

Mágneses momentum, mágneses szuszeptibilitás

A molekuláknak (atomoknak, ionoknak) elektronszerkezetüktől függően lehet **permanens** (állandóan meglévő) **mágneses momentuma**. Ha mágneses térbe kerülnek, a *tér hatására* mindig mágneses momentum jön létre az atomokban, ionokban, molekulákban, ez az **indukált mágneses momentum**. E mágneses momentum vektoroktól függ a nagy számú részecskéből álló, ún. makroszkopikus minta viselkedése mágneses térben, amit a mágneses szuszeptibilitással írunk le.

Permanens mágneses momentum, paramágneses anyagok

Ha az eredő spinkvantumszám $S \neq 0$, vagyis a részecske rendelkezik eredő spinimpulzus momentummal, akkor mágneses momentuma is van. E vektorok abszolútértéke (hossza)

$$|\vec{S}| = \sqrt{S(S+1)} \cdot \hbar$$

$$|\vec{\mu}| = g_e \sqrt{S(S+1)} \cdot \mu_B$$

ahol μ_B a Bohr-magneton, az elektron mágneses momentum egysége

g_e a „szabad elektron g-tényezője”, értéke 2,0023

$$\mu_B = \frac{e\hbar}{2m_e}$$

e az elektron töltése
 m_e az elektron tömege

Amint az impulzusmomentum iránykvantált, ugyanúgy a mágneseses momentum is az. A két vektor párhuzamos, de az elektron esetében ellentétes irányú.

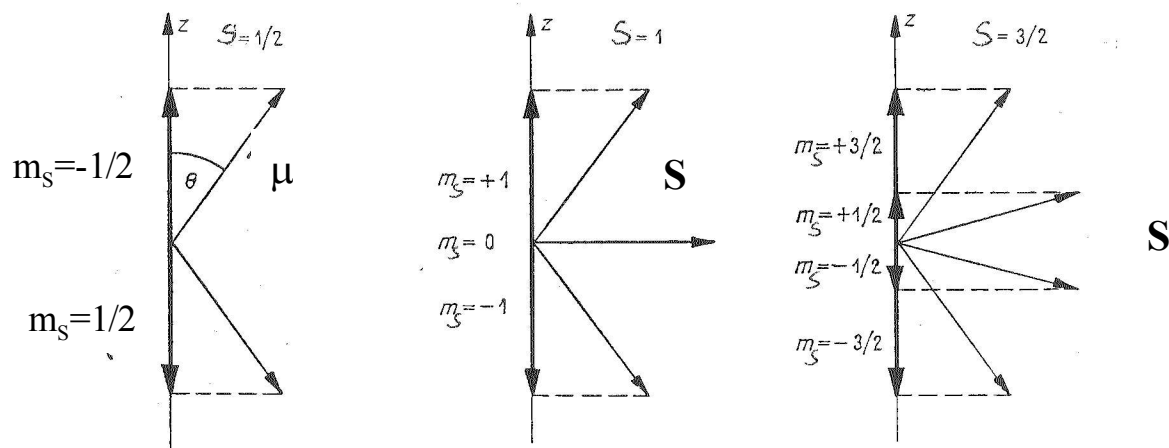
(Az atommagoknak is lehet impulzus- és mágneses momentuma, amit az I mag spinkvantumszámmal írunk le. Ezek a momentumok bizonyos atommagok esetén ellentétes, más magoknál azonos irányúak.)

$$S_z = m_s \hbar$$

ahol S_z az eredő spinmomentum, míg

$$\mu_z = -m_s g_e \mu_B$$

μ_z a mágneses momentum térre eső vetülete



Az S eredő spinkvantumszám értéke

$$S = n \cdot \frac{1}{2}$$

ahol n a párosítatlan elektronok száma

A mágneses térrel való kölcsönhatás energiája

$$E_{m_s} = -\mu_z \cdot B = m_s g_e \mu_B B \quad \text{ahol } B \text{ a mágneses indukció}$$

$$E_{-1/2} < E_{1/2}$$

Az energiaszintek betöltési hányada (populációja)

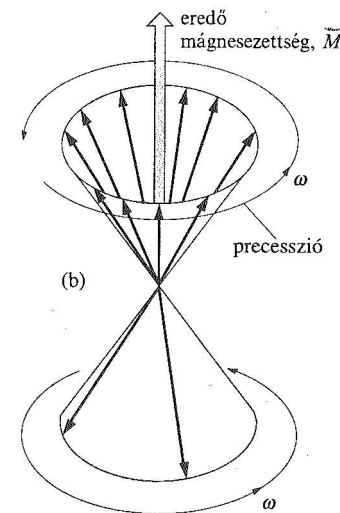
$$p_{m_s} = \frac{N_{m_s}}{N_{\text{összes}}} \propto e^{-E_{m_s}/kT}$$

$$\frac{p_{-1/2}}{p_{1/2}} = e^{-(-1/2 g_e \mu_B B - 1/2 g_e \mu_B B)/kT} = e^{g_e \mu_B B / kT} > 1$$

Ebből az következik, hogy

az alacsonyabb energiaszinten több molekula lévén, **a paramágneses momentumok eredője a tér irányába mutat**

magasabb hőmérsékleten kisebb a mágneses momentumok eredője,
mert az alacsonyabb szint betöltési hányada csökken, a magasabbé nő



Indukált mágneses momentum (diamágnesség)

A molekulákban a tér mindig önmagával ellentétes mágneses momentumot hoz létre (diamágneses momentum)

A minta összes eredő indukált mágneses momentuma ezért a térrel ellentétes irányú: negatív

a hőmérséklet nem befolyásolja

Mágneses szuszceptibilitás

Mágnesezettség $\vec{M}$: egységnyi térfogatra jutó mágneses momentum

$\vec{M} = \chi \cdot \vec{H}$ ahol $\vec{H}$ a mágneses térerősség
 χ a térfogati mágneses szuszceptibilitás,
dimenzió nélküli szám

A fajlagos szuszceptibilitás $\chi_g = \frac{\chi}{\rho}$ cm³/g

A moláris szuszceptibilitás $\chi_m = \chi \cdot V_m = \chi_g \cdot M$ cm³/mol

ahol ρ a minta sűrűsége
 V_m a moláris térfogat
 M a moláris tömeg

Mágneses indukció

$$\vec{B} = \mu_0 (\vec{H} + \vec{M}) = \mu_0 (1 + \chi) \vec{H} \quad \text{ahol } \mu_0 \text{ a vákuum permeabilitása, anyagi állandó}$$

Szemléletesen: a mintában futó mágneses erővonalak sűrűsége. Diamágneses anyagokban az erővonalak ritkulnak a vákuumhoz képest, a szuszeptibilitás negatív. Paramágneses anyagokban ezt a hatást felülmúlja a permanens mágneses momentumok hatása, az erővonalak sűrűbben vannak, a szuszeptibilitás pozitív.

A **mágneses szuszeptibilitás**nak tehát két összetevője lehet:

az indukált diamágneses momentumokból származó negatív, hőmérséklettől független **diamágneses** szuszeptibilitás (minden anyag sajátossága)

A permanens mágneses momentumokból eredő pozitív, hőmérséklettől függő **paramágneses** szuszeptibilitás, párosítatlan elektronokkal rendelkező részecskékben

$$\chi_{m,\text{indukált}} = \chi_{m,\text{dia}} = N_A \mu_0 \xi$$

N_A az Avogadro-szám

ξ a molekulák mágnesezhetősége

$$\chi_{m,\text{permanens}} = \chi_{m,\text{para}} = N_A \mu_0 \frac{\mu^2}{3kT}$$

μ a molekulák mágneses momentuma

T a termodinamikai hőmérséklet

k a Boltzmann-állandó

A teljes moláris szuszeptibilitás hőmérsékletfüggése

$$\chi_m = N_A \mu_0 \left(\xi + \frac{\mu^2}{3kT} \right)$$

Curie-törvény. Ez szolgál a mágneses momentum meghatározásának alapjául: a mágneses szuszeptibilitás az $1/T$ függvényében egyenest ad, amelynek meredekségéből kiszámíthatjuk a permanens mágneses momentumot, tengelymetszetéből pedig a molekulák mágnesezhetőségét.

Kooperatív kölcsönhatások:

a mágneses momentumok nemcsak a mágneses térrel, hanem egymással is kölcsönhatásban vannak

Ferromágneses kölcsönhatás:

energetikailag kedvezőbb, ha a kölcsönhatásban lévő mágneses momentumok egymással párhuzamosan állnak be.

Antiferromágneses kölcsönhatás:

energetikailag kedvezőbb, ha a kölcsönhatásban lévő mágneses momentumok egymással ellentétes irányban állnak be.