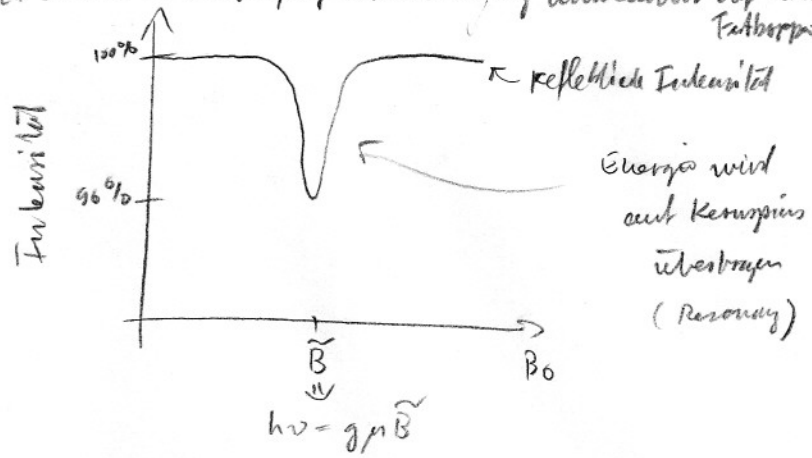
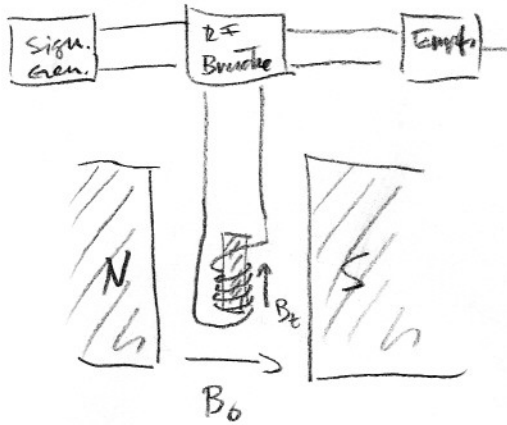


Praxis Kernspin: unabhängige translatorische + rotatorische Bewegung Kern \rightarrow Resonanz anwendbar auf flüssig
 Festkörper



Energie wird auf Kernspins übertragen (Resonanz)

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

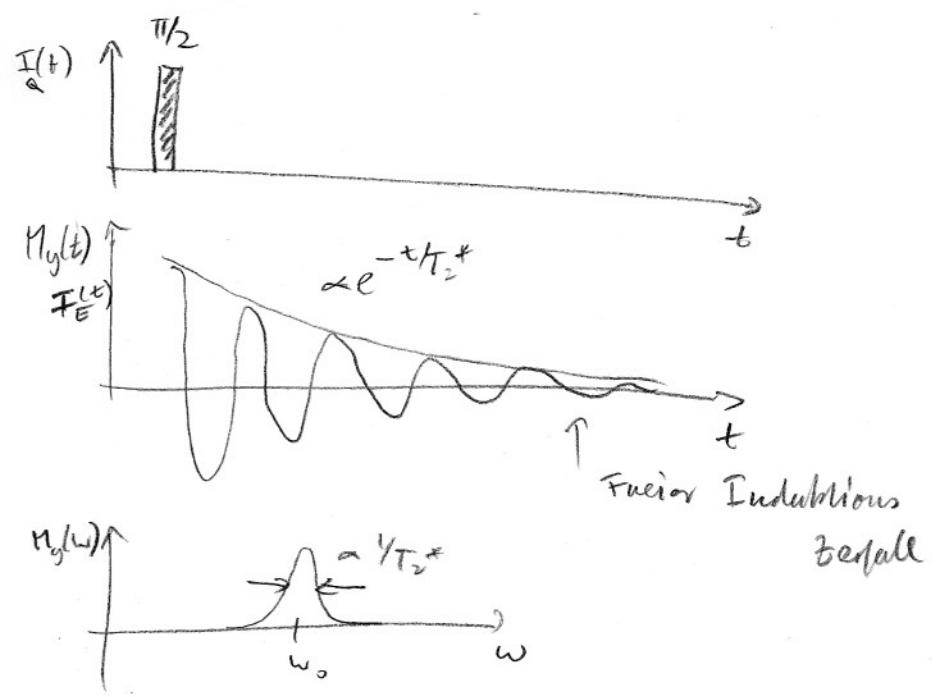
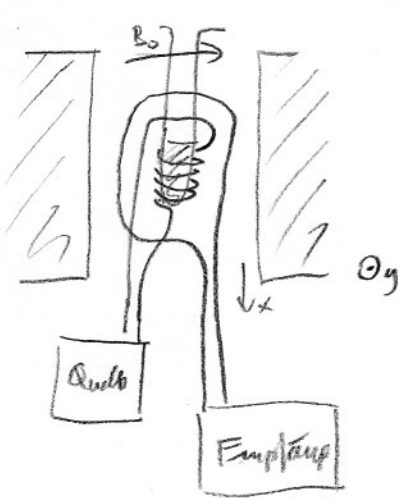
\vec{I} : Drehimpuls / Spin Kern $|\vec{I}| = \sqrt{I(I+1)} \hbar$
 g_I : g-Faktor $m_I = -I, -I+1, \dots, -1$
 $\mu_K = \frac{e \hbar}{2 m_p}$ $\frac{\mu_B}{\mu_K} \approx 1836 \approx \frac{m_p}{m_e} \left(\mu_B = \frac{e \hbar}{2 m_e} \right)$

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

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

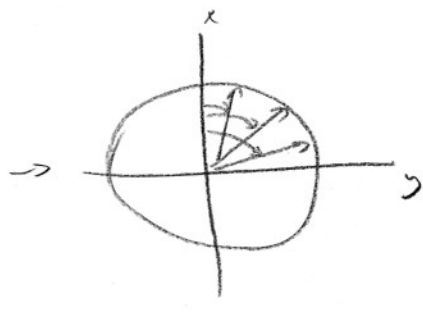
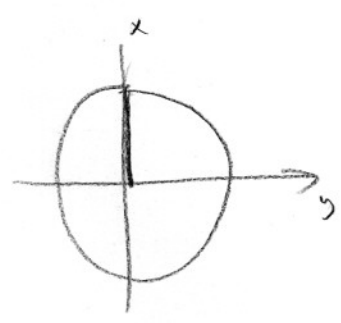
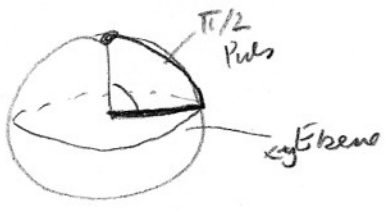
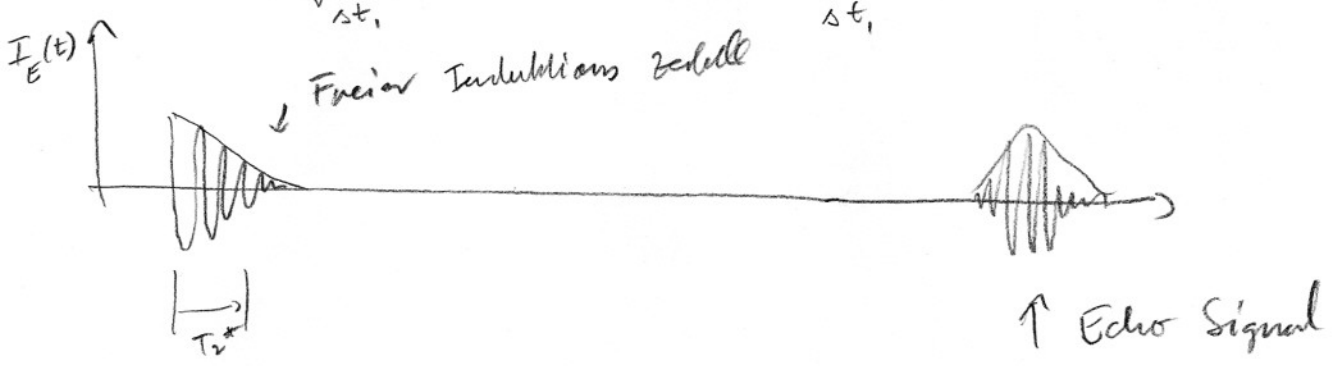
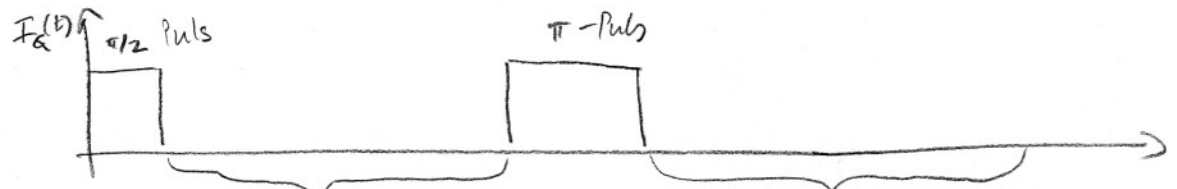
Resonanz: $h \nu = g_I \mu_K B_0 \rightarrow \nu \sim 42.5 \text{ MHz}$ für Proton, $B = 1 \text{ T}$
 ($\hbar = 7 \text{ m, } \Delta E \sim 2 \cdot 10^{-7} \text{ eV}$)

Induktions Messungen

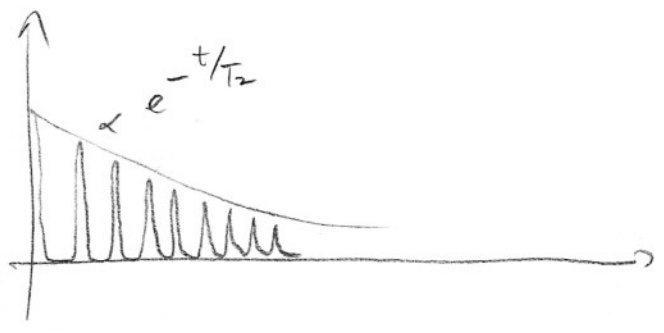
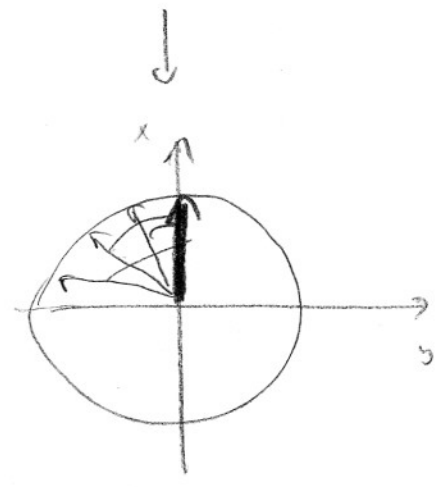
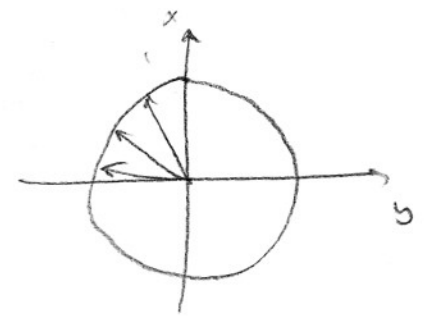


Freier Induktions Zerfall

15.4 Spin Echo



π -Puls



Kernspinnresonanz

Energie aufspalten, klein:

$$\Delta E = g_I \mu_N B_0 \sim 0.2 \text{ meV bei } 1 \text{ T, proton}$$

$$\text{d.h. } N_2 = N_1 \cdot e^{-\frac{\Delta E}{kT}} \sim N_1 \cdot (1 - 7.7 \cdot 10^{-6})$$

\uparrow
 $\sim 26 \text{ meV}$

$$\text{oder } N_1 - N_2 = 7.7 \cdot 10^{-6} N_1$$

kleiner Besetzungsdifferenz

→ etwas mehr absorption → Signal Kernspin Resonanz

hohe Empfindlichkeit: große B-Felder (z.B. 12T → $N_1 - N_2 \sim 10^{-4} N_1$)

Relaxation → wiederherstellung Besetzungsdifferenz (sonst Sättigung / gleichbesetzung Zeeman Niveaus)

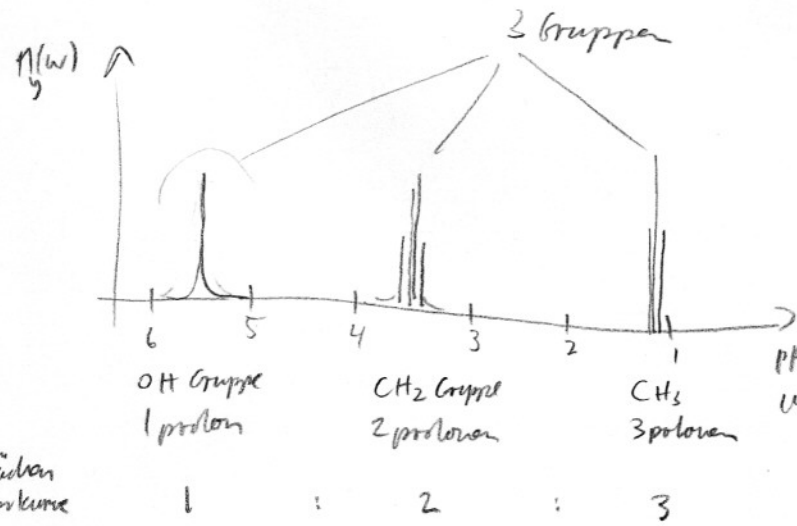
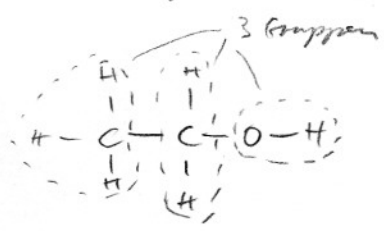
Methode: Pulse: $\pi/2$ oder 90° Puls → messe $M_y(t) \rightarrow M_y(\omega)$ Spektrum

Kernspin Resonanz in Chemie

chemische Bindung, B_0 → Elektronen Hüllen der Bindungspartner erzeugen lokale, für Bindung charakteristische B-Feld, das die Kernspinresonanzfrequenz verschiebt
↳ (z.B. Abschirmung durch Diamagnetismus)

→ chemische Verschiebung

z.B. Äthylalkohol C_2H_5OH



Abundanz: ¹²C kein Kernspin
ca. 10% ¹³C hat Kernspin
¹⁶O kein Kernspin
99.8%

ppm Frequenz Verschiebung von reinen / unpolaren Protonen

Flächen unter Kurve 1 : 2 : 3

unterschiedliche Bindungen → Verschiebung der Resonanzfrequenz ppm der drei Gruppen
intra Aufspaltung innerhalb einer Gruppe: indirekte (durch Elektronen übermittelte) Kern-Kern Wechselwirkung

Kernspin Resonanz: Strukturklärung in Chemie + Physik

Kernspin-Resonanz in Medizin (Kernspin Tomographie)

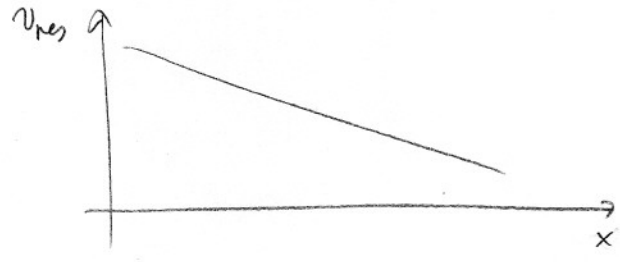
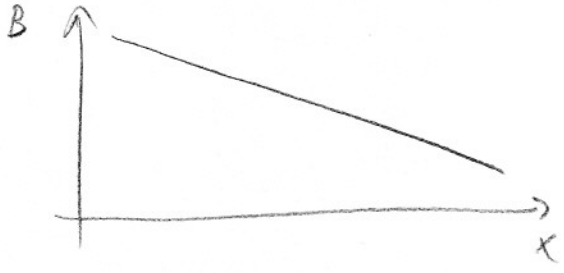
örtlich aufgelöste Resonanz \rightarrow Bilder aus innerem eines Körpers (z.B. Mensch)

\hookrightarrow $h\nu = \gamma \hbar B$ B inhomogen / gradient \rightarrow räumliche Aufteilung
(großer Gradient \rightarrow gute Aufl.)

misst z.B. - Dichteverteilung H-Atome (Protonen) im Objekt (Funktionalität)
- räumliche Inhomogenitäten Relaxationszeiten $T_1, T_2 \rightarrow$

(hängen von μ lokaler Temperatur, Bewegungszustand Struktur ab.)

\rightarrow gute Kontraste manchmal auch dort wo Röntgen schlechte Kontraste liefert



\rightarrow Resonanzsignal enthält auch Information über den Ort, an dem sich die resonanten Protonen befinden

typisches Vorgehen: lege B Gradient an, T_1/T_2 Puls, messe $M_y(t) \rightarrow M_y(\omega)$
(z.B. in $x-y$ Ebene) jede Frequenz $\omega \rightarrow$ ein Ort in $x-y$ Ebene
 \rightarrow Bild von Dichten in $x-y$ Ebene / ein "Slice"
mehrere Slices \rightarrow 3D Bild.