

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

ZAHIRIDDIN MUHAMMAD BOBUR NOMIDAGI
ANDIJON DAVLAT UNIVERSITETI

Fizika kafedrası

Qo'lyozma huquqida

Asqarov Abdurahmon Jakbar o'g'li

MAGNIT MATERIALLAR VA ULARNING QO'LLANILISHI

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

BITIRUV MALAKAVIY ISH

Ish rahbari: fizika-matematika fanlari nomzodi,
katta o'qituvchi X.M. Nishonov

Andijon – 2016 yil

MUNDARIJA

KIRISH.....	3
1-BOB. MODDALARNING MAGNIT XUSUSIYATLARIGA KO'RA TURKUMLASH.....	
1.1. Magnit kattaliklar haqida dastlabki ma'lumotlar.....	6
1.2. Amper gipotezasi va magnitlashuv	7
1.3. Diamagnetiklar.....	12
1.4. Paramagnetiklar.....	16
1.5. Ferromagnetiklar. Gisterezis chizig'i	21
1.6. Antiferromagnetiklar.....	27
1.7. Ferrimagnitizm.....	29
1.8. Magnit suyuqliklar.....	31
1.9. Nanozarralarning magnit xossalari	35
Bob yuzasidan qisqacha xulosalar.....	38
2-BOB. MAGNIT MATERIALLARNING QO'LLANILISHI.....	
2.1. Umumiy ma'lumotlar.....	39
2.2. Yumshoq magnit materiallar.....	44
2.3. Qattiq magnit materiallar.....	51
Bob yuzasidan qisqacha xulosalar.....	54
XULOSA.....	56
FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI.....	58
ILOVA	60

KIRISH

Mavzuning dolzarbligi. Mamlakatimizning iqtisodiy-ijtimoiy rivojlanishi ishlab chiqarishga ilg'or texnika va texnologiyalarning joriy etilishiga uzviy bog'langan. Bunda sanoatni va ishlab chiqarishni jambarchas mexanizatsiyalashtirish va avtomatlashtirish, komyuterlardan keng foydalanish, ya'ni EHM orqali boshqariladigan stanoklar, sanoat robotlari, moslanuvchan ishlab chiqarish tizimlarini tatbiq etish birinchi darajali ahamiyatga egadir.

Elektron texnika mahsulotlari va qurilmalarining ishonchligining ortishi va ishlab chiqarishining ko'payishi faqat ularni tayyorlashning texnologik usullari va ishlab chiqarish madaniyatigina bog'liq bo'lmasdan, balki yarim o'tkazgichli asboblari va integral mikrosxema (IMS)larning asosiy parametrlarini belgilab beradigan kerakli elektrofizik xususiyatli materiallarni to'g'ri tanlay bilishga ham bog'liq bo'ladi.

Elektron texnika materiallari, mahsulotlari va qurilmalari texnologiyasining rivojlanish darajasi yuqori malakali mutaxassislarning tayyorlanishi bilan uzviy bog'langandir. Xalq xo'jaligining rivojlanishida, iqtisodiyotning o'sishida, ilmiy texnik jarayonning tezlashuvida elektron texnika materiallari, mahsulotlari va qurilmalarining texnologiyasi muhim rol o'ynaydi.

Elektr texnika materiallari asosan 4 turga - o'tkazgich (metallar), dielektrik, yarim o'tkazgich va magnit materiallariga bo'linadi. Ular qisqacha quyidagicha tavsiflanadi.

Elektr stansiyalarida ishlab chiqarilgan elektr tokini havo va kabel orqali uzatuvchi uzatgichlar bilan iste'molchilarga yetkazib berishda o'tkazgich materiallar ishlatiladi. Bu materiallar katta elektr o'tkazuvchanlikka ega sof metallardan tayyorlanadi. Agar metallarning qarshiligi katta bo'lishi talab etilsa, u holda o'tkazgich sifatida metallar aralashmasidan iborat qotishmalardan foydalaniladi.

Dielektriklar yoki izolyatsion materiallar qurilma va uskunalarda elektr toki oqimini cheklash uchun ishlatilgani sababli, ular juda katta elektr qarshilikka ega bo'lishi shart. Dielektrik sifatida ko'p turdagi organik va anorganik materiallar qo'llaniladi. Bu materiallar, ya'ni dielektriklar gazsimon, suyuq va qattiq agregat holatlarda bo'lishi mumkin.

Yarim o'tkazgichlar o'zining elektr o'tkazuvchanligi jihatidan o'tkazgich bilan dielektriklar orasida joylashgan bo'lib, zamonaviy texnikada keng qo'llaniladi. Materiallarda yarim o'tkazuvchanlik xossalari, ko'pincha, tayyor mahsulot olish paytida hosil bo'ladi.

Magnitli elektron texnika asbob-uskunalarida magnit oqimini hosil qilish yoki o'tkazish maqsadida magnit materiallari qo'llaniladi. Bu materiallar ma'lum darajada magnit xossaga ega bo'lishi talab etiladi. Bu xususiyat temir yoki uning nikelli, kobaltli va hokazo qotishmalarida ham mavjuddir.

Elektron texnikaning rivojlanishi elektr texnika materiallariga bog'lig bo'lib, u o'z navbatida yangi xossali materiallar ishlab chiqishni taqozo etadi. Xossalari yaxshilangan, issiqqa chidamli izolyatsiya va magnit materiallari kichik hajmli, yengil va ixcham elektr mashina va apparatlarni yaratish imkonini beradi. Yuqori ish haroratiga ega bo'lgan yangi turdagi dielektriklar aviatsiya, raketa texnikasida va boshqa sohalarda ishlatilmoqda.

Elektron texnika materiallarining fizik-kimyoviy xossalarini tushuntirish uchun ularning atom tuzilishini, ximiyaviy va fazaviy tarkibini, nuqsonlar tuzilishini bilish muhim ahamiyatga ega.

Shulardan kelib chiqqan holda, mazkur **bitiruv malakaviy ishining maqsadi** - elektronika, radiotexnikada keng qo'llaniladigan, magnit maydoniga sezgir materiallarning xususiyatlarini materilashunoslik nuqtai nazaridan o'rganishdan iborat qilib belgilandi.

Bitiruv malakaviy ishning vazifalari:

1. Moddalarning magnit xususiyatlari va ularga ko'ra moddalarni turkumlash tamoyillarini o'rganish;

2. Magnetizm haqida berilgan ma'lumotlarni adabiyotlar orqali o'rganish va tahlil etish;
3. Moddalarning magnitlanishuviga oid klassik va zamonaviy nazariyalar bilan tanishish;
4. Dia-, para-, ferro-, ferri- va antiferromagnetizmning fizikaviy talqinini o'rgansih;
5. Magnit moddalar va ulardan elekton texnikasida foydalanish imkoniyatlarini aniqlash.

Bitiruv malakaviy ishining ob'ekti sifatida magnit maydoniga kiritilganda u bilan ta'sirlashuvchi moddalar olindi. Ishning **predmeti** sifatida esa moddalarni magnit xususiyatlariga ko'ra sinflash prinsiplari, magnit moddalarda 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, ikkita 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 61 betdan iborat.

1-BOB. MODDALARNING MAGNIT XUSUSIYATLARIGA KO'RA TURKUMLASH

1.1. Magnit kattaliklar haqida dastlabki ma'lumotlar

Magnit maydoniga joylashtirilgan har qanday jismga qandaydir *magnit momenti* M ta'sir etadi. Jism hajm birligining magnit momenti *magnitlanganlik* $\vec{J}_m$:

$$J_m = \frac{M}{V}.$$

Agar jism notekis magnitlangan bo'lsa, u holda

$$J_m = \frac{dM}{dV}.$$

Magnitlanganlik vektor kattalik bo'lib, izotrop jismlarda magnit maydon kuchlanganligi vektori $\vec{H}$ ning yo'nalishiga parallel yoki antiparallel bo'ladi. *Magnitlanganlik* HBS da magnit maydoni kuchlanganligi birligi (A/m) da ifodalanadi.

Magnitlanganlik $\vec{J}_m$ magnit maydoni kuchlanganligi $\vec{H}$ bilan

$$\vec{J}_m = k_m \vec{H} \quad (1.1.1)$$

Ifoda orqali bog'langan bo'lib, bu erda k_m - o'lchamsiz kattaligi, ushbu jismni magnit maydonida magnitlanish xususiyatini xarakterlaydi va *magnit kirituvchanlik* deb nomlanadi.

Magnit qabul qiluvchanlik k_m maydon kuchlanganligi $\vec{H}$ bir birlikka teng bo'lgandagi magnitlanganlik $\vec{J}_m$ ga son jihatdan teng bo'ladi. Ko'rib o'tilgan *xajmiy magnit qabul qiluvchanlik* k_m dan tashqari, ba'zan jismning birlik massasiga yoki bir moliga mos keluvchi *solishtirma magnit qabul qiluvchanlik* va *molyar magnit qabul qiluvchanlik* tushunchalari ham ishlatiladi.

Tashqi magnit maydoniga joylashtirilgan izotrop jism, tashqi maydon yo'nalishiga parallel yoki antiparallel yo'nalgan xususiy magnit maydonini hosil qilishi sababli jismdagi umumiy magnit induktsiyasi tashqi va xususiy magnit maydonlari induksiylari yig'indisi bilan aniqlanadi:

$$\vec{B} = \vec{B}_0 + \vec{B}_i = \mu_0 \vec{H} + \mu_0 \vec{J}_m, \quad (1.1.2)$$

bu erda $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{Gn}{m}$ - HBS dagi magnit doimiysi.

Yuqoridagi (1.1.1) va (1.1.2) ga asoslanib,

$$\vec{B} = \mu_0 \vec{H} (1 + k_m) = \mu_0 \mu \vec{H} \quad (1.1.3)$$

ni hosil qilamiz, bu erda $\mu = 1 + k_m$ - nisbiy magnit kirituvchanlik bo'lib, muhitdagi magnit maydoni induktsiyasi V ni vakuumdagi magnit maydon induktsiyasi V_0 dan necha marta kattaligini ko'rsatadi.

Moddalarning magnit xususiyatlarining dastlabki sababi sifatida magnit momentga ega elementar aylanma toklarni yuzaga keltiruvchi elektr zaryadlari harakatining yashirin shakllarini ko'rsatish mumkin. Bular jumlasiga, atomdagi elektronlar spini va ularning orbital aylanishlari tufayli yuzaga keluvchi toklar kiradi. Yadrodagi proton va neytronlarning magnit momentlari elektronlarning magnit momentlaridan taxminan ming barobar kichikligini e'tiborga olsak, atomning magnit xususiyatlarini moddadagi elektronlarning magnit xususiyatlari belgilaydi deyish mumkin.

1.2. Amper gipotezasi va magnitlashuv

Amper neytral moddaning ichida magnit maydonni vujudga keltiradigan molekulyar toklar oqadi deb faraz qildi. Molekulyar toklarning magnit maydoni moddaning magnitlashuvi sifatida namoyon bo'ladi, o'tkazuvchanlik toklarining magnit maydoniga qo'shiladi. Doimiy magnitlarning magnit maydoni ham Shunday molekulyar toklarning maydoni sifatida tushuniladi. Molekulyar toklar haqidagi Amper gipotezasi elektrodinamikada unumli natijalarga olib keldi.

Erkin zaryadlarning $\vec{j}$ toklari hosil qiladigan maydoni

$$\text{rot}\vec{H} = \vec{j} \quad (1.2.1)$$

tenglama bilan aniqlanar ekan, bog‘langan zaryadlarning toklari $\vec{j}_m$ ham shu kabi magnit maydon hosil qilishi kerak. Bog‘langan zaryadlar toklarining magnit maydonini $\vec{H}'$ deb belgilaylik, unda (1.2.1) ga qiyosan:

$$\text{rot}\vec{H}' = \vec{j}_m \quad (1.2.2)$$

tenglama o‘rinli bo‘ladi. Bu tenglamaning integral shakli to‘liq tok qonuni kabi ifodalanadi:

$$\oint_L \vec{H}' d\vec{l} = I_m. \quad (1.2.3)$$

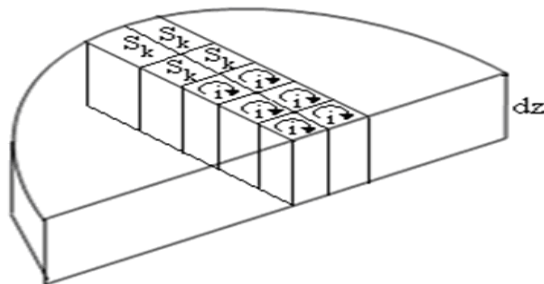
Bog‘langan zaryadlarning magnit maydoni $\vec{H}'$ birlik hajmdagi muhitning magnit momenti $\vec{j}$ ga, magnitlashuv vektoriga tengligini ko‘rsataylik. Magnitlashuv vektorining birligi $[J] = [IS/L^3] = Am^2/m^3 = A/m$ magnit maydon kuchlanganligi birligi bilan mos keladi. Biz ularni miqdorlarini ham tengligini ko‘rsatishimiz lozim.

Molekulyar toklar – atom va molekulalarning ichidagi elektronlarning aylanma harakatlaridan iborat. Atomning u yoki boshqa yonida magnit maydon qiymati va yo‘nalishi butunlay boshqacha bo‘ladi. Bunday sharoitda hisoblash yoki o‘lchash mumkin bo‘lgan birdan bir miqdor magnit maydonning o‘rtacha qiymatidan iborat.

Magnit moment additiv miqdor – moddaning magnit momenti uning ayrim qismlarining magnit momentlarini yig‘indisidan iborat. Quyida bu xossadan foydalanamiz.

Birjinsli magnitlangan moddani ko‘rib chiqaylik. Undan magnitlashuv $\vec{j}$ vektoriga tik dz qalinlikdagi plastina kesib olaylik (1.1-rasm). Plastinaning to‘liq magnit momenti uning hajmiga bog‘liq: $\vec{p}_m = \vec{j}Sdz$. Plastina hajmini fikran rasmda tasvirlanganidek kichik bo‘lakchalarga bo‘lib chiqaylik. har bir bo‘lakcha magnit dipoldan iborat bo‘lib, magnit maydon hosil qiladi. Har bir bo‘lakchaning magnit

1.1-rasm. Bir jinsli magnitlangan moddaning to'liq magnit momentini hisoblashga doir



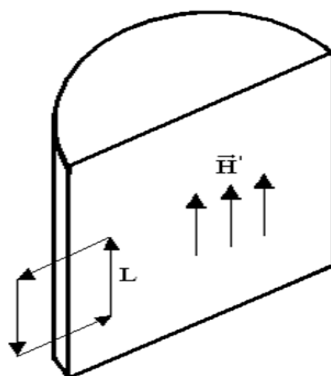
momentini uning yon sirti bo'ylab aylanuvchi tok i orqali ifodalaylik: $p_{mk} = s_k i$, Bu yerda s_k - tegishli bo'lakchanning sirti. Turli bo'lakchalarning atrofidagi toklar teng bo'lib, magnit momentlar faqat s_k sirtlarni hisobiga farq qilishi mumkin. Plastinaning to'liq magnit momenti $p_m = \sum_k p_{mk} = iS$ ga teng bo'ladi (S - plastinaning to'liq sirti).

Bo'lakchalarning o'zaro chegaralaridagi molekulyar toklarni ko'rsak, ular son jihatdan teng va o'zaro teskari yo'nalgandir, shuning uchun ichki chegaralardagi molekulyar toklarning magnit maydoni nolga teng bo'ladi. Molekulyar toklarning magnit maydoni faqat plastinaning yon sirtini aylanib oqayotgan i tok bilan $p_m = iS$ tarzda aniqlanadi. Ikki yo'l bilan topilgan magnit moment ifodasini $\vec{p}_m = \vec{J}Sdz$ ifoda bilan solishtirib, $J = i/dz$ (sirtidan oqayotgan tokning chiziqli zichligi) munosabatni hosil qilamiz.

Birjinsli magnit maydonga ega bo'lgan tsilindr magnit maydoni H' ni topish uchun (1.2-rasm) da tasvirdangan yopiq konturga to'liq tok qonuni (1.2.3) qo'llaylik. Konturning muhitdan tashqari qismida maydon yo'q, konturning maydonga tik qismida $\vec{H}' \cdot d\vec{l} = 0$, faqat bir chiziq bo'ylab integralga hissa qo'shiladi: $H'L = I$.

Bundan $H' = I/L$. Bu yerda I - muhitning sirti bo'ylab oqayotgan toklar, I/L - esa ularning chiziqli zichligi. $I/L = i/dz$ bo'lgani uchun, $J = H'$ xulosaga kelamiz: bog'langan zaryadlarning magnit maydon kuchlanganligi ularning magnitlashuv vektoriga teng ekan.

1.2-rasm. Birjinsli magnit maydonga ega bo'lgan silindr magnit maydonini topish



Muhitdagi magnit maydon induksiyasi erkin va bog'langan zaryadlar maydonlarining yig'indisidan iborat bo'ladi:

$$\vec{B} = \mu_0(\vec{H} + \vec{J}). \quad (1.2.4)$$

Bu yerda xalqaro birliklar sistemasining doimiyi - μ_0 hisobga olindi. Boshqa birliklar sistemasida uning o'rnida 1 turishi mumkin.

Muhitning chegarasida magnit maydonni o'zgarishini ko'rib chiqaylik.

Yuqorida $B_{1n} = B_{2n}$ chegaraviy shart keltirib chiqarilgan edi. Birinchi muhit magnetik, ikkinchi soha bo'shliqdan iborat bo'lsa, unda magnitlanish bo'lmaydi, demak:

$$H_{1n} + J_{1n} = H_{2n}. \quad (1.2.5)$$

Jumladan o'tkazuvchanlik toklari bo'lmasa va $H_{1n} = 0$ bo'lsa, $J_{1n} = H_{2n}$. Shunday qilib moddaning ichida magnitlashuv deb atalgan magnit maydon moddadan tashqariga chiqqanda magnit maydon kuchlanganligidan iborat bo'ladi, chegarada magnit induksiyaning tik tashkil etuvchisi uzilmaydi.

Magnit maydonni ikkinchi tashkil etuvchisi, sirtga parallel tashkil etuvchisi uchun $H_{1r} = H_{2r}$ munosabat olingan edi. Unga ko'ra moddaning ichida sirtga parallel J_{1r} magnitlashuvni mavjudligi sirtning tashqarisidagi magnit maydon H_{2r} va B_{2r} ga butunlay ta'sir etmaydi.

Ko'p moddalar uchun magnitlashuv faqat tashqi magnit maydon mavjud bo'lgandagina vujudga keladi va bu tashqi maydonga mutanosib bo'ladi:

$$\vec{J} = \chi \vec{H},$$

unda:

$$\vec{B} = \mu\mu_0\vec{H}, \quad \mu = 1 + \chi. \quad (1.2.6)$$

Bu yerda χ - moddaning magnit qabul qiluvchanligi, μ - moddaning magnit singdiruvchanligi deb ataladi. Diamagnetiklar va paramagnetiklar uchun ular fizik doimiy miqdorlar bo'lib, fizik ma'lumotnomalardan topilishi mumkin. Ferromagnetiklar, antiferromagnetiklar, ferrimagnetiklar kabi kuchli magnetiklar uchun umumiy holda (1.2.4) munosabatlardan foydalanish kerak.

Diamagnetiklar manfiy magnit qabul qiluvchanlikka va birdan kichik magnit singdiruvchanlikka ega. Son jihatdan ularning magnit qabul qiluvchanligi $|\chi| \ll 1$ bo'lib, ular tashqi $\mu_0\vec{H}$ maydonni kuchsizlantiradi, lekin diamagnetiklarning magnit xossalari juda sust bo'lgani uchun, buni faqat maxsus o'lchovlardagina sezish mumkin (o'ta o'tkazgichlar ham paramagnetik bo'lib, ularda $\chi = -1$, lekin ularning magnit hossalari hamma vaqt mustasno ravishda o'rganiladi).

Paramagnetiklar diamagnetiklarga nisbatan kuchli magnit xossalarga ega bo'lib, ularning magnit qabul qiluvchanligi musbat bo'lib, tashqi magnit maydon $\mu_0\vec{H}$ ni kuchaytiradi.

Ferromagnit, antiferromagnit va ferrimagnit xossalari faqat kristallarda, qattiq jismlarda uchraydi. Ularda magnitlanish $\vec{J}$ $\vec{H}$ -magnit maydon kuchlanganligi bilan bir qiymatli bog'lanmagan. Shuning uchun moddaning doimiy χ va μ parametrlarini kiritishning iloji yo'q. Shunga qaramay ba'zan "ferromagnetiklar uchun μ bir necha mingga teng" degan iboralar uchraydi. Bunday iborani taqribiy deb, magnit induksiya B magnit kuchlananlik $\mu_0 H$ dan bir – necha ming marta ortiq bo'lishi mumkin degan ma'noda tushunish kerak.

Ferromagnetiklar temir, nikel, kobalt metallari va ularning turli qotishmalaridan iborat bo'lib, doimiy magnitlar ham odatda ferromagnetiklardan va quyida o'rganiladigan ferrimagnetiklardan yasaladi.

1.3. Diamagnetiklar

Diamagnetik moddalarda tashqi maydon ta'sirida unga nisbatan teskari yo'nalgan qo'shimcha maydon – magnitlanish $\vec{J}$ vujudga keladi, bu maydon asosiy maydon bilan qo'shilib, uni kuchsizlantiradi. Uzunchoq shakldagi diamagnetikni birjinsli magnit maydonda ipga osib qo'yilsa, u ferromagnit strelkadan farqli ravishda maydonga tik joylashadi. Magnit dipol magnit maydonning kuchli tomoniga tortilsa, diamagnetik maydonning kuchsiz tomoniga tortiladi.

Qiymat jihatdan diamagnetik magnitlanish juda kuchsiz bo'ladi, diamagnetiklar uchun $\chi \approx -10^{-6}$ qiymatga ega, $\varepsilon \approx 1 - 10^{-6}$.

Diamagnetiklar magnit momentga ega bo'lmagan atom va molekulalardan tuzilgan bo'ladi. Demak, magnit maydonda ularni tartiblashishi haqida gap bo'lishi mumkin emas.

Diamagnetizmni moddaga magnit maydon kirish jarayonida ularning hajmida induksiya toklarini vujudga kelishi bilan tushuntiriladi. Induksiya toklari shunday yo'naladiki, ularning magnit maydoni tashqi maydonni o'sishiga, tashqi maydonni moddaning ichiga kirishiga to'sqinlik qiladi, induksiyalangan magnit maydon tashqi maydonaga qarshi yo'nalib, uni kuchsizlantiradi.

Bunday tushuntirishda toklarni farqlash kerak. Modda ichida Amper birinchi bor kiritgan molekulyar toklar mavjud bo'lib, ular qarshiliksiz, Joul issiqligini hosil qilmasdan oqishi mumkin. Bunday toklarni mavjudligi doimiy diamagnetik xossalarni tushuntirishi mumkin. O'tkazuvchanlik toklari odatdagi sharoitda qarshilik tufayli tezda so'nadi, bu esa magnit maydonda doimo bo'ladigan diamagnet qutblanishni tushuntira olmaydi.

Diamagnetizmning tabiati quyidagicha tushuntiriladi. Atomlar musbat yadro va uni atrofida tinimsiz aylanayotgan elektronlardan iborat. Aylanma harakat va aylanma tok tufayli magnit moment vujudga keladi va bu magnit moment magnit maydon bilan ta'sirlashadi. Elektronlarni aylanish o'qi umumiy holda magnit

maydon bilan burchak tashkil etadi, magnit maydon magnit momentni o'zining yo'nalishiga keltirishga harakat qiladi, kuch momenti bilan ta'sir etadi. Bunda magnit momentga ega bo'lgan zarrani va magnit moment zarraning aylanma harakati bilan bog'liq bo'lgan hollarni farq qilish kerak. Oxirgi holda magnit maydonning ta'siri elektronni aylanma harakatini murakkablashtiradi, elektronning aylanish o'qi magnit induksiya chizig'ini atrofida aylana boshlaydi, elektronning bunday murakkab harakat pretsessiya harakati deb ataladi va nazariy mexanika kursida o'rganiladi.

Klassik mexanika fanida o'rganilganidek, pretsessiya harakatida Koriolis kuchi F_K ta'sir etuvchi Lorens kuchi F_L bilan muvozanatlashadi:

$$\vec{F}_L + \vec{F}_K = 0$$

Elektron zaryadi $-e$ bo'lgani uchun:

$$-e\vec{v} \times \vec{B} + 2m\vec{v} \times \vec{\omega} = 0. \quad (1.3.1)$$

Bu yerda $\vec{\omega}$ - pretsessiya harakatining burchak tezligi. Tenglamadan bu burchak tezlikni topsak:

$$\vec{\omega} = \frac{e\vec{B}}{2m}. \quad (1.3.2)$$

Natijani musbatligi pretsessiya aylanma harakati o'ng parma qoidasiga bo'ysinishini ko'rsatadi. Elektronning zaryadi manfiy bo'lgani uchun bu pretsessiya harakati bilan bog'liq elektr tokining yo'nalishi teskari bo'ladi va diamagnetik magnitlanishini magnit maydonga nisbatan teskari bo'lishini belgilaydi.

Pretsessiya tufayli vujudga kelgan magnit moment:

$$p_m = IS = -\frac{e\omega}{2\pi}\pi r^2 = -\frac{e^2 r^2 \mu_0}{4m} H. \quad (1.3.3)$$

Bundan, magnit qabul qiluvchanlik:

$$\chi = -\frac{ne^2 r^2 \mu_0}{4m}. \quad (1.3.4)$$

Bu yerda n - atomlar (molekulalar) konsentratsiyasi. Natijadan shuni bilish mumkinki, magnit qabul qiluvchanlikka eng katta hissani yadrodan uzoqlashgan elektronlar, r^2 parametri katta bo'lgan elektronlar berar ekan.

Yopiq halqa hosil qiluvchi molekulalarda (masalan benzol, naftalin) elektron halqa bo'ylab harakatlanish imkoniyatiga ega. Tashqi magnit maydon bunday molekula halqasiga tik bo'lganida, halqa bo'ylab elektr tokni vujudga keltirib, tokning magnit maydoni tashqi maydonni cheklashga harakat qiladi. harakat radiusi katta bo'lgani uchun bu holda magnit qabul qiluvchanlik nisbatan katta, benzol uchun $\chi = -94.6 \cdot 10^{-6}$ ekan. Agarda magnit maydon benzol halqalariga parallel yo'nalsa, magnit qabul qiluvchanlik $\chi = -34.9 \cdot 10^{-6}$, deyarli uch marta kichik bo'lar ekan.

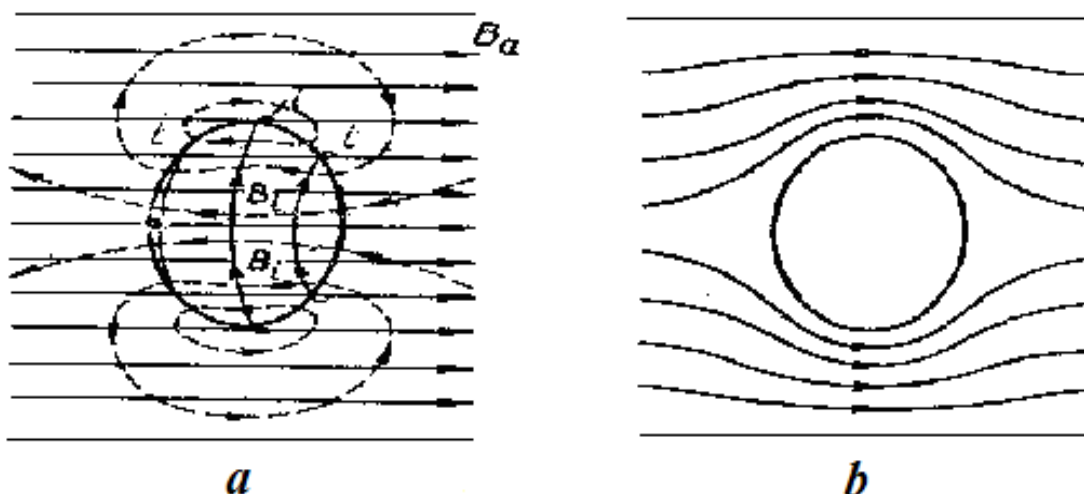
Diamagnit xossalar universal bo'lib, plazmadagi zaryadli zarralar ham, metalldagi erkin elektronlar ham, paramagnetik va ferromagnetiklardagi elektronlar ham diamagnit xossalarni namoyon qiladi. Lekin paramagnetiklar va ferromagnetiklardagi magnitlanishning boshqa kuchli mexanizmlari bu xossani sezishga imkon bermaydi.

Eng kuchli diamagnit xossa – o'ta o'tkazgichlarda kuzatiladi, ularda $\chi = -1$ bo'lib, magnit maydon o'ta o'tkazgich hajmiga kira olmaydi. Lekin magnitizmning yuqorida o'rganilgan mexanizmlardan farqli ravishda, o'ta o'tkazgichlarda ichki magnitlanishni ayrim atom va molekulalarning ichidagi toklar (molekulyar toklar) emas, balki erkin elektronlarning o'ta o'tkazgich sirti bo'ylab hosil qiladigan makroskopik toklari hosil qiladi. O'ta o'tkazgichlarda qarshilik nolga teng bo'lgani uchun bunday aylanma toklar molekulyar toklar kabi so'nmasdan oqib, o'tkazgich ichiga magnit maydon kiraolmasligini ta'minlaydi. Magnit maydon o'ta o'tkazgichni aylanib o'tishi 1.3-rasmda tasvirlangan.

O'ta o'tkazgichlarga boshqa diamagnetiklar kabi magnit maydonni kuchsiz tomoniga qarab itaruvchi magnit kuch ta'sir etadi. Natijada magnit va o'ta - o'tkazgich bir – birini shunday itaradiki, og'irlik kuchini engib, biri ikkinchisini

ko‘tarib turishi mumkin. Bunday tajribalardan birining rasmi yuqorida keltirilgan (1.4–rasm). Bu kabi ajoyib tajribalar faqat fiziklarni emas, har qanday qiziquvchan

1.3-rasm. Magnit maydonining o‘ta o‘tkazgichni aylanib o‘tishi



odamni hayratga soladi. Internet sahifalarida “uchib yuruvchi magnit” yoki “magnit paryashiy v vozduxe” so‘zlari bilan Google Internet qidiruv sistemasi bunday tajribalarni rasmlarinigina emas, harakatli kinofilmlarini ham topishga yordam beradi. Yangi o‘ta o‘tkazgich moddalar bilan bunday tajribalar faqat geliy temperaturalarida emas, azot temperaturalarida ham bajarish imkoniyatini beradi.

1.4–rasm. O‘ta o‘tkazgichda uni kuchsiz magnit maydoni tomoniga qarab itaruvchi kuchning hosil bo‘lishi



1.4. Paramagnetiklar

Moddaning magnit xossalari birinchi navbatda elektronlar bilan bog'liq. Elektronning xossalari asosan kvant fizikasida o'rganilsada, uning ayrim xossalari bu yerda ham eslash zarurati bor.

Har bir elektron o'zining harakat holatidan qat'iy nazar xususiy impuls momentga – spinga ega. Elektronning spini $L = \hbar/2$ bo'lib, fundamental fizik doimiy, Plank doimiyi bilan aniqlanadi. Elektronning xususiy magnit momenti Bor magnetoni deb ataladi:

$$p_m = -\frac{e\hbar}{2m}. \quad (1.4.1)$$

Uning son qiymati quyidagicha: $p_m = 9.274096 \cdot 10^{-24} \text{ J/T} = 9.274096 \cdot 10^{-24} \text{ m}^2 \text{ A}$

Elektron magnit momentga egaligi uning kichik magnitligini bildiradi. Elektronning spini va magnit momenti orasida quyidagi munosabat o'rinli:

$$p_m = -\frac{e}{m}L. \quad (1.4.2)$$

Atomlarning magnit momentiga yadrodagi proton, neytronlar ham hissa qo'shadi. Bu zarralar uchun ham (1.4.2) munosabat o'rinli bo'lib, ularning massalari elektron massasidan 1840 marta ortiq bo'lgani uchun, magnit momentlari aksincha, 1840 marta kichikroq bo'ladi. Shuning uchun atomlarning magnit momentlariga yadrolarning hissasi sezilarli bo'lmaydi.

Elektron atom yadrosi atrofida aylanma harakatlanar ekan, uning imuls momenti kvantlanadi. Bunday kvantlanish dastlab Bor postulatlarida aytilgan edi:

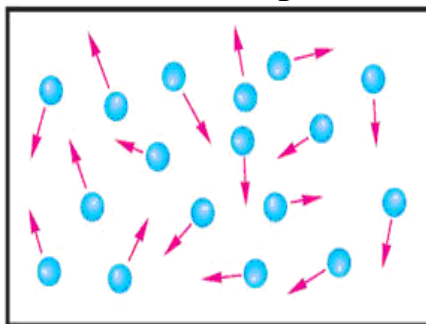
$$L = mvr = \hbar. \quad (1.4.3)$$

Elektronning yadro atrofidagi orbital harakati, elektron zaryadli zarra bo'lgani uchun, aylanma tok va magnit moment hosil qiladi:

$$p_m = IS = -e\gamma\pi r^2 = -\frac{ev}{2\pi r}\pi r^2 = -\frac{e}{2m}mvr = -\frac{e\hbar}{2m} = -\frac{e}{2m}L. \quad (1.4.4)$$

Shunday qilib elektronning orbital harakatida ham magnit va mexanik momentlar nisbati doimiy ekan, lekin nisbatlar qiymatini farqi magnit momentning ikki holdagi tabiati turli ekanligini ko'rsatadi.

1.5–rasm. Paramagnit moddalarida magnit momentining hosil bo'lishi



Atomning magnit momenti undagi elektronlar soniga bog'liq. Elektronlar soni juft bo'lsa, ularning xususiy magnit momentlari ham, orbital harakat bilan bog'liq magnit momentlar ham o'zaro teskari yo'nalgan bo'lib, to'liq magnit moment odatda nolga teng bo'ladi. Atomdagi elektronlar soni toq bo'lsa, atom albatta Bor magnetoniga karrali magnit momentga ega bo'ladi. Demak tabiatdagi atomlarning deyarli yarmi magnit xossalarga ega bo'lib, ulardan tuzilgan moddalar paramagnit (yoki undanda kuchli) xossalarga ega bo'ladi.

Paramagnit xossalar nimadan iborat?

Tashqi magnit maydon bo'lmaganda moddaning atom – molekulalarining magnit momentlari tartibsiz yo'nalgan (1.5-rasm), moddaning magnitlanish vektori $\vec{J} = \sum_k \vec{p}_{mk} = 0$ bo'ladi.

Tashqi magnit maydonda magnit momentlarni tartiblashishi masalasida ikkita mexanizmni hisobga olish kerak:

♦ Magnit maydon magnit momentli atomlarga $\vec{N} = \vec{p}_m \times \vec{B}$ kuch momenti bilan ta'sir etadi va ularni maydon bo'ylab yo'naltirishga harakat qiladi. Agar atomlar to'liq tartiblashsa, moddaning to'yingan $\vec{J} = n \vec{p}_m$ (n - atomlar konsentratsiyasi) magnitlashuviga erishilar edi. Lekin quyidagi sabablarga ko'ra paramagnetiklarda to'liq tartiblashuv amalga oshmaydi.

♦ Inersiya tufayli magnit moment magnit maydon yo'nalishida to'xtab qolmasdan, atom magnit momentini maydon yo'nalishi atrofidagi tebranishlari ro'y beradi.

♦ Issiqlik harakati tufayli atom-molekulalarning ta'sirlashuvlari, to'qnashuvlari magnit maydon tufayli vujudga keladigan tartiblashuvni cheklaydi.

Bunday to'qnashuvlar tasodifiy hodisalar bo'lgani uchun, magnit maydondagi moddani magnitlanishi statistik metodlar bilan hisoblanishi mumkin. O'quvchi ular bilan molekulyar fizika kursida tanishgan.

Statistik sistemalardagi turli makroskopik miqdorlar Boltsman taqsimot funktsiyasi yordamida hisoblanadi:

$$w = C \exp(-E / kT). \quad (1.4.5)$$

Bu yerda E - zarraning energiyasi, T - absolyut temperatura. C - normalash shartidan topiladigan koeffitsient. Paramagnit moddada atomlar magnit momentlarining yo'nalishi tasodifiy miqdordir, integrallash ana shu tasodifiy parametrlar - θ, α burchaklar bo'yicha bajariladi. Masalan, zarralar konsentratsiyasi quyidagicha hisoblanadi:

$$n = C \int_0^{2\pi} d\alpha \int_0^{\pi} \exp(-E / kT) \sin \theta d\theta. \quad (1.4.6)$$

Magnit maydon yo'q bo'lganda $E = 0$ deb, $n = 4\pi C$ natijaga kelimiz, demak $C = n / 4\pi$ ekan. Magnit maydon bo'lganda $E \neq 0$ va C ning qiymati boshqacha bo'ladi. Lekin kuchsiz magnit maydonlar uchun $C = n / 4\pi$ miqdorni qo'llash mumkin.

Atomlarning magnit momentlari tasodifiy yo'nalgan bo'ladi, ularni magnit maydon yo'nalishiga proeksiyasi $p_m \cos \theta$, moddani magnitlanish vektori esa quyidagi integral bilan hisoblanadi:

$$J = \frac{n p_m}{4\pi} \int_0^{2\pi} d\alpha \int_0^{\pi} \cos \theta \exp(-E / kT) \sin \theta d\theta. \quad (1.4.7)$$

Magnit maydonda zarralarning energiyasi $E = -\vec{p}_m \vec{B} = -p_m B \cos \theta$, taqsimot funktsiyasi esa quyidagicha ifodalanadi: $\exp\left(-\frac{E}{kT}\right) = \exp\left(\frac{p_m B}{kT} \cos \theta\right) = \exp(a \cos \theta)$.

Demak:

$$J = np_m I, \quad I = 0.5 \int_0^\pi \exp(a \cos \theta) \cos \theta \sin \theta d\theta. \quad (1.4.8)$$

Nisbatan kuchsiz magnit maydonda: $a = p_m B / kT \ll 1$ bo'lganda eksponentani qatorga yoyib, dastlabki hadlar bilan cheklanamiz:

$$\exp\left(-\frac{E}{kT}\right) \approx 1 + a \cos \theta$$

Buni (1.4.8) ga qo'yib integrallashni amalga oshiramiz:

$$I = \frac{2a}{3}, \quad J = \frac{n p_m a}{3} = \frac{n p_m^2 \mu_0}{3kT} H \quad (1.4.9)$$

Shunday qilib, paramagnit qabul qiluvchanlik:

$$\chi = \frac{n p_m^2 \mu_0}{3kT} = \frac{C_K}{T}. \quad (1.4.10)$$

Paramagnit qabul qiluvchanlikning absolyut temperaturaga bunday bog'liqligi Kyuri tomonidan empirik tarzda, tajriba natijalariga tayanib 1895-yilda topilgan, va Kyuri qonuni deb ataladi. (1.4.10) ifodadagi C_K - Kyuri doimiyi deb ataladi. Kyuri doimiyi moddaning zichligiga bog'liqdir.

Topilgan nazariy natijalar paramagnetiklarni qabul qiluvchanligi Kyuri qonuniga bo'ysinishini to'g'ri tushuniradi. Lekin paramagnetiklarda to'yinish ro'y berishini, magnitlanish maksimal $J = np_m$ chegaraga egaligini tushuntirmaydi. Magnitlanishni katta qiymatlarini o'rganish uchun yuqoridagi statistik usullarni qo'llash mumkin, faqat natijalarni analitik ifodalashni iloji yo'q. EXEL jadvallar dasturidan foydalanib, magnitlanish paramagnetikni magnit maydonda magnitlanish darajasini sonli usullardan foydalanib hisoblaymiz.

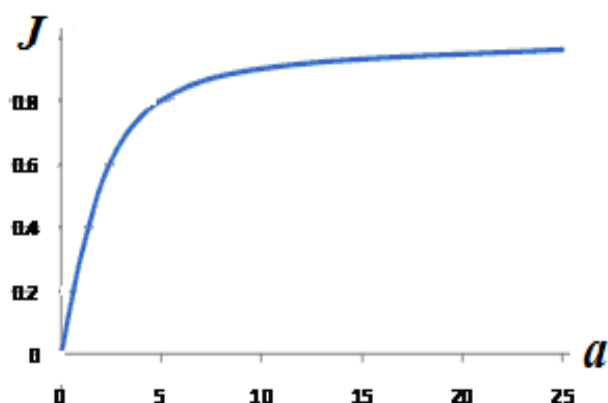
a parametrning turli qiymatlarida hisoblanishi lozim bo'lgan ifodalarni yozib olaylik:

$$n = CI_1, \quad I_1 = \int_0^\pi \exp(a \cos \theta) \sin \theta d\theta, \quad (1.4.11)$$

$$J = n p_m I_2 / I_1, \quad I_2 = \int_0^\pi \exp(a \cos \theta) \cos \theta \sin \theta d\theta. \quad (1.4.12)$$

Bu integrallarning o'xshashligi hisobni yengillashtiradi. Integral sonli hisoblanishi uchun integrallash oralig'i k ta teng bo'lakka (dx) bo'linadi va integrallanuvchi funktsiyani $k+1$ nuqtalardagi qiymati hisoblanadi. Ularni yig'indisini dx ga ko'paytmasi integralni taqribiy qiymatini beradi. Sonli integrallashning trapetsiyalar usulida chegaraviy nuqtalardagi funktsiyani qiymatini yarmi olinishi kerak, shuning o'zi integral qiymatini aniqligini sezilarli oshiradi. Amalda hisoblar oraliqlar soni $k=30$ bo'lgan holda bajarildi. a parametrning turli qiymatlarida $J/np_m = I_2/I_1$ miqdorni hisoblab, uni a ga bog'lanish grafigini ham EXCEL yordamida chizildi (1.6.-rasm).

1.6–rasm. a ning turli qiymatlarida $J/np_m = I_2/I_1$ ni hisoblash natijalari



Grafikdan shuni ko'ramizki, a ning kichik qiymatlarida magnitlanish a ga chiziqli bog'liq ekan, bu esa Kyuri qonuniga mos keladi. a ning katta qiymatlarida to'yinish ro'y berib, magnitlanish J maksimal magnitlanish np_m ga yaqinlashib boradi. Masalan magnitlanishni 80% qiymati $a=5$ da erishiladi.

Tajribalarda a ning qiymatlarini katta bo'lishi qiyin. Masalan 300 K temperatura va nisbatan katta, 1 T magnit maydon uchun $a = p_m B / kT \approx 2 \cdot 10^{-3}$ ga teng. Demak, faqat o'ta past temperaturalaridagina a ning qiymati katta bo'lib, paramagnetikning magnit qutblanishi to'yinishga erishishi mumkin.

1.5. Ferromagnetiklar. Gisterezis chizig'i

Moddalarning ferromagnitlik xossasi eng kuchli magnit xossa bo'lib, u asosan kristallarda va qattiq jismlarda uchraydi. Jumladan, doimiy magnitlar ham ferromagnetiklardan iborat. Ferromagnetiklar temir, nikel, kobalt kabi metallar va ularning qotishmalaridan iborat bo'lib, ularning kristall panjarasidagi ionlari magnit momentga ega.

Ferromagnitlar magnit momentli zarralar kabi magnit maydon kuchli bo'lgan sohaga tortiladi. Magnitlarni o'zaro tortilishi, magnitlar temir bo'laklarini tortishi shu xossaga asoslangan. Bunday ta'sirlashuvlar odamlarni shunday hayratga soladiki, Isaak Nyuton kuchli tabiiy magnit bo'lakchasini uzukka o'rnatib, uni taqib yurar ekan. Bu magnit o'zining vaznidan 50 marta og'irroq bo'lgan temir bo'lagini ko'tara olar ekan. Alniko qotishmasi alyuminiy, nikel, kobalt metallaridan yaratilgan eng kuchli ferromagnit hisoblanadi. Alnikodan yasalgan magnit o'z massasidan 4450 marta ortiq massali temirni ko'targani haqida ma'lumot bor.

Magnetizmga taaluqli ko'p tarixiy ma'lumotlar aynan ferromagnetiklarga tegishlidir.

V.Gilbert 1600-yilda nashr etgan kitobida qizdirilgan magnit tortish xususiyatini yo'qotganini yozadi. Magnitning bir uchiga temir yopishtirilganda, ikkinchi uchi temirlarni kuchliroq tortishini bayon etadi. Temirni doimiy magnit yonida magnitlash, magnitga aylantirish mumkinligini yozadi.

Ferromagnetiklar uchun magnitlanish $\vec{J}$ $\vec{H}$ -magnit maydon kuchlanganligi bilan bir qiymatli bog'lanmagan. Shuning uchun moddaning doimiy χ va μ parametrlarini kiritishni iloji yo'q. Shunga qaramay ba'zan "ferromagnetiklar uchun μ bir necha mingga teng" degan iboralar uchraydi. Bunday iborani taqribiy deb, magnit induksiya B magnit kuchlanganlik $\mu_0 H$ dan bir – necha ming marta ortiq bo'lish mumkin degan ma'noda tushunish kerak.

Ferromagnetiklarning xossalari tarixan segnetoelektriklardan avval o'rganilgan. Keyinchalik ularning xossalari juda o'xshashligi aniqlangan.

Ferromagnetiklarda ularni tashkil etuvchi ionlarni magnit momentlarini tartiblashtiruvchi mexanizm bor. Bu mexanizm elektronlar to'liqlarini almashinuv ta'sirlashuvi deb ataladi va kvant mexanikada o'rganiladi. Almashinuv ta'sirlashuvi tufayli qo'shni ionlarning magnit momentlarini bir xil yo'nalishi ta'sirlashuv energiyasini kichik bo'lishiga, magnit momentlarning tabiiy tartiblashishiga sabab bo'ladi. Ferromagnetik kristall hajmining tabiiy magnitlangan sohasi domen deb ataladi. (Shuni aytib o'tish kerakki, parallel magnit momentli zarralar magnit ta'sirlashuv tufayli bir – birini itaradi, demak yaqinlashtirilgani sari kattaroq energiyaga ega bo'ladi. Buni ikki magnitni yaqinlashtirib, sinab ko'rish mumkin. Lekin mikrozarralarning o'zaro ta'sirlashuvida parallel magnit momentli zarralarni tortishuvi ham uchraydi). Kristall tabiiy ravishda domenlarga bo'linib, ularning magnit momentlari turlicha yo'naladi va buni hisobiga magnit maydon energiyasi kichikroq bo'ladi. Domenlarning chegaralarida qo'shni atomlarning magnit momentlari turlicha yo'nalgan bo'lib, bu ta'sirlashuv energiyasini orttiradi. Domenlarni mavjudligi maxsus tajribalarda tasdiqlangan, ikkinchidan gisterezis halqasi bilan asoslanadi.

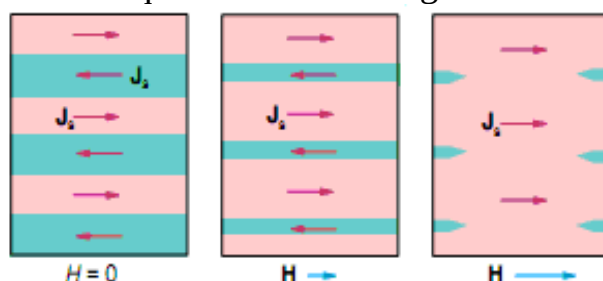
Butun ferromagnetik kristall to'la magnitlashib, yagona domenga aylansa, almashinuv energiyasi eng kichik bo'ladi. Lekin kristall kuchli magnitga aylanib, katta magnit maydon energiyasiga ega bo'ladi. Kristall turli yo'nalishda magnitlashgan ko'plab domenlardan iborat bo'lsa, tashqi magnit maydon va magnit maydon energiyasi kichrayishi mumkin, lekin bunda domenlar chegaralari ko'payib, almashinuv energiyasi ortadi. Shunday sharoitda kristall tabiiy ravishda umumiy energiyasini kichraytiruvchi domenli tuzilishga ega bo'ladi. Bunda kristallning shakli, bundan avval qanday magnit maydonda bo'lganligi muhim bo'ladi.

Kristallning magnitlashuvi J ko'plab domenlardagi zarralarning magnit momentlarini yig'indisidan iborat bo'lib ($\vec{J} = \sum \vec{p}_{mi}$, yig'indi birlik hajmdagi

zarralar bo'yicha hisoblanadi), nol yoki noldan farqli bo'lishi mumkin, unda kristall doimiy magnit deb ataladi.

Tashqi erkin zaryadlarning magnit maydoni $\vec{H}$ ferromagnit kristallning domenli tuzilishiga juda kuchli ta'sir etadi. $\vec{H}$ ta'sirida domenlar chegarasidagi ionlarning magnit momentlari tashqi maydonga moslasha boshlaydi, natijada magnitlashuvi tashqi maydonga mos bo'lgan domenlarning hajmi boshqa domenlar hisobiga orta boradi (1.7-rasm), kristallning magnitlashuvi keskin o'zgaradi. Ferromagnetiklarni magnit maydonda magnitlanib qolishi shunday tushuntiriladi.

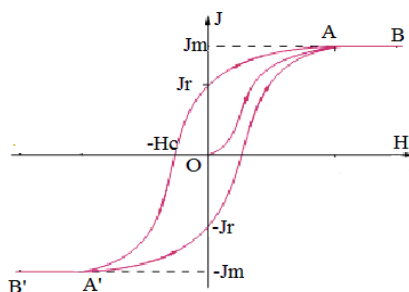
1.7-rasm. Magnitlashuvi tashqi maydonga mos bo'lgan domenlar hajmining boshqa domenlar hisobiga ortishi



♦ Kristallning magnitlashuvi J ning magnit maydon H ga bog'lanishi bir qiymatli emas, bu bog'lanish umumiy holda gisterezis (1.8-rasm) halqasini hosil qiladi. Bu bog'lanish ferromagnetiklarning domenli tuzilishi bilan tushuntiriladi.

Dastlab kristall magnitlanmagan bo'lsin: $H = 0$ va $J = 0$ (1.8-rasmdagi O nuqta). Tashqi magnit maydon H ta'sirida kristall magnitlashuvi keskin o'sa

1.8-rasm. Tajribaviy gisterezis chizig'i



boshlaydi (OAB-chiziq). Bunda magnitlashuvning ortishi tashqi maydonga mos yo'nalgan domenlar o'lchamlarini o'sishidan darak beradi. Lekin maydonning

katta qiymatlarida maydon kuchlanganligi ortishi bilan magnitlashuv J ortmay qo'yadi, to'yinish ro'y beradi. Bunday holat butun kristall yagona domenga aylanganligidan, magnitlashuv J maksimal $J = n p_m$ qiymatga yetganligidan (yaqinlashganidan) darak beradi.

Magnit maydon H kamayishi bilan magnitlashuv ham kamayadi (BAA'-chiziq), lekin bu kamayish dastlabki ortishga nisbatan kechikib ro'y beradi. Bunda domenlar chegarasining o'zgarishi oson emasligi, magnit maydonning o'zgarishiga nisbatan kechikishi seziladi. Maydon nolga aylanganda ham kristalda J_r qoldiq magnitlashuv kuzatiladi. Shu J_r miqdorga qarab ferromagnetiklar qattiq va yumshoq ferromagnetiklar deb ataladi. Bu magnitlashuvni nolga aylantirish uchun esa teskari yo'nalishdagi maydon H_C - koersitiv kuch zarur. J_r qanchalik katta bo'lsa, H_C ham shunchalik katta bo'lishi kerak. Teskari yo'nalishdagi magnit maydonni kuchaytirib borib, yana magnitlashuvni to'yinishiga erishish mumkin. Tajribada tashqi magnit maydonni o'zgartirishni davom ettirib, gisterezis chizig'ini qolgan qismini ham olish mumkin (rasmda B'A'AB-chiziq).

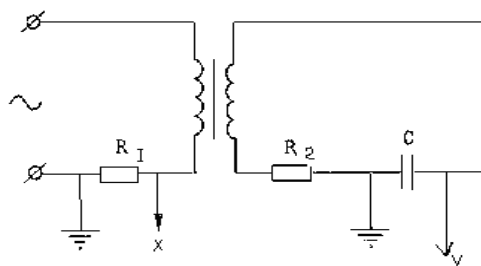
Shunday qilib, ferromagnetiklarning magnitlashuvini magnit maydonga bog'lanishi bir qiymatli bo'lmay, kristallning bundan avvalgi holatiga, ya'ni kristallning domenli tuzilishiga bog'liq ekan. Gisterezis yopiq chizig'ining umumiy sirti kristallning domenli tuzilishini o'zgartirish uchun kerak bo'lgan energiyaga mutanosibdir (JH ko'paytma energiya birligiga ega).

Tajribada gisterezis chizig'ini ko'plab ayrim nuqtalar bo'yicha chizish mumkin, lekin bundan qulayroq imkoniyat ham mavjud. Buning uchun ferromagnetikka o'zgaruvchan kuchlanish bilan ta'sir etiladi. Bu kuchlanish ossillografning gorizontel elektrodlariga ham ulanadi (1.9-rasm, x-belgi).

Ossillografning vertikal elektrodlariga (rasmda y-belgi) ferromagnetikning magnit momenti bilan bog'liq signal ulansa – ossillograf ekranida gisterezis chizig'i kuzatiladi. Tajribadagi har qanday o'zgarish shu damdayoq ekrandagi gisterezis chizig'iga o'z ta'sirini ko'rsatadi. Jumladan o'zgaruvchan kuchlanish

amplitudasini kamaytirib, to‘yinish bo‘lmagan hollarda gisterezis halqasining shaklini o‘zgarishini kuzatish mumkin. Qoldiq magnitlashuv va koersiv maydonning nisbiy qiymatlarini o‘lchash mumkin. Temperatura ortishi bilan gisterezis chizig‘ining yo‘qolishini ko‘rish mumkin.

1.9-rasm. Gisterezis chizig‘ini hosil qilish qurilmasi



Ferromagnetiklarning xossalari temperaturaga ham kuchli bog‘liq. Temperatura ortishi bilan ferromagnetikning magnitlanish darajasi kamayib boradi, Kyuri harorati deb nomlanadigan T_C temperatura chegarasiga etgach, kristallning ferromagnetik xossalari yo‘qolib, u oddiy paramagnetikka aylanadi. Gisterezis halqasi to‘g‘ri chiziqqa aylanadi, magnitlashuv darajasi Kyuri-Veys qonuniga bo‘ysinadi: $J = C/(T - T_C)$, bu tajribada katta aniqlikda tasdiqlangan.

Kyuri haroratida 2–tur fazaviy o‘tish ro‘y beradi, kristalldagi tabiiy magnit tartiblashuv mexanizmi emiriladi. Shu bilan birga kristallning issiqlik sig‘imi, issiqlik o‘tkazuvchanligi, kristalldagi tovushni tarqalish tezligi va yutilish koeffitsienti, kristalni optik xossalari kabi xarakteristikalarini ham keskin o‘zgarishi kuzatilib, bularga qarab Kyuri haroratining aniq qiymatini aniqlash mumkin.

Ferromagnetiklarni Kyuri harorati yaqinidagi xossalarini batafsil o‘rganish boshqa ikkinchi turdagi fazaviy o‘tishlarni tushunishda ham yordam beradi.

Ferromagnetik magnitlashuvini temperatura ortishi bilan kamayib borishini tushuntiraylik.

Temperaturaning absolyut kichik qiymatlarida ferromagnetikdagi domenlarda maksimal magnitlashuv, magnit momentli ionlarni to‘liq tartiblashuvi

kuzatiladi. Temperatura ortishi bilan domen hajmidagi ayrim ionlar issiqlik energiyasini yutish hisobiga energiyasi ortib, magnit momenti teskari holatga o'tib qoladi, ularni magnonlar deb ataladi. Magnonlar soni almashinuv energiyasi va temperatura orasidagi nisbat bilan aniqlanadi va temperatura ortishi bilan magnonlar soni ortib boradi, domendagi magnitlashuv esa kamayib boradi. Temperaturaning chegaraviy qiymati – Kyuri haroratida esa magnonlar soni umumiy ionlar sonining yarmiga yaqinlashib, ferromagnetikda tabiiy magnitlanish mexanizmi yo'q bo'ladi, ferromagnetik oddiy paramagnetikka aylanadi.

Magnonlar kristall bo'ylab harakatlanishi mumkin. Bunda kristalldagi ionlar o'z o'rnida qoladi, ionning magnit momenti atrofdagi ionlarnikidan teskari bo'lgan holati - magnon kristall bo'ylab siljiydi. Bunday harakatni yarimo'tkazgich bo'ylab harakatlanayotgan kovakka o'xshatish mumkin.

Vakuumba $\vec{B} = \mu_0 \vec{H}$ tenglik o'rinli, moddada $\vec{B} = \mu_0 (\vec{H} + \vec{J})$. Ferromagnetiklarda J ning qiymati magnit maydon kuchlanganligi H dan 100-1000 marta ortiq bo'lishi mumkin. Magnit maydonning barcha ta'sirlari esa umumiy maydon induksiya B bilan bog'liqdir. Jumladan, elektromagnit induksiya qonuni ham magnit induksiya orqali ifodalanadi. Shuning uchun kuchli B magnit maydonlar elektr toklarini magnit maydoni H ni ferromagnit o'zaklarda kuchaytirish yo'li bilan hosil qilinadi. Transformatorlarda ferromagnit o'zaklar bo'lmasa edi, bir xil natijaga erishish uchun ularning o'lchamlarini o'nlab marta, hajmini (hisoblarga ko'ra) o'n minglab marta oshirishga to'g'ri kelardi. Ularning amaliy qo'llanishi shubhali bo'lib qolar edi.

Ma'lumki, magnit induksiya uzluksizligi $\text{div} \vec{B} = 0$ tenglama bilan ifodalanadi. $\vec{B} = \mu_0 (\vec{H} + \vec{J})$ tenglikka asosan $\text{div}(\vec{H} + \vec{J}) = 0$ natijaga kelamiz. Moddaning magnitlashuvi $\vec{J}$ moddani sirtida tugaydi, uziladi, $\text{div} \vec{J} \neq 0$ bo'ladi. Demak, shu yerda $\text{div} \vec{H} \neq 0$ bo'lib, moddani sirtida magnitlashuv vektorlari magnit kuchlanganlik vektorlariga aylanadi.

Ilmiy laboratoriya sharoitida 1-10 Tl katta magnit maydonlar hosil qilingan. Buning uchun elektr toklarini magnit maydon kuchlanganligini ferromagnit

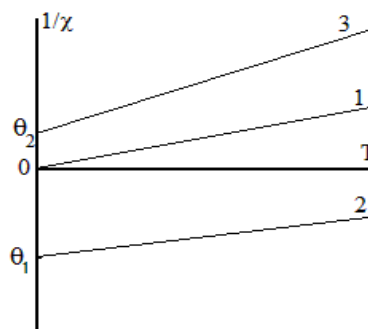
o‘zaklarda kuchaytirish qo‘llanilgan. Ayrim neytron yulduzlarda (magnitarlar) 10^{10} Tl kuchli maydonlar mavjudligi isbotlangan. Bunday maydonlar moddaning xossalarini butunlay o‘zgartirib yuboradi. Ularni tabiat amalga oshirgan nodir tajriba deb atash mumkin.

1.6. Antiferromagnetiklar

Moddalarda diamagnit, paramagnit va ferromagnit magnit xossalar keng tarqalgan. Lekin boshqa magnit xossalar ham uchraydi. Ularni ochilishida magnit qabul qiluvchanlik χ ni temperaturaga bog‘lanishini o‘rganish ahamiyatli bo‘lgan.

Kyuri qonuniga ko‘ra paramagnetiklar uchun $\chi = C/T$ ga teng, ferromagnetiklar uchun esa, Kyuri T_C temperaturasidan yuqori haroratlarda $\chi = C'/(T - T_C)$. Keyinchalik antiferromagnetik deb atalgan moddalarda magnit qabul qiluvchanlik $\chi = C''/(T + T_C)$ ko‘rinishga ega ekan. 1.10-rasmda absissa o‘qida T , ordinata o‘qida $1/\chi$ miqdorlar joylashtirilgan. Yuqoridagi uch turli magnit xossalar uchun bunday bog‘lanishlar chiziqli xarakterga ega. Paramagnitlar uchun $1/\chi = T/C$ - (1-chiziq) koordinata boshidan o‘tuvchi to‘g‘ri chiziqdan iborat. Ferromagnitlar uchun $1/\chi = T/C' - \theta_1$ - (2-chiziq) quyidan o‘tuvchi, antiferromagnetiklar uchun $1/\chi = T/C'' + \theta_2$ - (3-chiziq) yuqorida joylashgan o‘tuvchi to‘g‘ri chiziqdan iborat.

1.10-rasm. Magnit qabul qiluvchanlik χ ni temperaturaga bog‘lanishi



Magnit qabul qiluvchanlikni temperaturaga bog‘lanishidagi bunday keskin farq antiferromagnetiklarni yangi magnit xossalarga ega bo‘lgan moddalar guruxi

ekanligini ko'rsatadi. Past temperaturalarda, kristallga xos bo'lgan T_N kritik temperaturadan pastda, o'rganilayotgan bog'lanishda yana yangi xossani ko'ramiz, χ qabul qiluvchanlikni kristaldagi yo'nalishga bog'liqligi namoyon bo'ladi va bog'lanish xarakteri o'zgaradi. Magnit maydonning kristaldagi yo'nalishga bog'liq ravishda 3' va 3'' chegaraviy chiziqlar hosil qilinadi, boshqa yo'nalishlardagi magnit maydon uchun $1/\chi$ bog'lanish bu ikki chiziqni orasida yotadi. Shunday qilib kritik temperaturadan pastda $1/\chi$ ni temperaturaga bog'lanishida kristall anizotropiyasi sezilar ekan.

Antiferromagnetning xossalari, tuzilishi 1930 yillarda rus olimi L.D. Landau va fransuz olimi L. Neel tomonidan tushuntirildi. Yuqori temperaturada ionlarning magnit momentlari oddiy paramagnetiklardagi kabi betartib bo'ladi, magnit maydon bo'lmaganda magnitlashuv nolga teng bo'ladi. Temperatura chegaraviy T_N - Neel temperaturasidan pasaysa, ionlar orasida almashinuv kuchlari ustun kelib, ferromagnetiklardagi kabi ionlar magnit momentlarini tartiblashuvi kuzatiladi. Faqat ferromagnetiklarda almashinuv kuchlari magnit momentlarni bir xil yo'naltirsa, shunda bog'lanish energiyasi kichikroq bo'lsa, antiferromagnetiklarda aksincha, bog'lanish energiyasi kichikroq bo'lishi uchun qo'shni ionlarning magnit momentlari antiparallel yo'nalgan bo'lishi zarur.

Shunday qilib, kristallga xos bo'lgan Neel temperaturasidan past temperaturada antiferromagnetiklarda ionlar magnit momentlarining o'zaro teskari tartiblashuvi amalga oshadi. Tashqi magnit maydon bo'lmaganda magnitlashuv nolga teng bo'ladi. Magnit maydonda paramagnetiklardagi kabi kuchsiz magnitlashuv ($\chi \approx 10^{-4} - 10^{-6}$) kuzatiladi va u magnit maydonni kristaldagi yo'nalishiga kuchli bog'liq bo'ladi.

Antiferromagnetizm mingdan ortiq moddalarda aniqlangan. Ularning ayrimlarida temperatura pasayishi bilan, ikkinchi turdagi faza o'tishi kuzatilib, moddani ferromagnetik holatga o'tishi aniqlangan. Masalan, *Er* kristallari uchun magnitlashuv nolga aylanadigan temperaturalar 85K va 20K ga teng. Temperatura

20K dan pasayganda kristall ferromagnetikka aylanar ekan. Modda paramagnetik holatdan antiferromagnetik holatga o'tganda ham, undan ferromagnit holatga o'tganda ham magnit xossalardan tashqari moddaning issiqlik sig'imi va o'tkazuvchanligi, moddadagi tovush tezligi va sochilishi, elektromagnit to'lqinlar uchun sindirish ko'rsatkichi va tarqalish tezligi kabi bir-necha xossalarda anomal (odatdan tashqari) o'zgarishlar sezilgan.

Antiferromagnetiklarning xossalaridan va o'rganish imkoniyatlardan biri quyidagicha. Ularda elektromagnit nurlarni yutilishi o'rganilganda, yutilishning rezonans chastotalari aniqlangan, bu hodisa antiferromagnit rezonans deb nomlangan. Bu rezonans chastotalar magnit maydon kuchlanganligiga va yo'nalishiga bog'liq ekan. Bu esa yutilish ionlarning magnit momentlari bilan bog'liqligini tasdiqlaydi. Elektromagnit to'lqin ionlarning magnit momentlarini tebratib, bunda rezonans amalga oshganda yutilish keskin kuchayadi. Rezonans chastotani o'lchanishi esa ionlararo almashinuv energiyasini va uni magnit maydonga bog'liqligini aniqlash imkonini beradi.

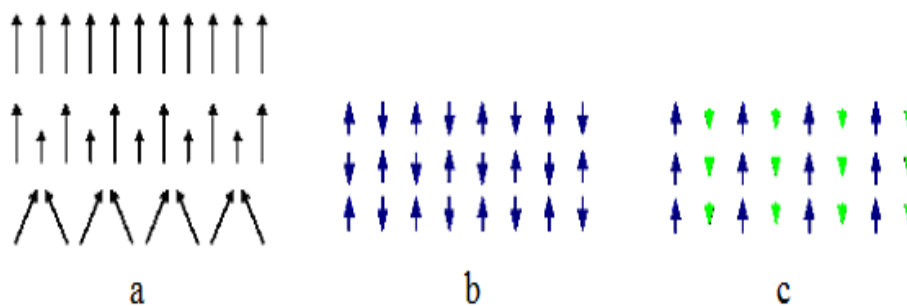
1.7. Ferrimagnetizm

Ferrimagnetizm haqidagi ma'lumotlarni yuqorida o'rganilgan ferromagnetizm va antiferromagnetizm haqidagi bilimlarga asoslanib o'rganish qulay bo'ladi. Ferromagnetizm va antiferromagnetizm (ferrimagnetizm ham) magnit momentli ionlarlardan iborat bo'lgan kristallarda kuzatiladi. Yuqori haroratda ular paramagnit xossalarga ega bo'lsa, harorat kristallga xos chegaraviy temperaturadan pasayganda ularda almashinuv energiyasi ustun kelib, ionlar magnit momentlarini parallel yoki antiparallel tartiblashgan holda joylashishi vujudga keladi. Ferromagnetiklarda buning natijasida tabiiy ravishda kuchli magnitlashgan sohalar – domenlar vujudga keladi, antiferromagnetiklarda esa magnitlanganlik nolga teng bo'ladi.

Ushbu bo'limda o'rganiladigan ferrimagnetiklarda xuddi shunday Kyuri harorati bo'lib, temperatura undan kichik bo'lganida kristallda elektron

bulutlarining kvant ta'sirlashuvi tufayli magnit tartiblashuv vujudga keladi. Tartiblashuv tufayli ikki (yoki bir-necha) magnit momentli ionlarning magnit momentlari o'zaro teskari joylashishi ro'y beradi. Kristalldagi bunday ionlar turli magnit momentlarga ega bo'lishi tufayli butun kristallni ferromagnetik kabi tabiiy magnitlashuvi ro'y beradi (1.11c-rasm). Temperatura oshishi bilan kvant ta'sirlashuvini umumiy energiyaga hissasi nisbatan kamayib borib, Kyuri haroratida tabiiy magnitlashuv mexanizmi yo'q bo'ladi va kristall oddiy paramagnetikka aylanadi.

1.11-rasm. Ferrimagnetiklarda magnit momentlari turli bo'lgan ionlarning teskari tartiblashuvi



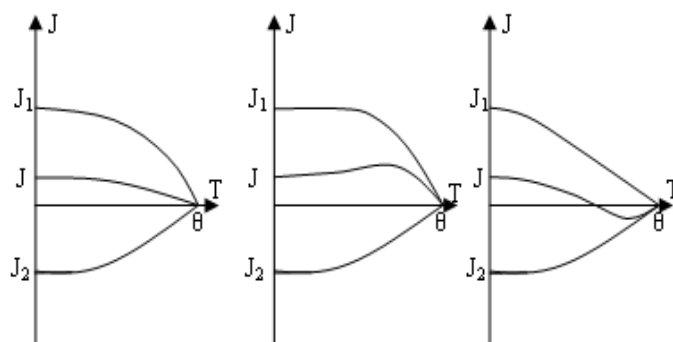
Shunday qilib, antiferromagnetiklarda bir xil magnit momentli ionlarning teskari tartiblashuvi amalga oshsa, ferrimagnetiklarda turli ionlarning, magnit momentlari ham turli bo'lgan ionlarning teskari tartiblashuvi amalga oshar ekan. Masalan, ionlardan biri Fe^{3+} , ikkinchisi Fe^{2+} bo'lishi mumkin. Bu ionlardagi elektronlar sonidagi farq ularning magnit momentlarini farqini belgilaydi, chunki zarraning magnit momenti ulardagi elektronlar hisobiga vujudga keladi.

Magnit momentli ionlarning birinchi turini umumiy magnitlashuvi J_1 , ikkinchi turiniki J_2 bo'lsin, ferrimagnetiklarda ularni ishoralari ham, modullari ham turlichadir. Kristallning umumiy magnitlashuvi $J = J_1 + J_2$ ga teng bo'ladi.

J_1 va J_2 turli ionlarning magnitlashuvi bo'lgani uchun, ularni temperaturaga bog'lanishi ham turlicha bo'ladi. Kristallning magnitlashuvi $J = J_1 + J_2$ ni temperaturaga bog'lanishida uch turli imkoniyat bo'lib (1.12-rasm), ulardan uchin chisi ayniqsa diqqatga sazovordir. Unga ko'ra kristallning tabiiy magnitlashuvi

faqat Kyuri haroratida emas, undan kichik haroratda ham nolga aylanishi mumkin ekan. Bu holatni antiferromagnetikka o'xshatish mumkin. Ferrimagnetiklarda ham elektromagnit to'liqlarni rezonans yutilishi kuzatiladi va bu hodisa ferrimagnit

1.12-rasm. Kristallning magnitlashuvini temperaturaga bog'lanishi



rezonans deb ataladi. Bu yutilish ionlarning magnit momentlarini rezonans tarzda tebranishlari bilan bog'liq bo'lib, rezonans chastotalarni o'lchanishi magnit momentli ionlarni kristall bilan bog'lanish energiyalari haqida ma'lumot olish imkonini beradi.

Ferrimagnetiklar elektr xossalariga ko'ra dielektrik yoki yarimo'tkazgichlardan iborat.

Ferrimagnetiklarning katta guruxi temir birikmalaridan iborat bo'lib, ferritlar deb ataladi. Texnikadagi eng kuchli doimiy magnitlar ham ferromagnetiklardan emas, ferrimagnetiklardan yasalgan.

1.8. Magnit suyuqliklar

Kuchli magnit xossalar – ferromagnit yoki ferrimagnit xossalar faqat qattiq jismlarda kuzatilishi mumkin. Suyuqlik paramagnitdan iborat bo'lsa, uning zarralari magnit momentga ega bo'lsa, suyuqlikda tashqi magnit maydon ta'sirida tashqi maydondan $10^3 \div 10^4$ marta kuchsiz bo'lgan magnitlashuv vujudga keladi. Bunday magnitlashuvni laboratoriya asboblorigina sezishi mumkin.

Suyuqlikka kuchli magnit xossani unga eritilgan mayda magnit zarralar, mayda magnitlar berishi mumkin. Bu fikr muhim bo'lsada, yangilikka dastlabki qadam bo'ladi xolos. Gap shundaki, har qanday suyuqlikda magnitlangan qipiqni

eritishga harakat qilsangiz, tez orada qipiqning elementlari bir-biriga yopishib qolganini, suyuqlikda turmay cho‘kib qolganini ko‘rasiz. Bu sohada Rossiya va Amerikada olib borilgan ilmiy izlanishlar eritiladigan magnit qipiqqa qo‘yiladigan talablarni aniqlashga, so‘ngra bunday qipiqni tayyorlanishiga olib keldi.

Magnit qipiq zarralari suyuqlikda muallaq turishi uchun (cho‘kib qolmasligi uchun) ularni o‘lchamlari tor intervalda, 10nm ga yaqin o‘lchamlarga ega bo‘lishi kerak, bir-biriga tortishib, yopishib qolmasligi uchun ularni sirti nomagnit material bilan qoplangan bo‘lishi kerak ekan.

10nm - bu atom o‘lchamlaridan faqat ikki tartibga katta bo‘lgan zarra degani, nanotexnologiya mahsuloti degani. Bunday o‘lchamdagi zarralar suyuqlik molekulalarining issiqlik harakatining ta‘sirida Broun harakatida bo‘ladi va cho‘kib qolmaydi. Bunday talabni qo‘yish oson, bajarish qiyin. Amerikada bunday zarralarni magnit materialni maxsus tegirmonda deyarli 1.5 oy davomida maydalab, hosil bo‘lgan undan kerakli o‘lchamdagi zarralarni ajratib olib, magnit suyuqliklar tayyorlashgan. Rossiyalik olimlar kerakli o‘lchamdagi zarralarni kimyoviy ravishda o‘stirib, kerakli o‘lchamda jarayonni to‘xtatib, hosil qilishgan.

Magnit suyuqliklardagi erituvchi suyuqlik kerosin, suv, turli moylar, glitserin va b. Ularda magnit qipiq eritilganda ular odatda qora rangdagi, nisbatan quyuk holatga keladi. Izlanishlar natijasida ko‘p oylar davomida magnit tashkil etuvchisi cho‘kib qolmaydigan bir jinsli suyuqliklar yaratilgan.

Magnit suyuqliklar qanday xossalarga ega va nima uchun qo‘llanishi mumkin?

- ◆ Tashqi magnit maydon bo‘lmaganda magnit suyuqlik magnitlanmaydi, odatdagi suyuqliklar kabi xossalarga ega. Uni masalan qoshiq bilan aralashtirish, aylantirish mumkin.
- ◆ Asta sekin tashqi magnit maydonni kuchaytirilsa, suyuqlikdagi magnit zarralarning maydon bo‘ylab tartiblashuvi vujudga keladi, suyuqlikda ichki ishqalanish oshib borib, kuchli magnit maydonda suyuqlikni amorf jismlardek qotib qolishini kuzatish mumkin. Maxsus magnit suyuqliklarda ichki ishqalanishni

magnit maydon ta'sirida 100 marta oshishiga erishilgan. Demak magnit suyuqlik xossalarini magnit maydon yordamida oson boshqarish mumkin ekan. Bundan foydalanib magnit suyuqliklar asosida quyidagi ixtirolar qilingan:

1. Magnit tormoz. Avtomobil g'ildiragiga boradiga o'qqa disk o'rnatiladi. Disk magnit suyuqlikni ichida aylanadi va magnit maydon yo'qligida ortiqcha qarshilikka ega emas. Elektromagnitga tok ulab magnit maydon hosil qilinsa, disk va magnit suyuqlik orasida kuchli ishqalanish kuchi hosil bo'ladi;

2. Magnit stseplenie. Avtomobil transmissiyasida bir-biriga yaqin ikki disk joylashtiriladi, ular magnit suyuqlikda harakatlanadi. Magnit maydon yo'qligida disklar o'zaro erkin harakatlanib, motor g'ildirakdan uzilgan bo'ladi. Magnit maydon yoqilishi bilan disklar orasida kuchli ishqalanish vujudga kelib, g'ildirak motorga ulanadi;

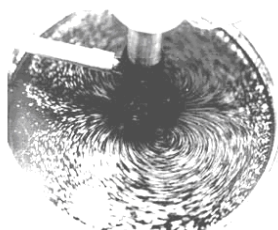
3. Demferlovchi qurilma. Kosmik kemani ulkan quyosh elementlari, yoki o'lchov asbobini strelkasini tebranishlarini so'ndirish uchun ularni bir elementini magnit maydondagi magnit suyuqlikka joylashtiriladi. Yasalgan demferlardan biri o'zidan 60 marta katta massali jism tebranishlarini so'ndirish logarifmik dekrementi 0.5-0.7 oraliqda bo'lgan;

4. Aylanuvchi o'qlar atrofini berkitish. Texnologik qurilmalarda aylanuvchi o'qlar qurilma devoridan o'tib, bunda birinchi hajmdagi gaz yoki suyuqlik ikkinchi hajmga o'tmasligi kerak. Bu moddalar zaharli yoki yonuvchi bo'lganida ularni o'tmasligi uchun talablar ayniqsa kuchli bo'ladi. Aylanuvchi o'q bilan devor orasiga magnit suyuqlik joylashtirib, devorni ikki yoniga, o'qni atrofiga doimiy magnitlar joylashtirilsa, magnit suyuqlik teshikni berkitib, zararli moddalar yo'lini to'sadi. Jumladan devorni bir yonida vakuumni saqlash imkoniyatini yaratadi. Bir vaqtni o'zida suyuqlik moylovchi vazifani ham bajaradi.

◆ Doimiy magnit maydonlar magnit suyuqlik ichki ishqalanishini orttirgan holda, o'zgaruvchan magnit maydonlarda maydon chastotasi va amplitudasini tanlab, ichki ishqalanishni kuchli kamaytirish mumkinligi ko'rsatilgan.

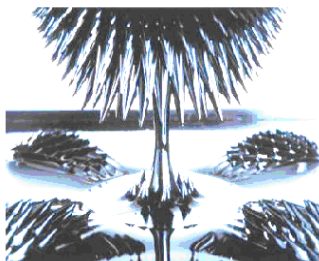
- ◆ Magnit maydon yordamida magnit suyuqlikni harakatga keltirish mumkin. 1.13-rasmda kuchsiz aylanuvchi magnit maydon harakatga keltirgan magnit suyuqlik tasvirlangan.

1.13-rasm. Kuchsiz aylanuvchi magnit maydondagi magnit suyuqlik tasviri



- ◆ Magnit suyuqlikka ta'sir etuvchi magnit kuchlar og'irlik kuchidan ortiq bo'lib, suyuqlik sirtini butunlay o'zgartirib yuborishi mumkin. Magnit maydon yordamida hosil qilingan 1.14-rasmdagi shakllarni amaliy ahamiyati ko'rinmasada, estetik ahamiyati bo'lishi mumkin.

1.14-rasm. Magnit suyuqlikka ta'sir etuvchi magnit kuchlar suyuqlik sirtini o'zgartirishi



- ◆ Magnit suyuqliklar ferromagnetik yoki ferrimagnetik moddalar kabi magnit maydonni minglab marta kuchaytiradi. Bundan esa transformator o'zagida foydalanish mumkin. Ixtirolardan birida uch fazali transformator o'zaklarida bo'sh kanallar qoldirilgan. Maxsus nasos bu kanallarga magnit suyuqlikni kiritishi mumkin. Kanallardagi suyuqlik miqdori esa transformator o'zaklaridagi magnit oqimni o'zgartirib, chiquvchi kuchlanishni asta – sekin o'zgartirish imkoniyatini yaratadi.
- ◆ Odatda moddaning solishtirma og'irligi zichlik va erkin tushish tezlanishiga bog'liq: ρg . Magnit suyuqlikka yana magnit maydon ta'sir etadi va uni solishtirma

og'irligini kamaytirish yoki oshirish mumkin. Magnit maydon yordamida magnit suyuqlikning solishtirma og'irligini asta sekin o'zgartirish mumkin. Suyuqlikni solishtirma og'irligi oshgan sari avval suyuqlikdagi engil jismlar, so'ngra og'ir jismlar suyuqlik sirtiga chiqadi. Bunday yo'l bilan mineral hom ashyodan kerakli tashkil etuvchilarni ajratib olish ustida tadqiqotlar olib borilmoqda.

◆ Tajribalardan birida magnit suyuqlikni bir yoniga doimiy magnit qo'yiladi, boshqa yoniga esa isitgich. Isigan suyuqlikning magnit qabul qiluvchanligi kichrayib, magnit sovuq suyuqlikni kuchliroq torta boshlaydi va suyuqlik harakatga keladi. Temperaturalar farqi bor ekan, suyuqlikni harakati davom etaveradi. Kosmik fazoda isitgich sifatida Quyosh nurlaridan foydalanib, Shunday mexanik energiya manbaini hosil qilish mumkin. Bu jarayon uchun maxsus tayyorlangan suyuqlikning magnit qabul qiluvchanligi temperaturalar farqiga sezgir bo'lsa, qurilmani effektivligi katta bo'ladi.

◆ O'zgaruvchan magnit maydondagi tajribalardan ma'lum bo'ladiki, ayrim hollarda suyuqlikdagi magnit zarralarning magnit momenti doimiy bo'lmay, yo'nalishi o'zgarishi mumkin ekan. Ilmiy qiziqish manbai bo'lgan bu hodisa, kelajakda foydali jarayonlarda qo'llanishi mumkin.

Shunday qilib magnit suyuqliklar turli texnik qurilmalar ishini elektr va magnit maydonlar bilan boshqarish imkoniyatini yaratadi. Kelajakda yana ko'plab inson uchun foydali ixtirolar uchun asos bo'ladi.

1.9. Nanozarralarning magnit xususiyatlari

Nanozarralarning o'ziga xos magnit xususiyatlari ulardagi elektron va fonon spektrlarining diskretligidan kelib chiqadi. Mana shunday xususiyatlardan biri paramagnet metall nanozarralari magnit qabul qiluvchanligining magnit maydon kuchlanganligi H ga ossilyatsion holda bog'liqligini ko'rsatish mumkin. Bundan tashqari, kichik o'lchamlar tufayli Kyuri paramagnetizmi Pauli tipidagi paramagnetizmni sezilarli darajada (ekranlab) to'sib qo'yishi mumkin.

Elektron holatlar diskretligining mayda zarralar magnitik qabul qiluvchanligiga ta'sirini tadqiq etish shuni ko'rsatadki, kuchsizroq magnitik maydon ($\mu_r H \ll \Delta$) da (Δ -qo'shni elektron sathlar orasidagi masofa, μ_r -magnit singdiruvchanlik), juft elektronlar soniga ega metall zarralar elektron-spin paramagnetizmi yetarlicha past ($kT/\Delta \ll 1$) temperaturalarda juda pasayib ketadi. Biroq, sust spin-orbital o'zaro ta'sir tufayli ular butunlay yo'q bo'lib ketmaydi. Toq sonli elektronlar holatida temperatura pasayganda, paramagnit qabul qiluvchanlik Kyuri qonuni bo'yicha ortadi. Yetarlicha katta temperaturalarda ($kT/\Delta > 1$) toq va juft elektronli zarrachalar paramagnetizmi asimptotik ravishda Pauli paramagnetizmiga intiladi.

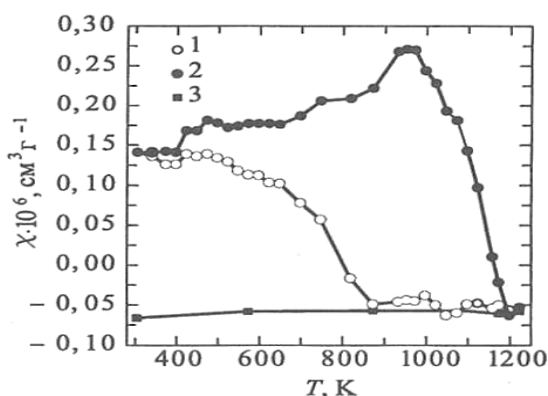
Misol uchun *Li* ($D \sim 1$ nm), *Pt* ($D \sim 2$ nm), *Al* ($D \sim 2$ nm) nanozarralarining magnit qabul qiluvchanligi χ past temperaturalarda Kyuri qonuniga asosan o'zgaradi. $D \approx 3.2$ nm bo'lgan *Li* nanozarralari magnit qabul qiluvchanligining o'zgarishi past temperaturalarda Kyuri qonuniga, yuqori temperaturalarda esa Pauli paramagnetizmiga mos keladi.

Magnit qabul qiluvchanlikning nanozarralar o'lchamlariga bog'liqligi o'lchamlari 1 dan 1000 nanometrgacha bo'lgan selen va tellur nanozarralarida kuzatilgan: *Se* zarralari o'lchamlarni kichraytirish ularning diamagnetizmining ortishi, *Te* uchun esa Van-Flek orbital paramagnetizming ortishi tufayli χ qarama-qarshi yo'nalishda o'zgaradi.

Keltirilgan misollar boshqa ko'plab metallarda ham, biroz chetlanishlar bilan kuzatiladi. Tadqiqotchilarning fikricha, bunday tajribalar natijalari sababi – ushbu metallar juda kichik va nanoo'lchamli zarralarning metall xossalariga ega bo'lmasligi, sirtqi s-elektronlar bevosita atomlarda joylashganidandir. Ularning xossalari yirik metallarnikidan farq qiladi. Shu tufayli klasterlardagi atomlar o'rtasida oddiy almashinish o'zaro ta'sirlashuvi mumkin bo'lib qoladi. Bu demak, moddaning nanotuzilish holatli ferromagnetik xossalariga ta'sir qiladi.

Zarralar o'lchamini yana ham kichraytirish ularning superparamagnit holatlarga o'tishi bilan koertsitiv kuchni nolgacha keskin kamayib ketishiga olib

keladi. Tadqiqotlar submikrokristall misni magnetik qabul qiluvchanligi dastlabki misnikidan katta va n-Cu ni magnetik qabul qiluvchanligida magnetik maydon kuchlanganligi H ga teskari proportsional bog'lanish vujudga keladi, χ 'ni namunada ferromagnetik Fe atomlari mavjudligini ko'rsatadi (1.15-rasmga qarang).



1.15-rasm. Magnit induksiya 8,8 kGs bo'lgan maydonda temir aralashmali nanokristall mis (n-Cu) matritsaning magnit qabul qiluvchanligi χ ning: 1-temperaturaviy bog'lanishi $\chi(T)$; 2-kuydirishga bog'lanishi $\chi(300, T)$; 3-0.01% temir aralashmasi bo'lgan misning qabulchanligini temperaturani orqaga qaytishiga bog'liqligi

Rasmdagi $\chi(300, T)$ bog'lanishni $T_n \approx 425$ K (misni submikro-kristallikdan yirik donadorlik holatiga o'tishi) yaqinida χ sakrab o'zgaradi, 450-650 K oraliqda ko'p o'zgarmaydi va keyingi temperatura ortishida χ o'sadi, 975 K da maksimumdan o'tadi va diamagnetik qiymatlargacha pasayishi kuzatiladi, 850 K da mis χ ning temperaturaviy bog'lanishiga o'tadi. $T < 425$ K larda $\chi(T)$ bog'lanishda χ ning pasayishi, 425-475 K oraliqda diamagnetiklik qiymatgacha tushishi va 850 K dan boshlab misning magnitik qabulchanligining temperaturaviy bog'lanishiga o'tishi kuzatiladi. χ ning magnitik maydon kuchlanganligi H ga bog'langanligi $T > 850$ K da yo'q bo'ladi. 1225 K dan 300 K gacha oraliqda $\chi(T)$ teskari bog'lanishni H ga bog'liq emas va 0.01% temir aralashmali misni $\chi(T)$ ga mos bo'ladi. Lekin, yuqoridagi holat $\chi(T)$ ning bunday katta o'zgarishlariga olib kelmasligi kerak. Shuning uchun, n-Cu uchun nanoo'tishlarda ($\Delta\chi = \chi(300, T) - \chi(T)$) ning 500 K da eng katta qiymatga ega bo'lishini faqat mis nanozarralari holatlarining o'zgarishi bilan tushuntirish qiyin. Tahlillarning ko'rsatishicha, kuydirish $\chi(300, T)$ va temperaturaviy $\chi(T)$ bog'lanishlarda 425-450 K oraliqda χ ning sakrab o'zgarishiga misning magnit qabul qiluvchanligining o'zgarishi tufayli

emas, balki, mis donadorliklari chegaralarida nanozarra shaklida ajralib chiqqan temir zarralari hissasining o'zgarishi tufayli yuz beradi.

Bob yuzasidan qisqacha xulosalar

Manbalar asosida quyidagi fizik kattaliklar:

1. Moddaning qutblanganligi va elektr maydon: $\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E} + \vec{P}$;
2. Magnitlanganlik va molekulyar toklar: $\vec{j}_m = \text{rot} \vec{J}$;
3. Magnitlanganlik va magnit maydon: $\vec{B} = \mu_0 (\vec{H} + \vec{J})$ orasidagi munosabatlar va
4. Magnit qabul qiluvchanlik ta'rif: $\vec{J} = \chi \vec{H}$
5. Diamagnetik va o'ta o'tkazgich uchun magnit qabul qiluvchanlik: $\chi = -\frac{n e^2 r^2 \mu_0}{4m}$,
 $\chi = -1$.
6. Elektronning xususiy va orbital magnit momentlari (Bor magnetoni): $p_m = -\frac{e\hbar}{2m}$.
7. Paramagnetik magnit qabul qiluvchanligi uchun mavjud $\chi = \frac{n p_m^2 \mu_0}{3kT} = \frac{C_K}{T}$
munosabatlar o'rganildi.

Ushbu bobda moddalarning besh turdagi magnitlashuvlarini ko'rib chiqdik. Ulardan ko'plari (ferromagnetizm, antiferromagnetizm, ferrimagnetizm) – qattiq jismlarga tegishlidir. Qattiq jismlarda uchraydigan magnit xossalar umuman olganda juda ko'p bo'lib, masalan K.M.Xyord maqolasida (Успехи физических наук, 1984, 142-том, 2-часть, “Многообразие видов магнитного упорядочения в твердых телах”) yana 9 turdagi magnitlashuv turlari bayon etilgan, maqola oxirida magnitlashuvning boshqa turlari haqida ma'lumotni qanday adabiyotlardan topish mumkinligi aytib o'tilgan. Bundan qattiq jism fizikasi qanchalik rivojlanayotganini tushunish mumkin. Fizikaning bu bo'limining yutuqlari mikroelektronikani, nanotexnologiyani insoniyat taraqqiyotiga qo'shayotgan hissasini aniqlab beradi.

2-BOB. MAGNIT MATERIALLAR

2.1. Umumiy ma'lumotlar

Magnit materiallar yordamida magnit oqimi keskin kuchaytiriladi. Magnit oqimidan past kuchlanishli toklar yuqori kuchlanishli toklarga, yoki elektr energiyasini mexanik energiyaga aylantirishda va elektr energiyasini shunga o'xshash tarzda generatsiyalashda foydalaniladi.

Tashqi magnit maydoni ta'sirida magnitlanish xossasiga ega materiallar magnit materiallari deb ataladi. Asosiy magnit materiallarga nikel, kobalt va toza temir asosidagi turli qotishmalar misol bo'ladi. Texnika ahamiyatga ega magnit materiallarga ferromagnit materiallar va ferromagnit kimyoviy birikmalar (ferritlar) kiradi.

Materiallarning magnit xossalari elektr zaryadlarining ichki harakatida bo'lib, bunda zaryadlar elementar aylanma tok ko'rinishida ifodalanadi. Bunday aylanma toklar elektronlarning o'z o'qi atrofida aylanishi (elektron spinlar) hamda ularning atom ichida orbita bo'ylab aylanishidan hosil bo'ladi. Ferromagnit hodisasi ba'zi materiallarning ichki mikroskopik qismida kristall strukturalar tashkil qilishi bilan bog'liq bo'lib, bunday strukturalar magnit domenlari deyiladi. Bunda elektron spinlar o'zaro parallel ravishda bir tomonga yo'nalgan bo'ladi.

Jismning ferromagnitlik holatda bo'lishini ifodalovchi xususiyati tashqi magnit maydoni ta'sirida uning o'z-o'zidan (spontan) magnitlashishidan iboratdir. Ferromagnit magnit momentlarining ba'zi domenlari ichidagi spinlar turli yo'nalishga ega bo'lishi mumkin. Tashqi muhitda bo'lgan bunday materiallarning umumiy magnit oqimi nolga teng bo'ladi.

Ba'zi materiallar (qatlam chegaralari orasidagi qalinlik bir necha o'n-yuz atom masofasiga teng bo'lganda) da domenlarning o'lchami taxminam $0,001-10 \text{ mm}^3$ oralig'ida bo'ladi. O'ta toza materiallarda esa domenlarning o'lchami yuqorida keltirilgan qiymatdan ham kattaroq bo'ladi.

Ferromagnit moddalarning monokristallari magnit anizotropiyasi bilan xarakterlanadi. Magnit anizotropiyasi turli o'qlar yo'nalishida magnitlanishning turli qiymatlari bilan ifodalanadi.

Polikristall magnetiklarda anizotropiya keskin ifodalangan hollarda ferromagnetik magnit teksturaga ega bo'ladi. Kerakli magnit tekstura olish orqali materialda ma'lum yo'nalishda yuqori magnit xarakteristikaga erishishi mumkin.

Tashqi magnit maydoni ta'sirida ferromagnit materialning magnitlanish jarayoni quyidagicha kechadi: 1) magnit momenti maydon yo'nalishi bilan kichik burchak hosil qilgan domenlar kattalashadi va boshqa domenlar o'lchami kichrayadi; 2) magnit momentlari maydon yo'nalishi uzra buriladi va bir xil yo'nalishga ega bo'ladi. Magnit to'yinishi domenning kattalashishi to'xtaganda va o'z-o'zidan magnitlangan barcha monokristall qismlarning magnit momenti maydon uzra yo'nalganida sodir bo'ladi.

Ferromagnit monokristallari magnitlanayotganda ularning chiziqli o'lchamlari o'zgaradi. Bu hodisa magnitstriksiya deyiladi. Temir monokristallining magnitstriksiyasi kristallning har xil yo'nalishlarida turlicha bo'ladi.

Ferromagnit materialining magnitlanish jarayoni gisterezis egri chizig'i $B(H)$ bilan ifodalanadi va u barcha ferromagnitlarda bir-biriga o'xshash bo'ladi.

Materiallarning nisbiy magnit singdiruvchanligi magnit induktsiyasi (B) ning magnit maydoni kuchlanganligiga nisbati bilan aniqlanadi:

$$\mu_r = \frac{B}{\mu_0 H}$$

Magnit materiallarning magnit singdiruvchanligi birdan yuqori $\mu_0 \gg 1$ ($\mu_r = \mu_0 \cdot \mu$, $\mu_0 = 1,2566 \cdot 10^{-6}$ Gn/m) bo'ladi.

Ferromagnit materiallarning magnit singdiruvchanligi haroratga bog'liq bo'lib, Kyuri nuqtasiga yaqin qiymatlarda μ_r o'zining yuqori qiymatiga erishadi. Kyuri nuqtasidan yuqori haroratlarda spontan magnitlanish sohasida issiqlik harakati buzilib, materialning magnit xossasi yo'qoladi. Chulg'amda magnit o'zak bo'lmaganda magnit induksiya qiymati undan o'tayotgan tok hisobiga sodir

bo'ladi. Agar chulg'amga magnit o'zak kiritsak, elektr toki hisobiga sodir bo'ladigan magnit maydoni o'zakni yanada magnitlab, qo'shimcha kuch chiziqlari hosil bo'lishi natijasida magnit induksiyasining yoki magnit oqimining keskin oshishiga olib keladi. O'zak kesim yuzasidan hosil bo'ladigan qo'shimcha kuch chiziqlari qayta magnitlanish deyiladi va i bilan belgilanadi.

Bu qiymat magnit maydon kuchlanganligi (H) va magnit material sifatini (x) ga yoki jismning magnit qabul qilish koeffitsienti $j=xH$ ga bog'liq. Chulg'amga magnit o'zak kiritilgandan so'ng magnit induksiyasining ko'paygan qiymati quyidagicha bo'ladi:

$$B' = \mu_0 (H + j) = \mu_0 (H + xH) = \mu_0 H(1 + x) = \mu' H,$$

bunda: $\mu' = \mu_0 (1+x)$ – magnit materialining magnit singdiruvchanligi.

Magnit material sifatini aniqlashda nisbiy magnit singdiruvchanlik kattaligidan foydalaniladi:

$$\mu = \mu' / \mu_0 = 1 + x$$

Magnit singdiruvchanlik chulg'amga magnit o'zak kiritilganda magnit oqimining ko'payishini bildiradi. Bu yuksalish bir necha o'n ming martagacha ortadi.

Uzunligi L , kesim yuzasi S bo'lgan o'zakning magnit qarshiligi quyidagicha aniqlanadi:

$$R_\mu = L / \mu' S = L / \mu \cdot \mu_0 S.$$

Shunday qilib, g'altakka o'zak kiritilishi natijasida magnit qarshiligi μ ga bog'liq ravishda kamayadi.

Magnit singdiruvchanligi bo'yicha barcha qattiq jismlar sust (diamagnit $\mu < 1$, paramagnit $\mu < 1$) va kuchli magnit materiallarga (ferromagnit $\mu \gg 1$) bo'linadi. Magnit materiallari sifatida kuchli magnit materiallar qabul qilinib, ular magnit maydon kuchlanganligiga kuchli ravishda bog'liq bo'ladi. Magnit induksiyasi B va magnit maydon kuchlanganligi H o'rtasidagi bog'liqlik $[B=f(H)]$ magnit

materialining magnitlanish egri chizig'i deb ataladi. Bunda magnit materiali $H=H_T$ qiymatda to'yinadi.

Magnit singdiruvchanlikning haroratga qarab o'zgarishi magnit singdiruvchanlikning harorat koeffitsienti bilan aniqlanadi:

$$TK\mu_r = \alpha\mu_r = (1/\mu_r t)(d\mu_r / dt).$$

Agar ferromagnit tashqi magnit maydoni ta'sirida asta-sekin magnitlansa va ma'lum qiymatdan so'ng maydon kuchlanganligi pasaytira borilsa, induksiya ham kamaya boradi. Lekin bu kamayishi asosiy chiziq bo'ylab emas, balki ma'lum kechikish bilan (gisterizis hodisasi tufayli) ro'y beradi. Maydon kuchlanganligi teskari yo'nalishda oshirilganda material magnitsizlanishi, o'ta magnitlanishi mumkin va magnit maydon yo'nalishi yana o'zgartirilsa, induksiya yana asl holatiga qaytadi, ya'ni gisterizis halqasi paydo bo'ladi.

Magnit materiali bo'lmaganda o'ramlari soni n ta bo'lgan sim chulg'amidan tok o'tkazish orqali magnit oqimi hosil qilish mumkin. Agar o'ramdagi simning kesim yuzasi S , chulg'am uzunligi L bo'lsa, magnit oqimi F quyidagicha aniqlanadi:

$$F = \mu_0 n j S / L$$

yoki boshqacha ko'rinishda:

$$F = F / R_\mu Vb,$$

bunda: F – magnit yurituvchi kuch, A; $R_\mu = L / \mu_0 S$ – magnit qarshilik, Gn^{-1} .

Magnit oqimining zichligi yoki magnit induksiyasi:

$$B = F / S = \mu_0 H V b / m^2.$$

Magnit materiali uchun chizilgan $B=f(H)$ xarakteristikadan foydalanib, magnit singdiruvchanlik μ_r ning magnit maydon kuchlanganligi (H) ga bo'lgan bog'liqligi aniqlanadi.

Agar magnit maydon kuchlanganligi va magnit induksiyalari nolga teng bo'lsa, ularning nisbati mavhum bo'lib qoladi. Tajribadan aniqlanishicha, kuchsiz magnit maydonida μ_r qiymati ma'lum boshlang'ich singdiruvchanlik μ_{rb} ga

intiladi. Magnit maydonining ma'lum qiymatida magnit singdiruvchanlik (μ_{rmax}) o'zining yuqori qiymatiga erishadi. Maydon kuchlanganligi yanada oshirilsa, magnit materialining qiymati pasaya boradi.

Demak, magnit materialida magnit singdiruvchanlik o'zining aniq bir qiymatiga ega bo'lmay, balki magnit maydon kuchlanganligiga juda ham bog'liq ekan. Shu sababli, magnit materialining μ_r qiymati keltirilganda magnit maydon kuchlanganligi (H) ham ko'rsatilishi shart.

Magnit maydon kuchlanganligi o'zining H_m qiymatidan kamaytirilsa, (induksiya B_m gacha), gisterezis hodisasi kuzatiladi, ya'ni magnit induksiyasining kechikishi maydon kuchlanganligining o'zgarishiga bog'liq bo'ladi. Maydon kuchlanganligi nolga teng bo'lganida magnit induksiyasi qandaydir qoldiqqa ega bo'lib, u induksiya qoldig'i (B_r) deyiladi. Induksiya qoldig'iga magnit maydon kuchlanganligining teskari yo'nalishida, uning $H_c=0$ qiymatida erishiladi, bunda H_c koersitiv kuch deb ataladi.

Agar xarakteristikada maydon kuchlanganligi $-H_{max}$ qiymatidan $+H_{max}$ qiymatigacha qaytarilsa, magnit maydonining gisterezis halqasi kelib chiqadi. Gisterezis hodisasida atomlarining o'z o'qi atrofida aylanishi natijasida materialda ichki ishqalanish sodir bo'ladi. Bu hodisa, gisterizisda sodir bo'luvchi energiya isrofi deb ataladi. Ferromagnitliklarning o'zgaruvchan magnit maydonida qayta magnitlanishi issiqlik energiyasi isrof bo'ladi. Magnit materiali massasida induksiyalangan quyuq tok dielektrik isroflarni keltirib chiqaradi. Quyuq tokda sodir bo'ladigan isroflar ferromagnetikning elektr qarshiligiga bog'liq magnit materialidagi umumiy energiya isrofi quyidagicha aniqlanadi:

$$P_m = P_h + P_i.$$

Kuchsiz toklar sohasida quyidagi qiymatdan foydalaniladi:

$$Q = \omega L / r,$$

bunda: ω - burchak chastota, Gs; L – chulg'am induktivligi, Gn; r -o'zakdagi ekvivalent qarshilik, Om.

Magnit materialidagi energiya isrofining qiymati $B=f(H)$ xarakteristikasidagi gisterezis halqa yuzasi bilan aniqlanadi. Magnit materialidagi energiya isrofi chastota ortishi bilan keskin ko'payadi. Bu esa yuqori chastotaga mo'ljallangan magnit materiallari ishlab chiqarishda katta qiyinchiliklar tug'diradi. P_m ni kamaytirish maqsadida qiymati yuqori bo'lgan magnit materiallar qo'llaniladi. Magnit materialining asosiy xarakteristikasini ifodalovchi μ_r qiymati maydon kuchlanganligiga bog'liq bo'lib, material qizishi natijasida bu qiymat keskin kamayadi. Kyuri nuqtasida material o'zining ferromagnitlik xossasini yo'qotadi $\mu_r \rightarrow 0$. Bundan tashqari, chastota ortishi natijasida materialda sodir bo'ladigan quyun toki hisobiga magnitsizlanish ro'y beradi.

Ferromagnit turkumdagi asosiy materiallarning magnit xususiyatlari 2.1-jadvalda keltirilgan.

2.1-jadval

Ferromagnitlar guruhiga kiruvchi asosiy materiallarning magnit xususiyatlari

Metall	$\mu_{\max}$	$\mu_{0j\max},$ Bb/m ²	$H_c, A/m$	$B_r, B_0/m^2$	Kyuri nuqtasi, °C
Temir	10000-15000	2,163	0,0015-0,004	1,1	787
Nikel	1120	0,64	0,012	0,33	358
Kobalt	174	1,77	0,10	0,34	1115

2.2. Yumshoq magnit materiallar

Magnit materiallar yumshoq va qattiq turlarga bo'linadi. Yumshoq magnit materiallardan magnitli o'tkazgichlar tayyorlanadi. Bu materiallarning magnit singdiruvchanligining boshlang'ich qiymati katta bo'lishi kerak. Yumshoq magnit materiallarida solishtirma qarshilik nisbatan katta qiymatga, koerisitiv kuch ($H_c < 0,1 A/m$) esa kichik qiymatga ega bo'lishi kerak. Bu materiallarga sof temir, temirning kremniy, nikel va kobalt bilan qotshimalarini misol tariqasida keltirish mumkin.

Texnik sof temir (qo'shimchalari 0,1%) oddiy pechlarda olinadi. Uning ayrim magnit xossalari 2.2-jadvalda keltirilgan. Bu temir o'zgaruvchan tok zanjirida

ishlatiladigan elektromagnit yoki rele uchun o'zaklar tayyorlashda ishlatiladi. Ular varaq yoki silindr shaklda yupqa (0,2 – 4 mm) qilib tayyorlanadi.

Texnik sof temir (qo'shimchalari 0,02%) ning asosiy fizik xossalari quyidagicha:

Zichligi - 7880kg/m^3 , erish harorati - 1539°C , solishtirma issiqlik sig'imi – $0.46\text{KJ/kg}\cdot\text{K}$, issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsienti – $71.5\text{ Vt/m}\cdot\text{K}$, chiziqli kengayish koeffitsienti – $11.6\cdot 10^{-6}\text{K}^{-1}$, solishtirma qarshiligi – $0.1\text{ mkOm}\cdot\text{m}$, qayishqoqlik moduli - 210 Mpa , Kyuri nuqtasidagi harorat - 770°C .

2.2-jadval

Turlicha ishlov berilgan temirning tarkibi va magnit xossalari

Material	Qo'shimchalarning miqdori, %		Magnit xossalari		
			Magnit singdiruvchanlik		Koerisitiv kuch, H_c , A/m
	uglerod	kislorod	μ_{rb}	μ_{ryu}	
Texnik sof temir	0,020	0,060	250	7000	64,0
Elektrolitik temir	0,020	0,010	600	15000	28,0
Karbonil temir	0,005	0,005	3300	21000	9,4
Vakuumba eritilgan elektrolitik temir	0,010	-	-	61000	7,2
Vodorodda ishlov berilgan temir	0,005	0,003	6000	200000	3,2
Vodorodda yaxshilab ishlov berilgan temir	-	-	20000	340000	2,4

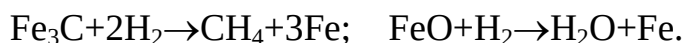
O'zgarmas tokda ishlaydigan elektr mashinasida qo'llaniladigan temir tarkibida C, Si, Mn kabi qo'shimchalarning miqdori 1.2-1.5% gacha, kam legirlangan po'lat tarkibida esa C, Ni, Cr larning miqdori 2.5-5% gacha bo'ladi. Bu

materiallarda mexanik mustahkamlik o'sishi bilan bir qatorda, magnitlanish xususiyati birmuncha yomonlashadi.

Elektrolitik temir texnik sof temirni elektroliz qilish usuli orqali olinadi. Bunday temirning tarkibidagi qo'shimchalarning umumiy miqdori 0.05% dan oshmaydi. Elektrolitik temirga ishlov berib, zarralarining o'lchami 50-100mkm bo'lgan kukun olinadi. Bu kukunni bosim ostida ishlash orqali undan o'zaklar tayyorlanadi. Ular chastotasi 100-1000Gs atrofida bo'lgan asboblarda qo'llaniladi.

Karbonil temir pentakarbonil $[\text{Fe}_2(\text{CO})_5]$ suyuqligi] ni 200-250°C haroratda kimyoviy parchalash orqali olinadi. Karbonil temir mayda kukun ko'rinishida bo'lib, undan yuqori chastotali magnit o'zaklar tayyorlanadi. Kichik shar shakldagi zarrachalar o'zakda sodir bo'ladigan quyun toki miqdorini keskin kamaytiradi.

Vodorodda 1480°C da 30-40 minut davomida kuydirilgan sof temir birikmasidan uglerod va kislorod ajralib chiqadi:



Mazkur temir o'ta tozaligi bilan ajralib turadi; kuchsiz magnit maydonida bu materialning μ_r qiymati yuqori bo'ladi. Temir monokristali o'ta yuqori magnitlanish xossasiga ega.

Kremniyli elektr texnik po'lat temir va kremniy qotishmasidan iboratdir. Undan tayyorlangan listlar elektr texnik po'lat listlar deyiladi. Bu po'lat asosiy magnit materiallaridan biri bo'lib, sanoat chastotasida ishlaydigan elektr mashina va apparatlarida keng qo'llaniladi.

Elektr texnik po'latning fizik xossalari:

Zichligi.....7800kg/m³

Tarkibidagi kremniy miqdori.....0,4-2,8%

Solishtirma qarshiligi(0,14-0,50)·10⁶ Om·m

Issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsienti.....0,46-0,25Vt/(m·K)

Temir tarkibiga kremniy kiritishdan asosiy maqsad materialning solishtirma qarshiligini oshirish va undagi quyun toki miqdorini cheklashdan iboratdir.

Kremniy elementi temirning magnit xossalarini deyarli o'zgartirmagan holda P qiymatini sezilarli darajada oshiradi.

Kremniy temir tarkibidagi uglerod va kislorod birikmalarini yemiradi:



2.3-jadval

Elektr texnik po'latlarning tarkibidagi kremniy miqdoriga nisbatan zichligi va solishtirma qarshiligi

Po'latning kremniy bilan legirlanish darajasi	Markasidagi ikkinchi raqam	Zichligi, $\times 10^3$ kg/m ³	Solishtirma elektrik qarshiligi mkOm·m
Legirlanmagan	0	7,85	0,14
Kam legirlangan	1	7,82	0,17
O'rtachadan kam legirlangan	2	7,80	0,25
O'rtacha legirlangan	3	7,75	0,40
Yuqori darajada legirlangan	4	7,65	0,50
O'ta yuqori darajada legirlangan	5	7,55	0,60

2.4-jadval

Tarkibidagi kremniy miqdorining ortishiga qarab temir xossalarining o'zgarishi

Si, %	γ , kg/m ³	μ_b	$(\mu_{bj})_{\max}$, Bb/m ²	H_c , A/m	ρ , mkOm·m
0	7800	150	2,15	0,0160	0,10
2	7750	200	2,06	0,0046	0,40
4	7550	400	1,97	0,0040	0,62

Yupqa listli elektr texnika po'lati quyidagicha tasniflanadi:

Struktura holati va prokatlash turi bo'yicha (markadagi birinchi raqam): 1- qizdirib shakl berilgan, izotropli; 2- sovuqlayin shakl berilgan, izotropli; 3- sovuqlayin shakl berilgan, anizotropli;

Tarkibidagi kremniy miqdori bo'yicha (markadagi ikkinchi raqam):

0- kremniy miqdori 0.4% gacha (legirlanmagan); 1- 0.4%<Si≤0.8%;

2- 0.8%<Si≤1.8%; 3- 1.8%<Si≤2.8%; 4- 2.8%<Si≤3.8%; 5- 3.8%<Si≤4.8%

Asosiy xarakteristikasi bo'yicha (markadagi uchinchi raqam) : O- magnit induksiyasi 1.7 Tl va chastotasi 50 Gs bo'lgandagi solishtirma isroflar $P_{17/50}$); 1- $P_{1,5/50}$; 2- $P_{1/400}$; 6- maydon kuchlanganligi 0,4 A/m bo'lgan kuchsiz magnit maydonidagi magnit induktsiyasi ($B_{0,4}$); 7- maydon kuchlanganligi 10 A/m bo'lgan o'rtacha magnit maydonidagi magnit induksiyasi (B_{10}).

Po'lat o'ram, varaq va tasma ko'rinishida ishlab chiqariladi. Ular izolyatsiya qoplamli bo'lib ham chiqariladi. Po'latlar apparat, transformator, elektr mashinasi va asboblarning magnit zanjirlarida qo'llaniladi. Teksturlangan po'latlar transformatorlar o'zagi uchun ishlatiladi. Bunday po'latdan foydalanish quvvatli transformatorlar hajmi va tashqi o'lchamini 20-25% kamaytirish imkonini beradi, radio transformatori hajmini esa 40% gacha kichraytiradi. Elektr texnik po'latlarning tarkibidagi kremniy miqdoriga nisbatan zichligi va solishtirma qarshiligi 20-jadvalda keltirilgan.

Permalloy temir-nikel qotishmasi bo'lib, uning boshlang'ich magnit singdiruvchanligi nisbatan yuqoridir. Tarkibida nikel miqdori 70-83% bo'lgan permalloylar yuqori nikelli, 40-50% bo'lgan permalloylar esa past nikelli permalloylar deyiladi.

Tarkibida 2% molibden bo'lgan permalloyning r qiymati katta bo'lib, u yaxshi magnitlanish xususiyatiga egadir. Permalloydan qalinligi 0.1-0.5 mm li varaqalar tayyorlanadi. Kukun ko'rinishidagi permalloyga bosim ostida ishlov berib, o'zaklar tayyorlanadi. Bunday o'zaklar 100 kGs chastota bilan ishlaydigan uskunalarda qo'llaniladi.

Alsifer – temirning kremniy va alyuminiy (9.5% Si, 5.6% Al, 84.9% Fe) bilan birgalikdagi qotishmasidir. Bu qotishma qattiq va mo'rt bo'lib, undan murakkab shaklli quymalar olinadi. Alsiferning asosiy xossalari: $\mu_{r6}=35500$, $\mu_{rt}=120000$, $H_c=1.8$ A/m, $\rho=0.8$ mkOm·m. Alsiferdan magnitli ekran, asboblarning ustki qismi va boshqa mahsulotlar quyish usuli bilan tayyorlanadi.

Qo'llanilishi magnit xossalari u yoki bu xususiyatlariga asoslangan materiallarni alohida turkumga kiritish mumkin. Bunday materiallarga quyidagilar

misol bo'ladi: 1) maydon kuchlanganligi o'zgarganda magnit singdiruvchanligi juda kam o'zgaradigan qotishmalar; 2) magnit singdiruvchanligi haroratga kuchli ravishda bog'liq bo'lgan qotishmalar; 3) to'yintirish induksiyasi o'ta yuqori bo'lgan qotishmalar.

Birinchi turdagi qotishmalarning nomi perminvar bo'lib, uning tarkibida 29.4% Fe, 45% Ni; 25% Co va 0.6% Mn bor. Mazkur qotishma 1000°C da yumshatiladi, keyin 400-500°C da ushlab turiladi va asta-sekin sovitiladi. Perminvarning boshlang'ich magnit singdiruvchanligi 300ga teng. Perminvar harorat ta'siriga va mexanik kuchlanishlarga sezgir materialdir.

Ikkinchi turga Ni-Cu, Fe-Ni yoki Fe-Ni-Cr asosidagi termomagnit qotishmalar kiradi.

Uchinchi turga temir-kobalt qotishmalari kiradi. Tarkibida 50-70% Co bo'lgan mazkur qotishmalar permendyurlar deb ataladi. Permendyurlarning narxi qimmatroq bo'lganligi tufayli ulardan faqat maxsus apparatlarda, xususan, dinamik reproduktorlar, ossillograflar, telefon membranalarida foydalaniladi.

Ferritlar. Tarkibida, temirdan tashqari, ikki va undan ko'p valentli metall (Ni, Co, Mn, Zn, Cu, Cd, Pb, Mg) oksidlari ham bo'lgan birikmalar ferritlar deyiladi. Ular qisman elektronli elektr o'tkazuvchanlik xossasiga ham egadir. Ferritning kristall panjarasi kub shaklida bo'ladi. Odatda, yaxlit ferrit tayyorlash uchun ferrit kukuniga polivinil spirti plastifikatori qo'shiladi va bu massa yuqori bosimda qoliplanadi. Uning solishtirma qarshiligi sof temirning solishtirma qarshiligiga nisbatan 10^5 - 10^6 barobar yuqoridir. Shu sababli, ferritda quyun toki hisobiga sodir bo'ladigan isroflar keskin kamayadi va materialni yuqori chastotalarda ham ishlatsa bo'ladi. Ferritning magnit singdiruvchanligi sof temirnikiga nisbatan 10^2 - 10^3 barobar yuqori bo'lganligi uchun undan tayyorlanadigan o'zaklar hajmini keskin kichraytirish mumkin. Ferritdagi (μ_{rjm}) qiymatlar ferromagnit (yoki oddiy metall) dagiga nisbatan juda kichik bo'lgani uchun, u past chastotali asboblarda ham qo'llaniladi.

Ferrit tarkibi oddiygina qilib quyidagicha ifodalanadi: MFe_2O_4 yoki $MOFe_2O_3$, bunda: M- ikki valentli biror metall.

Ferritlar tarkibidagi qo'shimchalarga mis, ruh, nikel-ruh, marganes-ruh misol bo'ladi. Ular elektr texnikada keng miqyosda qo'llanilmoqda. Ferritlarda Kyuri nuqtasidagi harorat ancha past, ya'ni 100-150°C atrofida bo'ladi. Uning solishtirma og'irligi 3700-4800 kg/m³ atrofida bo'lib, asosiy xossalari 2.5-jadvalda keltirilgan.

Ferritning gisterezis halqasi to'g'ri burchakka yaqin bo'lishi uni maxsus apparatlarda qo'llash imkonini yaratadi. Ferrit, asosan, aloqa, radiotexnika, hisoblash texnikasi, avtomatika asbob-uskunalarida keng miqyosda qo'llaniladi.

2.5-jadval

Ferritlarning asosiy xossalari

Navi	μ_{rb}	μ_{max}	$H_r, A/m$	B_r, Tl	I_n, MGs	$T_k, ^\circ C$	$\rho, Om \cdot m$	$\gamma \times 10^3, kg/m^3$
2000HM	15000	35000	0,24	0,11	0,1	110	0,001	-
6000HM	4800-8000	10000	8	0,11	0,5	130	0,1	5,0
1000HM	800-1200	1800	28	0,11	5	200	0,2	4,5
1000HM	800-1200	3000	24	0,10	3	110	10	4,9
600HM	500-800	1500	40	0,12	5	110	100	4,8
2000HM1	1700-2500	3500	25	0,12	1,5	200	50	5,0
700HM1	550-850	1800	25	0,05	8	200	140	4,8
100VCh	80-120	210	300	0,15	80	400	10^5	4,8
20VCh2	16-24	45	1000	0,1	300	450	10^6	4,7
300NN	280-350	600	80	0,13	20	120	10^6	4,8
9VCh	9-13	30	500	0,06	600	500	10^7	4,4
200VCh	180-220	360	70	0,11	-	360	10^3	4,7
50VCh3	45-65	200	100	0,14	-	480	10^4	466

Gisterezis halqasi to'g'ri burchakli ferritlar hisoblash texnikasining xotira qurilmalari uchun asosiy material bo'lib xizmat qiladi. Bunday materiallarning xossalarini izohlash uchun qo'shimcha maxsus parametrlar kiritiladi. Bunday parametrlardan biri gisterezis halqasining to'g'ri burchakli koeffitsientidir:

$$K_n = B_r / B_{max}$$

bunda k_n qiymati iloji boricha birga yaqin bo'lishi kerak. O'zaklar tezda qayta magnitlanishi uchun ularning qayta ulanish koeffitsienti S_q kichik qiymatga ega bo'lishi kerak. Ferrit o'zaklarining xossalari 2.6-jadvalda keltirilgan.

Konstruksion cho'yan va po'latlar asbobsozlik, apparatsozlik va elektr mashinasozligida keng qo'llaniladigan materiallardir. Magnit xossalariga ko'ra ular magnitli (kulrang cho'yan, uglerodli va legirlangan po'lat) va magnitsiz turlarga bo'linadi.

Kulrang cho'yan tarkibida 3,2-3,5% uglerod, kremniy, marganes, fosfor va oltingugurt bo'ladi. Bu materialning egilishdagi mustahkamligi 200-450 MPa. Undan elektr mashinalarning korpusi, asosi va shu kabi detallar tayyorlanadi.

2.6-jadval

Ferrit o'zaklarining xossalari

Material	H_c A/m	Br, Tl	k_n	S_q , mkKl/m	
Turli navdagi ferritlar	10-1200	0,15-0,25	0,9	25-55	110-630
Permalloyli o'zaklar (tasmaning qalinligi 2-10 mkm)	8-50	0,6-1,5	0,85-0,9	25-100	300-630

Odatda, quymalar olishda tarkibida 0,08-0,2% uglerodi bo'lgan, uglerodli po'latdan foydalaniladi. Bunda quymalar 85-900°C haroratda sekin-asta yumshatiladi. Maxsus elektr mashinalarida, shuningdek, konstruksiyasi yengillashtirilgan mashinalarda nikel, vanadiy, xrom va molibden bilan legirlangan po'latlar ishlatiladi. Bu po'latlarning egilishdagi mexanik mustahkamligi 500-950 MPa oralig'ida bo'ladi.

2.3. Qattiq magnit materiallar

Qattiq magnit materiallar tarkibi, holati va olinish usulariga ko'ra quyidagicha tasniflanadi:

- 1) legirlangan martensit po'latlari;
- 2) quyma qattiq magnit qotishmalari;
- 3) kukunlardan tayyorlangan magnit;
- 4) qattiq magnitli ferritlar;
- 5) egiluvchan qotishmalar va magnit tasmalari.

Qutblar orasida havo bo'shlig'i mavjud bo'lganida energiyaning bir qismi magnit material hajmidan tashqaridagi maydon bilan bog'liq bo'ladi. Mazkur energiyaning qiymati bo'shliqning uzunligiga bog'liq. Magnit qutblarining magnitsizlanishi hisobiga oraliqdagi induksiya B_d qoldiq induksiya B_r ga nisbatan kichikroq bo'ladi.

Havo oralig'idagi solishtirma magnit energiyasi :

$$W_d = B_d H_d / 2,$$

bunda: $H_d - B_d$ induksiyaga mos keladigan maydon kuchlanganligi.

Tutashtirilgan magnitda $B_d = B_r$, $H_d = 0$ bo'lgani sababli, mazkur energiya nolga tenglashadi. Agar qutblar oralig'i juda katta bo'lsa, $B_d = 0$, $H_d = H_c$ bo'lganligi sababli bunda ham energiya nolga intiladi.

Qandaydir B'_d , H'_d qiymatlarda energiya o'zining eng yuqori qiymatiga erishadi:

$$W_{max} = B'_d \cdot H'_d.$$

Bu ifoda bilan magnitdan eng yaxshi foydalanish imkoniyati aniqlanib, u o'zgarmas magnitlar tayyorlashda ishlatiladigan materiallarning sifatini aniqlaydigan muhim xarakteristika hisoblanadi.

Po'lat tarkibiga volfram yoki xrom kabi metallar kiritilsa, martensit tuzilishli material hosil bo'ladi. Bunda po'latning doimiy magnit eskirish jarayoni susayadi. Volframli po'lat tarkibida 0,6% C, 5-6% W, xromli po'lat tarkibida esa 1% C, 1,5-3% Cr bo'lib, ularning xossalari uglerodli po'latnikiga nisbatan ancha yaxshilangan. Mazkur materiallarning magnit xossalari: $H_c = 0,45-0,5$ kA/m, $B_r = 0,9-1,1$ T, $W_g = 0,9-12$ kJ/m³.

Elektr texnikada magnit materiali sifatida ilk bor qo'llanilgan qotishma *alni* deb atalgan. Uning tarkibi 11-16% Al, 24-30% Ni, 54-65% Fe elementlaridan iborat. Alnining H_c qiymati uglerodli po'latnikiga nisbatan 10 barobar yuqori. Juda qattiq material bo'lganligi sababli, alniga mexanik ishlov berib bo'lmaydi. Alnidan magnit quyish usuli bilan olinib, kerakli tuzilish sovitish jarayonida hosil qilinadi. Uning magnit xossalari quyidagicha: $H_c=4-4,5$ kA/m, $B_r=0,55-0,65$ Vb/m², $W_g=5$ kJ/m³.

Alniko qotishmasi alniga o'xshash bo'lib, uning tarkibida 5-10% CO va 6% Cu qo'shimchalar bor. Alnikoning magnit xossalari: $H_c=4,0-4,5$ kA/m, $B_r=0,7-0,8$ Bb/m², $W_g=6,0-7,0$ kJ/m³.

Magniko qotishmasi alnikodan tarkibidagi kobalt miqdorining nisbatan ko'pligi bilan (10%Al, 17% Ni, 24% CO, 6% Cu, 43% Fe) farqlanadi. Magnikoning magnitlik xossalari: $H_c=4,0-4,5$ kA/m, $B_r=1,2-1,3$ Bb/m², $W_g=16-20$ kJ/m³.

Qotishma magnit xossalarining yaxshilanishi, uning tarkibi bilangina emas, balki maxsus ishlov berish – quymani kuchli maydon ta'sirida sovitish jarayoni bilan ham aniqlanadi.

Alni, alnico va magniko qotishmalarining kamchiligi ulardan aniq o'lchamli kichik mahsulotlar tayyorlashning mushkulligidir.

Platinali qotishmalar temir yoki kobalt tarkibiga 77-78% platina qo'shish orqali olinadi. Bu materialda H_c qiymati keskin oshib, induksiya qiymati esa pasayadi. Uning magnit xossalari (temirli qotishmada): $H_c=12,5$ kA/m; $B_r=0,58$ Bb/m²; $W_g=12$ kJ/m³; kobaltlisida esa $H_c=21$ kA/m, $B_r=0,45$ Bb/m², $W_g=15 \cdot 10^3$ kJ/m³ platinali qotishmalarning qoldiq induksiyasi kichik qiymatga ega. Narxi balandligi sababli, bu materiallar maxsus apparatlarda juda kichik hajmli magnitlar tayyorlashda qo'llaniladi.

Bob yuzasidan qisqacha xulosalar

1. Magnit materiallar yumshoq va qattiq turlarga bo'linadi. Yumshoq magnit materiallardan magnitli o'tkazgichlar tayyorlanadi. Bu materiallarning magnit singdiruvchanligining boshlang'ich qiymati katta bo'lishi kerak. Yumshoq magnit materiallarida solishtirma qarshilik nisbatan katta qiymatga, koersitiv kuch ($H_c < 0,1 \text{ A/m}$) esa kichik qiymatga ega bo'lishi kerak. Bu materiallarga sof temir, temirning kremniy, nikel va kobalt bilan qotishmalarini misol tariqasida keltirish mumkin;

2. Qo'llanilishi magnit xossalarning u yoki bu xususiyatlariga asoslangan materiallarni alohida turkumga kiritish mumkin. Bunday materiallarga quyidagilar misol bo'ladi: 1) maydon kuchlanganligi o'zgarganda magnit singdiruvchanligi juda kam o'zgaradigan qotishmalar; 2) magnit singdiruvchanligi haroratga kuchli ravishda bog'liq bo'lgan qotishmalar; 3) to'yintirish induksiyasi o'ta yuqori bo'lgan qotishmalar.

2a. Birinchi turdagi qotishmalarining nomi perminvar bo'lib, uning tarkibida 29,4% Fe, 45% Ni; 25% Co va 0,6% Mn bor. Mazkur qotishma 1000°C da yumshatiladi, keyin $400\text{-}500^\circ\text{C}$ da ushlab turiladi va asta-sekin sovitiladi. Perminvarning boshlang'ich magnit singdiruvchanligi 300ga teng. Perminvar harorat ta'siriga va mexanik kuchlanishlarga sezgir materialdir.

2b. Ikkinchi turga Ni-Cu, Fe-Ni yoki Fe-Ni-Cr asosidagi termomagnit qotishmalar kiradi.

2c. Uchinchi turga temir-kobalt qotishmalari kiradi. Tarkibida 50-70% Co bo'lgan mazkur qotishmalar permendyurlar deb ataladi. Permendyurlarning narxi qimmatroq bo'lganligi tufayli ulardan faqat maxsus apparatlarda, xususan, dinamik reproduktorlar, ossillograflar, telefon membranalarida foydalaniladi.

4. Tarkibida, temirdan tashqari, ikki va undan ko'p valentli metall (Ni, Co, Mn, Zn, Cu, Cd, Pb, Mg) oksidlari ham bo'lgan birikmalar ferritlar deyiladi. Ular qisman elektronli elektr o'tkazuvchanlik xossasiga ham egadir. Ferritning kristall panjarasi kub shaklida bo'ladi. Ferritdagi (μ_{rjm}) qiymatlar ferromagnit (yoki oddiy

metall) dagiga nisbatan juda kichik bo'lgani uchun, u past chastotali asboblarda ham qo'llaniladi.

5. Qattiq magnit materiallar tarkibi, holati va olinish usulariga ko'ra quyidagicha tasniflanadi:

- 1) legirlangan martensit po'latlari;
- 2) quyma qattiq magnit qotishmalari;
- 3) kukunlardan tayyorlangan magnit;
- 4) qattiq magnitli ferritlar;
- 5) egiluvchan qotishmalar va magnit tasmalari.

XULOSA

1. Magnit materiallar yumshoq magnit materiallar, qattiq magnit materiallar va maxsus magnit materiallarga bo'linar ekan. Yumshoq magnit materiallardan magnit o'tkazgichlar tayyorlanishi sababli, bu materiallarning magnit singdiruvchanligining boshlang'ich qiymati katta bo'lishi kerak. Yumshoq magnit materiallarida solishtirma qarshilik nisbatan katta qiymatga, koersitiv kuch ($H_c < 0,1 \text{ A/m}$) esa kichik qiymatga ega bo'lishi kerak. Bu materiallarga sof temir, temirning kremniy, nikel va kobalt bilan qotshimalarini misol tariqasida keltirish mumkin;
2. Qo'llanilishi magnit xossalari u yoki bu xususiyatlariga asoslangan materiallarni uch turga ajratish mumkin:
 - a) maydon kuchlanganligi o'zgarganda magnit singdiruvchanligi juda kam o'zgaradigan qotishmalar. Bunday turdagi qotishmalarning nomi perminvar bo'lib, uning tarkibida 29,4% Fe, 45% Ni; 25% Co va 0,6% Mn bor. Mazkur qotishma 1000°C da yumshatiladi, keyin $400\text{-}500^\circ\text{C}$ da ushlab turiladi va asta-sekin sovutiladi. Perminvarning boshlang'ich magnit singdiruvchanligi 300ga teng. Perminvar harorat ta'siriga va mexanik kuchlanishlarga sezgir materialdir.
 - b) magnit singdiruvchanligi haroratga kuchli ravishda bog'liq bo'lgan qotishmalarga Ni-Cu, Fe-Ni yoki Fe-Ni-Cr asosidagi termomagnit qotishmalar kiradi.
 - d) to'yintirish induksiyasi o'ta yuqori bo'lgan qotishmalar. Bu turdagi moddalarga temir-kobalt qotishmalari kiradi. Tarkibida 50-70% Co bo'lgan mazkur qotishmalar permendyurlar deb ataladi. Permendyurlarning narxi qimmatroq bo'lganligi tufayli ulardan faqat maxsus apparatlarda, xususan, dinamik reproduktorlar, ossillograflar, telefon membranalarida foydalaniladi.
3. Tarkibida ikki va undan ko'p valentli metall (Ni, Co, Mn, Zn, Cu, Cd, Pb, Mg) oksidlari ham bo'lgan temirli birikmalarni ferritlar deyiladi. Ferritning

kristall panjarasi kub shaklida bo'ladi. Ferritdagi (μ_{rjm}) qiymatlar ferromagnit (yoki oddiy metall) dagiga nisbatan juda kichik bo'lgani uchun, u past chastotali asboblarda ham qo'llaniladi.

4. Qattiq magnit materiallar tarkibi, holati va olinish usulariga ko'ra - legirlangan martensit po'latlari, quyma qattiq magnit qotishmalari, kukunlardan tayyorlangan magnit, qattiq magnitli ferritlar, egiluvchan qotishmalar va magnit tasmalari.

Foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati

1. Тешабоев А., Зайнабидинов С., Эрматов Ш.А. Қаттиқ жисм физикаси. – Молия.: Тошкент, 2011. -357 б.
2. О'лмасова М.Н. Fizika, 2-kitob. Akademik litseylar uchun o'quv qo'llanma. – O'qituvchi.: Toshkent, 2011, -360 bet.
3. G'aniyev A.G', Avliyoqulov A.K., Almardonova G.A. Fizika, 1-kitob. Akademik litsey va kasb-hunar kollejlari uchun darslik. – O'qituvchi.: Toshkent, 2012, -400 bet.
4. Пасынков В.В., Сорокин В.С. Материалы электронной техники. М. Высшая школа, 1988, -348 с.
5. Ельманов Г.Н., Залужный А.Г., Скрытний В.И., Смирнов Е.А., Яльцев В.Н. Физическое материаловедение. Учебник для вузов, том 1, Типография издательства “Тривант”, Троицк. 2007. -636 с.
6. Жданов Г.С. Физика твердого тела. – М.: МГУ, 1961. – 501 с.
7. Федоров Г.Б., Яковлев Е.И. Металлофизика реакционных материалов. – М.: МИФИ, 1984. – 76 с.
8. Федоров Г.Б., Яковлев Е.И. Атомное строение металлов и сплавов. - М.: МИФИ, 1985. – 64 с.
9. Смирнов Е.А. Термодинамика фазовых превращений. - М.: МИФИ, 1998. - 83с.
10. Нечаев В.В., Смирнов Е.А. Физическая химия сплавов. – М.: МИФИ, 2006. – 227 с.
11. Смирнов Е.А. Применение термодинамики необратимых явлений к анализу диффузионных явлений в реакторных материалах. – М.: МИФИ, 1984. – 38 с.
12. Гуров К.П., Смирнов Е.А., Шабалин А.Н. Диффузия и кинетика фазовых превращений в металлах и сплавах. – М.: МИФИ, 1990. – 80 с.

13. Даркен Л.С., Гурри Р.В. Физическая химия металлов. – М.: Металлургия, 1960. – 582 с.
14. 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.
15. Епифанов Г. И. Физика твердого тела. Учеб. пособие для втузов. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1977. – 287 с.
16. Смирнов Е.А., Соколов Н.А., Яковлев Е.И. Физические свойства металлов и сплавов. Учебное пособие. – М.: МИФИ, 1992. – 84 с.
17. Физические величины: Справочник/ А. П. Бабичев, Н. А. Бабушкина, А. М. Братковский и др./ Под ред. И. С. Григорьева, Е. З. Мейлихова. –М.: Энергоатомиздат, 1991. – 1232 с.

Магнитные материалы

Материал из Википедии — свободной энциклопедии

Перейти к: [навигация](#), [поиск](#)

Магнитные материалы, *Магнетики* — материалы, вступающие во взаимодействие с магнитным полем, выражающееся в его изменении, а также в других физических явлениях — изменение физических размеров, температуры, проводимости, возникновению электрического потенциала и т. д. В этом смысле к магнетикам относятся практически все вещества (поскольку ни у какого из них магнитная восприимчивость не равна нулю точно), большинство из них относится к классам [диамагнетиков](#) (имеющие небольшую отрицательную магнитную восприимчивость — и несколько ослабляющие магнитное поле) или [парамагнетиков](#) (имеющие небольшую положительную магнитную восприимчивость — и несколько усиливающие магнитное поле); более редко встречаются [ферромагнетики](#) (имеющие большую положительную магнитную восприимчивость — и намного усиливающие магнитное поле), о еще более редких классах веществ по отношению к действию на них магнитного поля — см. ниже.

К [магнитным](#) материалам с точки зрения техники относят вещества, обладающие определенными магнитными свойствами и используемые в современной технологии.

Магнитными материалами могут быть различные [сплавы](#), [химические соединения](#), жидкости.

В основном магнитные материалы относятся к группе ферромагнетиков и делятся на две большие группы — [Магнитотвёрдые материалы](#) и [Магнитомягкие материалы](#). В то же время в связи с успехом в науках изучающих [магнетизм](#) и с развитием большой исследовательской работы в области изучения магнитных материалов, появились новые большие группы магнитных материалов: [магнитострикционные материалы](#), [магнитооптические материалы](#), [термомагнитные материалы](#).

Содержание

- [1 Виды магнитных материалов](#)
- [2 Природа и строение магнитных материалов](#)
- [3 Области применения магнитных материалов](#)
- [4 Литература](#)

Виды магнитных материалов

- Магнитотвёрдые материалы:
- Магнитомягкие материалы:
- Магнитострикционные материалы:
- Магнитооптические материалы:
- Термомагнитные материалы:

Природа и строение магнитных материалов

Известно два различных механизма магнетизма:

- [зонный магнетизм](#);
- [молекулярный магнетизм](#).

Выделяют несколько основных типов магнетиков, различимых по конфигурации их магнитных структур:

- [ферромагнетики](#),
- [неколлинеарные ферромагнетики](#),

- [антиферромагнетики,](#)
- [ферромагнетики,](#)
- [гелимагнетики,](#)
- [спиновые стёкла,](#)
- [спиновая жидкость.](#)

Области применения магнитных материалов

Некоторые области применения полимерных магнитов:

1. Акустические системы, реле и бесконтактные датчики
2. Электромашин, магнитные сепараторы, холодильники
3. Магнитные элементы кодовых замков и охранной сигнализации
4. Тахогенераторы, датчики положения, электроизмерительные приборы
5. Медицина (магнитотерапия, магнитные матрасы)
6. Автоматизированное шоссе, где в США предусматривается разместить до полутонны ферритовых магнитопластов на одну милю шоссе для автоматического управления движением автомобиля, оснащенного специальным компьютером и системой слежения
7. Магнитное покрытие для полов офисов и промышленных помещений
8. Магнитная компонента для глушителей автомобилей (в Европе на эти цели уходит 23000 тонн магнитопластов)
9. Периферийные устройства компьютеров, мобильные телефоны, фотоаппараты, кинокамеры
10. Магнитные устройства для обработки воды, углеводородного топлива, масел; магнитные фильтры
11. Магнитные устройства для использования в рекламе, торговле, при оснащении выставок, конференций, спортивных мероприятий и т. д.
12. Неразрушающие методы контроля (Магнитопорошковый контроль)

Литература

[Порошковые магнитомягкие материалы с высокой индукцией насыщения](#)

- [Магнитомягкие материалы для современной силовой электроники](#)
- [Наиболее часто задаваемые вопросы по магнитомягким магнитным материалам](#)
- Категория:
- [Материалы](#)