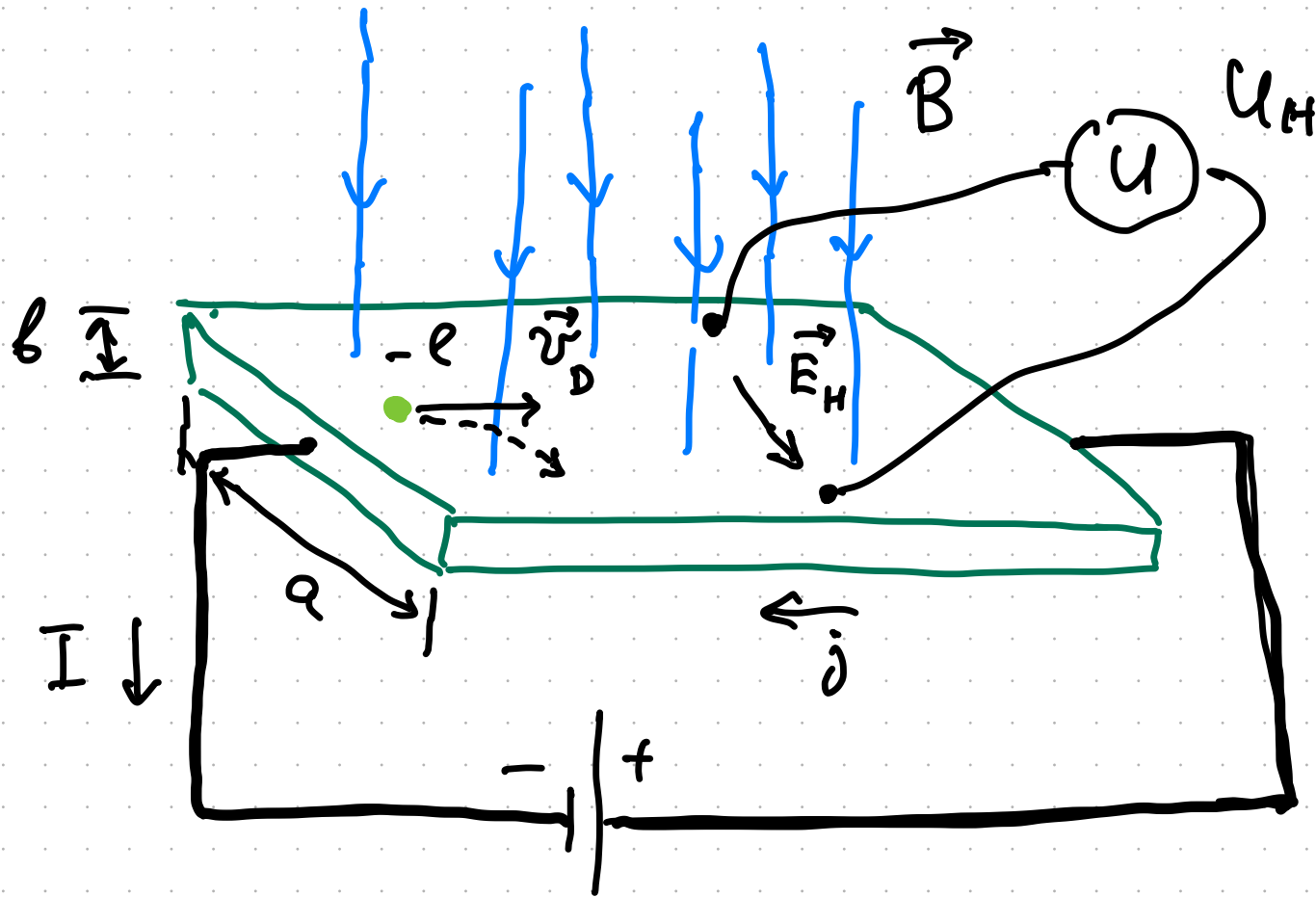



Hall - Effekt

Corentz kraft $\Rightarrow$ ein Ablenkung der Ladungsträger



Elektrisches
Feld $\vec{E}_H$
(Ladungstrennung)

$$-j = n_e e \vec{v}_D;$$

$$[SI] F_L = n_e q [\vec{v}_D \vec{B}] \\ = n_e q \vec{E}_H$$

Hall - Spannung : $U_H = a E_H ;$

$$U_H = - \frac{[\vec{j} \vec{B}] \cdot \vec{a}}{n_e q} ; \quad ! \text{ unabhängig davon} \\ \text{ob } q > 0, \text{ oder } q < 0 ;$$

$$U_H \Big|_{q=-e} = \frac{I B}{n_e e b} ;$$

meisten Metallen (und Halbleiter) : $U_H > 0$

manche Halbleiter : $U_H < 0$

(Löcher $\hat{=}$ Elektronen-Defektstellen)

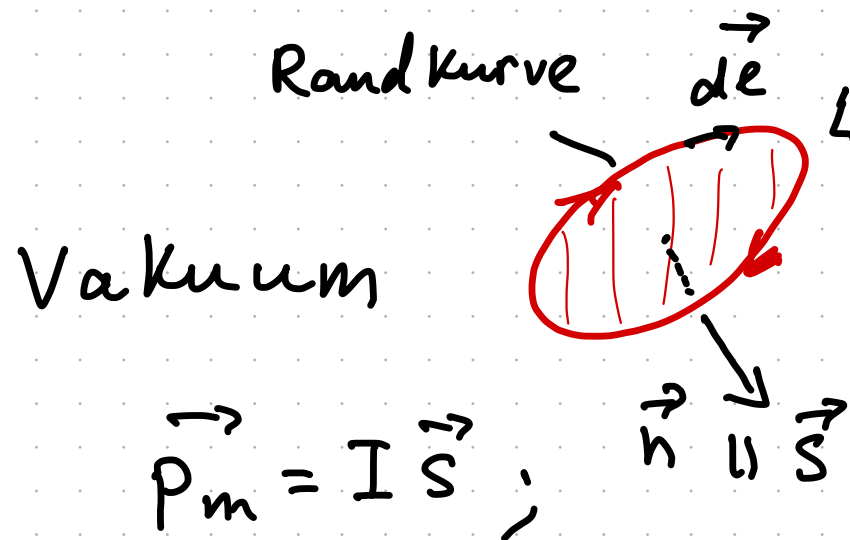
Hall - Sonden ;

3.5. Materie im Magnetfeld

Magnetische Dipole

$$\left. \begin{aligned} \oint (\vec{B} d\vec{S}) &= 0 \\ \oint_L (\vec{B} d\vec{\ell}) &= \frac{4\pi}{c} I \end{aligned} \right\} \text{Vakuum}$$

[cgs]

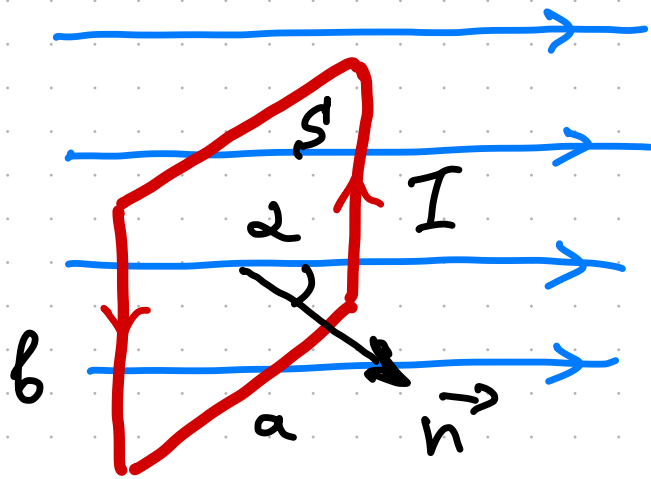


1) Kraft = 0;



$$\int d\vec{F} = \frac{I}{c} \oint [d\vec{\ell} \times \vec{B}] = 0$$

2) Drehmoment (homog. magn. Feld)



$$S = ab ;$$

$$|\vec{F}_1| = |\vec{F}_2| = F = \frac{I}{c} b B ;$$

Drehmoment :

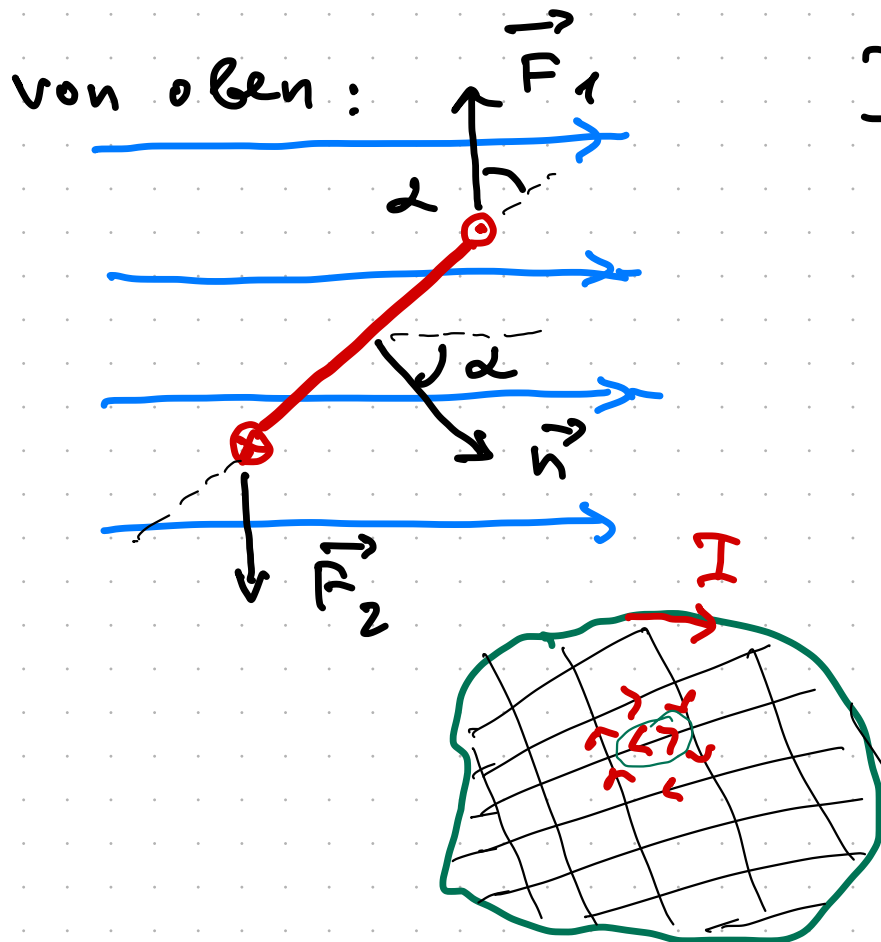
$$D = 2 \frac{I}{c} b B \cdot \frac{a}{2} \sin \alpha$$

$$= B \frac{IS}{c} \sin \alpha ;$$

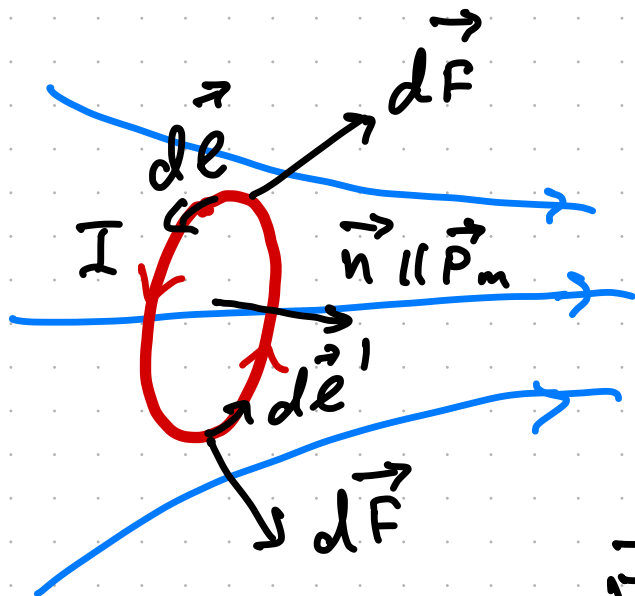
$$\vec{D} = [\vec{p}_m \vec{B}] ; \quad \vec{p}_m = \frac{IS}{c} \vec{n} ;$$

nur am Rand

Randkurve



3) Kraft (inhomogen. magn. Feld)



$$F_x = (p_m)_x \frac{dB_x}{dx};$$

$$\begin{aligned} \vec{F} &= (\vec{p}_m \cdot \text{grad } \vec{B}) \\ &= (\vec{p} \cdot \vec{\nabla}) \vec{B}; \end{aligned}$$

$$\vec{\nabla} = \left(\frac{\partial}{\partial x}; \frac{\partial}{\partial y}; \frac{\partial}{\partial z} \right);$$

$$\vec{F} = (p_m)_x \frac{\partial \vec{B}}{\partial x} + (p_m)_y \frac{\partial \vec{B}}{\partial y} + (p_m)_z \frac{\partial \vec{B}}{\partial z}.$$

ähnlich wie elektr. Dipol!

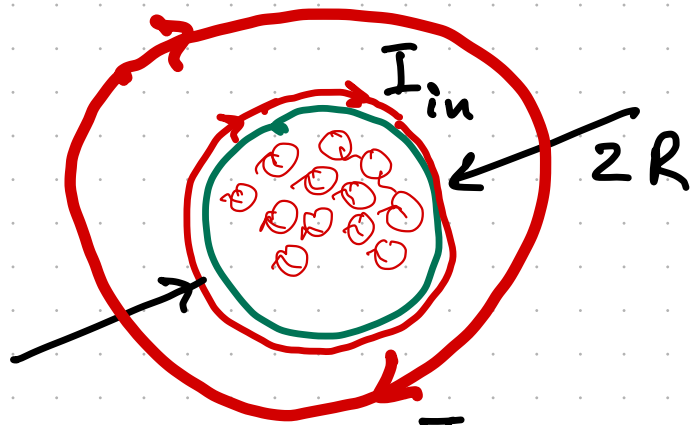
Materie im Magnetfeld

$$\oint_S (\vec{B} \cdot d\vec{s}) = 0 ;$$

S keine Änderung

$$\oint_L (\vec{B} \cdot d\vec{e}) = \frac{4\pi}{c} (I + I_{in}) ;$$

externe Ströme "atomare Ströme"



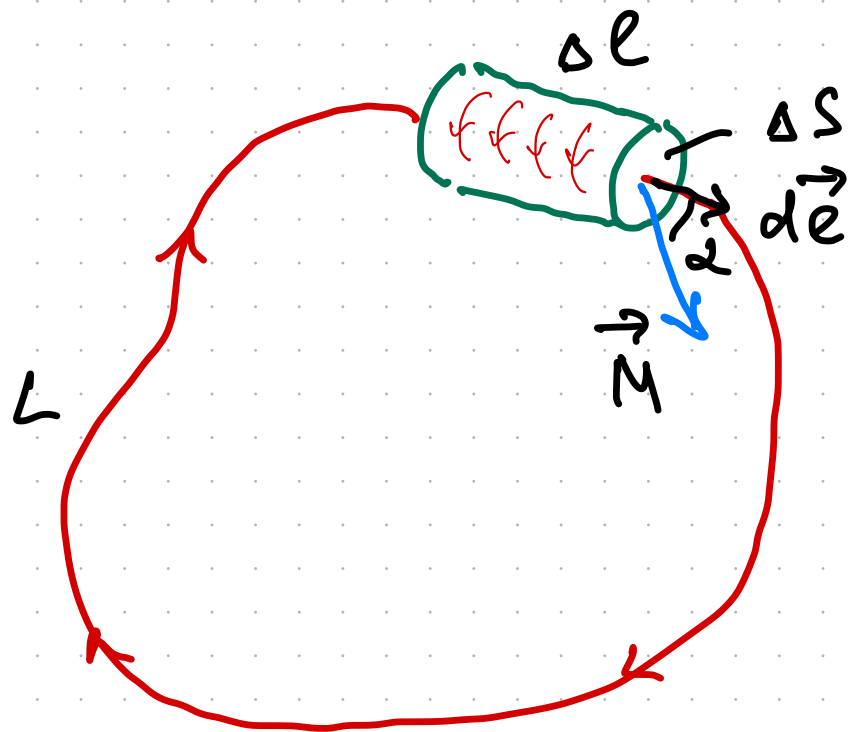
$\vec{P}_m$ ← atomare Kreisströme,
(mikroskopisch)

$\vec{I}$ ← makroskopische Gesamtström;

$$2R \gg dx, dy, dz \gg \epsilon ;$$

Magnetisierung: $\vec{M} = \frac{1}{V} \sum_{i,j} \vec{P}_m^i ;$

$$\vec{B}(x, y, z) \xleftrightarrow{v_s} \vec{M}(x, y, z)$$



Zirkul. Strom:

$$\underbrace{\frac{i_{in} \Delta l \Delta S}{c}}_{\text{magn. Dipol}} = M \Delta l \Delta S \cos \alpha$$

$$M_e = \frac{1}{c} i_{in};$$

nach integrierung

$$\oint_L (\vec{M} d\vec{e}) = \frac{I_{atom}}{c}; \Rightarrow \underbrace{\oint_L (\vec{B} d\vec{e}) = \frac{4\pi}{c} I + 4\pi \oint_L (\vec{M} d\vec{e})}_{\text{Zirkulation in Materie}};$$

$$\Rightarrow \oint \underbrace{(\vec{B} - 4\pi \vec{M})}_{\vec{H} - \text{magnetische Erregung}} d\vec{\ell} = \frac{4\pi}{c} I \quad ; \quad \vec{H} = \vec{B} - 4\pi \vec{M}$$

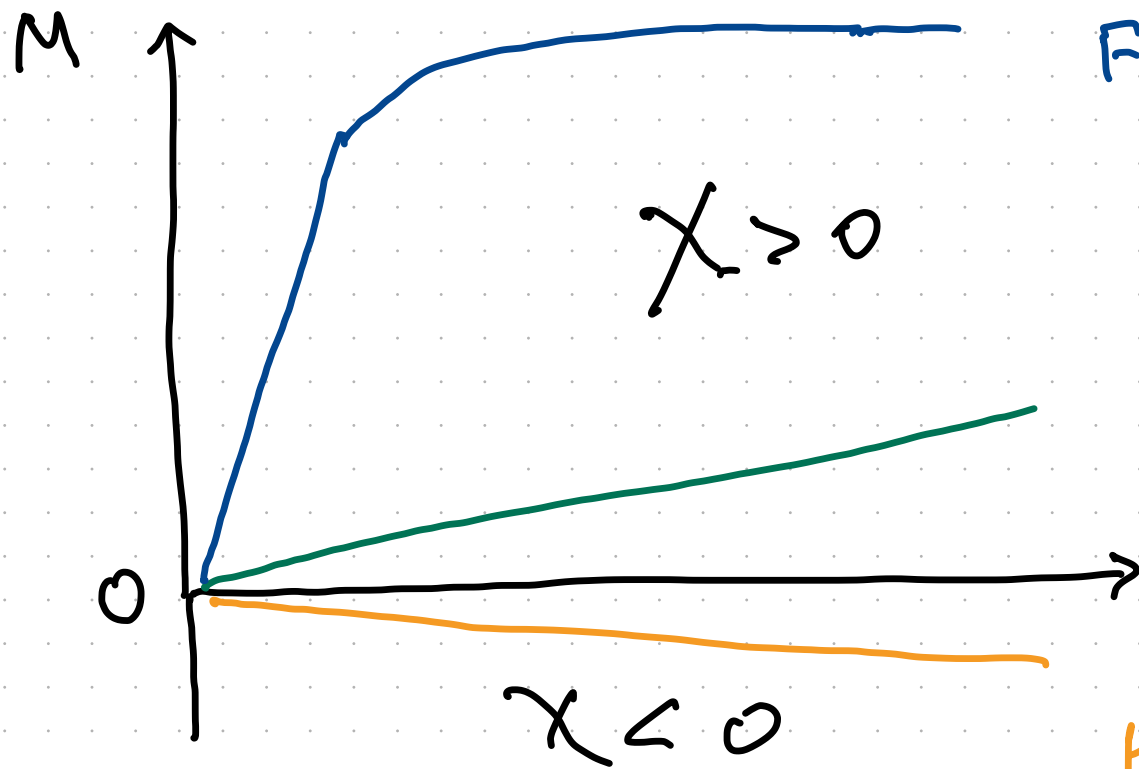
Experimente zeigen: $\vec{M} = \chi \vec{H}$;

$\chi \hat{=}$ magnetische Suszeptibilität ;

$$[\text{cgs}] \quad \vec{B} = \vec{H} + 4\pi \vec{M} = (1 + 4\pi \chi) \vec{H} = \mu \vec{H}$$

relative Permeabilität

$$[\text{SI}] \quad \vec{B} = \mu_0 (1 + \chi) \vec{H} = \mu_0 \mu \vec{H} ; \quad \mu = 1 + \chi ;$$



Ferromagnete
Fe, Co, ...

$$\chi \sim 10^2 - 10^5$$

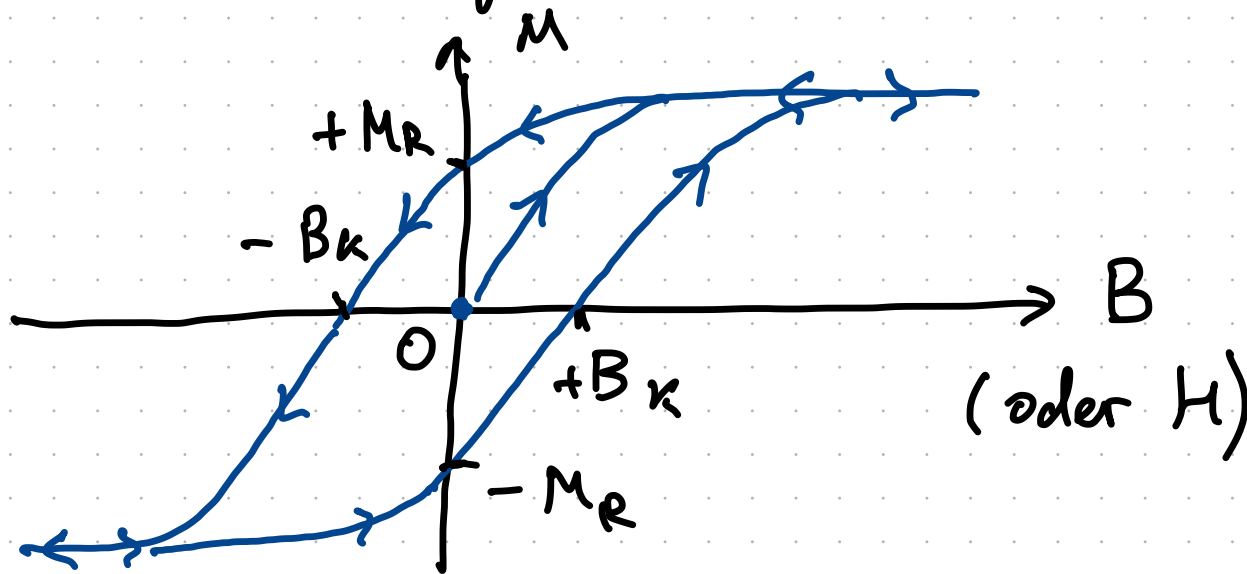
Paramagnete
Al, O₂, ...

$$\chi \sim 10^{-6} - 10^{-4}$$

Diamagnete
He, Ar, N₂, Cu, Au, Ag

$$|\chi| \sim 10^{-9} - 10^{-6}$$

Ferromagnetismus:



$B_K \hat{=}$ Koerzitivkraft

Hysteresekurve

$$B = 0; \Rightarrow M = \pm M_R$$

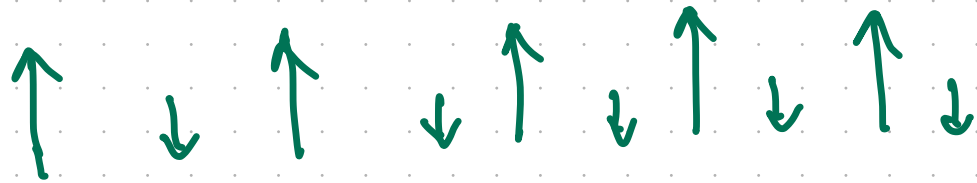
$M_R \hat{=}$ Restmagnetisierung
(Remanenz)

man braucht Energie zum Ausrichten der magnetische Dipole im Ferromagneten:

$$W \sim \int M(B) dB ; \Rightarrow \text{Fläche unter der Magnetisierungskurve } M(B)$$



Ferromagnete

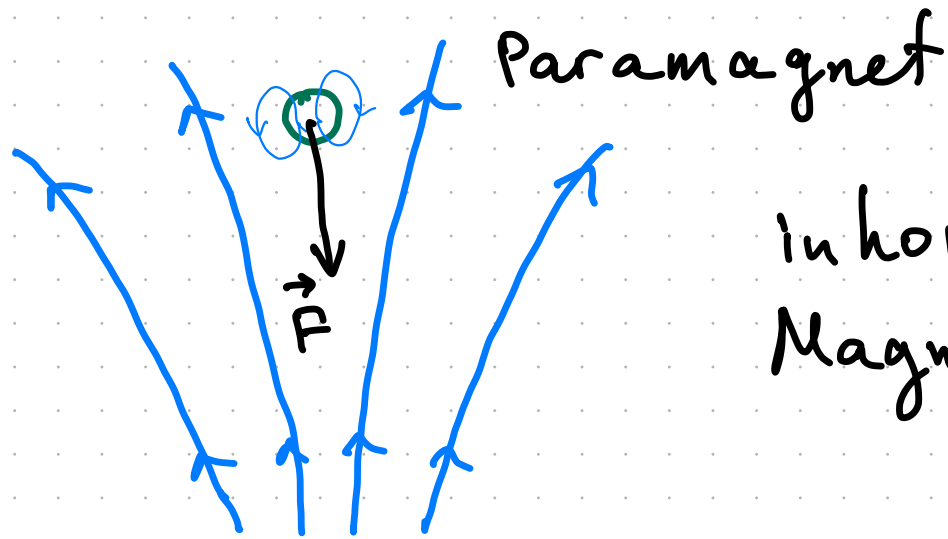


Ferrimagnete



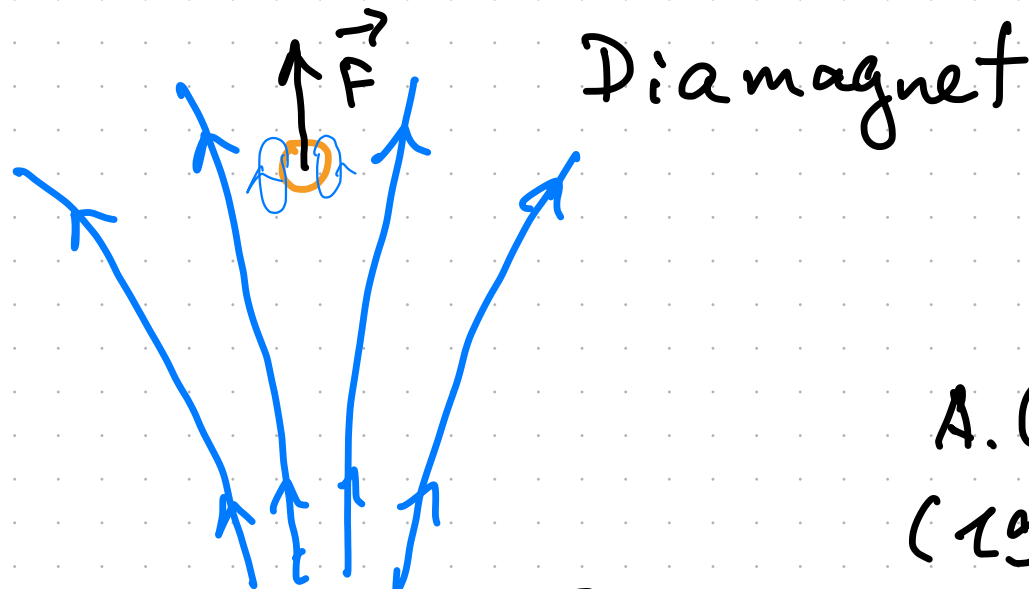
Antiferromagnete

Diamagnetismus und Levitation (Schweben)



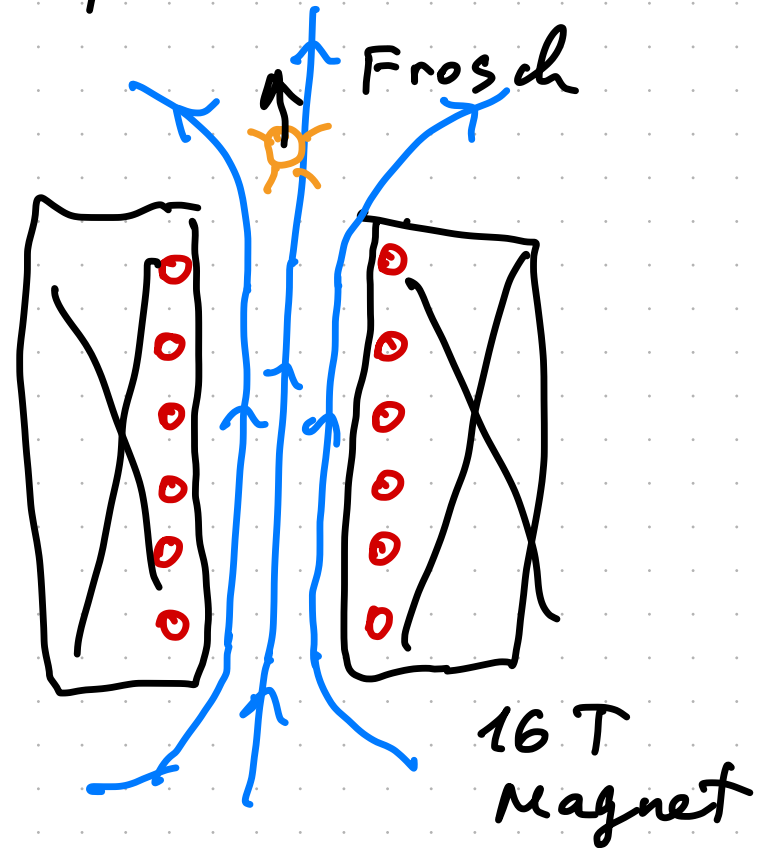
[SI]

$$\begin{aligned}\vec{F} &= \vec{M} \cdot \nabla \vec{B} \\ &= \frac{\chi}{\mu_0} V \vec{B} \cdot \nabla \vec{B}\end{aligned}$$



Levitation ?

A. Geim
(1998)



Diamagnete : $\chi < 0$

bestehen aus Atomen
(oder Molekülen),
die kein Permaentes
magn. Dipolmoment besitzen
 $|\vec{p}_m|_A = 0$; $\Rightarrow$ induzierte
Dipole ;

Paramagnete : $\chi > 0$; Atome (Moleküle)
besitzen permanente
magn. Dipole

Thermische Bewegung $\Rightarrow$ Orientierung über
alle Richtungen verteilt.

