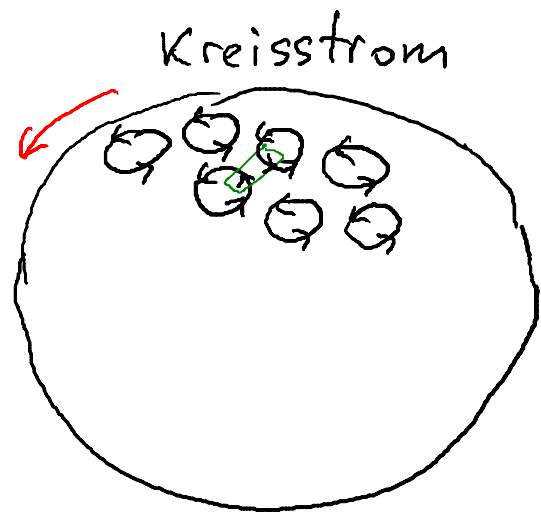
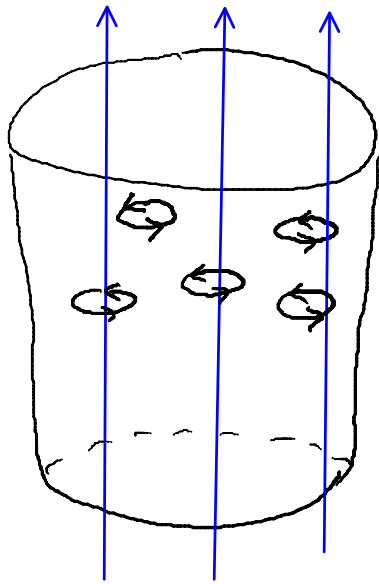
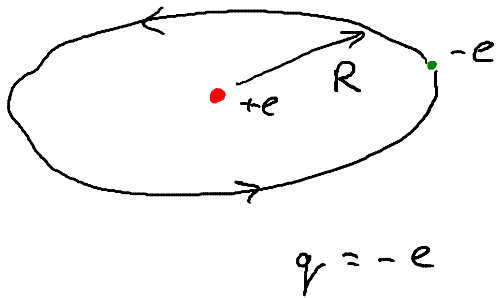


Materie im Magnetfeld



Atomare Dipole

Klassische Vorstellung: Mikroskopische Kreisströme



Elektron erzeugt ein elektrischen Strom:

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

Magnetisches Moment

$$\vec{P}_m = I \cdot \vec{A} = q \cdot \frac{\omega}{2\pi} \cdot \pi R^2 = \frac{1}{2} q R^2 \omega$$

Drehimpuls: $\vec{L} = m (\vec{R} \times \vec{v}) = m R^2 \omega$

$$\vec{P}_m = \frac{q}{2m} \vec{L}$$

Gyromagnetisches Verhältnis

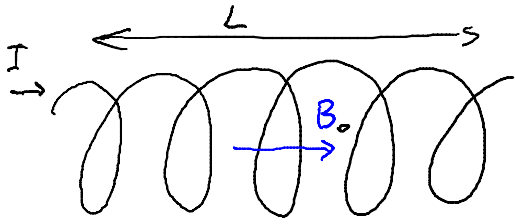
Bohrsche Magneton: $\mu_B = \frac{e \cdot \hbar}{2m_e}$

$\hbar = \frac{h}{2\pi}$; Plancksches Wirkungsquantum
 $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$

Bahndrehimpuls: $L = \ell \cdot \hbar$
 $\uparrow$
ganzzahlig

$\ell = 1 \rightarrow P_m = \mu_B$

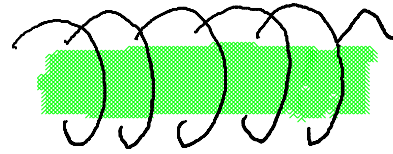
Magnetisierung und magnetische Suszeptibilität



$$B_0 = \mu_0 \cdot n \cdot I$$

$$n = \frac{N}{L} \text{ Windungsdichte}$$

magnetische Erregung: $\vec{H}_0 = \frac{\vec{B}_0}{\mu_0}$



$$\Phi_m = \int \vec{B} \cdot d\vec{A}$$

$$B_{\text{Mater.}} = \mu B_{\text{Vak}} = \mu \mu_0 H_{\text{Vak}}$$

$\uparrow$
 B_0

$\mu \Rightarrow$ die relative Permeabilität

$$\vec{M} = \frac{1}{V} \sum_V \vec{p}_m$$

$$[M] = 1A \cdot \frac{m^2}{m^3} = 1 \frac{A}{m}$$

Magnetisierung
 $\equiv$ magnetische Moment
pro Volumeneinheit

$$\vec{B} = \mu_0 (\vec{H}_0 + \vec{M}) = \mu_0 \mu \vec{H}_0 \quad (1)$$

$$\vec{M} = \chi \vec{H}_0 \quad (2)$$

$\underbrace{\chi}_{\text{magnetische Suszeptibilität}}$

$$\vec{B} = \mu_0 \mu \vec{H}_0 = \mu_0 (1 + \chi) \vec{H}_0$$

$$\mu = (1 + \chi)$$

Diamagnetische Stoffe: $\chi < 0$; $|\chi| \lesssim 10^{-6}$

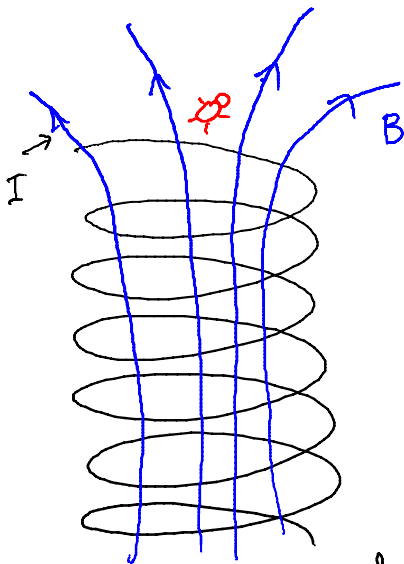
Paramagnetische Stoffe: $\chi > 0$; $|\chi| \lesssim 10^{-4}$

Paramagnetische Stoffe : $\chi > 0$; $|\chi| \lesssim 10^{-4}$

Ferromagnete : $\chi > 0$; $100 < |\chi| < 10^5$

Antiferromagnete
(und Ferrimagnete) : $\chi > 0$; $0 < |\chi| < 100$

Diamagnetismus

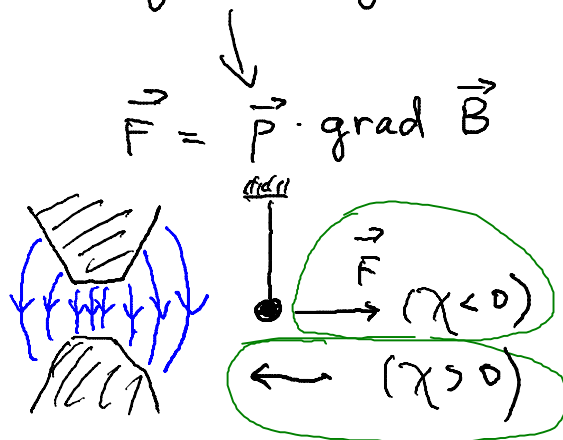


<http://www.hfml.ru.nl/froglev.html>

Stoffe (Atomen oder Molekülen),
die kein permanentes magnetisches
Dipolmoment besitzen.

induzierte Dipole $\vec{p}_m$: $\vec{M} = \chi \cdot \vec{H}$

inhomogene Magnetfeld $\vec{B}$

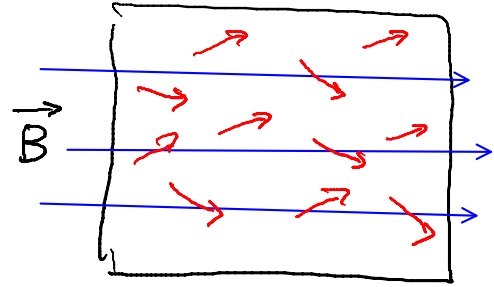
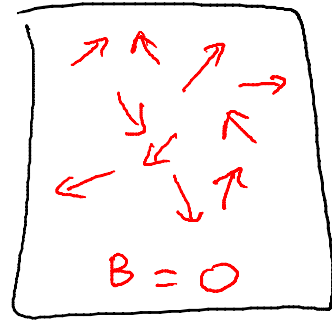


Paramagnetismus

paramagnetische Stoffe besitzen
permanente magnetische Dipole.

$$\vec{M} \Big|_{\vec{B}=0} = \frac{1}{V} \sum \vec{p}_m = 0$$

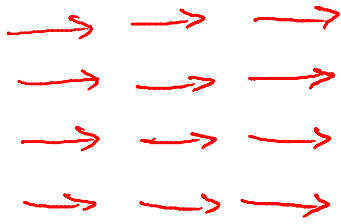
Faktor $\frac{\vec{p}_m \cdot \vec{B}}{3 k_B T}$
3 Raumrichtungen



$$\vec{M} = N \cdot |p_m| \cdot \frac{\vec{p}_m \cdot \vec{B}}{3 k_B T} \cdot \frac{\vec{B}}{|\vec{B}|}$$

$$\chi = \mu_0 \frac{M}{B} = \frac{\mu_0 N p_m^2}{3 k_B T}$$

Ferromagnetismus



paramagnetisch für $T > T_c$
ferromagnetisch für $T < T_c$

$$\chi(T) = \frac{C}{(T - T_c)^\gamma}$$

$$T > T_c \quad ; \quad \gamma \approx 1 - 1,5$$

Elektromagnete