadi. Ferrimagnit jismlarga misol qilib, temir magnitonini ($\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$) olish mumkin. Bunday moddalarni ferritlar deyiladi. Bunda manfiy kislorod ioni tomonlari markazlangan kub panjara

hosil qiladi. har bir $\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ molekulaga bitta ikki valentli (Fe^{2+}) va ikkita uch valentli (Fe^{3+}) temir ionlari to'g'ri keladi.

Ikki valentli temir ionlarini boshqa ikki valentli ionlar almashtiri-shi mumkin, ya'ni Mg, Ni, Co, Mn, Cu, Zn va boshqalar. Ferritning murakkab strukturasi bitta panjarasida uch valentli temirning yarmi, ikkinchisida esa ikkinchi yarmi bilan ikki valentli temir ioni yoki uni o'rnini oluvchi boshqa metall ioni joylashadi.



Ularni magnit momentlari qarama-qarshi joylashgan. Bunda uch valentli temir ionlarining magnit momentlari kompensatsiyalashsa, spontan magnitlanishni ikki valentli temir ioni vujudga keltiradi (5.11-rasm). Ferritlarning ajoyib xususiyatlari bor. Ular yaxshi magnit xossalarga va katta elektr qarshilikka ega. Ferritlarning bunday xossalardan foydalanib

doimiy magnitlar va EXM larning xotira uyachalari yasaladi.

5. Antiferromagnetizm

Ferromagnit xossasiga ega bo'lgan jismlar ichki elektron qovatlari to'ldirilmagan (o'tuvchan va nodir er) metallar hisoblanadi. Bu gurux metallarga temir, kobalt va nikel (3d-qavat to'lmagan) kiradi (o'tuvchan metallar), shuningdek (nodir er) metallar guruxiga gadolinii, disproziy va erbiy kiradi (4f-qavat to'lmagan). Ferromagnetizm - qo'shni atomlarda to'ldirilmagan qavatlardagi elektronlarni o'zaro ta'sir almashuvi tufayli sodir bo'ladi. O'zaro ta'sir sistemaning energiyasini o'zgarishiga olib keladi. Bu xodisa vodorod atomlarining yaqinlashishi misolida ya'hol ko'rinadi. Bunday sistemani o'zaro ta'sir energiyasi

$$U = 2E_0 + \frac{K \pm A}{1 \pm S^2} \quad (5.8)$$

ko'rinishda yoziladi. Bunda

$2E_0$ - o'zaro ta'sirlashmaydigan ikkita vodorod atomining energiyasi,

K - zaryadlarning elektrostatik o'zaro ta'sir energiyasi, $0 \leq K \leq 1$ oraliqdagi qiymatlarni qabul qilib, noortoganallik integrali deyiladi,

A - almashinuv energiyasi yoki almashinuv integrali deyiladi.

(5.8) formula K ning ishorasiga qarab ($|K| < |A|$) elektron almashinuvchi atomlardagi elektronlar spinlarining parallel (minus ishora) yo'nalganligiga mos kelsa, antiparallel hol (5.8) formulada plus ishora uchun mos keladi. Formuladan ko'rinadiki, $A < 0$ (manfiy) da elektronlarning spinlari antiparallel joylashadi, bunda sistemaning energiyasi kamayadi. $A > 0$ (musbat) da spinlar parallel joylashadi, bunda sistemaning energiyasi ortadi. $A < 0$ da valent bog'lanish hosil bo'lib, antiferromagnit xossasi namoyon bo'ladi, $A > 0$ da ferromagnit xossasi namoyon bo'ladi va spontan magnitlanishga olib keladi.

$A < 0$ da ham elektron spinlarining joylashishi tartibli bo'ladi, lekin spontan magnitlanish hosil bo'lmaydi, chunki qo'shni panjara tugunlaridagi ionlarning spin magnit momentlari qarama-qarshi yo'nalgan bo'lib bir-birlarini kompensatsiyalaydi.

Tashqi maydon ta'sirida bir qism spinlar yo'nalishini o'zgartirishi natijasida antiferromagnetikning magnitlanishi sodir bo'ladi. Antiferromagnetiklarning xususiyati biror temperaturadan Yuqori temperaturada yo'holadi va u paramagnitga aylanadi. Bu temperaturani antiferromagnetikning **Kyuri** nuqtasi yoki **Neel** nuqtasi deyiladi.