

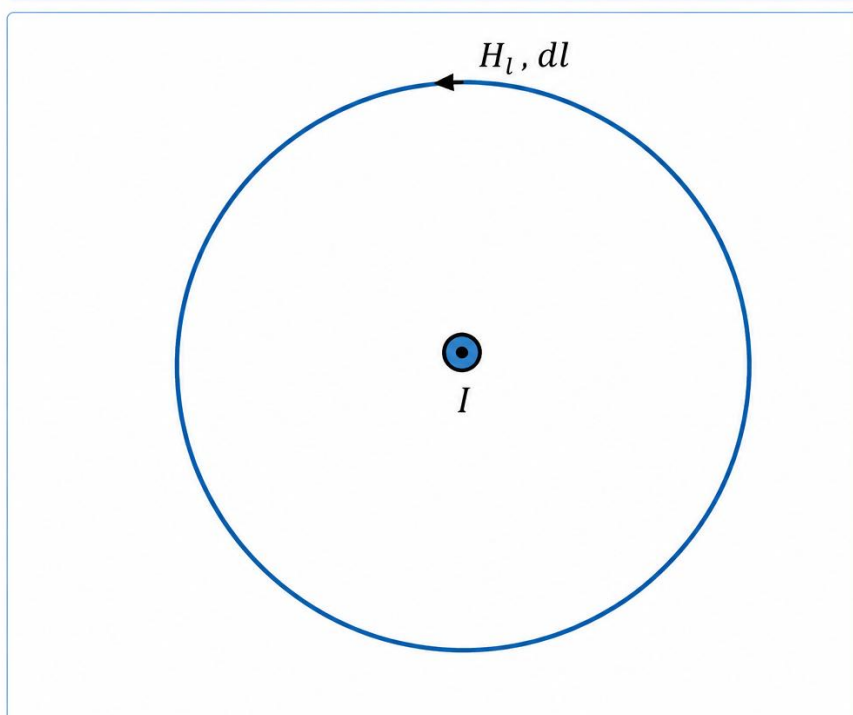
MAGNIT HODISALARI. MAGNIT MAYDON SIRKULYATSIYASI, AMPER KUCHI, XOLL HODISASI VA MODDALARNING MAGNIT XUSUSIYATLARI

Magnit hodisalari elektr toklar, harakatlanuvchi zaryadlar va moddaning mikroskopik magnit momentlari bilan bog'liq fizik jarayonlarni qamrab oladi. Magnitostatikada magnit maydon kuchlanganligining sirkulyatsiyasi toklar bilan bog'lanadi; tokli o'tkazgichga magnit maydon Amper kuchi bilan ta'sir qiladi. Qattiq jismlarda Xoll hodisasi zaryad tashuvchilarning ishorasi va konsentratsiyasini aniqlash imkonini beradi. Moddalarning diamagnit, paramagnit va ferromagnit xossalari esa atom va molekulalardagi orbital hamda spin magnit momentlarning tashqi maydonga javobi bilan izohlanadi.

Darsning maqsadi

Amperning sirkulyatsiya qonunini, magnit maydondagi tokli o'tkazgichga ta'sir etuvchi kuchni, Xoll hodisasining mexanizmini, moddalarning magnit tasnifini, Amperning molekular toklar g'oyasini va magnitlanish vektori M ning fizik mazmunini formulalar, grafiklar va hisoblash misollari yordamida ilmiy asosda yoritish.

Magnet maydon kuchlanganligining yo'piq kontur bo'yicha sirkulyatsiyasi



Amper qonuni (statsionar toklar uchun)

$$\oint_l \vec{H} \cdot d\vec{l} = I_{ich}$$

Bu yerda:

$\vec{H}$ — magnit maydon kuchlanganligi (A/m)

$d\vec{l}$ — yo'liq kontur bo'ylab elementar yo'nalish

I_{ich} — kontur ichidan o'tuvchi tok (A)

Cheksiz uzun to'g'ri o'tkazgich uchun natija

$$H = \frac{I}{2\pi r} \quad (A/m)$$

r — kontur radiusi (m)

Yo'nalish (o'ng qo'l qoidasi)



Bosh barmoq tok yo'nalishida (I), boshqa barmoqlar $\vec{H}$ ning yo'nalishini ko'rsatadi (rasm — soat strelkasiga teskari yo'nalishda).

Misol:

Agar $I = 5 \text{ A}$, $r = 0.10 \text{ m}$ bo'lsa,

$$H = \frac{5}{2\pi \cdot 0.10} \approx 7.96 \text{ A/m}$$



Xulosa: Magnet maydon kuchlanganligining yopiq kontur bo'yicha sirkulyatsiyasi kontur ichidan o'tuvchi tokka teng.

1-rasm. H vektorining yopiq kontur bo'yicha sirkulyatsiyasi

Kattalik	Belgi	SI birligi
Magnit maydon kuchlanganligi	H	A/m
Magnit induksiya	B	T
Magnitlanish	M	A/m
Magnit qabul qiluvchanlik	χ_m	o'lchamsiz

Xoll koeffitsienti	R_H	m ³ /C
--------------------	-----	-------------------

1. Magnit maydon kuchlanganligining sirkulyatsiyasi

Magnitostatik maydon uchun Ampurning sirkulyatsiya qonuni yopiq kontur bo'ylab H vektorining chiziqli integralini kontur qamrab olgan erkin tok bilan bog'laydi:

$$\oint_L \mathbf{H} \cdot d\mathbf{l} = I_{\text{erkin}}$$

Bir nechta tok bo'lsa, algebraik yig'indi olinadi. Tokning ishorasi kontur aylanish yo'nalishi va o'ng qo'l qoidasiga muvofiq belgilanadi. Qonun yuqori simmetriyali tok taqsimotlarida H ni tez hisoblash imkonini beradi.

Masalan, cheksiz uzun to'g'ri sim uchun radiusi r bo'lgan aylana kontur tanlansa, H kontur bo'ylab doimiy:

$$\mathbf{H} \cdot 2\pi r = I \rightarrow \mathbf{H} = I/(2\pi r)$$

Uzun solenoid uchun Amper konturi ichki va tashqi sohalarni qamrab oladi. Ideal uzun solenoidda tashqi H juda kichik, ichkarida esa $H \approx nI$.

1-misol

$I=12$ A tokli uzun simdan $r=6$ cm masofada $H=12/(2\pi \times 0.06) \approx 31.8$ A/m. Vakuumda $B=\mu_0 H \approx 40$ μ T.

2-misol

$n=1800$ m⁻¹ va $I=1.5$ A uzun solenoid uchun $H \approx nI=2700$ A/m; vakuumda $B \approx 3.39$ mT.

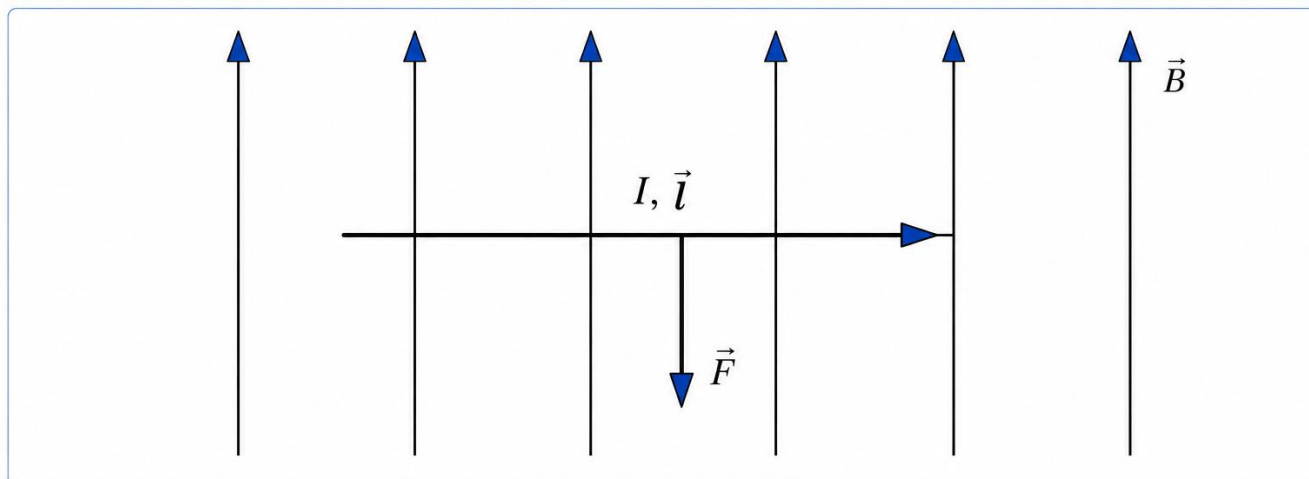
2. Magnit maydonda tokli o'tkazgich

Tokli o'tkazgichdagi harakatlanuvchi zaryadlarga Lorens kuchlari ta'sir etadi. Ularning makroskopik yig'indisi o'tkazgichga ta'sir etuvchi Amper kuchini beradi. Bir jinsli maydonda to'g'ri l uzunlikdagi o'tkazgich uchun:

$$\mathbf{F} = I(\mathbf{l} \times \mathbf{B})$$

$$|\mathbf{F}| = B I l \sin \alpha$$

Magnit maydondagi tokli o'tkazgichga Amper kuchi



Kuch formulasi

$$F = B I l \sin \alpha$$

Bu yerda α – tok yo'nalishi bilan magnit maydon yo'nalishi orasidagi burchak.

Ushbu rasm uchun

$$\alpha = 90^\circ \Rightarrow \sin \alpha = 1$$

$$F = B I l$$

Yo'nalish (o'ng qo'l qoidasi)



Barmoqlar $\vec{B}$ yo'nalishida ($\uparrow$), bosh barmoq tok $\vec{I}$ yo'nalishida ($\rightarrow$) bo'lsa, kaftga perpendikulyar turgan barmoq $\vec{F}$ yo'nalishini ko'rsatadi ($\downarrow$).

Belgilar

B – magnit induksiya (T)
 I – tok kuchi (A)
 l – o'tkazgich uzunligi (m)
 F – Amper kuchi (N)
 α – burchak (gradus)



Xulosa: Magnit maydonda tokli o'tkazgichga ta'sir etuvchi kuch F maydon induksiyasi B , tok kuchi I , o'tkazgich uzunligi l va yo'nalishlar orasidagi burchakka bog'liq.

2-rasm. Tokli o'tkazgichga ta'sir etuvchi Amper kuchining yo'nalishi

Kuch yo'nalishi vektor ko'paytma qoidasi bilan aniqlanadi. Agar o'tkazgich B ga parallel bo'lsa kuch nol; perpendikulyar bo'lsa maksimal.

Ixtiyoriy shakldagi tok elementi uchun:

$$d\vec{F} = I(d\vec{l} \times \vec{B})$$

3-misol

$B=0.40$ T, $I=3$ A, $l=0.25$ m va $\alpha=90^\circ$ bo'lsa $F=BIl=0.30$ N.

4-misol

Xuddi shu sharoitda $\alpha=30^\circ$ bo'lsa $F=0.15$ N. Demak, o'tkazgichning maydonga nisbatan orientatsiyasi kuchni bevosita belgilaydi.

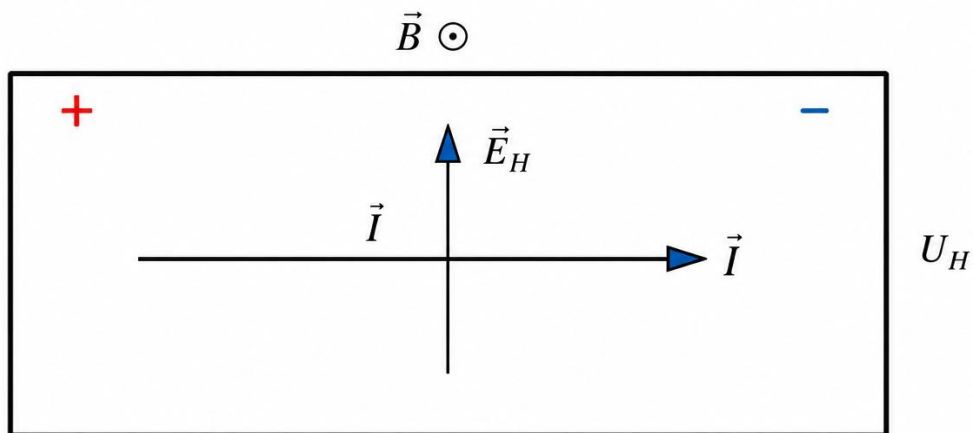
Tokli ramkaga bir jinsli maydonda natijaviy kuch nol bo'lishi mumkin, ammo kuch momenti paydo bo'ladi: $\tau = m \times B$, bu yerda $m = ISn$ magnit dipol momentidir.

3. Xoll hodisasi

Tok o'tayotgan plastinka magnit maydonga joylashtirilganda harakatlanuvchi zaryad tashuvchilarga $q(\vec{v} \times \vec{B})$ kuch ta'sir qiladi. Tashuvchilar plastinkaning yon tomonlaridan birida to'planib, ko'ndalang elektr maydon E_H ni hosil qiladi. Muvozanatda elektr va magnit kuchlar tenglashadi:

$$qE_H = qv_d B \rightarrow E_H = v_d B$$

Xoll hodisasi: ko'ndalang elektr maydonning hosil bo'lishi



Fizik mazmuni

Tok o'tayotgan o'tkazgich magnit maydon $\vec{B}$ ga perpendikulyar yo'nalishda joylashtirilsa, zaryadlar Lorens kuchi ta'sirida yon tomonlarga og'ib to'planadi. Natijada ko'ndalang elektr maydon $\vec{E}_H$ va U_H kuchlanish hosil bo'ladi.

Lorens kuchi

$$\vec{F} = q(\vec{v} \times \vec{B})$$

$$(\vec{v} \perp \vec{B}) \Rightarrow F = qvB$$

Ko'ndalang elektr maydon

$$\vec{E}_H = -\vec{v} \times \vec{B}$$

Yo'nalishi rasmda ko'rsatilganidek yuqoriga.

Xoll kuchlanishi

$$U_H = E_H d$$

bu yerda d – o'tkazgichning qalinligi (tok yo'nalishiga perpendikulyar masofa).



Xulosa:

Tok $\vec{I}$ o'tayotgan o'tkazgich $\vec{B}$ ga perpendikulyar joylashtirilganda zaryadlar ko'ndalang yo'nalishlarda ajralib to'planadi va $\vec{E}_H$ ko'ndalang elektr maydon hamda U_H Xoll kuchlanishi hosil bo'ladi.

3-rasm. Xoll hodisasining sxematik mexanizmi

Tok zichligi $j = nqv_d$ bo'lgani uchun:

$$E_H = R_H j B$$

$$R_H = 1/(nq) \text{ (bir turdagi tashuvchi modeli)}$$

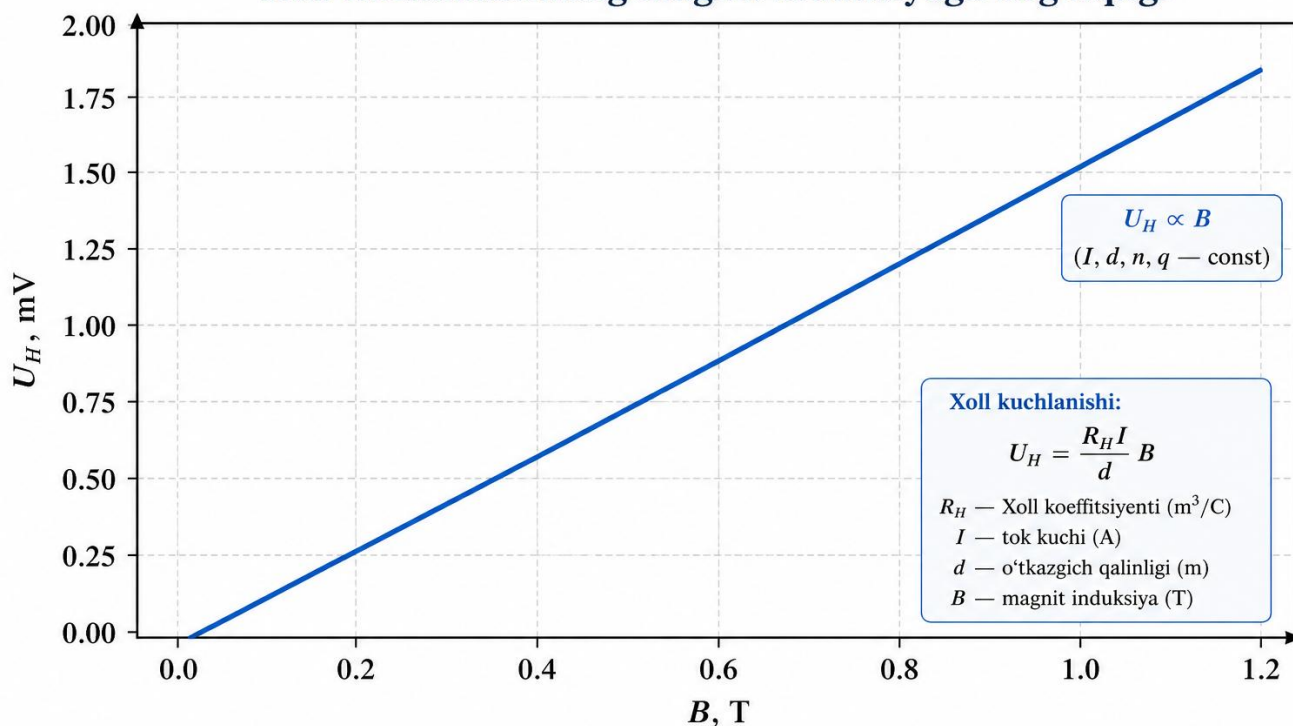
Plastinka qalinligi d bo'lsa, Xoll kuchlanishi:

$$U_H = R_H I B / d$$

R_H ishorasi dominant tashuvchining zaryad ishorasi haqida ma'lumot beradi. Real ko'p zonali materiallarda oddiy $1/(nq)$ modelidan og'ishlar bo'lishi mumkin.

4. Xoll effektining miqdoriy tahlili

Xoll kuchlanishining magnit induksiya bog'liqligi



Xulosa: Grafikdan ko'rinadiki, Xoll kuchlanishi U_H magnit induksiya B ga to'g'ri proporsional. B ning oshishi Xoll kuchlanishining chiziqli ortishiga olib keladi.

4-rasm. Bir turdagi tashuvchi modelida U_H ning B ga chiziqli bog'liqligi

I va d o'zgarmas bo'lsa, U_H magnit induksiya ga to'g'ri proporsional. Shu sababli Xoll datchiklari magnit maydonni o'lchashda keng qo'llanadi. Bundan tashqari, R_H orqali tashuvchilar konsentratsiyasini baholash mumkin.

5-misol

$n=8 \times 10^{22} \text{ m}^{-3}$, $I=20 \text{ mA}$, $B=0.50 \text{ T}$ va $d=1.0 \text{ mm}$ bo'lsin. $q=e$ deb olsak, $U_H=IB/(ne d) \approx 0.78 \text{ mV}$.

6-misol

Tajriba natijasida $R_H=-6.25 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{C}$ topildi. Bir turdagi tashuvchi modeli bo'yicha manfiy ishora elektron o'tkazuvchanlikni bildiradi, $n \approx 1/(e|R_H|) \approx 1.0 \times 10^{23} \text{ m}^{-3}$.

Xoll kattaligi	Bog'lanish
U_H	I va B ga to'g'ri proporsional
U_H	d ga teskari proporsional
R_H ishorasi	Dominant tashuvchi ishorasini ko'rsatadi
$ R_H $	Oddiy modelda tashuvchilar konsentratsiyasi bilan teskari bog'liq

5. Moddalarning magnit xususiyatlari

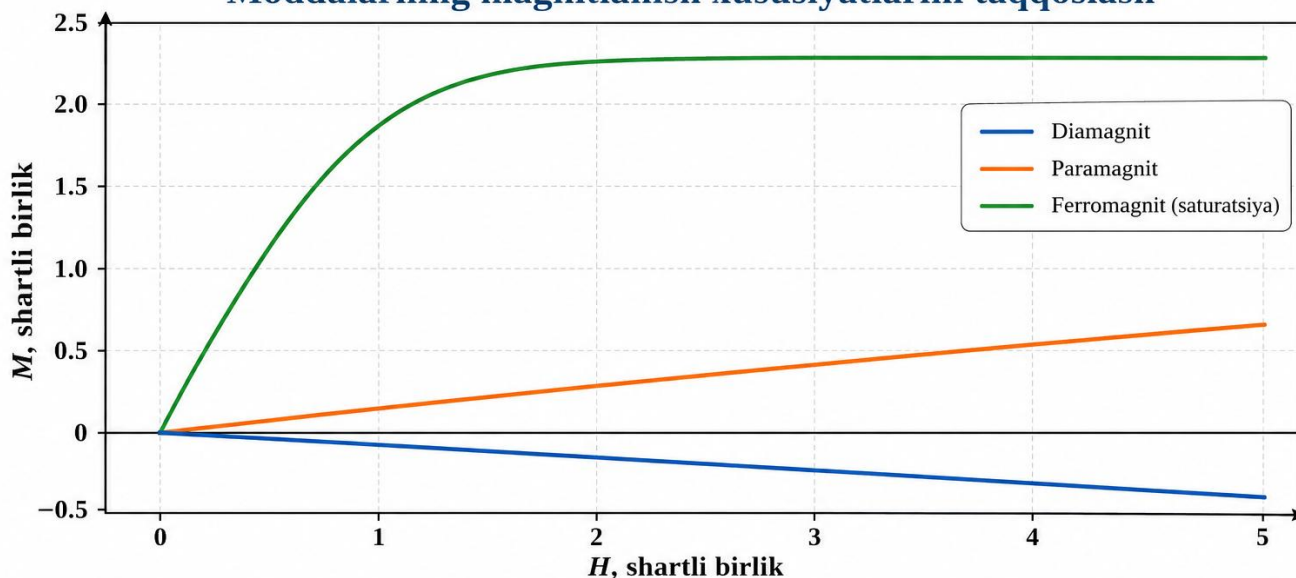
Tashqi magnit maydon ta'sirida modda atom va molekularining magnit momentlari qayta taqsimlanadi yoki orientatsiyalanadi. Makroskopik javob magnitlanish vektori M bilan tavsiflanadi. Chiziqli izotrop muhitda:

$$M = \chi_m H$$

$$B = \mu_0(H + M) = \mu_0(1 + \chi_m)H = \mu_0 \mu_r H$$

Bu yerda χ_m - magnit qabul qiluvchanlik, $\mu_r = 1 + \chi_m$ - nisbiy magnit singdiruvchanlik.

Moddalarning magnitlanish xususiyatlarini taqqoslash



Diamagnet modda

- M magnit maydonga qarshi yo'naladi.
- Chiziqli bog'lanish: $M = \chi H$
- Magnit susceptibilitet $\chi < 0$

Paramagnet modda

- M magnit maydon yo'nalishida bo'ladi.
- Chiziqli bog'lanish: $M = \chi H$
- Magnit susceptibilitet $\chi > 0$ (kichik)

Ferromagnet modda

- M tez ortib, so'ng saturatsiyaga yetadi.
- Kuchli magnitlanish hosil bo'ladi.
- Domenlar yo'nalishlanishi bilan izohlanadi.

Izoh:

- M — magnitlanish (shartli birlik)
- H — magnit maydon kuchlanganligi (shartli birlik)



Xulosa: Diamagnitlarda M manfiy va kichik, paramagnitlarda M musbat va kichik, ferromagnitlarda M katta va saturatsiyaga ega. Bu farqlar moddalarning ichki tuzilishi va elektronlarning spin/momentlar ta'siri bilan izohlanadi.

5-rasm. Diamagnit, paramagnit va ferromagnit javoblarning sxematik $M(H)$ taqqoslanishi

Modda turi	χ_m	Maydonga javob
Diamagnit	kichik manfiy	Tashqi maydonga qarshi magnitlanadi
Paramagnit	kichik musbat	Maydon bo'ylab kuchsiz magnitlanadi
Ferromagnit	katta, nochiziqli	Kuchli domenli magnitlanish, gisterezis mumkin

6. Molekular toklar va magnit moment

Amper moddalarning magnit xossalarini mikroskopik yopiq toklar bilan tushuntirish g'oyasini ilgari surgan. Zamonaviy kvant fizikada atom magnit momentining manbalari elektronlarning orbital harakati va spin magnit momentidir. Klassik tasvirda yopiq mikroskopik tok konturi magnit dipol sifatida qaraladi.

$$\mathbf{m} = I \mathbf{S} \mathbf{n}$$

Bu yerda m - tok konturining magnit momenti, S - kontur yuzi, n - sirtga normal birlik vektor. Tashqi B maydonda dipolga kuch momenti ta'sir qiladi:

$$\boldsymbol{\tau} = \mathbf{m} \times \mathbf{B}$$

Bir jinsli bo'lmagan maydonda magnit dipolga natijaviy kuch ham ta'sir qilishi mumkin. Modda ichidagi ko'p sonli mikroskopik momentlarning birlik hajmdagi vektor yig'indisi magnitlanishni beradi.

$$\mathbf{M} = (1/\Delta V) \sum \mathbf{m}_i$$

Molekular toklar modeli magnitlanishning makroskopik ekvivalent bog'langan toklarini ham tushuntirishga yordam beradi. Bir jinsli magnitlangan jism sirtida ekvivalent sirt toki paydo bo'lgandek tasvirlanadi.

7-misol

$I=0.20$ A va $S=5 \times 10^{-6} \text{ m}^2$ mikrokontur modeli uchun $m=IS=1.0 \times 10^{-6} \text{ A} \cdot \text{m}^2$.

7. Magnitlanish vektori va bog'langan toklar

Magnitlanish vektori $\mathbf{M}$ moddaning birlik hajmiga to'g'ri keladigan magnit dipol momentini ifodalaydi. U moddaning magnit holatini makroskopik tavsiflash uchun markaziy kattalikdir.

$$\mathbf{M} = d\mathbf{m}/dV$$

Magnitlangan muhitda $\mathbf{M}$ fazoda o'zgarsa, ekvivalent hajmiy bog'langan tok zichligi:

$$\mathbf{j}_b = \nabla \times \mathbf{M}$$

Sirt uchun bog'langan tok zichligi:

$$\mathbf{K}_b = \mathbf{M} \times \mathbf{n}$$

Bu ifodalar mikroskopik orbital va spin momentlarning makroskopik maydonga qo'shgan hissasini toklar tili orqali ifodalash imkonini beradi. H maydoni erkin toklar bilan, $\mathbf{M}$ esa moddaning magnit javobi bilan ajratib qaraladi:

$$\mathbf{B} = \mu_0(\mathbf{H} + \mathbf{M})$$

8-misol

Chiziqli muhitda $\chi_m=2.0 \times 10^{-3}$ va $H=5.0 \times 10^4 \text{ A/m}$ bo'lsa, $M=\chi_m H=100 \text{ A/m}$. $B=\mu_0(H+M) \approx 0.0630 \text{ T}$.

Diamagnit uchun $\chi_m < 0$ bo'lgani sababli $\mathbf{M}$ $\mathbf{H}$ ga qarama-qarshi; paramagnit uchun $\chi_m > 0$ va $\mathbf{M}$ $\mathbf{H}$ bilan bir yo'nalishda.

8. Darsni tashkil etish algoritmi va metodik tahlil

Bosqich	Dars mazmuni
1	To'g'ri tok atrofidagi H chiziqlari orqali sirkulyatsiya tushunchasini faollashtirish.
2	$\oint \mathbf{H} \cdot d\mathbf{l} = I_{\text{erkin}}$ qonunini to'g'ri sim va solenoid misolida qo'llash.
3	Tokli o'tkazgichga $F=I(l \times B)$ kuchini vektor yo'nalish bilan tushuntirish.

4	Xoll plastinkasida Lorens kuchi va ko'ndalang E_H maydon muvozanatini ko'rsatish.
5	R_H va U_H formulalari orqali tashuvchi ishorasi va konsentratsiyasini hisoblash.
6	Dia-, para- va ferromagnitlarni χ_m va $M(H)$ bo'yicha qiyoslash.
7	Molekular toklar g'oyasini orbital va spin magnet momentlar bilan zamonaviy talqin qilish.
8	$M=dm/dV$ va $B=\mu_0(H+M)$ orqali makro-mikro bog'lanishni umumlashtirish.

Muammoli savollar

Nima uchun H sirkulyatsiyasi erkin tok bilan bog'lanadi? Tokli o'tkazgich B ga parallel bo'lsa nega kuch nol? Xoll kuchlanishining ishorasi qanday fizik axborot beradi? Diamagnet va paramagnitlarning maydonga javobi nega qarama-qarshi? Ferromagnitlarda nima sababdan javob nochiziqli? Molekular toklar g'oyasi zamonaviy kvant tasvirda qanday talqin qilinadi?

Ko'p uchraydigan xatolar

B va H ni bir xil kattalik deb olish; Amper kuchida $\sin\alpha$ ni unutish; Xoll kuchlanishi yo'nalishini zaryad ishorasidan mustaqil deb hisoblash; $R_H=1/(nq)$ formulasini barcha murakkab materiallarga shartsiz tatbiq etish; M va H birliklarini adashtirish; ferromagnitlar uchun $M=\chi H$ chiziqli bog'lanishni barcha maydonlarda qo'llash.

9. Asosiy formulalar, mustaqil topshiriqlar va xulosa

Formula	Mazmuni
$\oint H \cdot dl = I_{\text{erkin}}$	Amper sirkulyatsiya qonuni
$F = I(l \times B)$	Tokli o'tkazgichga Amper kuchi
$dF = I(d\ell \times B)$	Tok elementiga kuch
$E_H = v_d B$	Xoll muvozanat maydoni
$R_H = 1/(nq)$	Bir tashuvchili Xoll modeli
$U_H = R_H IB/d$	Xoll kuchlanishi
$M = \chi_m H$	Chiziqli muhit magnetlanishi
$B = \mu_0(H + M)$	Muhitdagi B-H-M bog'lanishi
$m = ISn$	Tok konturining magnet momenti
$M = (1/\Delta V) \sum m_i$	Magnetlanishning mikroskopik mazmuni

Mustaqil topshiriqlar

1. $I=15$ A tokli uzun simdan 10 cm masofada H ni hisoblang.
2. $B=0.25$ T, $I=4$ A, $l=0.30$ m, $\alpha=60^\circ$ bo'lsa Amper kuchini toping.
3. $n=5 \times 10^{22} \text{ m}^{-3}$, $I=15$ mA, $B=0.8$ T va $d=0.5$ mm uchun U_H ni hisoblang.
4. R_H ning ishorasi musbat bo'lsa, bir tashuvchili modelda dominant tashuvchi haqida qanday xulosa qilinadi?

5. $\chi_m = 4 \times 10^{-4}$ va $H = 2 \times 10^5$ A/m bo'lsa M va B ni toping.
6. Diamagnit, paramagnit va ferromagnitlarning $M(H)$ xususiyatlarini taqqoslang.

Yakuniy xulosa

Magnit hodisalarining makroskopik va mikroskopik tavsifi o'zaro uzviy bog'langan. Magnit maydon kuchlanganligining sirkulyatsiyasi erkin toklar bilan Amper qonuni orqali bog'lanadi. Magnit maydondagi tokli o'tkazgichga $F = I(l \times B)$ Amper kuchi ta'sir etadi. Xoll hodisasi zaryad tashuvchilarning magnit maydonda og'ishi natijasida ko'ndalang elektr maydon hosil bo'lishi bo'lib, tashuvchilar ishorasi va konsentratsiyasini aniqlashda muhim. Moddalarning diamagnit, paramagnit va ferromagnit xususiyatlari atom va elektron magnit momentlarining tashqi maydonga javobi bilan izohlanadi. Magnitlanish vektori M birlik hajmdagi natijaviy magnit dipol momentini ifodalaydi va $B = \mu_0(H + M)$ munosabat orqali moddaning magnit javobini umumiy maydon bilan bog'laydi.

Tavsiya etiladigan adabiyotlar

1. Griffiths D. J. Introduction to Electrodynamics. Cambridge University Press.
2. Halliday D., Resnick R., Walker J. Fundamentals of Physics. Wiley.
3. Kittel C. Introduction to Solid State Physics. Wiley.
4. Young H. D., Freedman R. A. University Physics with Modern Physics. Pearson.