

Zusammenfassung vom 06.06.2011

VII Materie im Magnetfeld

relative Permeabilität μ : $\vec{B} = \mu \vec{B}_0 = \mu \mu_0 \vec{H}$ **B_0** = äußeres Magnetfeld
(d. h. ohne Materie)

Magnetisierung: $\vec{M} = \frac{1}{V} \sum_{i=1}^N \vec{\mu}_i$ $[\vec{M}] = 1 \text{ Am}^{-1}$ **H** = magnetische
Feldstärke (veraltet)

Magnetfeld in Materie: $\vec{B} = \vec{B}_0 + \mu_0 \vec{M} = \mu_0 (\vec{H} + \vec{M}) = \mu \vec{B}_0$

magnetische Suszeptibilität χ_m : $\vec{M} = \frac{1}{\mu_0} \chi_m \vec{B}_0 = \chi_m \vec{H}$ **χ_m** = magn. Suszeptibilität
(Antwortfunktion)

→ $\chi_m = \mu - 1$

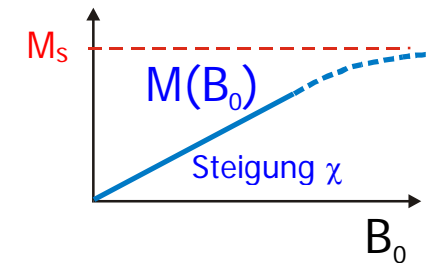
Klassifizierung der Materie in Bezug auf Magnetismus :

$\vec{B} < \vec{B}_0 \Rightarrow \mu < 1 \Rightarrow \chi_m < 0$ **Diamagnetismus** (z.B. Graphit, Wismut)

$\vec{B} > \vec{B}_0 \Rightarrow \mu > 1 \Rightarrow \chi_m > 0$ **Paramagnetismus** (z.B. Aluminium)

$\vec{B} \gg \vec{B}_0 \Rightarrow \mu \gg 1 \Rightarrow \chi_m \gg 0$ **magnetisch ordnend** (z.B. Fe, Co, Ni)

Paramagnetismus: $\chi_{\text{para}} > 0$ $\chi_{\text{para}} \begin{cases} \neq f(B_0), \text{ falls } B_0 \text{ klein} \\ = f(T) \end{cases}$
 (Al, Ti, Pt, O₂, FeCl₂)

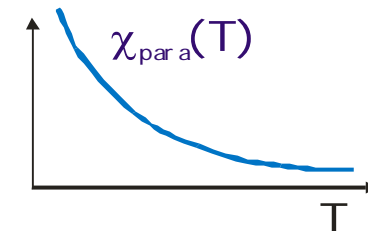


→ *verstärkt äußeres Magnetfeld*

→ *paramagn. Materie wird zum Gebiet großer Feldstärke hingezogen*

Curie-Gesetz:

$$\chi_{\text{para}} = \frac{C}{T} \quad C = \text{Curie-Konstante}$$



$$C = \mu_0 \frac{n p_{\text{eff}}^2 \mu_B^2}{3k_B}$$

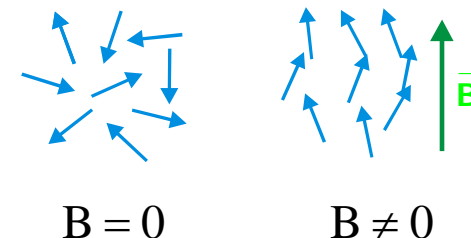
n = Dichte der magnetischen Momente

p_{eff} = effektive Anzahl Bohr'sche Magnetonen

Modell: Elementarmagnete (unkompensierte Bahn- oder Spinnmomente) sind aufgrund der Temperaturbewegung ungeordnet

→ *äußeres Magnetfeld richtet sie aus*

→ *Sättigung bei größtmöglicher Ausrichtung (im extrem großen B-Feld)*

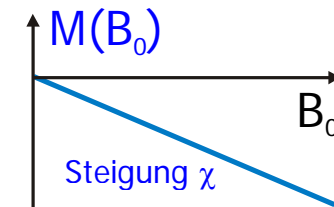


Diamagnetismus: $\chi_{\text{dia}} < 0$ $\chi_{\text{dia}} \neq f(B_0, T)$

(Bi, Au, Ag, Cu, C,
N₂, CO₂)

→ **schwächt** äußeres Magnetfeld

→ **diamagn. Materie** wird zum Gebiet **kleiner** Feldstärke hingezogen



alle Materialien zeigen Diamagnetismus, aber er wird meist überdeckt vom Para- oder Ferromagnetismus

Ursache: induzierte elektronische Kreisströme im Magnetfeld

→ gemäß Lenz'scher Regel so gerichtet, dass äußeres Magnetfeld geschwächt wird.

Ferromagnetismus: $\chi_{\text{ferro}} \gg 0$ $\chi_{\text{ferro}} = f(B_0, T)$

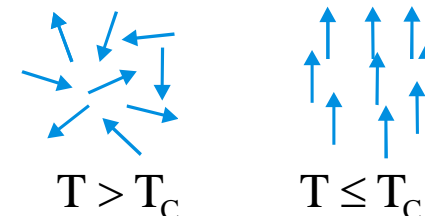
→ tritt auf unterhalb kritischer Temperatur $T_C = \text{Curie-Temperatur (Ordnungstemperatur)}$

Bsp: Fe (1043 K), Co (1388 K), Ni (627 K)

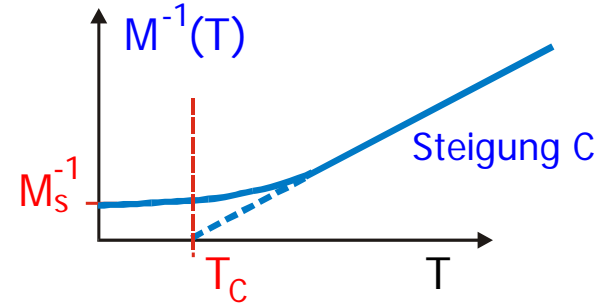
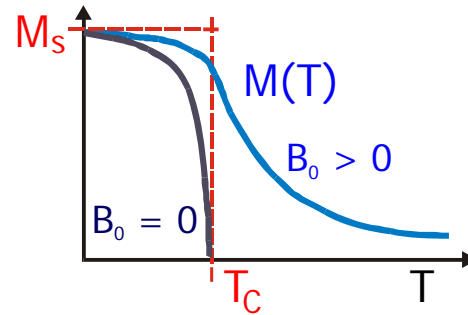
Curie-Weiss-Gesetz: für $T > T_C$: paramagnetisch: $\chi_{\text{ferro}} = \frac{C}{T - T_C}$ $C = \text{Curie-Konstante}$

→ ferromagnetische Ordnung für $T < T_C$ auch bei $B_0 = 0$

→ **spontane Magnetisierung** aufgrund einer quantenmechanischen Austausch-Wechselwirkung



Magnetisierungskurve:
(Temperaturabhängigkeit)



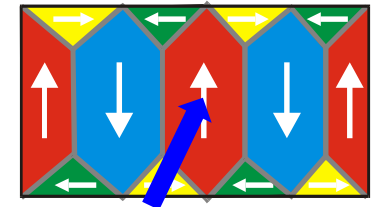
$M_s =$ Sättigungsmagnetisierung

Weiss'scher Bezirk (= magn. Domäne): Bereich einheitlicher Magnetisierung

Domänenwand

Übergangsgebiet zwischen zwei Domänen; energetisch ungünstig, da das Aufbrechen der Austausch-Kopplung Energie kostet

durch Bildung von Domänen wird **Streufeld-Energie** (= Magnetfeld außen) auf Kosten der **Domänenwand-Energie** verkleinert



magnetische Domäne

Hysteresekurve:

$M_s =$ Sättigungsmagnetisierung

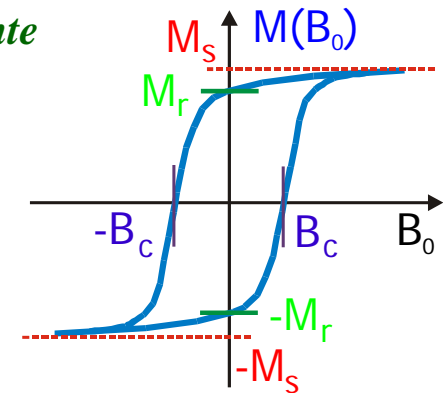
→ Maß für Größe und Dichte der magnet. Momente

$M_r =$ remanente Magnetisierung

→ Maß für die Stärke eines Permanentmagneten

$B_c =$ Koerzitivfeldstärke

→ Maß für Resistenz gegenüber Ummagnetisierung im äußeren Feld



Verständnisfragen: Wie kann man Para- und Ferromagnete oberhalb der Ordnungstemperatur unterscheiden?