Bemerkung

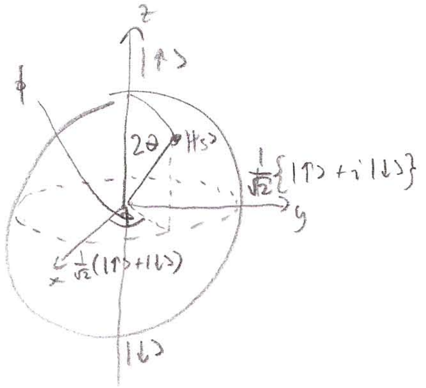
Eigenzustände von $\hat{S}_x$: $\sigma_x = \frac{\hbar}{2}\begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}$

$$|\psi_{s_x}\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}\{|\uparrow\rangle + |\downarrow\rangle\} = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix} \rightarrow \sigma_x |\psi_{s_x}\rangle = |\psi_{s_x}\rangle$$

d.h. $|\psi_{s_x}\rangle$ hat Spin in x-Richtung

analog σ_y: $|\psi_{s_y}\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|\uparrow\rangle + i|\downarrow\rangle) = \begin{pmatrix} 1 \\ i \end{pmatrix}$ $\sigma_y = \begin{pmatrix} 0 & -i \\ i & 0 \end{pmatrix}$

$$\rightarrow \sigma_y |\psi_{s_y}\rangle = |\psi_{s_y}\rangle$$



$0 \leq \theta \leq \frac{\pi}{2}$

$0 \leq \phi < 2\pi$

„Bloch Sphäre": eindeutige Abbildung aller möglichen Spin-Zustände $|\psi_s\rangle = e^{i\chi}\{\cos\theta|\uparrow\rangle + e^{i\phi}\sin\theta|\downarrow\rangle\}$ auf die Einheitssphäre (isomorphismus, 1:1 mapping)

(allg. Zustand $|\psi_s\rangle = (a+ib)|\uparrow\rangle + (c+id)|\downarrow\rangle$ 4 reelle Freiheitsgrade
Normierung $\langle\psi_s|\psi_s\rangle = 1$ -1 Freiheitsgrad
„overall phase" → nicht wichtig -1 Freiheitsgrad
bleiben übrig: zwei Winkel θ, ϕ)

θ: longitudinaler Freiheitsgrad ($\parallel \vec{B} \parallel z$) → T_1

ϕ rel. phase zwischen $|\uparrow\rangle$ und $|\downarrow\rangle$, wichtig für Interferenz
transversaler Freiheitsgrad → T_2 dekohärenz (Verlust Interferenz)

für alle <u>Relaxations</u> Prozesse ($|\uparrow\rangle \leftrightarrow |\downarrow\rangle$) gilt: zerstört auch Phasen Beziehung
zwei Zustände? F. ϕ zwischen $|\uparrow\rangle$ und $|\downarrow\rangle$

→ T_1 obere Schranke für T_2 ($T_2 \leq 2T_1$) oft: $T_2 \ll T_1$

z.B $|\psi_s\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|\uparrow\rangle + |\downarrow\rangle) \xrightarrow[\text{Relaxation}]{|\downarrow\rangle \to |\uparrow\rangle} |\psi_s\rangle = |\uparrow\rangle$ nun ϕ nicht def. → verloren

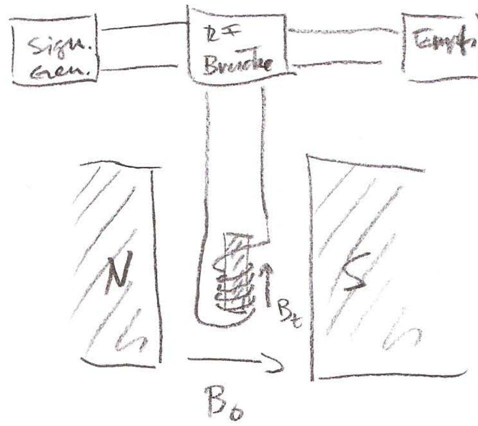
phase $\phi = 0$ — kann beliebige Werte annehmen

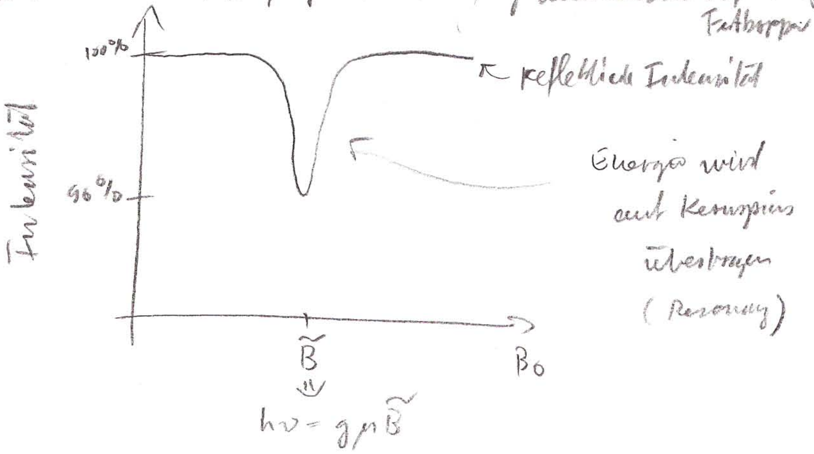
(ohne Beweis)

Spin ½: Rotation um $360°$ → $|\psi_s\rangle \longrightarrow -|\psi_s\rangle$ FERMION!
Rot. um $720°$ → $|\psi_s\rangle \longrightarrow |\psi_s\rangle$

20.6 Spin Resonanz Messungen

Prazession Kernspin: unabhängig translatorische + rotatorische Bewegung Kern → Resonanz anwendbar auf Flüssig Festkörper





Kernspin: magnetisches Moment $\mu_I = g_I \mu_K I$

$\vec{I}$: Drehimpuls/Spin Kern $\qquad |\vec{I}| = \sqrt{I(I+1)}\,\hbar$

$m_I = I, I-1, \dots, -I$

g_I: g-Faktor

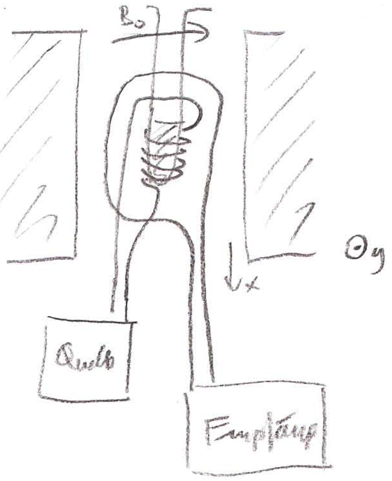
$\mu_K = \frac{e\hbar}{2m_p} \qquad \frac{\mu_B}{\mu_K} \cong 1'836 \sim \frac{m_p}{m_e} \left(\mu_B = \frac{e\hbar}{2m_e}\right)$

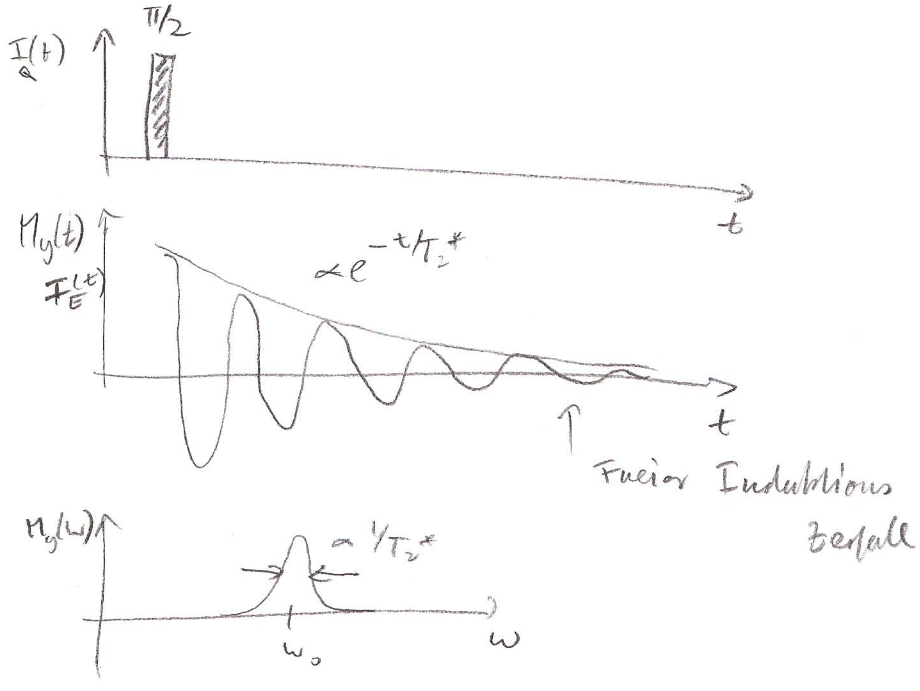
Energie im Feld $V = -\mu_I B_0 = -g_I \mu_K m_I B_0$ $\quad$ ($g_I = 5.6$ proton, $g_I = -3.8$ neutron)

(alles analog Elektron, aber $\mu_B \to \mu_K$)

Resonanz: $h\nu = g_I \mu_K B_0 \quad \to \nu \sim 42.5\,MHz$ für Proton, $B = 1T$ ($\lambda = 7m$, $\Delta E \sim 2 \cdot 10^{-7} eV$)

Induktions Messungen





15.4 Spin Echo