

Magnetne domene v železu



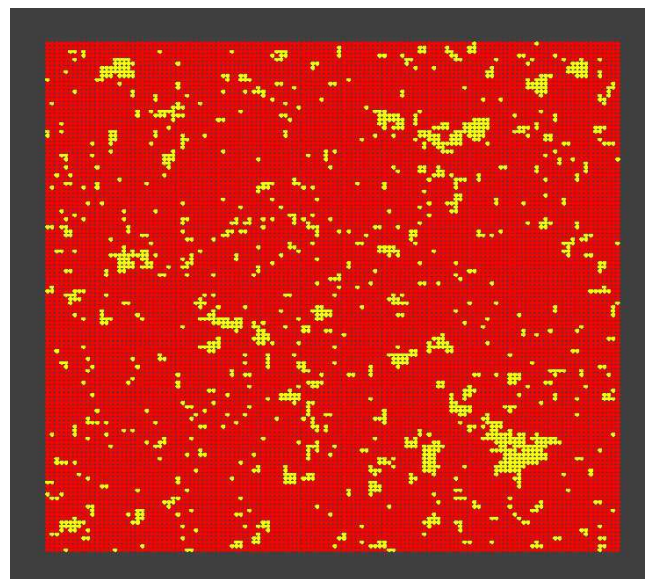
ANDREJ LIKAR

→ Železo, kobalt in nikelj so znane feromagnetne snovi – magnet jih močno privlači. Ker v atomu elektroni krožijo okrog jedra, pa tudi sami so drobni magnetki zaradi spina, to je vrtenja okrog lastne osi, so atomi lahko majhni magneti. Tudi atomsko jedro je lahko majhen magnet, a je tako šibek, da ga vedno lahko zanemarimo. V drobnem kristalu železa so ti atomski magnetki poravnani in vsi kažejo v isto smer. Zunanji elektroni sosednjih atomov se namreč med seboj odbijajo, zato se v kristalu železa postavijo na največjo možno medsebojno razdaljo, taka postavitev pa prisili poravnost magnetkov. Če bi na magnetke deloval le magnetni navor sosednjih magnetkov, bi se ti postavili eden proti drugemu. A medsebojni magnetni navor je le kak promil navora, ki nastane zaradi odboja med elektroni. Zato so atomski magnetki v železu trdno povezani in vsi kažejo v isto smer.

Vsak kos železa bi bil glede na povedano zelo močan magnet. Vemo, da to ni res. Da dobimo iz kosa železa magnet, se je potrebno posebej potruditi. Atomski magnetki so v železu res poravnani, a le v drobnih področjih, ki jim pravimo domene. Te obsegajo le 10^{17} do 10^{21} atomov in jih je mogoče videti pod mikroskopom. V različnih domenah pa so smeri poravnave različno in se njihov vpliv v kosu železa povsem izniči. V eni sami veliki domeni, veliki kot kos železa, bi bilo magnetno polje tako veliko, da bi domena sama razpadla, prav zaradi magnetnega na-

vora na atomske magnetke, ki bi premagal poravnalni navor. Če želimo iz kosa železa narediti magnet, moramo trajno povečati delež domen z magnetki v izbrani smeri na račun ostalih domen. Kar nekaj zanimivih pojavov pri proučevanju feromagnetnih snovi v magnetnem polju je povezanih z rastjo in upadanjem domen ter njihovimi skokovitimi zasuki.

A ostanimo pri domenah. Magnetki so poravnani le pri dovolj nizki temperaturi. Pri temperaturah, ki smo jih vajeni, so magnetki skoraj povsem poravnani. Kaj pa se zgodi, ko začnemo domeno segregati? Vse bolj kaotično gibanje vpliva tudi na poravnost magnetkov. V domeni nastanejo gručice, kjer



SLIKA 1.

Pod kritično temperaturo nastajajo območja z obrnjemini magnetki (rumene pike).

so magnetki bolj ali manj obrnjeni glede na staro lego. Z naraščajočo temperaturo se gručiče večajo in vse več jih je. Pri tako imenovani kritični temperaturi poravnosti ni več in domena izgubi magnetne lastnosti. Kritična ali Curiejeva temperatura je pri železu 1043 K, pri kobaltu je še višja (1388 K), pri niklju pa precej nižja (627 K). Nekaj uvida v pestro dogajanje v domeni dobimo s preprostim modelom. Magnetke postavimo v kvadratno mrežo in jim dovolimo le dve stanji – obe pravokotno na ravnino mreže, eno v izbrani smeri in drugo v nasprotni smeri. Razmere tako res do skrajnosti poenostavimo. Modelu pravimo dvodimenzionalni Isingov model, po fiziku Ernstu Isingu, ki ga je prvič opisal. A kljub temu je model dovolj bogat, da v grobem pokaže bistvene lastnosti razmer v domenah pri segrevanju in ohlajanju.

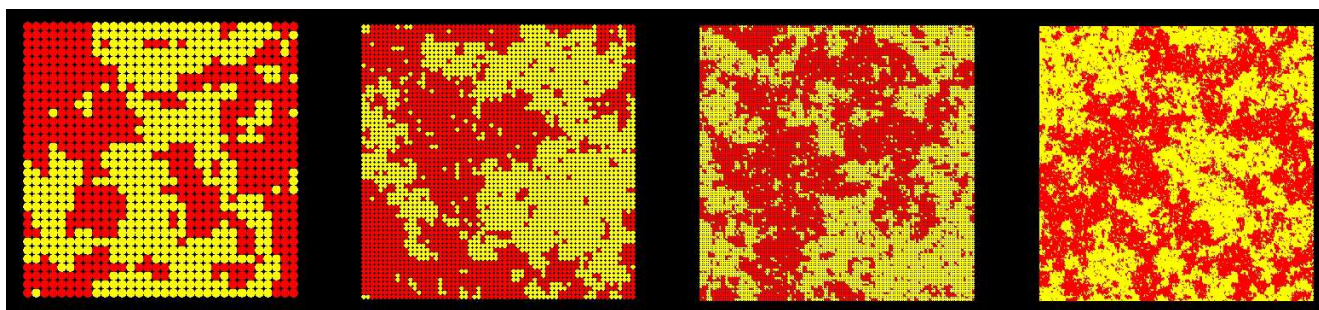
O vplivu temperature na stanje magnetka odloča njegova energija v obeh legah, recimo jima gor in dol. O energiji odločajo neposredni sosedje magnetka. Če so vsi štirje sosedje usmerjeni gor, čuti magnetek največji navor, ki ga sili v zasuk v smeri gor, in ima zato, postavljen v to smer, najnižjo energijo, v nasprotni smeri pa najvišjo. Če je eden od sosedov obrnjen navzdol, magnetek še vedno čuti navor, ki ga suče navzgor, le da je ta navor sedaj pol manjši kot prej. Pri dveh sosedih obrnjenih dol pa magnetek ne čuti navora in ima enako energijo ne glede na to, kako je obrnjen. Pri treh ali štirih sosedih obrnjenih navzdol se razmere ponovijo, le da v nasprotni smeri. Pri dani temperaturi se magnetki obračajo gor in dol glede na energijo v teh legah. Čim višjo energijo terja obrat, manj je verjetno, da se bo magnetek

tako tudi obrnil. Prehod v nižjo energijo pa je bolj verjeten. V modelu pogledamo stanje sosednjih magnetkov in določimo energiji pri nespremenjenem in obrnjenem magnetku. Izračunamo ustrezne verjetnosti in potem z žrebom določimo, ali se bo magnetek obrnil ali ne.

Legam magnetkov v danem trenutku lahko nazorno sledimo s sliko, kjer lego gor ponazorimo z eno barvo, lego dol pa z drugo. Na sliki 1 smo tako predstavili lege magnetkov pri povišani temperaturi, a nižji od kritične. Večina magnetkov je torej v legi gor (rdeče pike), nekaj pa jih je tudi v legi dol (rumene pike). Tu je v mreži 128×128 magnetkov.

Izjemo zanimive pa postanejo slike pri kritični temperaturi. Tu sta deleža magnetkov v eni in drugi smeri v povprečju prvič enaka, kar se nadaljuje tudi pri višjih temperaturah. Domena izgubi magnetno urejenost. A pri kritični temperaturi opazimo poleg majhnih tudi velike gruče z urejenimi magnetki, ki se raztezajo preko celotnega območja. Na sliki 2 smo zajeli stanja magnetkov pri različnih velikostih domene. Na levi smo z najmanjšo mrežo 32×32 magnetov zajeli majhen drobec domene, sledijo ji mreže s 64×64 , potem s 128×128 in končno z 256×256 magneti. Opazimo, da so razmere v vseh teh mrežah kvalitativno podobne. Pri najmanjši mreži ne moremo opaziti večjih podrobnosti, pri vsaki nadaljnji je majhnih urejenih gručič vse več, a tudi večjih sklopov ne manjka. Pravimo, da si je pri kritični temperaturi domena podobna na vseh merskih lestvicah.

Ker so slike stanj različno velikih področij nujno različne zaradi verjetnostne narave pojava, si oglej-



SLIKA 2.

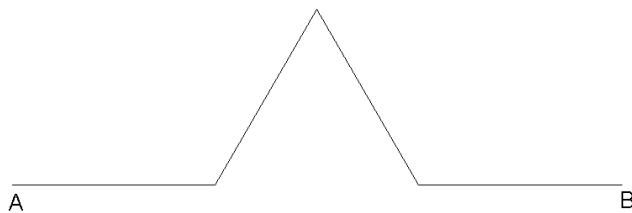
Stanje magnetkov na različno velikih področjih domene



→ mo primer iz matematike, pri katerem ni naključij. Med krivuljami, ki so enake na vseh merskih lestvicah, je posebno preprosta Kochova krivulja. O njej je Presek že pisal (Matija Lokar, Presek 26 (1998/99), stran 274). Nastane postopoma iz daljice, ki ji na sredi narišemo trikotno izboklino. Ravni odseki tako dobljene lomljene krivulje naj bodo enako dolgi. Potem postopek ponovimo na vsakem ravnem odseku in nadaljujemo risanje izboklin v nedogled. Slike 3, 4, 5 in 6 ponazarjajo ta postopek, ki vodi do vse bolj zavite krivulje.

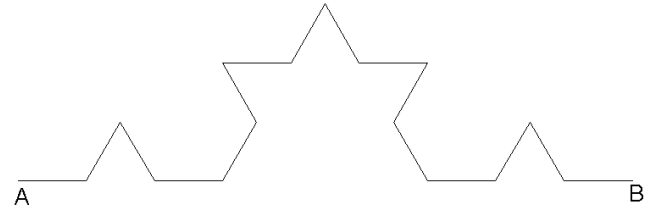
Če usmerimo mikroskop v vrh te krivulje, vidimo vedno eno in isto sliko ne glede na povečavo mikroskopa. Krivulja je torej na vseh prostorskih merskih lestvicah povsem enaka. Seveda pri zares narisani krivulji ne bo tako, saj je debelina črte končna, zato zelo finih grb pri dovolj veliki povečavi ne vidimo več (glej sliko 7, leva krivulja). Prav tako je pri zelo grobi mreži, ki predstavlja zelo majhen del domene z nekaj sto atomi. Tudi tu podrobnosti pod razdaljo med atomi seveda ni. Te zaznamo pri večjih mrežah.

Računalniški program, s katerim smo računali lege magnetkov, je preprost in ga lahko bralec, če ga te stvari seveda zanimajo, sam napiše. Pri tem bo uvidel, kako zamudni so taki računi pri nekoliko večjih mrežah. Tu še tako hitri računalniki ne pomagajo. V računih ni možno zajeti vseh atomov realne domene. A spoznanje, da si je sistem pri kritični temperaturi podoben na vseh smiselnih merskih lestvicah, je privedlo fizike do novih teoretičnih in računalniških prijemov. Seveda si sistem na vseh merskih lestvicah ni podoben le pri kritični temperaturi. Prav tako si je podoben pri temperaturi blizu absolutne ničle, ko so vsi magnetki poravnani v vsej domeni. Tudi pri zelo visokih temperaturah je tako, saj vezi med atomi takrat niso več pomembne. A ta dva primera za fizika pač nista zanimiva.



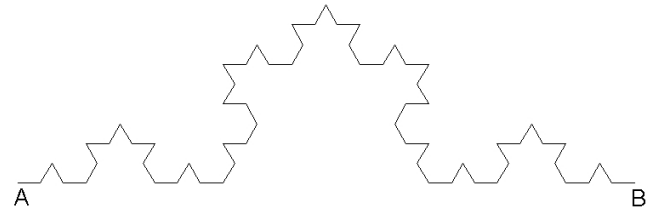
SLIKA 3.

Pri Kochovi krivulji daljica AB dobi na sredi grbo.



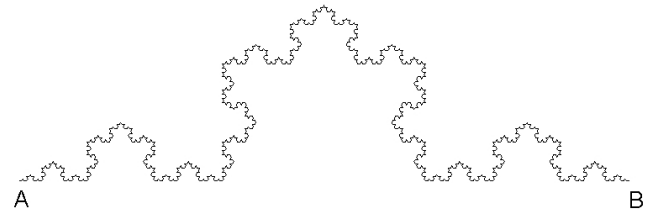
SLIKA 4.

Ravni deli se ponovno ogrbijo.



SLIKA 5.

In spet ...



SLIKA 6.

Končno je krivulja hudo nazobčana.



SLIKA 7.

Zaradi končne debeline črte vidimo pod mikroskopom pri največji povečavi (levo) le medlo sliko, pri manjših povečavah pa je krivulja ostrejša.

× × ×