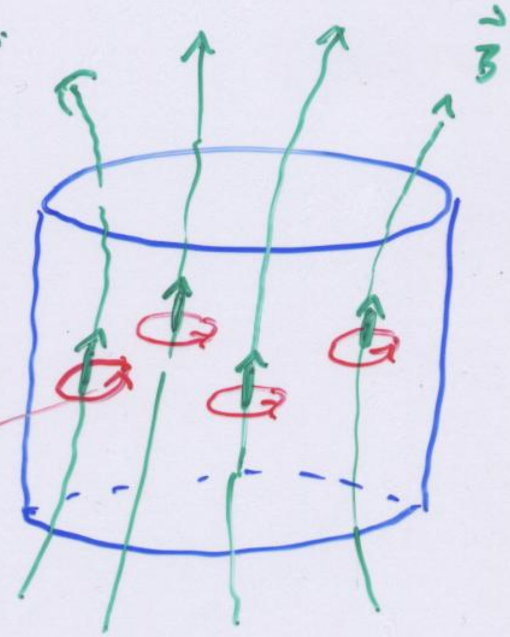
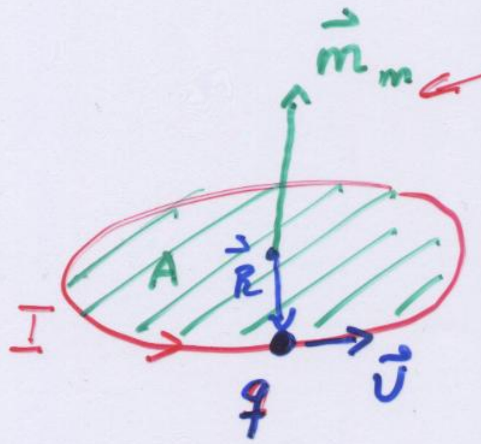
4.3 Materie im Magnetfeld

Klassische Vorstellung:



Kreisströme erzeugen Magnetfeld



$$I = q \cdot \frac{v}{2\pi R} = q \cdot \nu$$
$$= q \cdot \frac{\omega}{2\pi}$$

Magn. Moment: $\vec{m}_m = I \vec{A}$

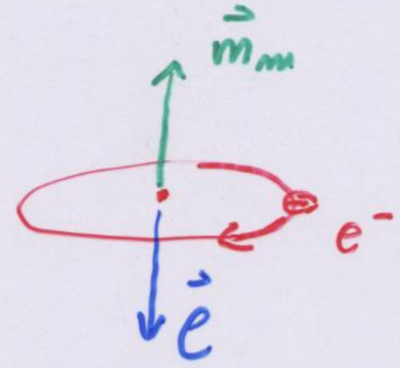
$$= q \cdot \frac{\vec{\omega}}{2\pi} \cdot \pi R^2$$
$$= \frac{q}{2} R^2 \vec{\omega}$$

Drehimpuls: $\vec{L} = m \left(\vec{R} \times \vec{v} \right)$

$$= m \cdot R^2 \cdot \vec{\omega}$$

$$\Rightarrow \vec{m}_m = \underbrace{\frac{q}{2m}}_{\text{gyromagnetisches Verhältnis}} \cdot \vec{L}$$

4. 3. 1 Atomares Bild des Magnetismus



1. Bahndrehimpuls :

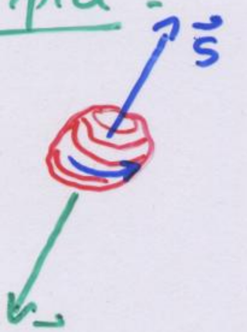
$$\vec{m}_m = -\frac{e}{2m_e}\vec{\ell}$$

$$= -\frac{e\cdot\hbar}{2m_e}\cdot\frac{\vec{\ell}}{\hbar}$$

$$\equiv -\mu_B\cdot\frac{\vec{\ell}}{\hbar}$$

↑ Bohrsches Magneton

2. Spin :



$$\vec{m}_s = -g\,\frac{e}{2m_e}\,\vec{s}$$

$$= -g\cdot\mu_B\cdot\frac{\vec{s}}{\hbar}$$

↑ Landefaktor ≈ 2

$\mu_B = 0{,}93 \cdot 10^{-23}\ Am^2$

$h = 2\pi \hbar = 6{,}63 \cdot 10^{-34}\ Js$

Planck'sches Wirkungsquantum

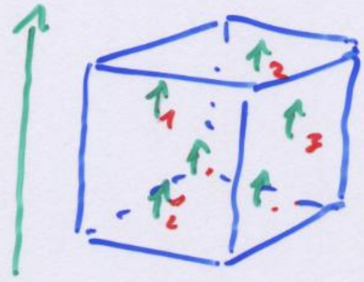
$\vec{\ell}$ Bahndrehimpuls $[\hbar]$

$\vec{s}$ Spin $[\hbar]$

4.3.2 Erscheinungsformen des Magnetismus

1] Paramagnetismus

Stoffe, die ein permanentes $\vec{m}_m$ besitzen (d.h. Atome)



$\vec{B}_0$

- $\vec{B}_0$ richtet $\vec{m}_{mi}$ aus: $\vec{m}_{mi} \uparrow\uparrow \vec{B}_0$
- Thermische Stöße bringen Ausrichtung durcheinander

Vergleiche Energien:

- Thermische Energie pro Atom: $E_T = \frac{3}{2} k \cdot T$

  [K]

- Energie des $\vec{m}_{mi}$ im $\vec{B}_0$ Feld:

$$E_{mi} = -\vec{m}_{mi} \cdot \vec{B}_0$$

*

$$\frac{N_{\uparrow\downarrow}}{N_{\uparrow\uparrow}} = e^{-\frac{\Delta E_{mi}}{3/2\, k \cdot T}}$$

Boltzmann-Statistik

Ausrichtung zum $\vec{B}_0$ Feld

$$= e^{-\frac{4\, m_m B_0}{3\, kT}}$$

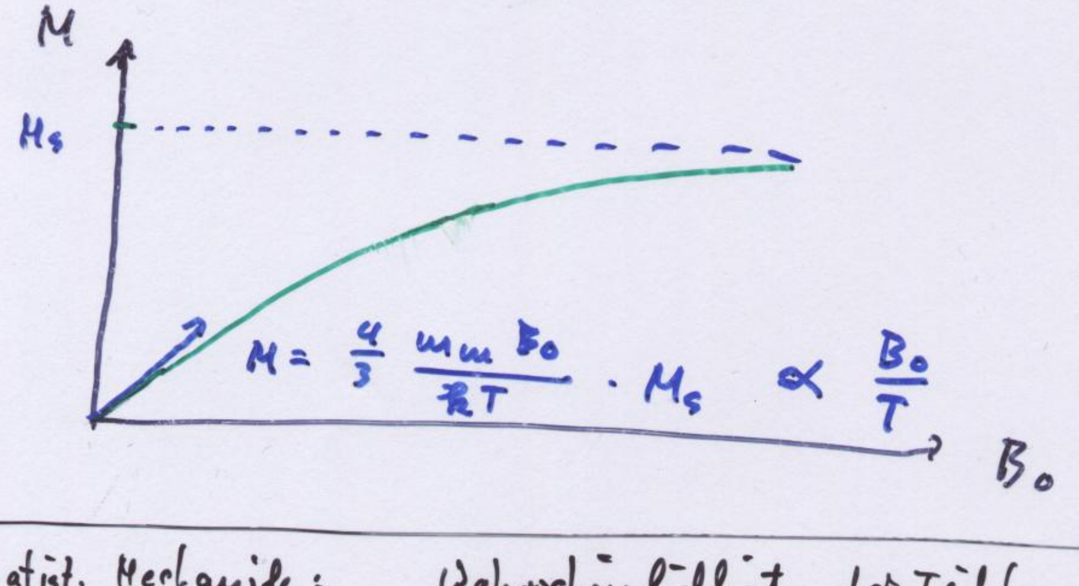
$$\approx 1 - \frac{4\, m_m\, B_0}{3\, kT}$$

$N_{\uparrow\downarrow} = N_{\uparrow\uparrow}$

Differenz $\Rightarrow$ Magnetisierung

Bz: $\Delta E_m = 2 \cdot 10^{-23}\, J$ bei $B_0 = 1T$

$\frac{3}{2} kT = 6 \cdot 10^{-21}\, J$ bei $T = 300°$



Statist. Mechanik: Wahrscheinlichkeit, daß Teilchen in einem bestimmten Energiezustand ist:

$$\sim e^{-\frac{\text{Energie d. Zustands}}{m \cdot kT}}$$

⊥ ausgerichtet zu $\vec{B}_0$

$$\frac{N_{\downarrow\uparrow}}{N_{\uparrow\uparrow}} = e^{-\frac{\Delta E_{mi}}{3/2\, kT}}$$

Boltzmann-statistik

∥ ausgerichtet zu $\vec{B}_0$

Wahrscheinlichkeit, dass Teilchen in einem bestimmten Energiezustand ist.

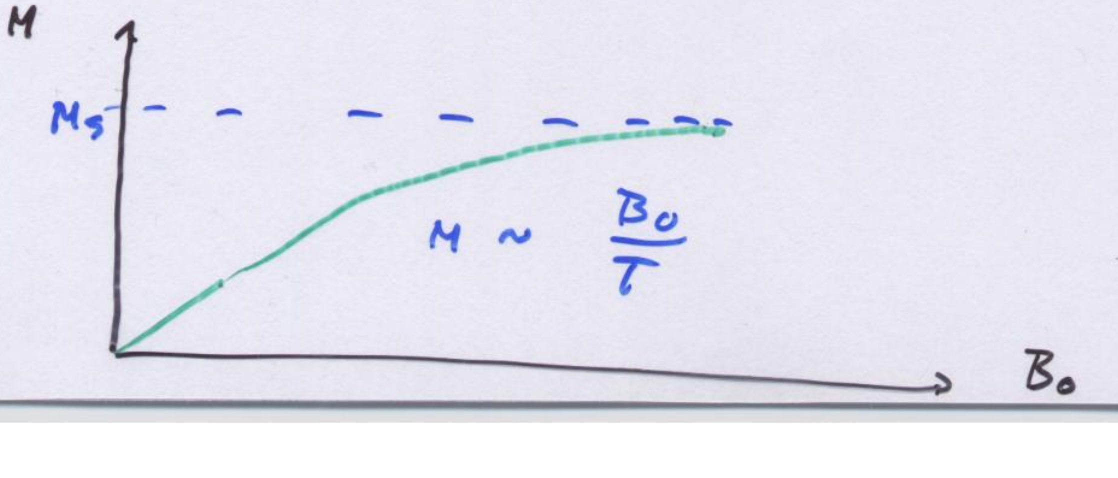
$$\frac{N_{\uparrow\downarrow}}{N_{\uparrow\uparrow}} = e^{-\frac{4 m_{mi} B_0}{3 kT}}$$

$$\approx 1 - \frac{4 m_{mi} B_0}{3 kT}$$

Differenz → Magnetisierung

Bs: $\Delta E_m = 2 \cdot 10^{-23}$ J bei $B_0 = 1$ T

$\frac{3}{2} kT = 6 \cdot 10^{-21}$ J bei $T = 300$ K



Anwendung

Erzeugung tiefster Temperaturen (0 (m K))

- Abkühlung mit fl. He (4 K)
- Einschalten eines starken Magnetfeldes
  => Ausrichtung der magn. Momente
- Isolierung des Stoffes
  Abschaltung des Magnetfeldes

=> Umwandlung therm. Energie
in Demagnetisierung