

1 居里定律

对于顺磁物质，有居里定律：

$$\langle M \rangle = NgS\mu_B B_S(SX), X = \frac{g\mu_B\mu_0 H}{k_B T}$$

其中， B_S 为Brillouin Function:

$$B_J(y) = \frac{2J+1}{2J} \coth\left(\frac{2J+1}{2J}y\right) - \frac{1}{2J} \coth\frac{y}{2J}$$

其高温极限为：

$$\langle M \rangle = \frac{Ng^2\mu_B^2 S(S+1)\mu_0 H}{3k_B T}$$

其中， g 为等效朗德因子，利用微扰论可以通过改变 g 值来引入LS耦合的作用，在顺磁共振中比较常见。 S 为体系（原子）的总自旋量子数，即原子物理常提到的单态（ $S=0$ ），三重态（ $S=1$ ）等。 N 是单位体积（或单位质量）的原子数，取决于 M 是如何取平均的。

2 单位问题

2.1 emu

VSM测量磁化，给出的物理量的单位是emu/g。某些经验中给出了以下公式（可见这是磁矩的单位）：

$$1\text{emu} = 10^{-3} \text{A} \cdot \text{m}^2$$

2.2 磁化强度

在电磁学中，磁化强度是对体积归一的磁矩，而此处给出的单位emu/g是对质量归一的磁矩。

2.3 磁场

磁场的单位为Oe，数值上与T(Tesla)的关系为：

$$1\text{T} = 10000\text{Oe}$$

实际上，在CGS下，可以视为 μ_0 被并入了 H ：

$$\begin{aligned} H(\text{CGS}) &= \mu_0 H(\text{SI}) \\ 1\text{Oe} &= 4\pi \times 10^{-7} \text{N/A}^2 \times 10^3 / 4\pi \text{ A/m} \\ &= 10^{-4} \text{N/(A} \cdot \text{m)} = 10^{-4} \text{T} \end{aligned}$$

另外，注意到：

$$1\text{T} = 1N/(A \cdot m) = 1Nm/(Am^2) = 10^{-3}J/\text{emu}$$

即:

$$1\text{Oe} = 10^{-7}J/\text{emu}$$

或:

$$1J = 10^7\text{Oe} \cdot \text{emu}$$

3 居里定律

若使用Oe作为磁场单位, 应该将 μ_0 并入 H :

$$\chi = g^2 S(S+1) \frac{N\mu_B^2}{3k_B T}, \quad \chi \equiv \frac{M}{\mu_0 H}$$

此时, 磁化率单位为 $\text{emu} \cdot \text{Oe}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$. 对于原子的价电子可以近似为单个自由电子 (ns^1) 的情况下, 可取 $S = 1/2, g = 2$:

$$\chi = \frac{N\mu_B^2}{k_B T}$$

分析磁化率曲线, 可取倒数:

$$\frac{1}{\chi} = \frac{k_B}{N\mu_B^2} T$$

斜率的单位应该为 $\text{K}^{-1}\text{emu}^{-1} \cdot \text{Oe} \cdot \text{g}$.

1. N : 单位为 g^{-1} , 表示单位质量的顺磁原子数。假设其数值为 n
2. μ_B : 玻尔磁子。 $9.274 \times 10^{-24} \text{ A} \cdot \text{m}^2 = 9.274 \times 10^{-21} \text{ emu}$.
3. k_B : 玻尔兹曼常数。 $1.380649 \times 10^{-23} \text{ J/K} = 1.380649 \times 10^{-16} \text{ Oe} \cdot \text{emu/K}$

综上, 斜率为:

$$k = 16.053 \times 10^{23}/n [\text{Oe} \cdot \text{g/K/emu}]$$

其中, n 为 1g 物质中的顺磁原子数:

$$N = 16.053/k [\text{mol/g}]$$