

Magnetizmus látok

Zem je obrovský magnet. Ihla kompasu je tiež magnetická, preto jej severný magnetický pól je priťahovaný k južnému magnetickému pólu Zeme a vďaka tomu funguje kompas. Ako však súvisí magnetizmus v ihle kompasu s magnetizmom Zeme?

Magnetizmus Zeme možno veľmi zjednodušene vysvetliť tak, že v dôsledku prúdenia roztavenej hmoty v tekutom jadre tečú vnútri Zeme elektrické prúdy, ktoré vytvárajú magnetické pole. Niekedy sa dokonca hovorí, že Zem pracuje ako dynamo.

Aká sila však poháňa elektrické prúdy vnútri kompasu? Ihla kompasu je predsa obvykle vyrobená zo železa a v jej vnútri žiadna látka neprúdi. Teda v kompase nie je ukryté žiadne dynamo. Ako je potom možné, že magnetizmus železa časom nezoslabne? Ak sme totiž v procese zmagnetizovania vnútri ihly rozbehli elektrické prúdy, v dôsledku trenia by sa ihla mala zahrievať, elektrické prúdy by sa mali spomaľovať a magnetizmus ihly by mal slabnúť - nič také sa však nepozoruje.

Podľa kvantovej mechaniky je magnetizmus látok možný aj bez vnútorných elektrických prúdov, pretože každý elektrón sa správa ako magnetka, ktorá je síce maličká, ale v čase nemenná. Magnetky jednotlivých elektrónov sa v atómoch skladajú a vytvárajú atomárne magnetky, ktorých veľkosť pomerne komplikovaným spôsobom závisí od počtu elektrónov v atóme. Napríklad atómy s nepárnym počtom elektrónov majú konečne veľkú atomárnu magnetku, kým atómy s úplne zaplnenými elektrónovými vrstvami, ako napríklad vzácne plyny hélium, neón a argón, nie sú magnetické. Väčšina atómov s konečne veľkou atomárnou magnetkou však túto magnetku stratí, ak sú chemicky naviazané v látkach. Tzv. magnetické atómy ako napríklad železo, kobalt a nikel však svoju atomárnu magnetku obvykle nestrácajú ani v zlúčeninách.

Zamrznuté magnetky

To však neznamená, že ak látka obsahuje magnetické atómy, musí byť zaručene magnetická. Napríklad železo je magnetické iba pri teplotách nižších než 770°C a kobalt pri teplotách pod 1121°C . Tieto teploty nazývame kritickými. Ak by sme ihlu kompasu vyhriali nad jej kritickú teplotu, prestala by nám ukazovať sever.

Aká zmena sa teda odohráva v systéme atomárnych magnetiek pri kritickej teplote, keď jej výsledkom je tak dramatická zmena správania magnetickej ihly? Veď základné stavebné kamene magnetu, t.j. atomárne magnetky, zostávajú pri tejto teplote neporušené. Navyše, železo pri teplote 770°C ešte nie je kvapalné, teda jeho atómy ešte stále vytvárajú pravidelnú mriežku.

Odpoveďou je, že pri kritickej teplote nastáva zmena skupenstva magnetiek, ktorá sa podobá na zmenu skupenstva molekúl vody pri jej premene z vodnej pary na ľad: Vo vodnej pare sa molekuly vody pohybujú viac-menej chaotickým spôsobom, kým v ľade sú tie isté molekuly zamrznuté v pravidelnom usporiadaní. Podobne v magnete nad kritickou teplotou sú atomárne magnetky ponášané náhodnými smermi, kým pod kritickou teplotou začne medzi natočeniami magnetiek prevládať jeden smer – smer celkového zmagnetizovania vzorky. V tesnej blízkosti kritickej teploty je týmto smerom orientovaná len malá časť magnetiek, ale pri ďalšom znižovaní teploty pribúdajú rovnako natočené magnetky, až pri absolútnej nule teploty sú všetky magnetky orientované jedným smerom.

Aby v skúmanej látke mohlo vzniknúť magnetické usporiadanie, medzi atomárnymi magnetkami musia pôsobiť sily, ktoré ich natáčajú navzájom rovnobežne. Zdalo by sa, že sila medzi magnetkami musí súvisieť s magnetickými poliami, ktoré tieto magnetky vytvárajú. Ak však smer jednej magnetky

fixujeme a s druhou magnetkou sa pohybujeme v magnetickom poli prvej magnetky, natočenie druhej magnetky sa bude meniť od miesta k miestu. Magnetické sily teda nevysvetľujú rovnobežné usporiadanie atomárnych magnetiek.

Pri konečnej teplote na atomárne magnetky okrem magnetických síl pôsobia aj náhodne orientované tepelné sily, ktorých veľkosť pri zvyšovaní teploty rastie. Už pri izbovej teplote sú tepelné sily, ktoré pôsobia proti usporiadaniu, omnoho väčšie, než magnetické sily. Dá sa však ukázať, že medzi susednými magnetkami okrem magnetických a tepelných síl pôsobia aj podstatne väčšie sily celkom inej povahy, ktorých vysvetlenie opäť podáva až kvantová mechanika. Tieto sily sú zodpovedné za rovnobežné usporiadanie atomárnych magnetiek a ich veľkosť je v zhode s pozorovanými kritickými teplotami magnetov.

Ako funguje kompas

Prečo sa však ihla so zamrznutými magnetkami v magnetickom poli Zeme natočí, kým ihla s neusporiadanými magnetkami sa nenatočí? Veď magnetické pole Zeme pôsobí v oboch prípadoch na jednotlivé atomárne magnetky rovnako!

Pomôžeme si analógiou s molekulami vody. Najprv si treba uvedomiť, že ak chceme otočiť jedinú molekulu vody v kryštáli ľadu a ak pritom chceme ponechať väzby medzi molekulami nezmenené, potom musíme zároveň otočiť celý kryštál. Keby sme totiž otočili iba jednu molekulu, potom by sme kryštál v jej okolí museli zdeformovať. Ak teda pôsobíme na jedinú molekulu alebo skupinu blízkych molekúl, môžeme kryštálom pohnúť ako celkom. Túto vlastnosť nazývame tuhosťou a využil ju každý, kto pracoval s lopatou. Na druhej strane, vo vodnej pare nie je nič ľahšie ako natočiť molekulu vody daným smerom, pretože s výnimkou najbližšieho okolia otočenej molekuly sú ostatné molekuly k natočeniu tejto molekuly ľahostajné. Vodná para teda nie je tuhá, čo sa prejavuje okrem iného aj tak, že lopata sa z nej vyrobiť nedá.

Vráťme sa však k natáčaniu ihly kompasu. Ak je teplota nižšia ako kritická teplota ihly, potom magnetické pole Zeme musí všetky zamrznuté atomárne magnetky otočiť naraz, ako keby išlo o otočenie tuhého telesa. Natočenie magnetiek je však naviazané síce malou, ale konečnou väzbou na natočenie kryštálu, preto výsledkom pôsobenia zemského magnetického poľa bude otočenie ihly – kompas funguje. Ak je však teplota vyššia ako kritická teplota ihly, potom náhodne orientované tepelné sily sú omnoho väčšie ako pôsobenie slabého magnetického poľa Zeme a iba zanedbateľne malá časť magnetiek sa natočí do smeru zemského magnetického poľa. Preto aj sila pôsobiaca na kryštál bude natoľko slabá, že ihla ako celok sa do smeru poľa nenatočí. V takomto prípade si teda ihla funkciu kompasu neplní.

Teraz už teda vieme, prečo kompas niečo ukazuje, ale zatiaľ vôbec nie je jasné, ako dlho bude ukazovať správnym smerom. K tomu potrebujeme zistiť, ako dlho potrvá, kým väčšina magnetiek zmení svoje natočenie. Najefektívnejší proces premagnetizovania magnetu beží tak, že v ňom vznikne zárodok inak orientovaných atomárnych magnetiek, ktorý v čase rastie, až napokon zaplní celú látku. Keďže sily sú veľké iba medzi susednými magnetkami, v látke so zárodkom sú takmer všetky dvojice susedných atomárnych magnetiek rovnobežné, okrem tých dvojíc, kde jeden atóm je v zárodku a druhý atóm je mimo neho. Prírastok energie súvisiaci so vznikom zárodku je preto úmerný ploche povrchu zárodku. Ale na kompletne premagnetizovanie kompasu musí zárodok nadobudnúť istú minimálnu plochu, s čím súvisí minimálny prírastok energie. Teória hovorí, že každý magnet konečných rozmerov sa jedného dňa premagnetizuje. Čím je magnet menší, tým skôr sa tak stane. Ale nemusíte sa obávať, že vášmu kompasu sa niečo také prihodí. Čas, za ktorý k takémuto premagnetizovaniu môže dôjsť, je pre magnety veľkosti ihly kompasu porovnateľný s vekom vesmíru. Koniec koncov, v pevných diskoch

počítačov je informácia uložená ako smer zmagnetizovania omnoho menších magnetov, a napriek tomu takéto pamäte spoľahlivo fungujú.

Ak chceme kompas odmagnetizovať, najjednoduchšie je vyhriať ho nad jeho kritickú teplotu. Prekvapuje však, že po spätnom schladení pod kritickú teplotu sa kompas obvykle nezmagnetizuje. Presnejším skúmaním by sme pritom zistili, že po takomto schladení vzniknú v kompase tzv. magnetické domény. Jedná sa o magneticky usporiadané oblasti obsahujúce miliardy magnetiek, ktoré sú však navzájom ponátáčané tak, aby kompas vytváral čo najmenšie magnetické pole vo svojom okolí. Magnet s takýmito doménami sa potom navonok javí, ako keby vôbec nebol magnetický.

Aby sme kompas opäť zmagnetizovali, musíme ho vložiť do dostatočne silného vonkajšieho magnetického poľa, ktoré všetky magnetické domény natočí jedným smerom. Týmto spôsobom sa napríklad prepisuje informácia v už spomínaných pevných diskoch počítačov. Mimochodom, niečo veľmi podobné zdá sa pozorovala už v roku 1681 posádka istej lode smerujúcej do Bostonu: do lode uderel blesk a ním vyvolaný magnetický impulz vymenil severný pól kompasu s južným. Skúsení námorníci však magnet otočili a do Bostonu napokon trafili.

A poučenie? Možno aj Vás v detstve vystríhali, že s magnetom sa nemáte hrať pri hodinkách, lebo ich zmagnetizujete. Ak sa Vám to predsa podarí, potom by teoreticky malo pomôcť, ak takto znehodnotené hodinky vyhrejete nad 770°C .