noch 3.6 Materie im Magnetfeld

Magnetisches Moment = Ringstrom × Fläche $\vec{p}_m = I \cdot \vec{A}$

Drehmoment auf magnetisches Moment im *B*-Feld $\vec{N} = \vec{p}_m \times \vec{B}$

vgl. Drehmoment auf elektrischen Dipol im *E*-Feld $\vec{N} = \vec{p}_e \times \vec{E}$

Kraft auf magnetisches Moment im inhomogenen *B*-Feld $\vec{F} = \vec{\nabla}\left(\vec{p}_m \cdot \vec{B}\right)$

vgl. Kraft auf elektrischen Dipol im inhomogenen *E*-Feld $\vec{F} = \vec{\nabla}\left(\vec{p}_e \cdot \vec{E}\right)$

Paramagnetismus: Ausrichten magnetischer Momente im *B*-Feld und Verstärkung des Felds (analog zum Dielektrikum)

Hauptsächlich Effekt der Elektronen"spins", die sich im Atom paarweise zu null addieren.
Daher oft in Atomen mit ungerader Elektronenzahl.

Diamagnetismus: Induzierte Ströme (im nicht-quantenmechanischen Bild) und Schwächung des *B*-Felds (keine elektrostatische Analogie)

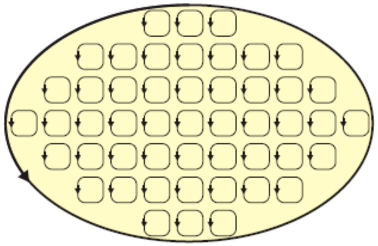
Betrachte Elektron auf Kreisbahn ohne/mit B-Feld:
(Coulomb- und Lorentz-Kraft in gleicher Richtung)

$$\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{e^2}{R^2} = \frac{m_e v^2}{R} \qquad \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{e^2}{R^2} + e \cdot \tilde{v} \cdot B = \frac{m_e \tilde{v}^2}{R}$$

→ Geschwindigkeit erhöht sich, zusätzliches *B*-Feld **entgegen** dem äußeren Feld (s. Rechte-Hand-Regel) (wie gesagt, nicht-quantenmechanische Betrachtung, kein Anspruch auf quantitative Richtigkeit)

Polarisationsströme

Homogene Magnetisierung: interne Ströme heben sich auf, Strom nur entlang des Rands
Inhomogene Magnetisierung: interne Ströme heben sich nicht auf



$$\frac{\partial M_z}{\partial y} = j_{m,x} \qquad -\frac{\partial M_y}{\partial z} = j_{m,x} \qquad \to \qquad \vec{\nabla}\times\vec{M} = \text{rot}\,\vec{M} = \vec{j}_m$$

Daher: **Ampèresches Gesetz** mit freier Stromdichte und Polarisationsstromdichte neu formuliert:

$$\frac{1}{\mu_0}\text{rot}\,\vec{B} = j = j_f + j_m = j_f + \text{rot}\,\vec{M} \to \qquad \text{rot}\left(\frac{1}{\mu_0}\vec{B}-\vec{M}\right) = \text{rot}\,\vec{H} = j_f$$

Integralform: $\oint \vec{H}\cdot d\vec{l} = I_f$

Analog zur Verschiebungsdichte D in der Elektrostatik, die nur von den freien Ladungen anhängt, wurde ein Hilfsfeld H definiert (Bezeichnungen: magnetische Feldstärke, magnetische Erregung), das nur von den äußeren Strömen abhängt. Es hat eine weitaus größere praktische Relevanz als das D-Feld.

D hängt von der äußeren Ladungsverteilung ab, aber in den meisten Situationen ist keine Ladung, sondern eine Potenzialverteilung (Spannung zwischen metallischen Objekten) vorgegeben.

H hängt von der äußeren Stromverteilung ab, die oft vorgegeben ist, z.B. bei Elektromagneten.

Beispiel: Magnetfeld eines gleichförmigen Stroms I in einem Kupferstab mit Radius R.
Ampèresches Gesetz:

$$r < R: \qquad H\cdot 2\pi\cdot r = I\,\frac{r^2}{R^2} \qquad \to \qquad H = \frac{I}{2\pi R^2}\,r \qquad B \overset{*}{\approx} \frac{\mu_0 I}{2\pi R^2}\,r$$

$$r \geq R: \qquad H\cdot 2\pi\cdot r = I \qquad \to \qquad H = \frac{I}{2\pi r} \qquad B = \frac{\mu_o I}{2\pi r}$$

* Kupfer ist schwach diamagnetisch