

Feromagnetismus

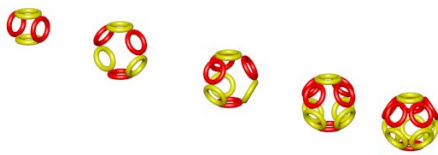
Pavel Werner

Úvod

Pro objasnění podstaty feromagnetismu nám může posloužit Prstencová teorie (RT – ring theory), která na rozdíl od Standardního modelu umožňuje vytvořit modely struktur jader atomů a modely jejich elektronových obalů. Pro objasnění podstaty tohoto jevu je model struktury atomu klíčový.

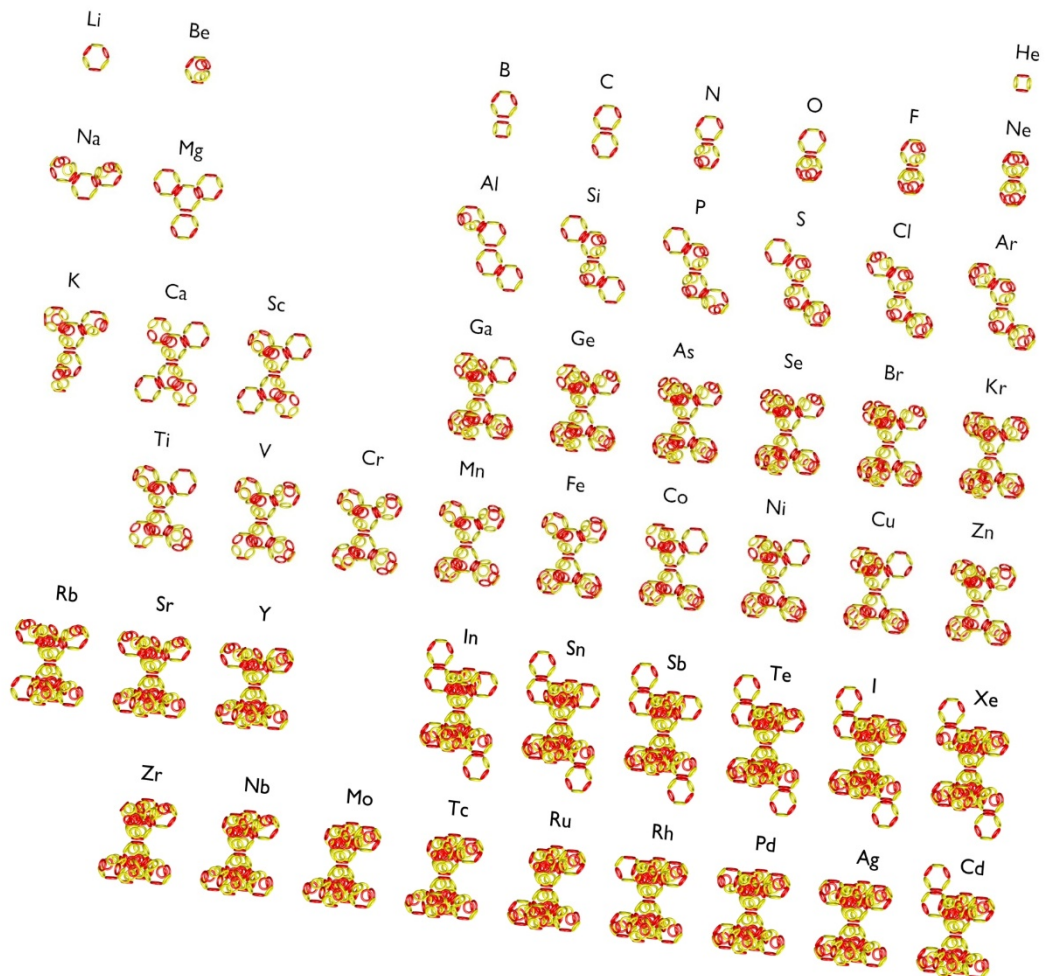
Model struktury jader atomů

Model jádra atomu podle RT se skládá z toroidálních objektů protonů a neutronů, které vytvářejí seskupení (globule) ze dvou až pěti párů protonů a neutronů (obr. 1). Tento model struktury jádra má určující vliv na rozmístění elektronů v modelu obalu atomu.



Obr. 1 Základní stavební kameny jader prvků (červený prsteneček je model protonu, žlutý prsteneček je model neutronu)

Na obrázku 2 jsou zobrazeny modely struktur jader atomů podle RT části periodické tabulky prvků.



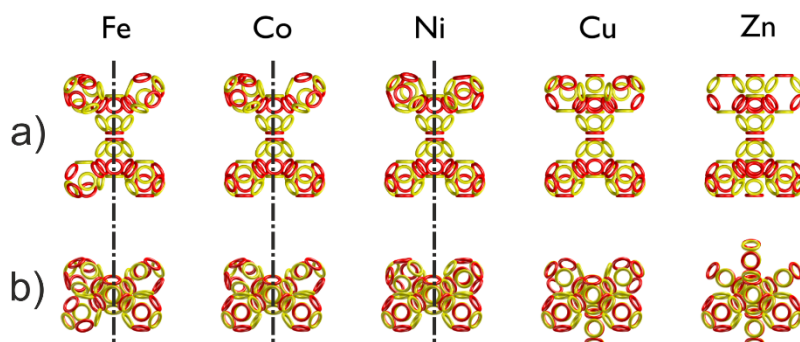
Obr. 2 Modely struktury jader atomů části periodické tabulky prvků

Pokud si znázorníme schematické rozložení globulí s třemi, čtyřmi a pěti páry protonů a neutronů v modelech jader atomů (obr. 3), můžeme najít skupinu prvků, které patří mezi přechodné prvky mající valenční elektrony v d-sféře, a které mají jádra ukončená dvěma globulemi na každé straně a můžeme je rozdělit na dvě symetrické části.

Li	Be			B	C	N	O	F	Ne
3	4			4 1	3 3	3 4	3 5	4 5	5 5
Na	Mg			Al	Si	P	S	Cl	Ar
4 4 3	3 3 3 3			4 - 3 3 3 -	- 3 - 4 4 - 3 -	- 3 - 4 4 - 4 -	- 3 - 4 4 - 5 -	- 4 - 4 4 - 5 -	- 5 - 4 4 - 5 -
K	Ca	Sc		Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
4 - 4 4 4 - 3 -	3 - 3 4 4 3 - 3	3 - 4 4 4 3 - 3		3 3 4 4 4 3 5 5	3 3 5 4 4 3 5 5	3 4 5 4 4 3 5 5	3 4 5 4 4 4 5 5	4 4 5 4 4 4 5 5	4 5 5 4 4 4 5 5
	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn
	3 - 4 4 4 3 - 4	3 - 4 4 4 4 - 4	4 - 4 4 4 4 - 4	4 - 4 4 4 4 - 5	4 - 5 4 4 4 - 5	4 - 5 4 4 5 - 5	5 - 5 4 4 5 - 5	3 4 4 4 4 5 - 5	3 3 3 4 4 3 5 5
Rb	Sr	Y		In	Sn	Sb	Te	I	Xe
3334 5 5 3335	3335 5 5 3335	3335 5 5 3345		3 3335 5 5 4555 3	3 3345 5 5 4555 3	3 3355 5 5 4555 3	3 3455 5 5 4555 3	3 3555 5 5 4555 3	3 4555 5 5 4555 3
	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd
	3345 5 5 3345	3345 5 5 3445	3355 5 5 3445	3355 5 5 3455	3355 5 5 4455	3455 5 5 4455	4455 5 5 4455	4555 5 5 4455	4555 5 5 4555

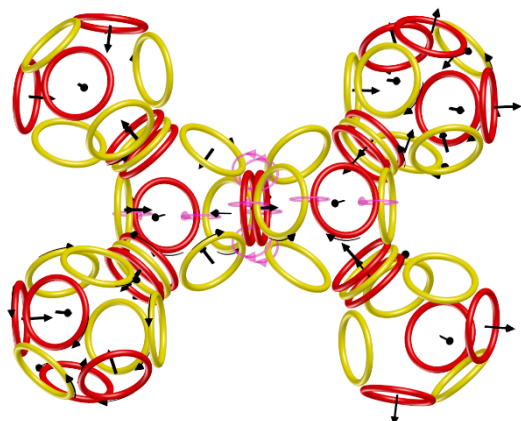
Obr. 3 Tabulka rozložení modelu globulí s třemi, čtyřmi a pěti páry protonů a neutronů v modelech jader atomů

Mezi takové prvky patří chrom, mangan, železo, kobalt a nikl, které pro jejich schopnost vytvářet magnetické materiály nazýváme feromagnetika, ale už tam nepatří měď a zinek, jejichž obsazení koncových globulí modelů jader nelze rozdělit na dvě symetrické poloviny.



Obr. 4 Rozdělení modelu jader atomů železa, kobaltu a niklu na dvě poloviny a) pohled zepředu, b) pohled shora

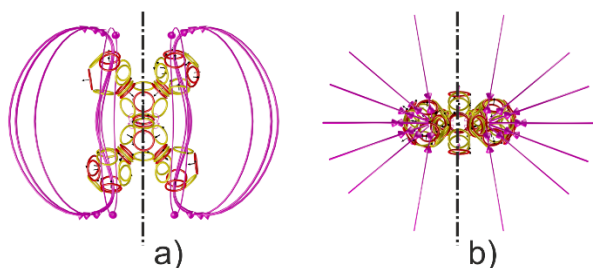
Model struktury jádra atomu železa



Obr. 5 Schéma rozložení magnetických momentů protonů a neutronů (černé šipky) v modelu jádra atomu železa

Model jádra atomu železa podle RT je sestaven z globulí, které mají 4 a 5 párů proton – neutron. Střední dvě globule jsou složeny ze 4 párů proton – neutron a jsou navzájem propojeny přes „protonový můstek“. Obě tyto globule mají volný jeden proton, na který je navázán jeden valenční elektron. Tyto valenční elektrony jsou umístěny na opačných stranách modelu jádra atomu a tvoří osu, kolem které se může celý atom otáčet. Na tyto střední globule jsou navázány symetricky střídavě koncové globule se třemi a čtyřmi volnými protony, na které jsou podle RT navázány elektrony třetí a čtvrté orbitální hladiny. Koncové globule jsou připojeny opět přes protonový můstek, který navíc obsahuje po jednom neutronu, protože nejrozšířenější izotop železa obsahuje v jádře 26 protonů, ale 30 neutronů.

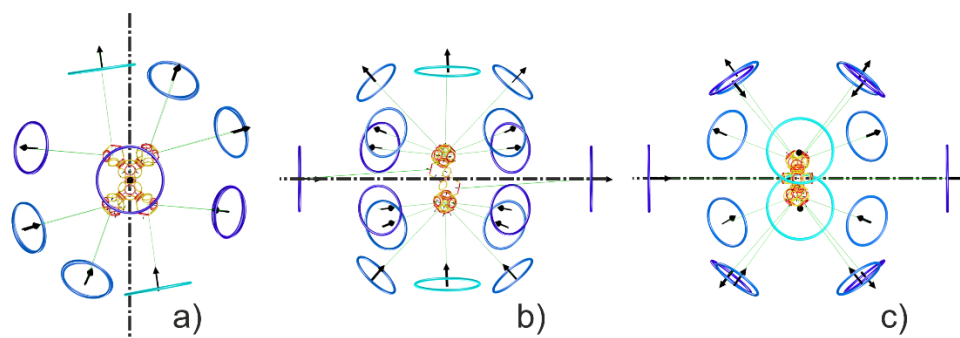
Na obrázku 5 jsou znázorněny černými šipkami magnetické momenty protonů a neutronů v modelu jádra železa. Můžeme si všimnout, že v levé části modelu jádra směřují magnetické momenty protonů dovnitř obou globulí, kdežto v pravé části modelu vycházejí magnetické momenty protonů z globulí ven. Pokud si znázorníme průběh siločar magnetických polí procházející těmito protony, zjistíme, že se magnetická pole rozdělí do dvou oblastí, které se navzájem odpuzují (obr. 6).



Obr. 6 Rozdělení magnetických polí v modelu jádra atomu železa

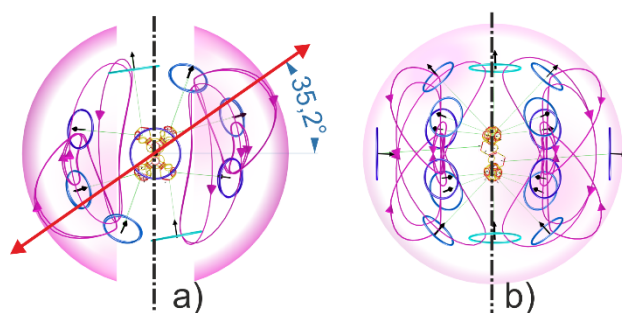
Model struktury atomu železa

Jelikož je podle Prstencové teorie struktura jádra určující pro rozmístění elektronů na orbitech, můžeme i u modelů rozmístění elektronů rozdělit jejich třetí a čtvrtou energetickou hladinu na dvě symetrické části (obr. 7). Jejich magnetická pole jsou rozdělena do dvou oblastí, které se navzájem odpuzují (obr. 8) a mají směrovou orientaci. Všechny modely feromagnetických prvků, a tedy i model atomu železa, mají dva vazební elektrony umístěny kolmo k ose, která jejich magnetická pole rozděljuje na dvě odpuzivé části. Přes tyto dva valenční elektrony vzniká osa, kolem které se mohou celé atomy natáčet.



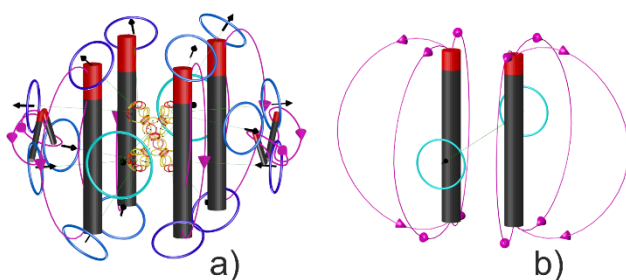
Obr. 7 Model rozložení elektronů ve třetí a čtvrté energetické hladině atomu železa a jejich rozdělení na dvě poloviny a) pohled zepředu, b) pohled z boku, c) pohled shora

Nerovnoměrnost rozložení elektronů v modelu atomu tři proti čtyřem způsobuje nerovnoměrnou intenzitu magnetického pole a jeho směrovost (obr.8). Toto nasměrování intenzity magnetického pole umožňuje vazby atomů v krystalové mřížce pod určitým úhlem a u atomu železa vytváří krychlovou tělesně centrovanou krystalovou mřížku (obr.10).



Obr. 8 Rozdělení magnetických polí modelu atomu železa na dvě části a) pohled zepředu, b) pohled z boku

Pro názornost umístění a orientace atomů v prostorové krystalické mřížce železa si můžeme zjednodušit model atomu železa nahrazením soustavy magnetických polí mezi elektrony dvěma souhlasně orientovanými tyčovými magnety (obr. 9b). Tyto magnety se mohou otáčet kolem osy kolmé k jejich rovině, která spojuje dva valenční elektrony, které na této ose vytvářejí kovalentní vazbu mezi dalšími atomy železa v krystalické mřížce.

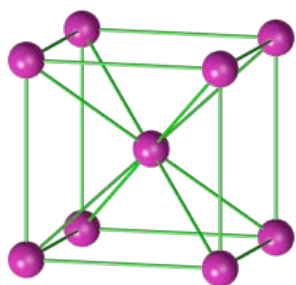


Obr. 9 Schematické nahrazení magnetických polí tyčovými magnety a) úplný model, b) zjednodušený model

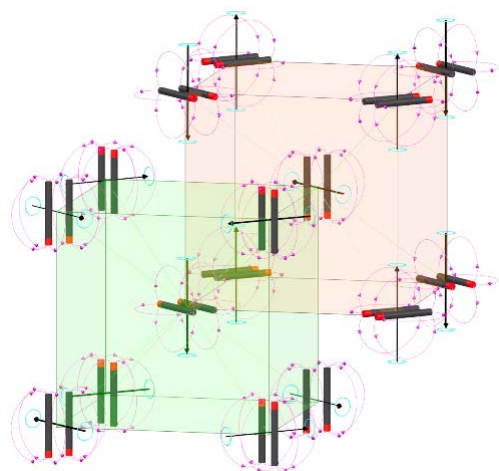
Tvorba magnetických domén

Železo krystalizuje v krychlové tělesně centrované krystalické mřížce (obr. 10). V našem modelu krystalové mřížky železa jsou atomy seskládány tak, aby osy vazebních elektronů byly ve všech třech směrech v prostoru na sebe kolmé, a přitom atomy, které nejsou svázány přes valenční elektrony, byly vázány svými magnetickými poli. V rovinách kolmých ke shodně orientovaným osám valenčních elektronů vznikají řetězce atomů vázaných navzájem stejně orientovanými magnetickými poli, které se pravidelně střídají s řetězci atomů s opačnou orientací magnetických polí, takže celkové magnetické pole se v krystalické mřížce vyruší (obr. 12).

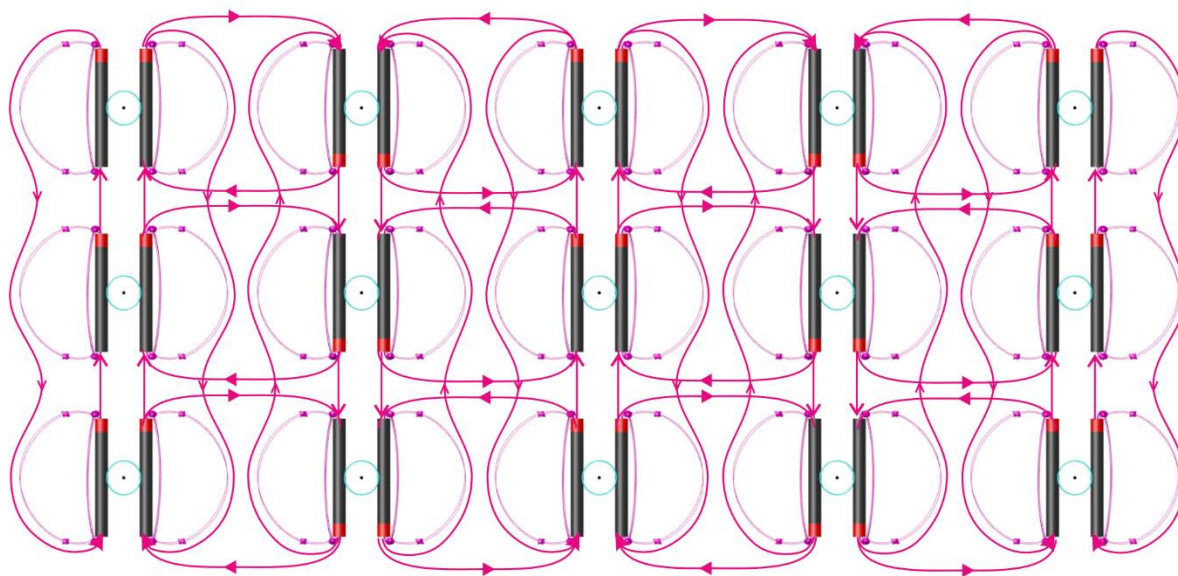
V kolmém směru k těmto řetězcům spojuje jednotlivé řetězce kovalentní vazba dvou valenčních elektronů sousedních atomů (obr. 13).



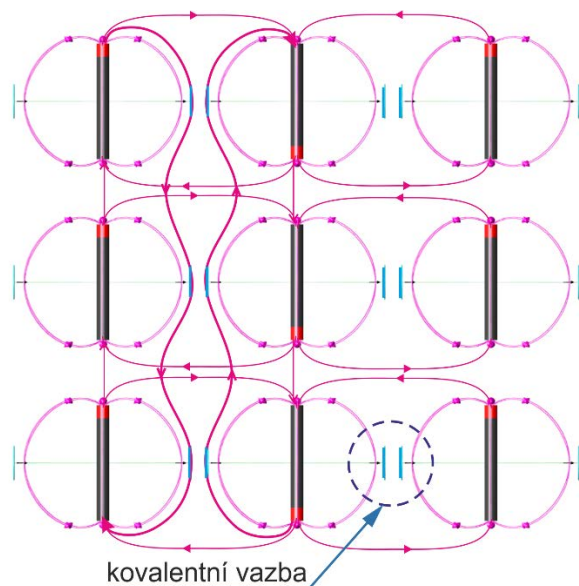
Obr. 10 Model rozmístění atomů v krychlové tělesně centrované krystalické mřížce železa



Obr. 11 Model rozmístění a orientace atomů v krystalické mřížce železa

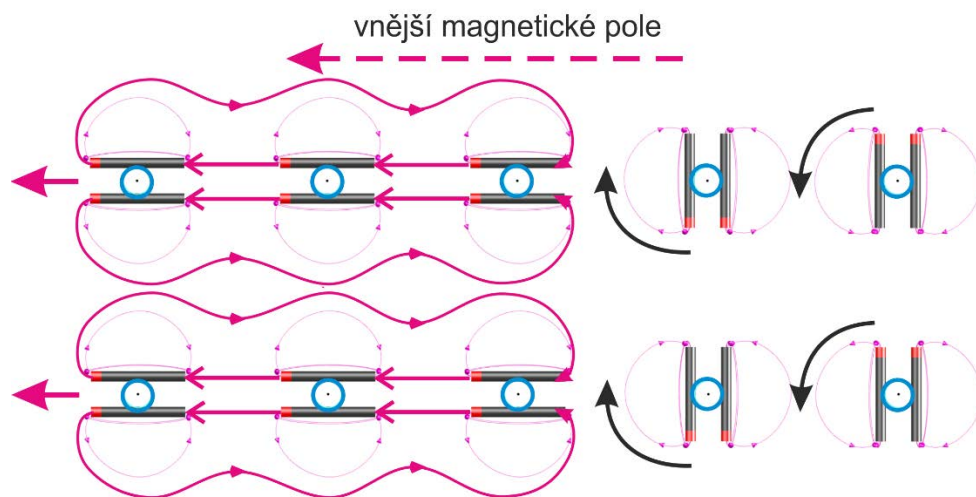


Obr. 12 Schéma vazeb a magnetických polí v modelu krystalické mřížky železa v rovině kolmé k osám valenčních elektronů (pohled zepředu)



Obr. 13 Schéma vazeb a magnetických polí v modelu krystalické mřížky železa v rovině kovalentních vazeb (pohled z boku)

Působením vnějšího magnetického pole dojde u atomů, jejichž osa valenčních elektronů je kolmá k vnějšímu magnetickému poli, k natáčení atomů kolem osy kovalentní vazby. Rozpadnou se původní proti sobě orientované řetězce a začnou se vytvářet nové řetězce orientované všechny ve stejném směru, který je kolmý ke směru původních řetězců. Tím vznikne v krystalické mřížce silné magnetické pole orientované ve směru vnějšího magnetického pole. Těmto oblastem v krystalové mřížce se shodně orientovanými magnetickými řetězci říkáme domény. Atomy svázané do těchto nových řetězců zůstanou v tomto stavu i po odstranění vnějšího magnetického pole. Pokud se dodáním větší energie zvýší kmitání atomů natolik, že se naruší magnetické vazby nově vzniklých řetězců, vrátí se atomy do původní polohy a krystalická mřížka ztratí svou magnetickou orientaci a orientované magnetické pole zanikne.

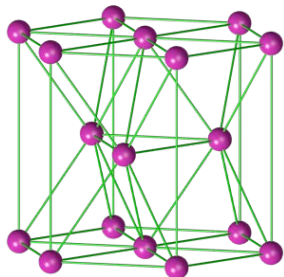


Obr. 14 Natočení atomů železa působením vnějšího magnetického pole v modelu krystalické mřížky a vytvoření magnetických domén

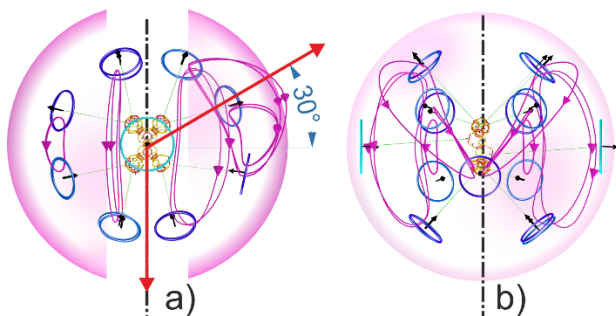
Vnější magnetické pole ovlivní částečně i ty atomy, jejichž osa valenčních elektronů není kolmá k magnetickým indukčním čarám vnějšího magnetického pole.

Model atomů a krystalové mřížky kobaltu

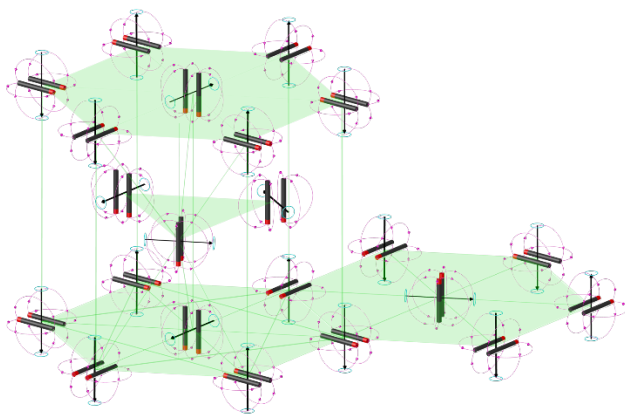
Kobalt krystalizuje v krystalické mřížce šesterečné (obr. 15). Jeho model jádra obsahuje v jedné polovině dvě koncové globule se čtyřmi vázanými elektrony, ale v druhé polovině má jednu globuli se čtyřmi navázanými elektrony a druhou globuli pouze se třemi vázanými elektrony (obr. 16). Tato nesymetričnost způsobuje nepravidelné magnetické pole vytvářené elektrony, a proto je kobalt schopen vytvářet krystalovou mřížku i s úhly 120° v šesterečné krystalové soustavě.



Obr. 15 Model rozmístění atomů v šesterečné krystalické mřížce kobaltu



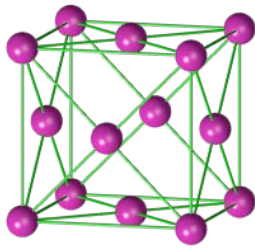
Obr. 16 Rozdělení magnetických polí modelu atomu kobaltu na dvě části a) pohled zepředu, b) pohled z boku



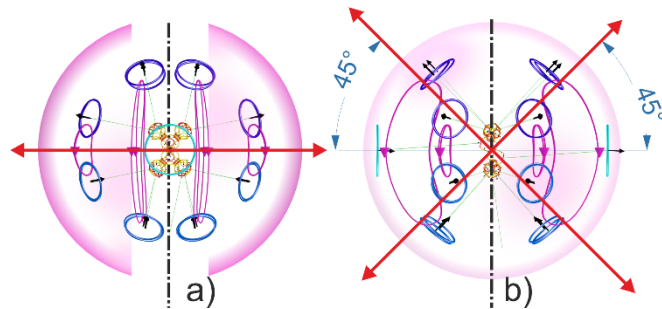
Obr. 17 Model rozmístění a orientace atomů v krystalické mřížce kobaltu

Model atomů a krystalové mřížky niklu

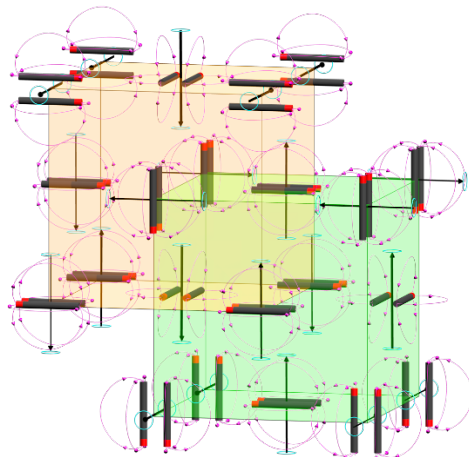
Nikl krystalizuje v krychlové plošně centrované krystalické mřížce (obr. 18). Jeho model jádra i elektronového obalu je symetricky rozdělen do dvou magneticky se odpuzujících částí (obr. 19). Tato pravidelnost mu umožňuje vytvářet krychlovou plošně centrovanou krystalickou mřížku (obr. 20).



Obr. 18 Model rozmístění atomů v krychlové plošně centrované krystalické mřížce niklu



Obr. 19 Rozdělení magnetických polí modelu atomu niklu na dvě části a) pohled zepředu, b) pohled z boku



Obr. 20 Model rozmístění a orientace atomů v krystalické mřížce niklu

Mangan, chrom, vanad

Mezi další prvky, které se vyznačují feromagnetickými vlastnostmi, patří mangan, chrom a vanad. I tyto prvky mají podle RT dva vazební elektrony ve vrstvě 3d na ose modelu atomu, a elektronový obal rozdělený na dvě poloviny s odpuzivými magnetickými poli. Protože však mají méně elektronů než železo, jejich magnetická pole jsou slabší a jejich feromagnetických vlastností se využívá v kombinaci s jinými prvky.

Již roku 1898 objevil Friedrich Heusler, že mangan tvoří s mnoha kovy – například hliníkem, cínem nebo antimonem – slitiny, které jsou feromagnetické, aniž obsahují feromagnetický kov. Zdá se, že v těchto slitinách vznikají intermetalické sloučeniny. Nejsilnější vlastnosti se dosáhnou, pokud nejsou přítomny v čistém stavu, ale jako směsné krystaly.

Oxid chromičitý CrO_2 se používá jako záznamový materiál, protože má feromagnetické vlastnosti.

Vanad se v poslední době uplatňuje i při výrobě elektrických článků a baterií a slitiny vanadu s galliem patří k materiálům pro přípravu supravodivých magnetů.