

Studium magnetismu a magnetických struktur pomocí synchrotronového záření

S. Daniš

Katedra fyziky kondenzovaných látek, Matematicko-fyzikální fakulta UK, Ke Karlovu 5, 121 16 Praha 2

danis@mag.mff.cuni.cz

Klíčová slova: magnetismus, strukturní faktor, rezonanční rozptyl, synchrotronové záření,

Až do roku 1972, kdy pánové F. de Bergevin a M. Brunel [1] poprvé experimentálně pozorovali magnetický příspěvek rozptylu rtg. záření, bylo určení magnetické struktury látek doménou rozptylu neutronů. Neutrony mají pro studium magnetismu, resp. magnetických struktur velmi vhodné vlastnosti - zejména vlastní magnetický moment (spin). Energie neutronů používaných pro rozptylové experimenty (~1-100 meV) je srovnatelná s energií excitací v pevných látkách, např. fononů, magnonů, excitonů a pod., jsou tedy velmi vhodné i pro inelastické experimenty. Dnes už máme více možností jak studovat magnetické vlastnosti látek. Jaké požadavky máme na záření, vlnění, vhodná pro studium magnetismu? Požadujeme:

- vhodnou vlnovou délku
- citlivost k magnetickému uspořádání
- vysokou brilianci/intenzitu
- velké laterální i hloubkové rozlišení
- citlivost k chemickým prvkům, popř. e⁻ slupkám

Tyto požadavky splňují tato vlnění:

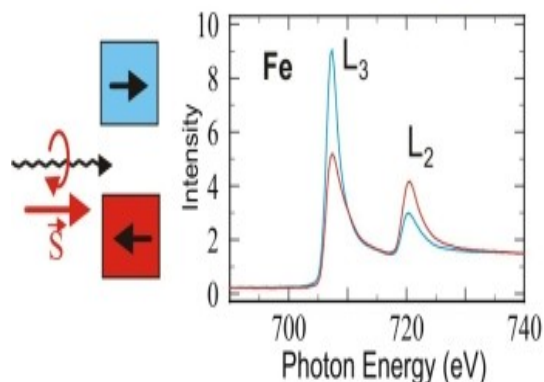
1. neutronové svazky
2. rtg. (synchrotronové) záření
3. polarizované atomy (vhodné pouze povrchy z důvodů velmi malé pronikavosti).

Podívejme se nyní na neutrony a rtg. záření podrobněji. Neutrony interagují s jádrem atomu, závislost rozptylové délky na atomovém čísle není monotónní, difrakční kontrast lze ovlivnit záměnou izotopu daného prvku. Neutrony jsou citlivé k celkovému magnetickému momentu, separace orbitální a spinové složky je obtížná. Nevýhodou je i nízká intenzita neutronových svazků ve srovnání s rtg. zářením.

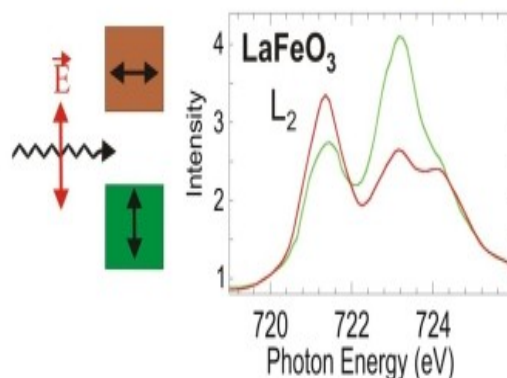
Rtg. záření se rozptyluje na elektronových obalech atomů (jako všechna elmg. záření), závislost atomového rozptylového faktoru na atomovém čísle je monotónní. V synchrotronu dokážeme vyrobit rtg. záření s vysokou briliancí, které umožňuje pozorovat velmi slabý rozptyl způsobený magnetickým uspořádáním, resp. polarizací spinů elektronů v magneticky uspořádaných látkách. Změnou polarizace fotonů lze rozlišit orbitální a spinový příspěvek magnetického momentu. Rtg. záření je citlivé k jednotlivým elektronovým slupkám (v anomálním režimu), můžeme tak identifikovat i elektronové hladiny, resp. slupky, zodpovědné za magnetické vlastnosti dané látky.

Rentgenové záření můžeme použít ke studiu magnetických vlastností ve dvou hlavních metodách - spektroskopických a difrakčních. Do spektroskopických metod náleží metody využívající tzv. dichroismus, tj. různou odezvu vzorku při použití různě polarizovaného záření. Nejčastěji se využívá XMCD (X-ray Magnetic Circular Dichroism) a XMLD (X-ray Magnetic Linear Dichroism). První metoda používá kruhově polarizované rtg. záření a je vhodná pro studium feromagneticky uspořádaných látek. Antiferomagneticky uspořádané látky lze studovat metodou XMLD, která využívá záření polarizované lineárně. Obě metody jsou založeny na interakci polarizovaného rtg. záření s elektronovými hladinami, které jsou ovlivněny mg.uspořádáním.

Circular Dichroism - Ferromagnets



Linear Dichroism - Antiferromagnets

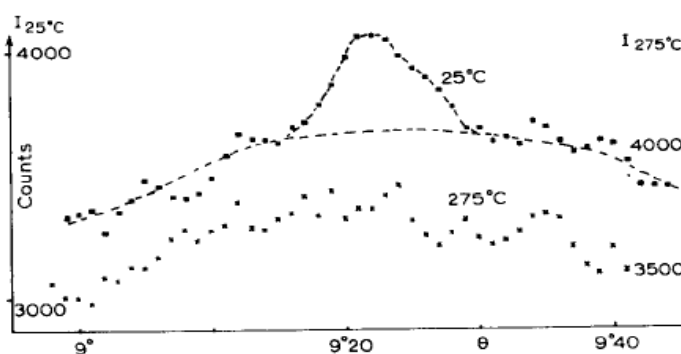


Obr.1 Magnetický kruhový (nalevo) a lineární (napravo) dichroismus. Díky výběrovým pravidlům přeskoků mezi elektronovými hladinami dostáváme různý signál pro různé polarizace dopadajícího záření. Použitá energie rtg.záření odpovídá energii absorpční hrany zvolené slupky a prvku, v našem případě L-hrana železa.

Na obrázku 1 jsou zobrazeny průběhy měřeného signálu při měření XMCD/XMLD. Protože jsou elektrony v daných slupkách spinově polarizované (pokud je slupka zodpovědná za magnetické vlastnosti) a je tedy různá populace elektronů polarizovaných \uparrow a \downarrow . Protože výběrová pravidla přeskoků mezi e^- hladinami závisí i na polarizaci dopadajícího záření, naměříme při změně polarizace jiný signál.

Spektroskopické metody dokáží odhalit, které atomy přispívají k magnetickým vlastnostem dané látky. Nejsou však citlivé k dalekosahovému uspořádání magnetických momentů, tzv. magnetické struktury. Magnetickou strukturu lze studovat pomocí "klasické" rtg. difrakce, avšak za specifických podmínek. Příspěvek magnetického atomového rozptylu je asi 10^3 slabší než příspěvek od rozptylu Thomsonova. Opět si "vypomůžeme", jako v případě spektroskopických metod, rezonančním rozptylem. V případě látek obsahujících atomy s velkými magnetickými momenty, můžeme magnetický signál naměřit i v laboratoři, viz obr.2.

Obr.2: Okolí difrakce (1/2,1/2,1/2) NiO. Neélova teplota NiO je asi $T_N=225^\circ\text{C}$ - pod touto teplotou je NiO



antiferomagnetický. Nad touto teplotou není oxid nikelnatý magneticky uspořádán. Převzato z [1].

Reference

1. F. de Bergevin, M. Brunel, *Physics Letters* **39A**, (1972), 141