

Vorlesung 15:

Roter Faden:

Wiederholung

Elektronspinresonanz (ESR)

Kernspinresonanz(NMR=Nuclear Magnetic Resonance)

Medical Imaging (Kernspintomographie)

Folien auf dem Web:

<http://www-ekp.physik.uni-karlsruhe.de/~deboer/>

Siehe auch: Demtröder, Experimentalphysik 3,
Springerverlag

Vollständiges Termschema des H-Atoms

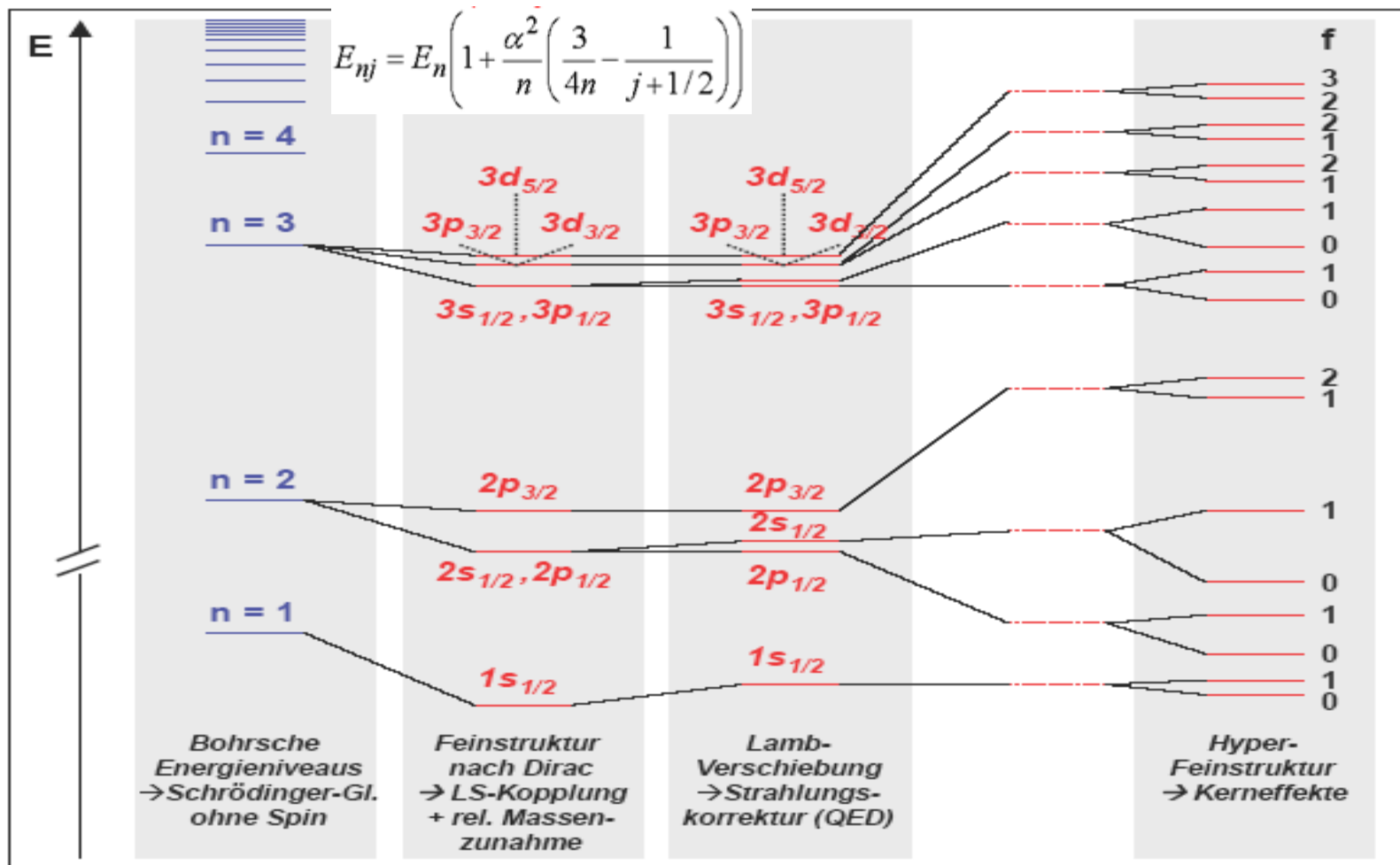


Abbildung 4.19: Vollständiges Termschema des Wasserstoffatoms mit allen bisher bekannten Wechselwirkungen. Die Fein- und Hyperfeinstruktur, sowie die Lamb-Shift sind aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht maßstabsgerecht gezeichnet.

Energiequantelung beim Wasserstoffatom

Andere Schreibweise: $E = -\frac{\mu e^4 \cdot Z^2}{8\varepsilon_0^2 h^2 n^2} = -Ry^* \cdot \frac{Z^2}{n^2}$

Mit $Ry^* = Ry \cdot h \cdot c = \frac{\mu e^4}{8\varepsilon_0^2 h^2}$ **n =Hauptquantenzahl**

Energie des Elektrons nimmt nur diskrete Werte $E(n)$ an!

Durch Quantenzahlen $n = 1, 2, 3, 4, \dots$ festgelegt

Stationärer Zustand - Quantenzustand des Atoms!

Quantenzahl gibt Zahl der Perioden der de Broglie Welle auf Kreisumfang an.

Man beachte:

Rydbergkonstante $Ry_\infty = 109737,31534 \text{ cm}^{-1}$ ($m_K = \infty; \mu = m_e$)

Rydbergkonstante für reale m_K : $Ry = Ry_\infty \cdot \mu/m_e$

Hyperfeinstruktur, 21cm Linie des Wasserstoffs

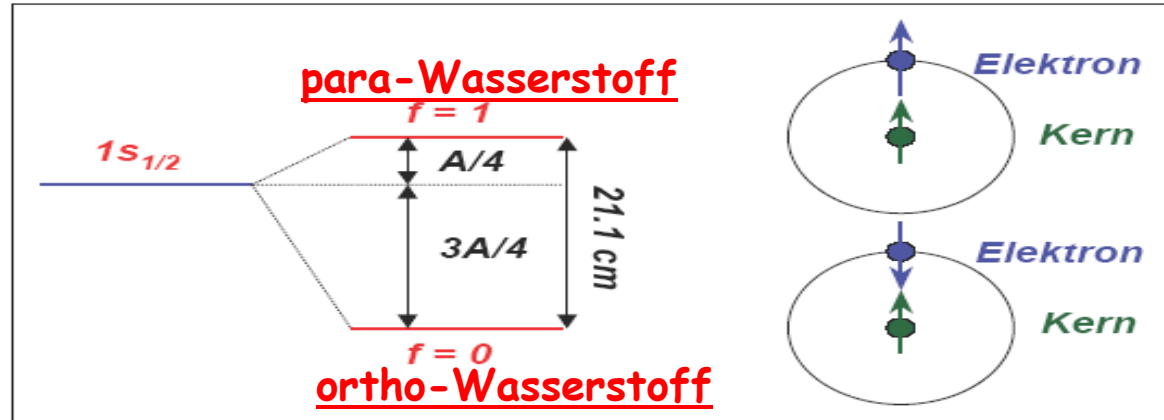


Abbildung 4.10: Hyperfeinstrukturaufspaltung des Grundzustandes im Wasserstoffatom. Beim Übergang zwischen dem Triplett- und dem Singulett-Zustand wird Strahlung der Frequenz $\nu_H = 1.42\text{ GHz}$ bzw. der Wellenlänge $\lambda_H = 21.1\text{ cm}$ ausgesandt, die im Mikrowellenbereich liegt. Beim Aussenden der Strahlung muss der Spin des Elektron gekippt werden, man spricht deshalb von einem Spin-Flip-Übergang. Gemäß den allgemeinen Auswahlregeln für Dipolstrahlung, auf die wir später noch zu sprechen kommen, sind Spin-Flip-Übergänge verboten. Das heißt, die Übergangswahrscheinlichkeit bei Strahlungsemission ist nur über höhere Momente möglich und daher sehr klein. Im Labor kann man deshalb diesen Übergang kaum beobachten, da die Abregung eher durch Stoß stattfindet. Da aber im Weltraum im interstellaren Gas große Mengen an atomarem Wasserstoff vorliegen, wird trotzdem die 21 cm Linie in genügender Intensität ausgesendet, um sie auf der Erde mit empfindlichen Antennen beobachten zu können.¹³ Die Untersuchung der 21 cm Linie spielt in der *Radioastronomie* eine wichtige Rolle, weil ihre Untersuchung Auskunft über die Dichteverteilung, Geschwindigkeiten und Temperatur von Wasserstoffatomen im Universum gibt.

Bei extremer Auflösung ist jede Feinstrukturkomponente aufgespalten.

Grund: Ausrichtung des Kernspins I im Magnetfeld der Elektronen.

$$|\vec{I}| = \sqrt{I(I+1)}\hbar$$

Gesamtdrehimpuls des Atoms

$$|\vec{F}| = |\vec{I} + \vec{J}| = \sqrt{F(F+1)}\hbar$$

mit $F=j+l, j+l-1 \dots j-l$

Damit ist ein magnetisches Kernmoment verbunden:

$$\mu_I = g_I \mu_k I$$

mit dem Kernmagnet on

$$\mu_k = \frac{e}{2m_p} \hbar = \frac{m_e}{m_p} \mu_B = 5,0510^{-27} \text{ J/T}$$

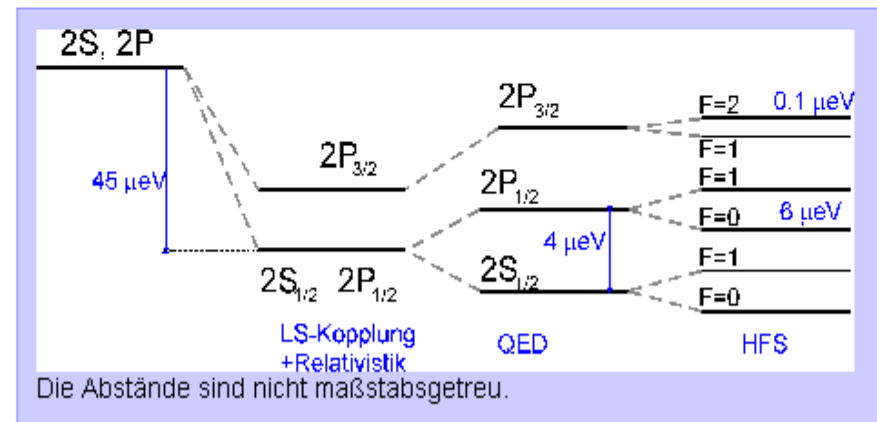
Die aus der Wechselwirkung mit dem inneren Magnetfeld resultierende Energieaufspaltung ist:

$$\Delta E \sim g_I \mu_k \frac{F(F+1) - j(j+1) - I(I+1)}{\sqrt{j(j+1)}}$$

Beispiele für das Kernmagnet on:

Kern	I	g_I
Proton	1/2	5,58
Neutron	1/2	-3,82
Kern	1	0,86
α - Teilchen	0	-

Termschema



Der anomale Zeeman-Effekt (mit Spin) (= Normalfall!)

Gesamt magnetisches Moment aus Spin und Bahnanteil:

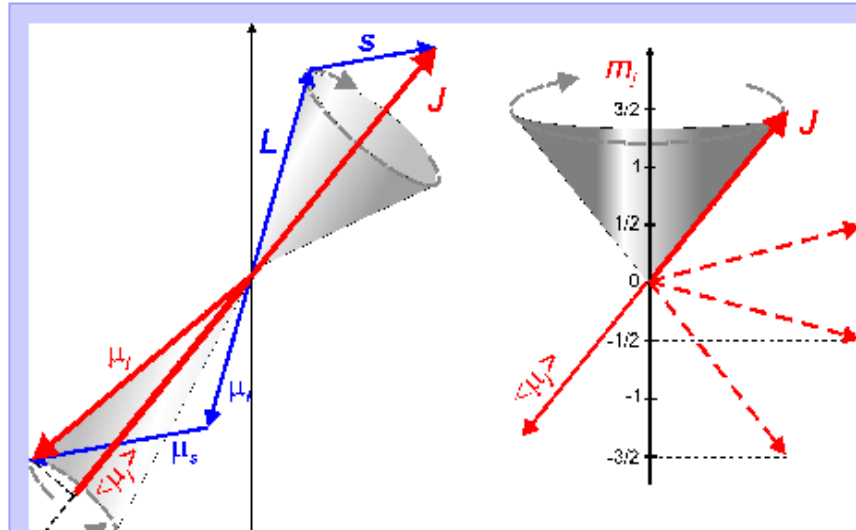
$$\vec{\mu}_j = -\frac{e}{2m_e}(\vec{L} + g_s\vec{S})$$

Wegen Präzession um $\vec{J}$ ist nur die Projektion relevant

$$\langle \vec{\mu}_j \rangle = \frac{\vec{\mu}_j \cdot \vec{J}}{J} = g_j \mu_B J / \hbar$$

mit dem Landé-Faktor

$$g_j = 1 + \frac{j(j+1) - l(l+1) + s(s+1)}{2j(j+1)}$$



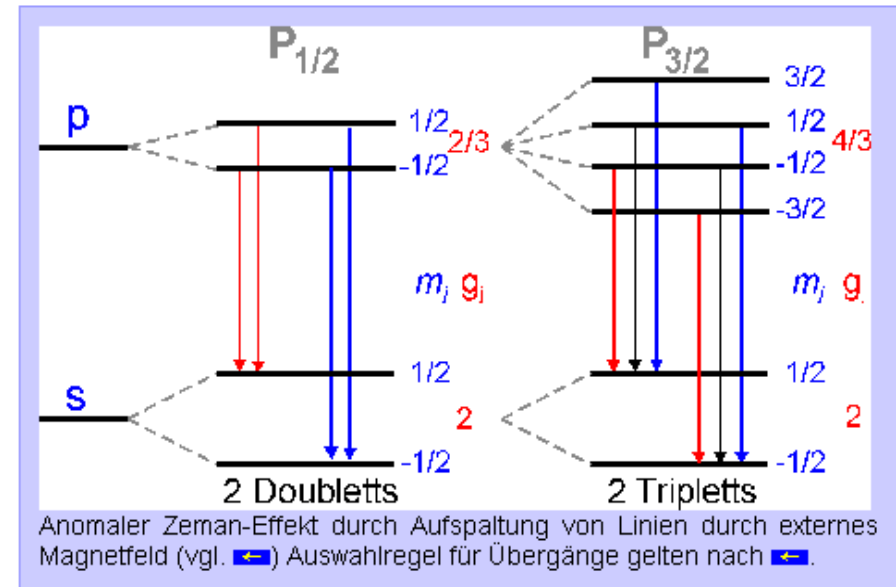
Linienaufspaltung im Magnetfeld analog zu

$$E_{m_j} = -\langle \vec{\mu}_j \rangle \cdot \vec{B} = \mu_B g_j m_j B$$

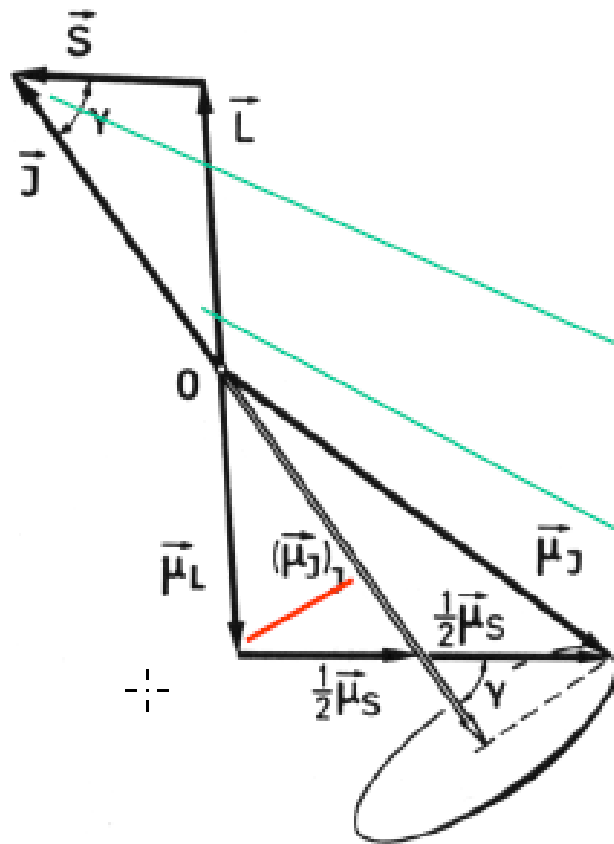
wegen g_j hängt die Aufspaltung von j ab.

Beispiele:

- ▶ $s=0, j=l \Rightarrow g_j=1$
- ▶ $l=0, j=s \Rightarrow g_j=2$
- ▶ $l=1, j=1/2 \Rightarrow g_j=2/3$
- ▶ $l=1, j=3/2 \Rightarrow g_j=4/3$



Berechnung des Landé-Faktors

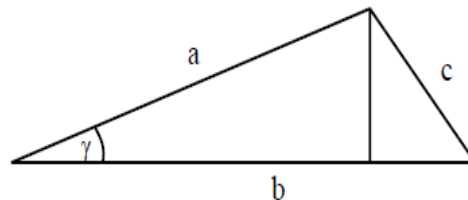


$\left(\vec{\mu}_J\right)_J$ setzt sich zusammen aus Beiträgen von $\vec{\mu}_L$ und $\vec{\mu}_S$

$$\vec{\mu}_J = -\frac{e}{2m_e}(\vec{L} + g_s\vec{S}) \quad \langle \vec{\mu}_J \rangle = \frac{\vec{\mu}_J \cdot \vec{J}}{J}$$

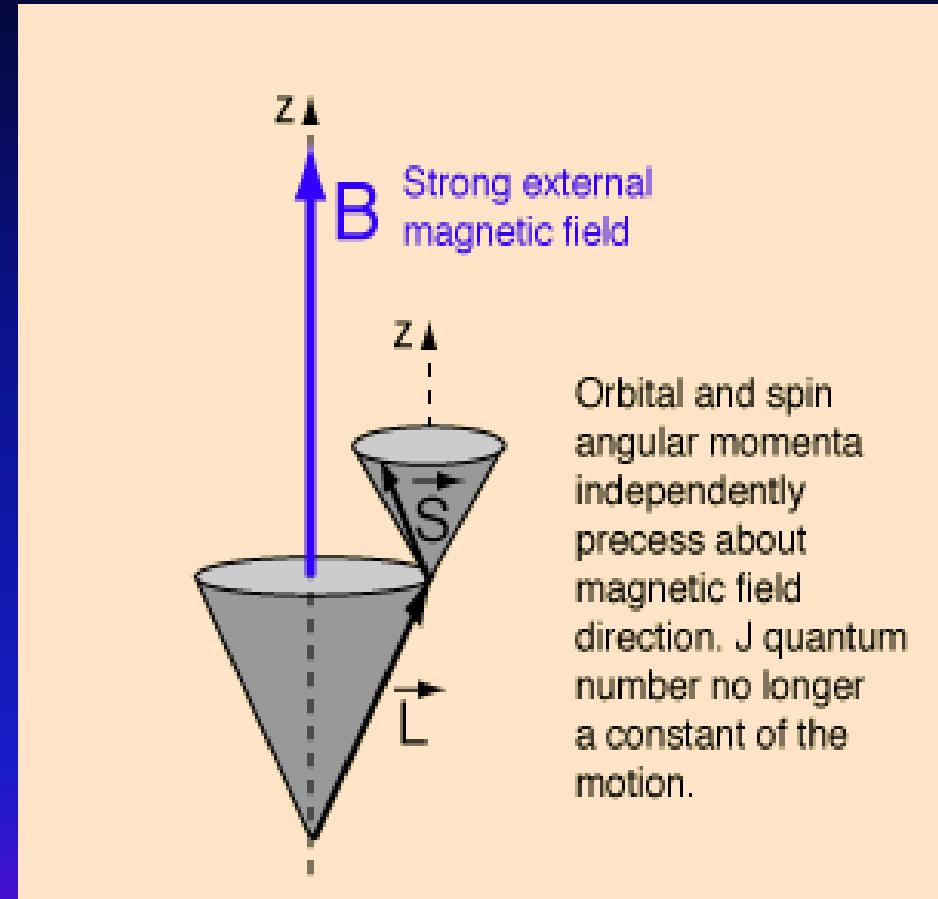
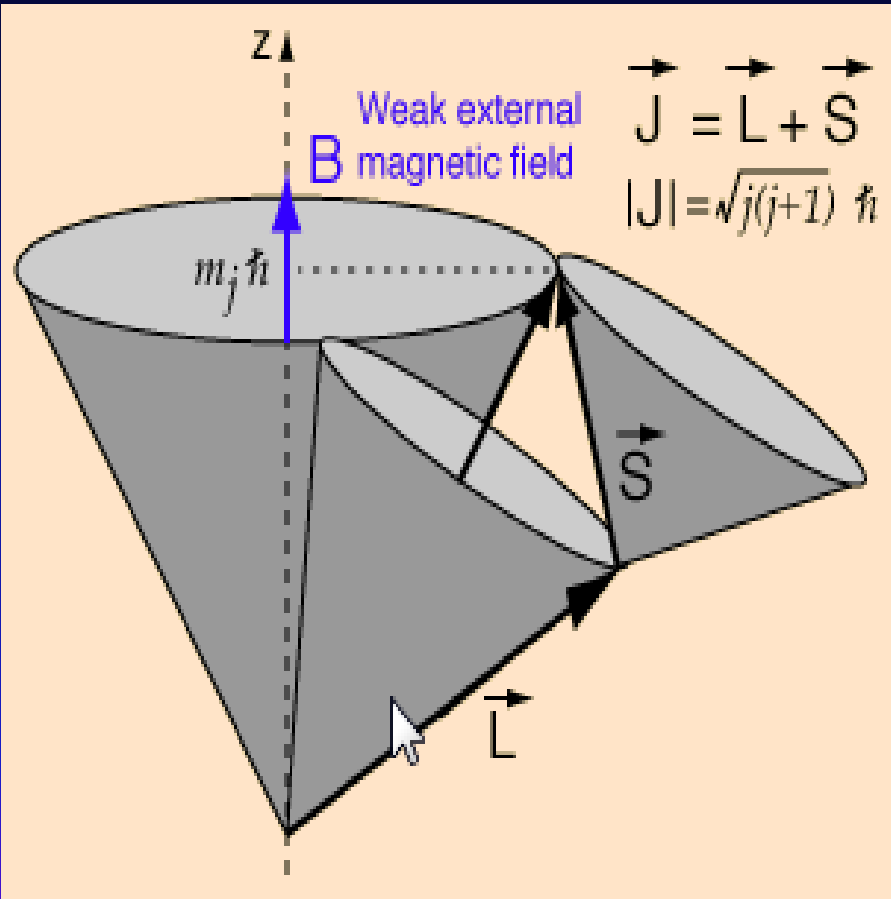
$$\cos(\angle \vec{S}, \vec{J}) = -\frac{L(L+1) - J(J+1) - S(S+1)}{2\sqrt{J(J+1)}\sqrt{S(S+1)}}$$

$$\cos(\angle \vec{L}, \vec{J}) = -\frac{S(S+1) - J(J+1) - L(L+1)}{2\sqrt{J(J+1)}\sqrt{L(L+1)}}$$



$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab\cos\gamma$$

Paschen-Back-Effekt



Weak $B = B_{\text{ext}} < B_{\text{int}}$

Strong $B = B_{\text{ext}} > B_{\text{int}}$

Paschen-Back-Effekt

$$|\vec{B}_0| > |\vec{B}_J| \Rightarrow \vec{L} - \vec{S} \text{ -Kopplung wird aufgehoben}$$

$$\begin{array}{ll} \text{Na, } ^2P_{1/2} \text{ bzw. } ^2P_{3/2} \rightarrow ^2S_{1/2} & \vec{L} - \vec{S} \text{ - Kopplung} \Rightarrow 17.2 \text{ cm}^{-1} \\ \text{Li, entsprechend} & \Rightarrow 0.3 \text{ cm}^{-1} \end{array}$$

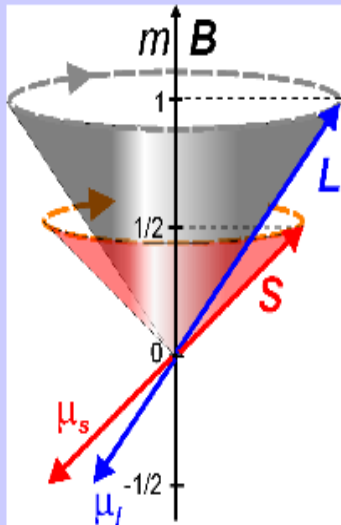
$$|\vec{B}_0| = 3 \text{ T} \Rightarrow \text{Zeemann-Aufspaltung} \approx 1 \text{ cm}^{-1}$$

$\Rightarrow 3 \text{ T}$ sind für Li ein großes und für Na ein kleines Feld

Hyperfeinstruktur im starken Magnetfeld

Bei sehr starken Magnetfeldern wird die LS-Kopplung überwunden.

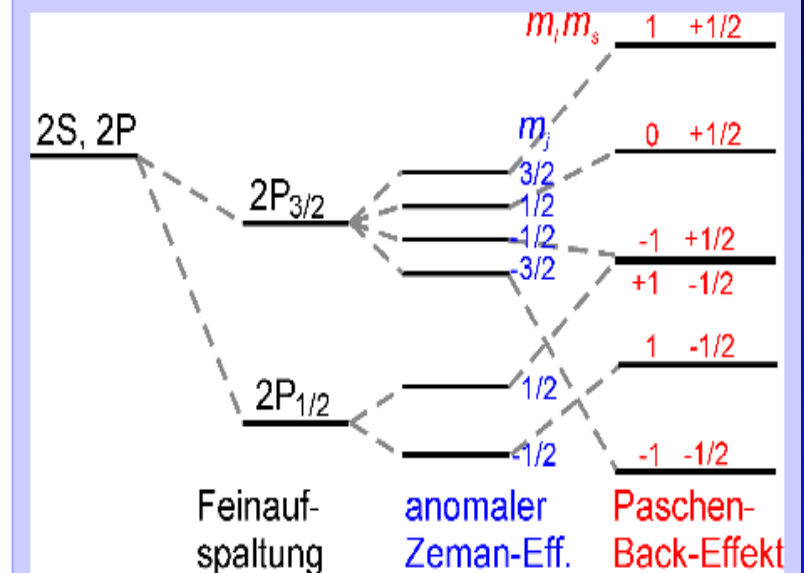
L und S koppeln dann unabhängig voneinander an das externe Magnetfeld.



Dies führt zu der **Energieaufspaltung**

$$\Delta E = (m_l + g_s m_s) \mu_B B$$

Termschema



Aufspaltung durch LS-Kopplung, anomalem Zeeman-Effekt und bei starker Kopplung von L und S .

Hyperfeinstruktur im starken Magnetfeld

$$\Delta E_{\text{HFS}} = \underbrace{+ g_J \mu_B m_J B_0}_{\text{Zeemann-Effekt H\u00fclle}} \underbrace{- g_I \mu_K m_I B_0}_{\text{Zeemann-Effekt Kern}} \underbrace{+ a m_I m_J}_{\text{Hyperfein-WW.}}$$

Zeemann-Effekt
H\u00fclle

Zeemann-Effekt
Kern

Hyperfein-WW.
Entkoppelte $\vec{I}$ und $\vec{J}$
Aus Vektormodell

$$a = \frac{g_I \mu_K B_J}{\sqrt{j(j+1)}}$$

Achtung:

- Vorzeichen m_I richtet sich nach $\vec{B}_0$
- B_J kann aber $\parallel$ oder $\uparrow\downarrow$ sein und das Vorzeichen des ΔE bestimmen

Transversale
Komponenten von
 B_J durch schnelle
Pr\u00e4zession von J
im Mittel null.

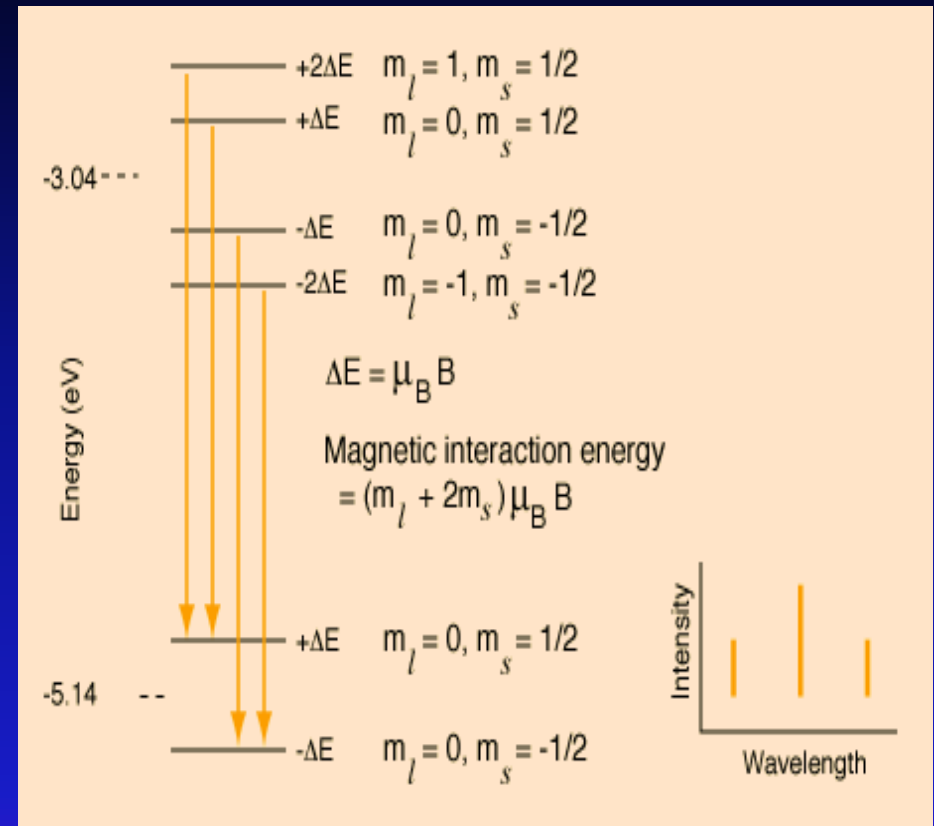
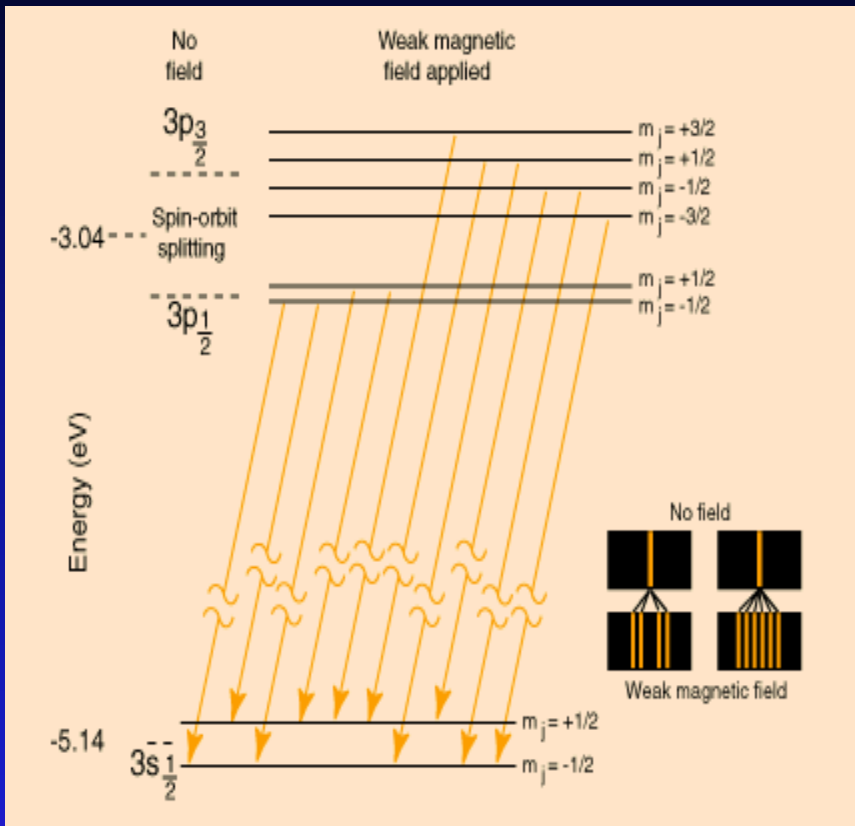
Paschen-Back-Effekt (Wiki)

Der Paschen-Back-Effekt beschreibt die Entkopplung von Spin- und Bahndrehimpulsen beim Anlegen eines starken magnetischen Feldes. Ein Spektrum mit anomalem Zeeman-Effekt (für Atome, die einen Gesamtspin S aufweisen) geht somit in die Form eines Spektrums mit normalem Zeeman-Effekt über.

Bei starken Magnetfeldern ($B > 1 \text{ T}$) ist die Kopplung der magnetischen Momente an das angelegte Feld stärker als die Spin-Bahn-Kopplung, so dass der Gesamtspin S und der Gesamtbahndrehimpuls L nicht mehr zu J koppeln, sondern unabhängig voneinander um die Achse des angelegten Magnetfeldes präzedieren.

1921 beobachteten Friedrich Paschen und Ernst Back (1881-1959), dass der anomale Zeeman-Effekt (für Systeme mit einem Gesamtspin $S > 0$) in den normalen Zeeman-Effekt (für Atome mit Gesamtspin $S = 0$) übergeht. Dies kann als Entkopplung von L und S verstanden werden, da der Einfluss des Gesamtspins bei fehlender Spin-Bahn-Kopplung verschwindet.

Paschen-Back-Effekt



Auswahlregeln für optische Übergänge: $\Delta m_L = 0, \pm 1$
 $\Delta m_S = 0$

⇒ Spektrum wird einfacher

Hyperfeinstruktur im starken Magnetfeld

Beispiel

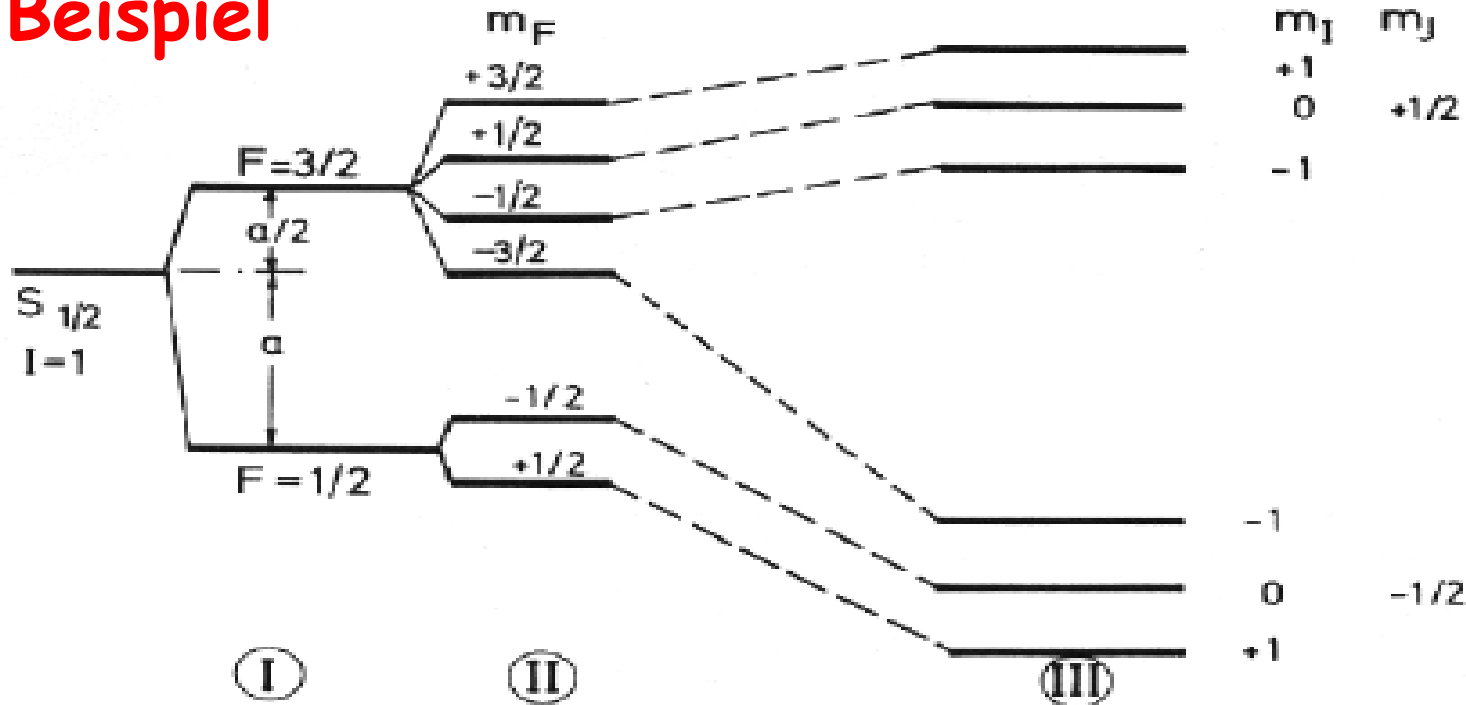


Abb. 20.11. Hyperfeinstruktur eines Zustandes $S_{1/2}$ und $I=1$ ohne Feld (I), im schwachen Feld (II) – das ist der Zeeman-Effekt der Hyperfeinstruktur – und im starken Feld (III), das ist der Paschen-Back-Effekt der Hyperfeinstruktur. Beim Übergang vom schwachen zum starken Feld geht der Zeeman-Effekt der Hyperfeinstruktur also in die Hyperfeinstruktur des Zeeman-Effektes über

Wie lässt sich Spinflip erzeugen, d.h. Kegelöffnung ändern?

Wie kann man die Kegelöffnung, die $\mathbf{j}$ um $\mathbf{B}$ beschreibt, vergrößern? (vergrößern von $\mathbf{B}$ vergrößert nur $\omega_{\text{präz.}}$)

Antwort: Veränderung durch ein zu $\mathbf{B}$ zusätzliches $\mathbf{B}'$ -Feld mit $\mathbf{B}' \perp \mathbf{B}$

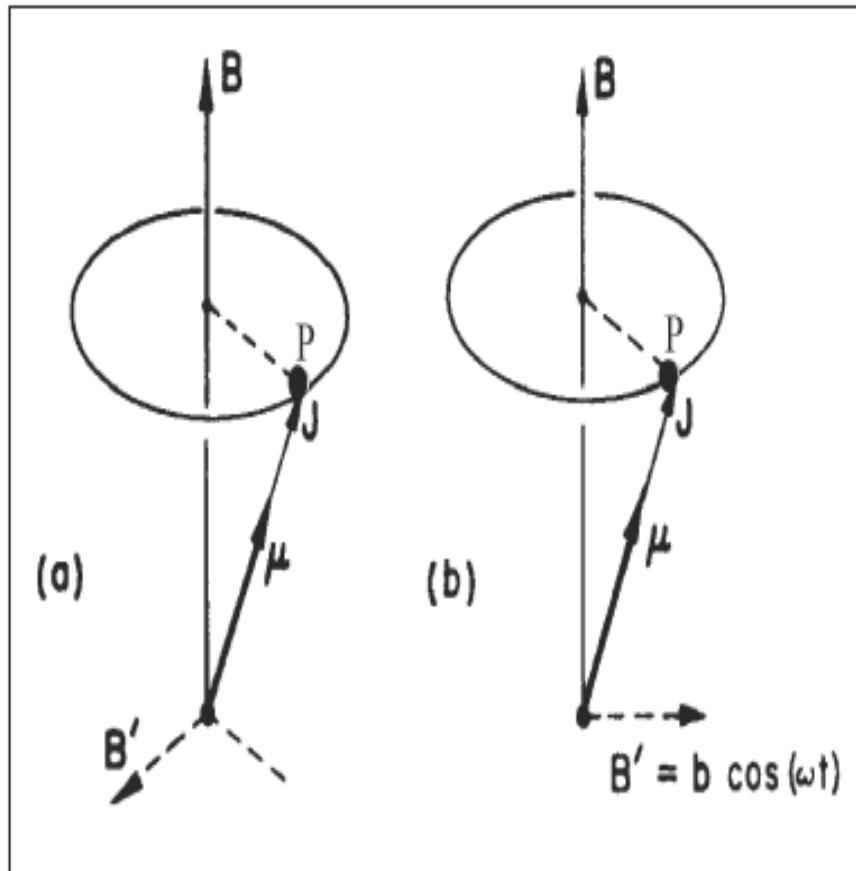


Abbildung 42:

Änderung der Präzessionswinkel durch horizontales Feld (a) oder durch oszillierendes Feld (b)

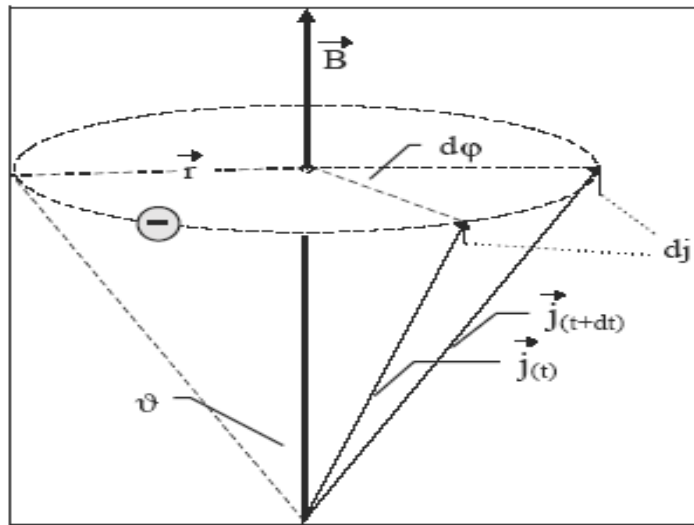
Kommt $\mathbf{j}$ bei P vorbei (das geschieht

$\frac{\omega_{\text{präz.}}}{2\pi}$ mal in der Sekunde), wirke $\mathbf{B}'$ in der gezeigten Richtung.

z.B. $\mathbf{B}' = B_0 \cdot \cos \omega_{\text{präz.}} \cdot t$. Start wie im Bild mit $t=0$.

→ Überlagerung durch Kegelöffnung von $\mathbf{j}$ um $\mathbf{B}'$. Da $\mathbf{j}$ bei $P \perp \mathbf{B}'$ ist $\mathbf{B}'$ Normalenvektor zu der Ebene, in der $\mathbf{j}$ den Kegelöffnungswinkel zu $\mathbf{B}$ ändert.

Präzessionsfreq. eines magn. Dipols im B-Feld



$$\frac{d\mathbf{j}}{dt} = \text{Drehmoment } \mu \times \mathbf{B}$$

$$|d\mathbf{j}| = j \cdot \sin \vartheta \cdot d\varphi,$$

$$j \cdot \sin \vartheta \cdot \frac{d\varphi}{dt} = \mu \cdot B \cdot \sin \vartheta$$

$$\frac{d\varphi}{dt} = \omega_{\text{präz.}} = \frac{\mu}{j} \cdot B$$

Damit gilt: $\omega_{\text{präz.}} = g \left| \frac{Q}{2m} \right| \cdot B = \text{Larmor Frequenz}$

Abbildung 34

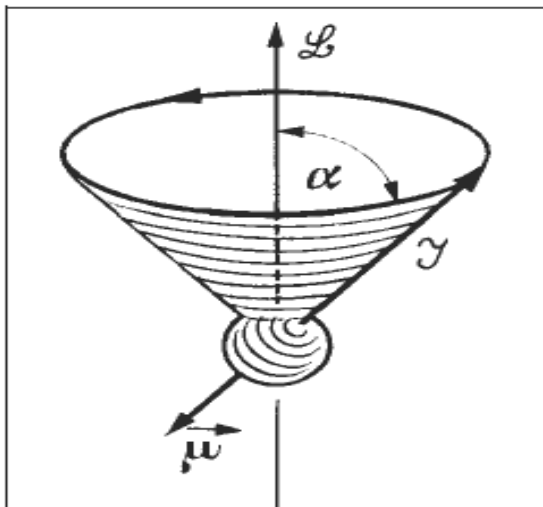


Abbildung 35:
Präzedierender atomarer Kreisel

Wir erwarten Präzession von Elektronenbahnen und Spins im B-Feld.

Abschätzung: $B \text{ in Gauß} = 10^{-4} \frac{\text{Vs}}{\text{m}^2} = 10^{-4} \text{ Tesla}$

$$f_{\text{präz.}} = \frac{\omega}{2\pi} = 1,4 \text{ Megawatthertz/Gauß} \cdot g \cdot B$$

$$f_{\text{präz. Kern}} = (0,76 \text{ Kilowatthertz/Gauß}) \cdot g \cdot B$$

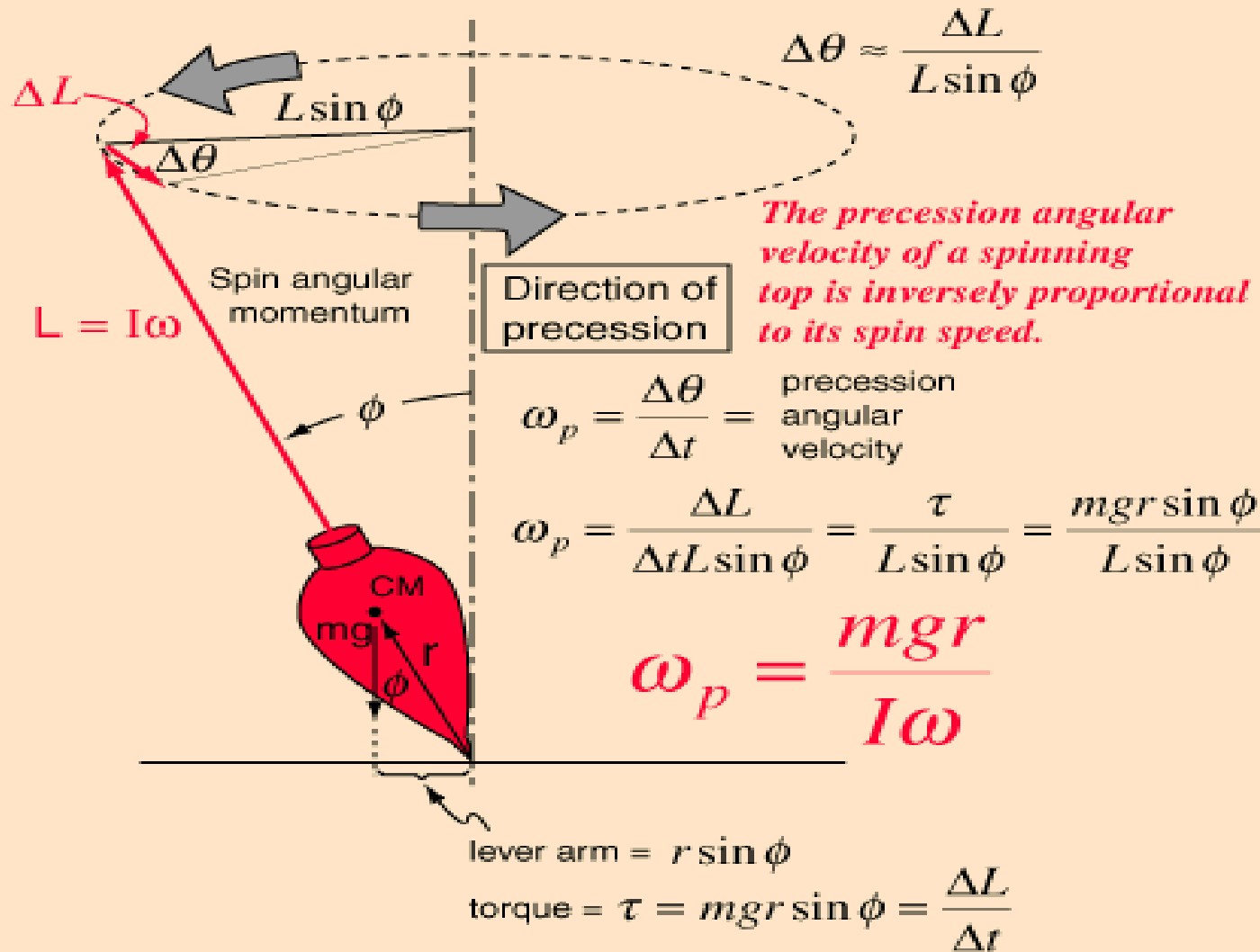
Hilfe: $\underbrace{\mu_0}_{\frac{e\hbar}{2m}} \cdot 1 \text{ Gauß} = 10^{-8} \text{ eV}$

$$\vec{\omega}_{\text{präz.}} = g \cdot \mu_0 \cdot \frac{1}{\hbar} \cdot B = g \cdot B \cdot \frac{10^{-8} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 2\pi}{6,6 \cdot 10^{-34}} [\text{s}^{-1}]$$

(wenn für B die Zahl in 'Gauß' angegeben wird)

$$\nu_{\text{res}} = \frac{g \mu_B B}{\hbar} = 2,8 \times 10^{10} B_0 \left[\frac{\text{Hz}}{\text{T}} \right]$$

Präzessionsfrequenz beim klassischem Kreisel



Magnetische Resonanz

"electron paramagnetic resonance" (EPR)

"nuclear magnetic resonance" (NMR)

$\vec{B} \rightarrow$ Energieaufspaltung $\rightarrow$ Absorption HF

ESR/EPR: Energiedifferenz der Nachbarniveaus:

$$\Delta E = g_S \mu_B B_0 \quad (\text{für reinen Spinmagnetismus})$$

$$\nu = 28.026 \text{ GHz} \times B_0 \frac{1}{\text{Tesla}} \quad (\text{Mikrowellen / cm-Wellen})$$

NMR: Energiedifferenz Nachbarniveaus

$$\Delta E = g_I \mu_K B_0 \quad (\text{Paschen-Back-Fall})$$

$$\nu = 7.62 \text{ MHz} \times g_I B_0 \frac{1}{\text{Tesla}} \quad (\text{Radiowellen})$$

Anwendungen Magnetischer Resonanz

ESR/NMR:

Untersuchungen aller Art von paramagnetischen Zentren
($S \neq 0$) in Festkörperphysik und Chemie
(Einfluss Umgebung auf e^- ;
Beobachtung Änderung Valenzzustand ...)

NMR:

Konzentrationsmessung von Isotopen z. B. in der Medizin
„Kern-Spin-Tomographie“ (Umgebung mischt weniger mit)

Empfindlichkeit steigt mit B/T

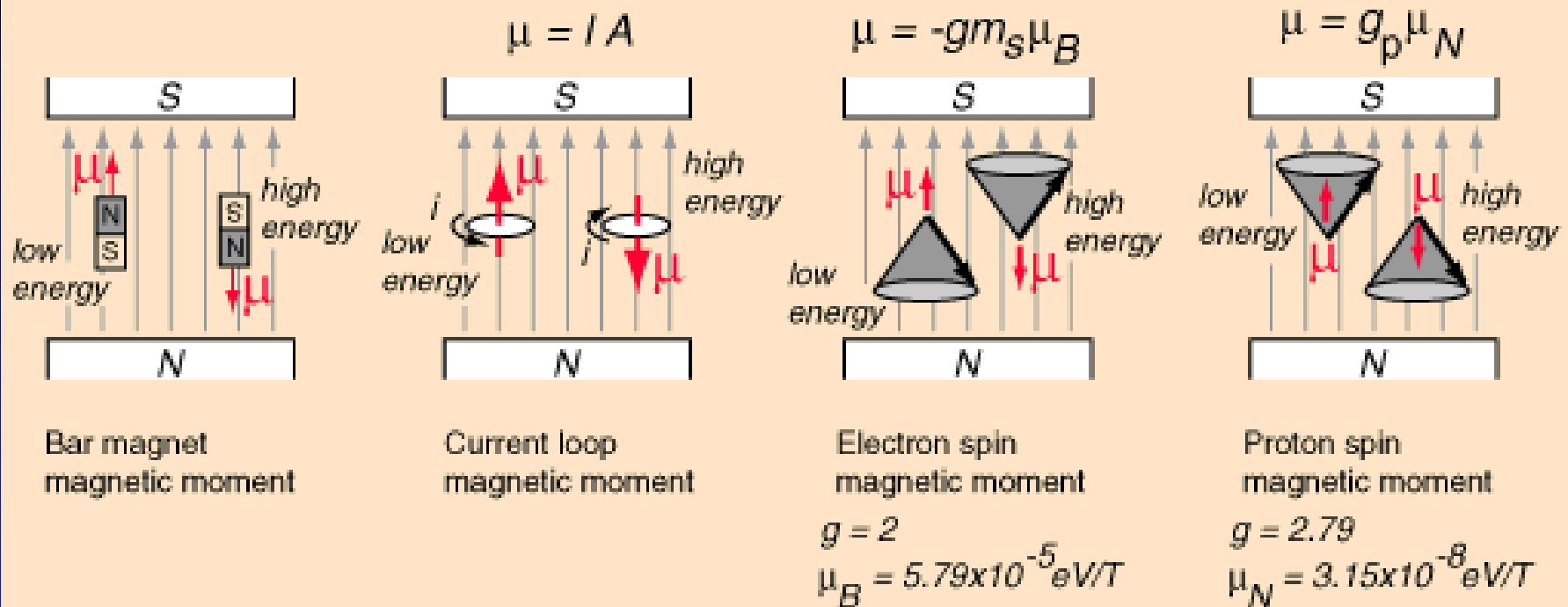
$$\frac{N_+}{N_-} = 1 - \frac{g\mu_B B}{k_B T}$$

Verteilung der Teilchen im thermischen Gleichgewicht über Energieniveaus gegeben durch Boltzmannverteilung: $N \propto \exp(-E/kT)$

$$N_- - N_+ = N_- \left[1 - \left(1 - \frac{g\mu_B B}{k_B T} \right) \right] = \frac{N g\mu_B B}{2k_B T} \quad (2.6)$$

Signal $\propto N_- - N_+ \propto B/T$

Vergleich NMR und ESR



$$\omega_{\text{electron spin}} = \frac{2\mu_B B}{\hbar} = \frac{2 \cdot 2 \cdot \frac{1}{2} (5.79 \times 10^{-5} \text{ eV/T})(1 \text{ T})}{6.58 \times 10^{-16} \text{ eV} \cdot \text{s}} = 1.7608 \times 10^{11} \text{ s}^{-1}$$

$$\nu = \frac{\omega}{2\pi} = 28.025 \text{ GHz} \quad \text{Larmor frequency}$$

$$\omega_{\text{proton spin}} = \frac{2\mu_p B}{\hbar} = \frac{2(2.79)(3.15 \times 10^{-8} \text{ eV/T})(1 \text{ T})}{6.58 \times 10^{-16} \text{ eV} \cdot \text{s}} = 2.6753 \times 10^8 \text{ s}^{-1}$$

$$\nu = \frac{\omega}{2\pi} = 42.5781 \text{ MHz} \quad \text{Larmor frequency}$$

NMR Spektrometer

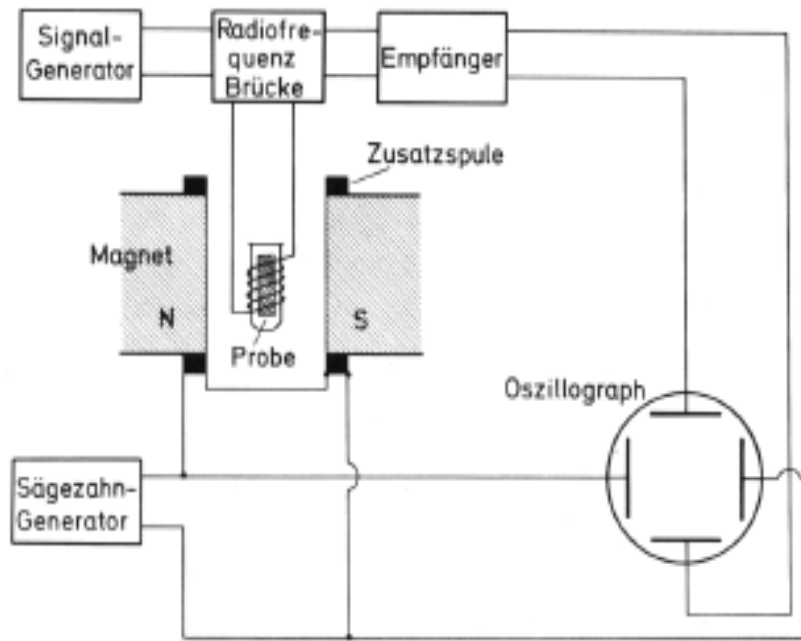


Abb. 20.18. Schema einer einfachen Kernspin-Resonanz-Apparatur. Die Probe befindet sich im Reagenzglas zwischen den Polschuhen eines homogenen Magneten. Das hochfrequente B_1 -Feld wird über eine Brücke und eine Induktionsspule eingestrahlt. Zum besseren Nachweis der Resonanz kann das B_0 -Feld durch eine Zusatzspule moduliert werden

B statisch und homogen und RF-Frequenz wird variiert (NMR)
oder umgekehrt (ESR)

Resonanz: Leistungsabfall am Empfänger

Bei NMR RF-Feld durch Spule möglich, da kapazitive Verluste ($\propto 1/\omega C$) nicht zu groß. Bei ESR im Mikrowellen Bereich Transport des RF-Feldes nur durch Hohlleiter und Resonanz in einem Mikrowellenkavität

NMR Spektrum

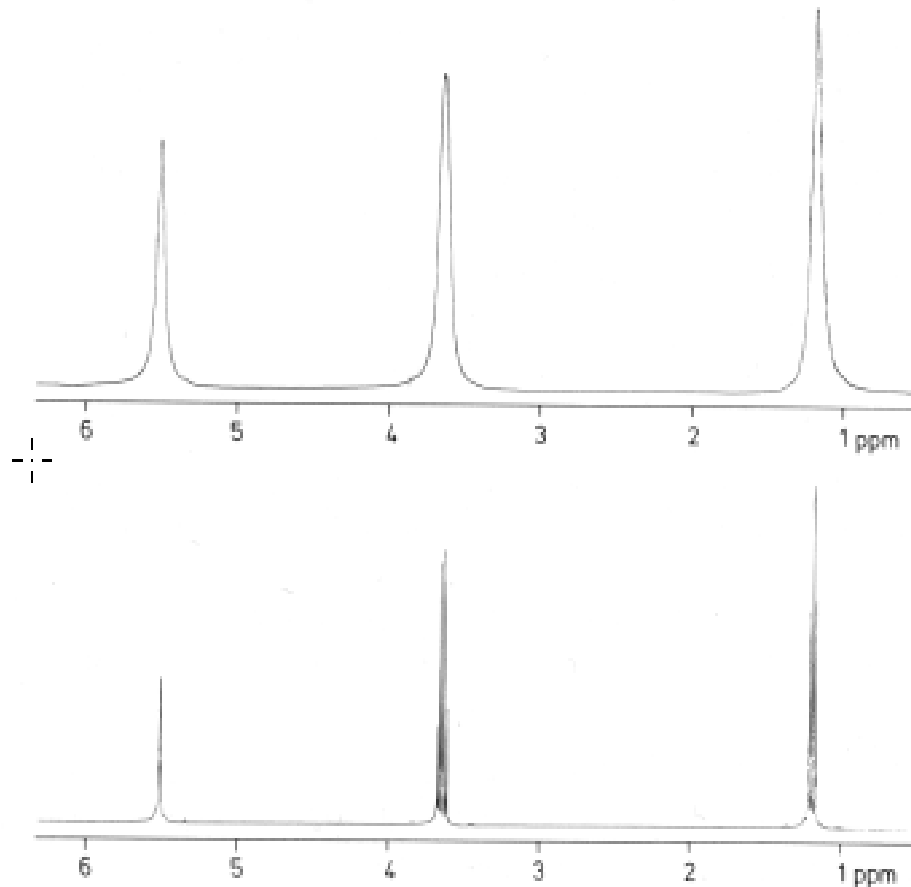
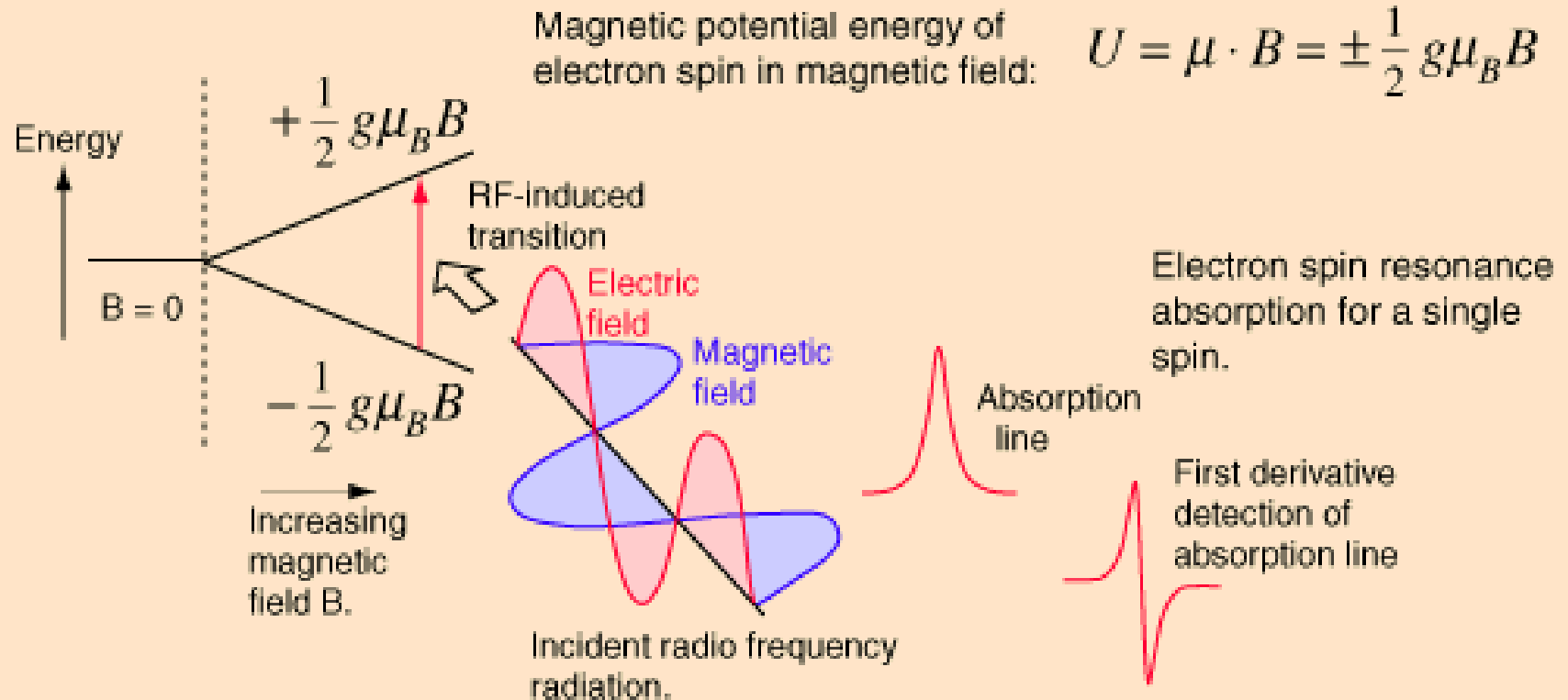


Abb. 20.20. Kernspinresonanz von Aethylalkohol, C_2H_5OH . Aufgetragen ist die Signalintensität am Empfänger als Funktion der Übergangsfrequenz. Diese ist in ppm (parts per million) relativ zu einem geeigneten Standard gemessen. Man sieht im oberen Teilbild 3 Signale mit dem Flächenverhältnis 1:2:3. Sie gehören zu den Protonenspins in der OH-, der CH_2 - und der CH_3 -Gruppe mit 1, 2 und 3 Protonen. Durch die unterschiedliche chemische Bindung unterscheiden sich die Resonanzfrequenzen der Protonen in den verschiedenen Bindungen um einige ppm. – Im unteren Teilbild ist dasselbe Spektrum mit höherer Auflösung gemessen. Das CH_2 -Signal ist jetzt durch indirekte Kernspin-Wechselwirkung mit den Protonen der CH_3 -Gruppe in ein Quartett aufgespalten, das CH_3 -Signal durch indirekte Wechselwirkung mit den CH_2 -Protonen in ein Triplett. – Die Protonen der OH-Gruppe werden rasch zwischen verschiedenen Molekülen ausgetauscht. Dadurch wird indirekte Wechselwirkung ausgemittelt und die Linie bleibt einfach

Elektronenspinresonanz (ESR)



If the radio frequency excitation was supplied by a klystron at 20 GHz, the magnetic field required for resonance would be 0.71 Tesla, a sizable magnetic field typically supplied by a large laboratory magnet.

ESR-Spektrometer

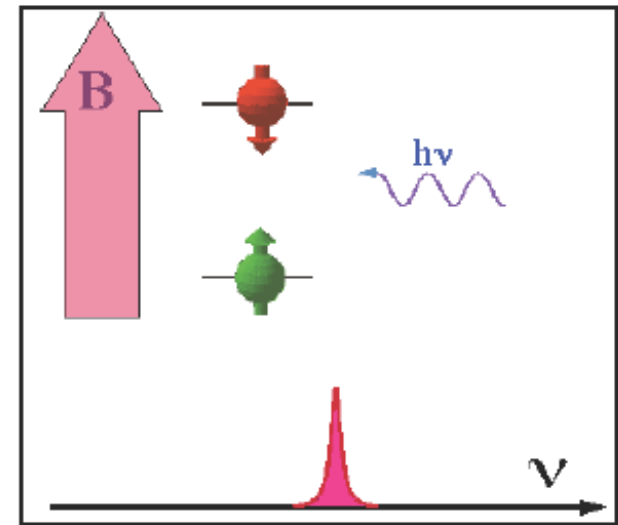
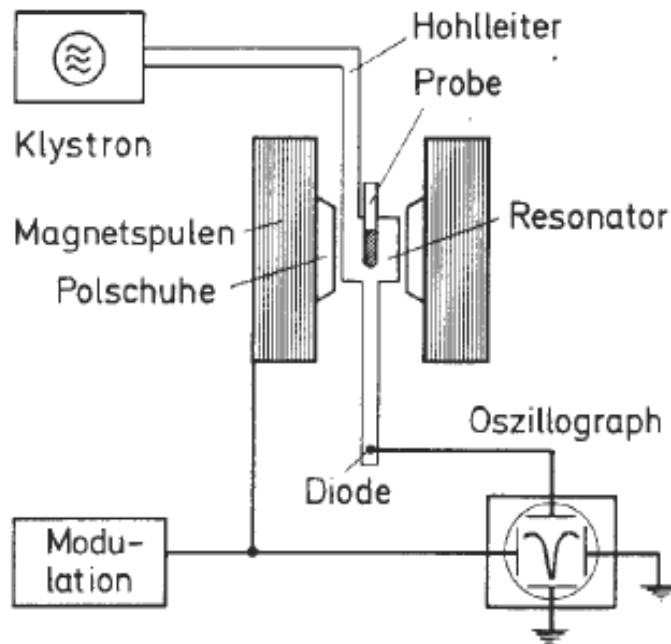
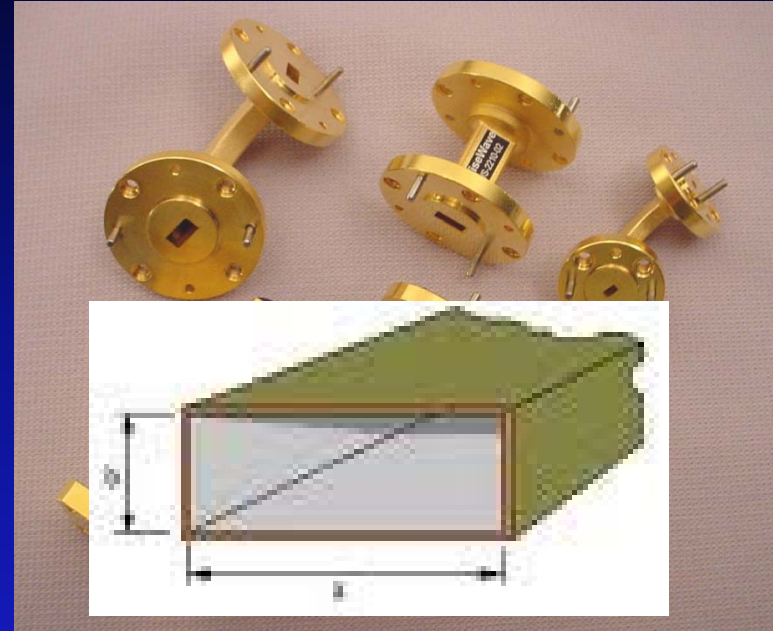


Abbildung 56: Schematische Darstellung des Versuchs. Die Spannung an den Spulen des Modulationsfeldes wird an die x -Ablenkung und das Signal der Diode an die y -Ablenkung eines Oszillographen gelegt. Im Falle der Resonanz nimmt das Signal in der Diode ab, da dem Feld Energie entzogen wird. Aus Haken Wolf, Atomphysik

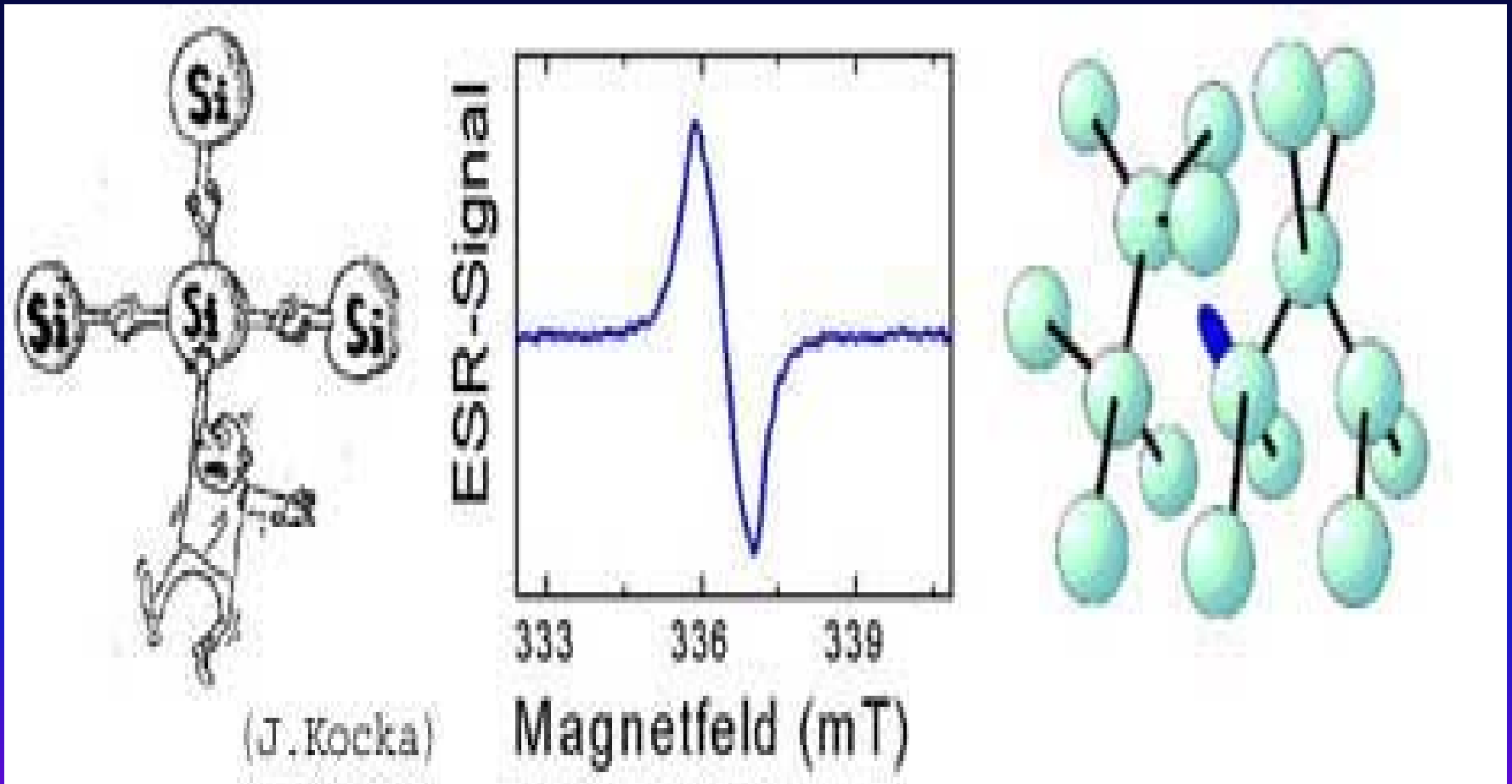
Energieabsorption bei der Resonanzfrequenz

ESR Spektrometer und Hohlleiter



In waveguides the electric and magnetic fields are confined to the space within the guides. Thus no power is lost to radiation. Since the guides are normally filled with air, dielectric losses are negligible.

ESR Spektrum



Silicon dangling bond - its ESR signal - and structure in the Si-lattice

Elektronenspinresonanz (ESR)

When the molecules of a solid exhibit paramagnetism as a result of unpaired electron spins, transitions can be induced between spin states by applying a magnetic field and then supplying electromagnetic energy, usually in the microwave range of frequencies. The resulting absorption spectra are described as electron spin resonance (ESR) or electron paramagnetic resonance (EPR). Electron spin resonance has been used as an investigative tool for the study of radicals formed in solid materials, since the radicals typically produce an unpaired spin on the molecule from which an electron is removed. Particularly fruitful has been the study of the ESR spectra of radicals produced as radiation damage from ionizing radiation.

The interaction of an external magnetic field with an electron spin depends upon the magnetic moment associated with the spin, and the nature of an isolated electron spin is such that two and only two orientations are possible. The application of the magnetic field then provides a magnetic potential energy which splits the spin states by an amount proportional to the magnetic field (Zeeman effect), and then radio frequency radiation of the appropriate frequency can cause a transition from one spin state to the other. The energy associated with the transition is expressed in terms of the applied magnetic field B , the electron spin g -factor g , and the constant m_B which is called the Bohr magneton.

Elektronenspinresonanz (ESR)

If you were always dealing with systems with a single spin like this example, then ESR would always consist of just one line, and would have little value as an investigative tool, but several factors influence the effective value of g in different settings. Much of the information obtainable from ESR comes from the splittings caused by interactions with nuclear spins in the vicinity of the unpaired spin, splittings called nuclear hyperfine structure.

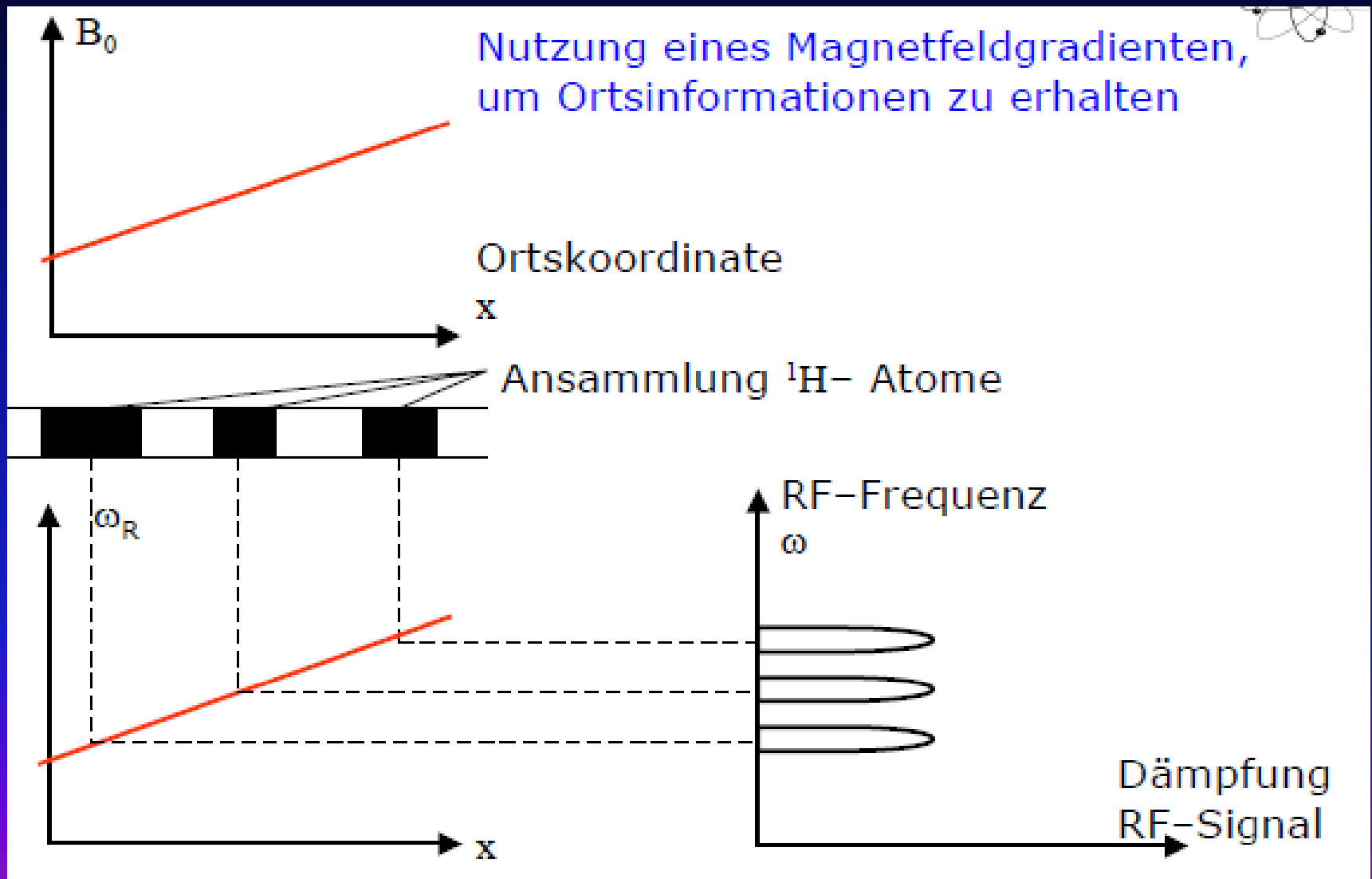
Kernspinresonanz (NMR)

The versatility of nuclear magnetic resonance (NMR) spectroscopy has made it a widespread tool in chemistry for the study of chemical structure. In addition to the one-dimensional NMR spectroscopy used to study chemical bonds, two dimensional approaches have been developed for the determination of the structure of complex molecules like proteins. Time domain NMR spectroscopy is used to study molecular dynamics in solutions. NMR of solid samples can help determine molecular structures. There are NMR methods for measuring diffusion coefficients.

NMR spectroscopy has contributed enormously to chemical knowledge. A wide range of techniques has been used with a range of magnetic fields including high-field superconducting magnets. NMR frequencies from 60 to 800 MHz have been used for hydrogen.

One of the major sources of chemical information is the measurement of chemical shifts in high-resolution NMR spectroscopy. The chemical shifts are a very sensitive probe of the chemical environment of the resonating nuclei.

Prinzip der Kernspintomographie



Trick der Kernspintomographie

Verschiedene Projektionen + Computer $\Rightarrow$ 3D-Bild

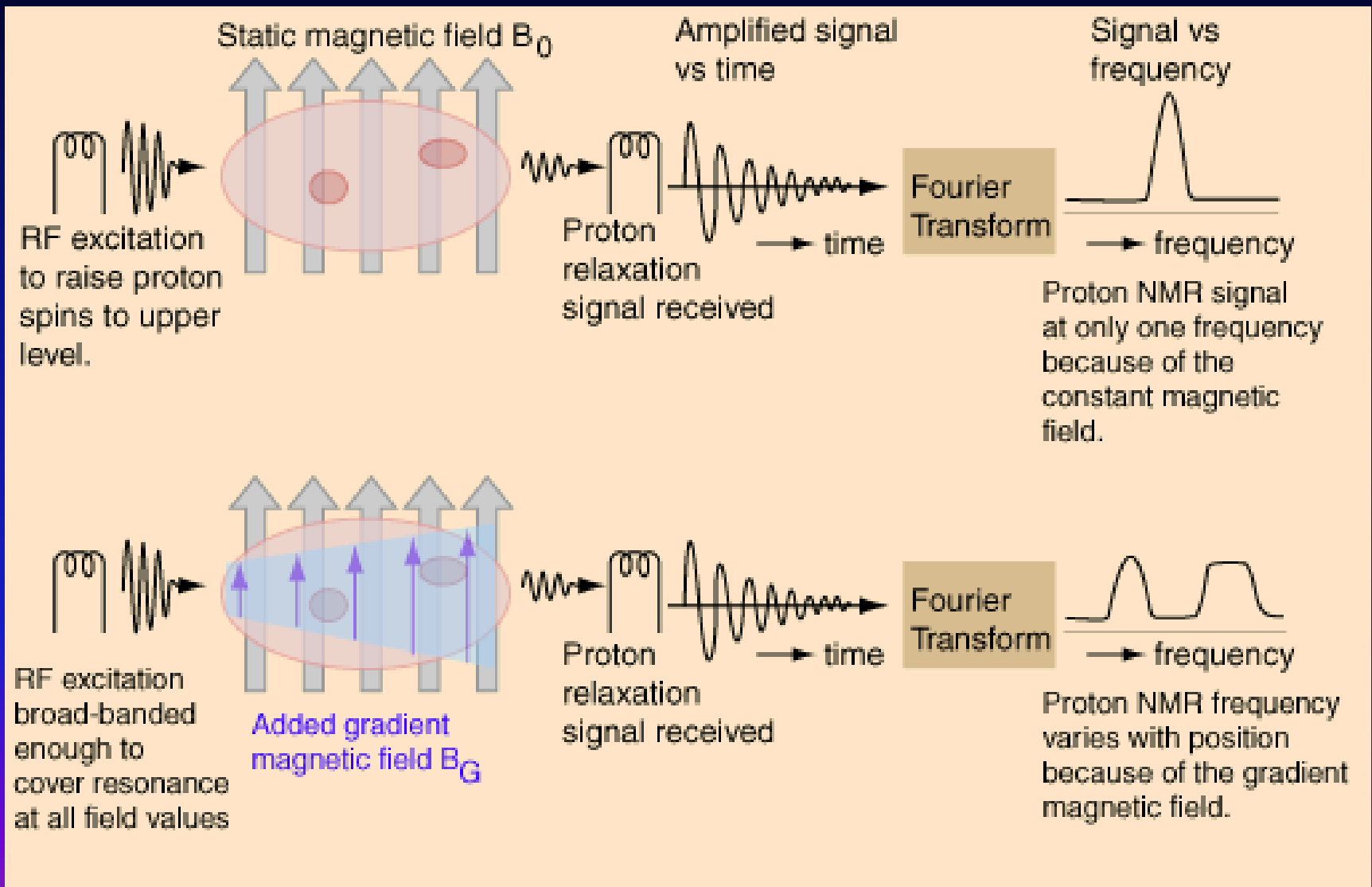
Trick:

kurzer HF-Puls und Messung der von den Kernen erzeugten HF-Strahlung + Fourieranalyse

Um Fourier-Transformationen zu verstehen, besuche z.B.

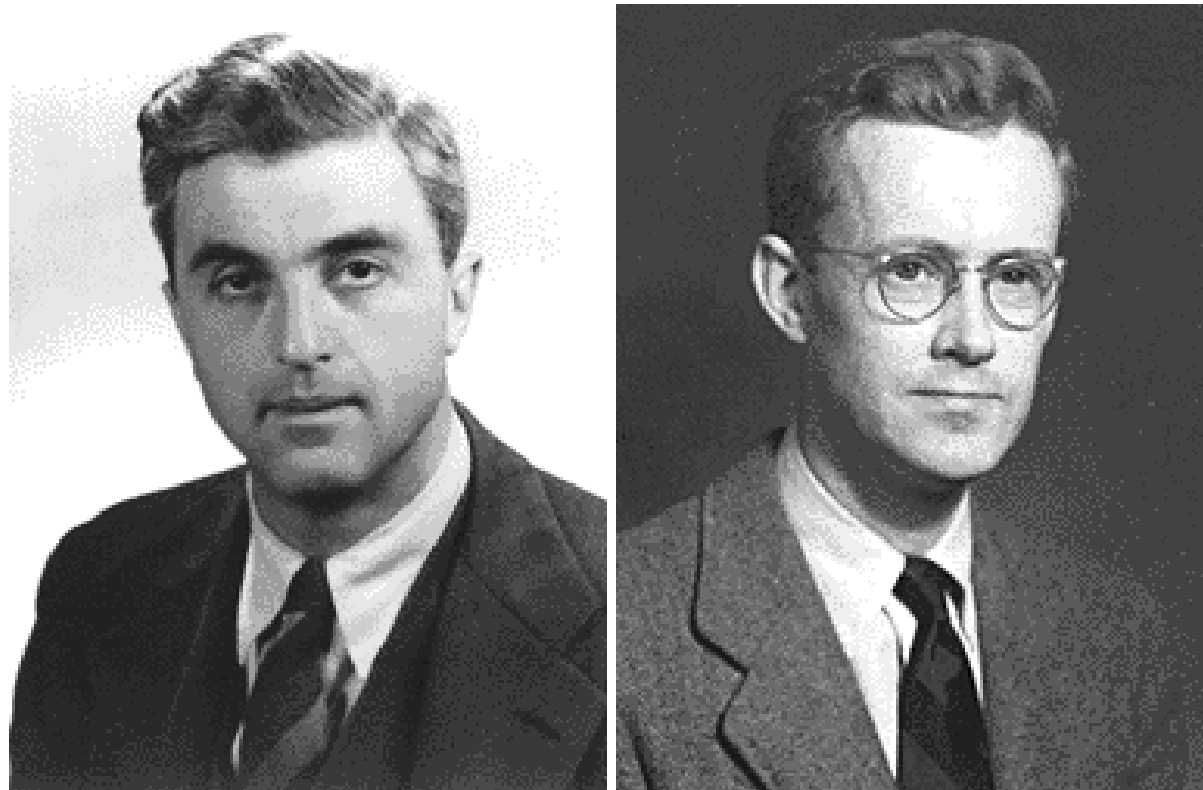
<http://www.cis.rit.edu/htbooks/nmr/inside.htm>

Gepulste Kernspinresonanz



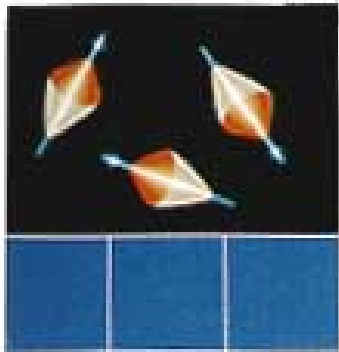
Beginn der NMI (Nuclear Magnetic Imaging)

The foundations for imaging using magnetic resonance were laid in 1946 by Bloch and Purcell; Bloch at Stanford, studying liquids, and Purcell at Harvard, in solids. Though they received Nobel prizes for their discover, it was not until 1973 that nuclear magnetic resonance (NMR) was used to generate images.

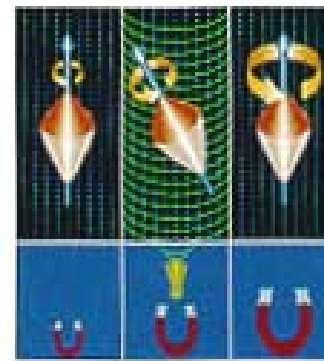


[READ MORE ABOUT THE HISTORY OF MRI](#)

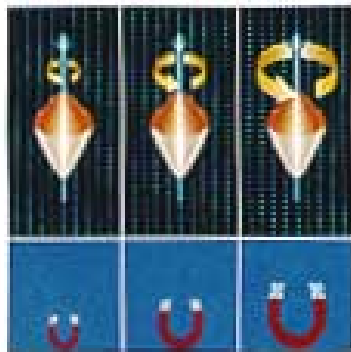
Wie "MRI" (Magnetic Resonance Imaging) funktioniert



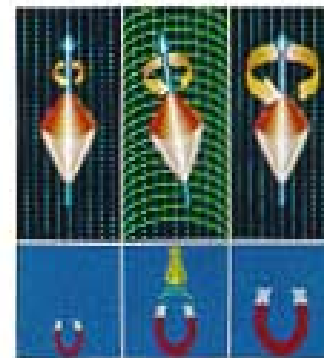
1. Hydrogen protons, positively charged particles in the hydrogen molecule's nucleus, normally spin in random directions



3. A brief radio signal, whose soundwave frequency equals the frequency of wobble of certain protons, knocks those protons out of alignment



2. Protons wobble in alignment with magnetic fields of varying intensity; frequency of wobble is proportionate to strength of individual magnetic field

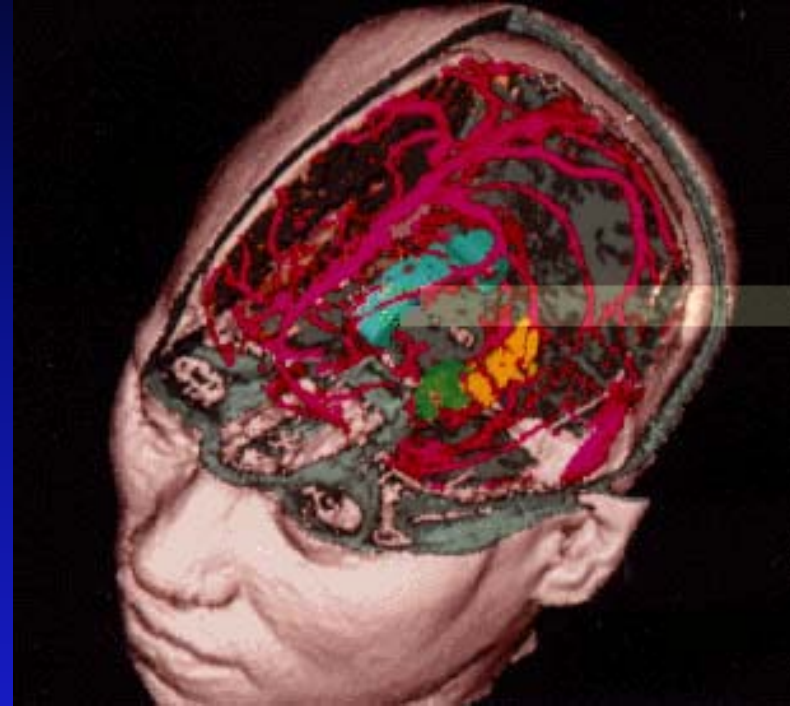


4. When radio signal ceases, protons snap back into alignment with magnetic field, emitting a radio signal of their own, that announces the presence of a specific tissue

Like X ray, MRI is based on a discovery in the physic lab: when the nuclei of hydrogen atoms--single protons, all spinning randomly--are caught suddenly in a strong magnetic field, they tend to line up like so many compass needles. If the protons are then hit with a short, precisely tuned burst of radio waves, they will momentarily flip around. Then, in the process of returning to their original orientation, they resound with a brief radio signal of their own. The intensity of this emission reflects the number of protons in a particular "slice" of matter.

3D-Bilder möglich

Traditionally data has been analyzed by visual evaluation of image slices on radiological film. Digital representation of this data is rarely the norm despite the increased use of computers. To make use of the huge amount of data contained in fMRI scans, a doctor needs a composite image for making a quantitative rather than qualitative diagnoses. The clinically important features need to be extracted from the image, whether that is blood flow, tumor size, or cortical activity. In the case of fMRI it is necessary to know exactly where the areas of cortical stimulation are located



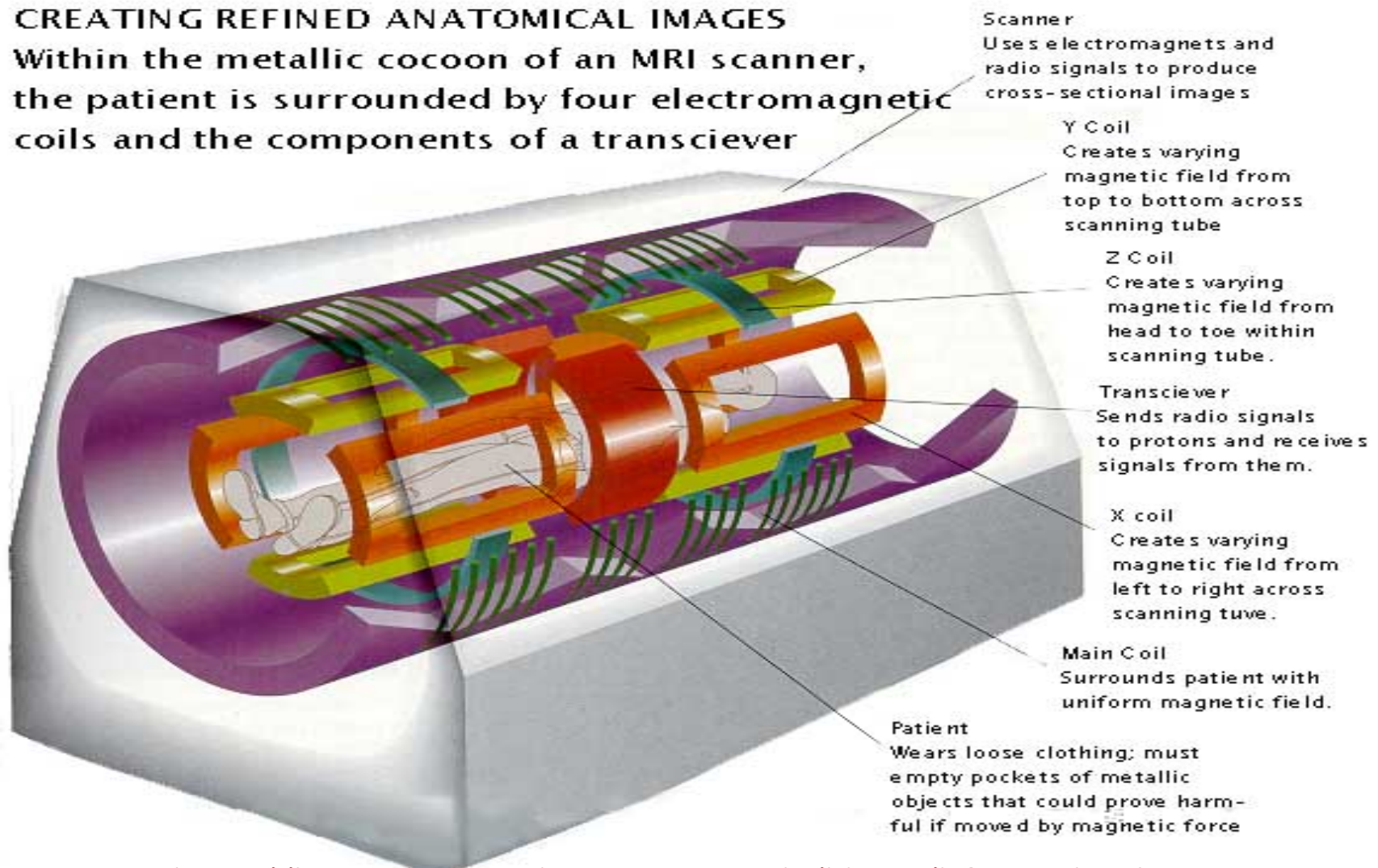
History of MRI

In 1990 Roy and Sherrington's paper 'On the regulation of blood supply of the brain' suggested that neural activity was accompanied by a regional increase in cerebral blood flow. Until 1990 there was no way of non-invasively measuring the flow of blood in cortical areas. Ogawa and Lee at the AT and T Bell Laboratories working on rodents discovered that the oxygenation level of blood acts as a contrast agent in MR images. They demonstrated that signals received from vessels were altered by drug-induced changes in blood flow from the brain. It was suggested that this is a consequence of changing the content of deoxyhemoglobin in the blood.

MRI scanner

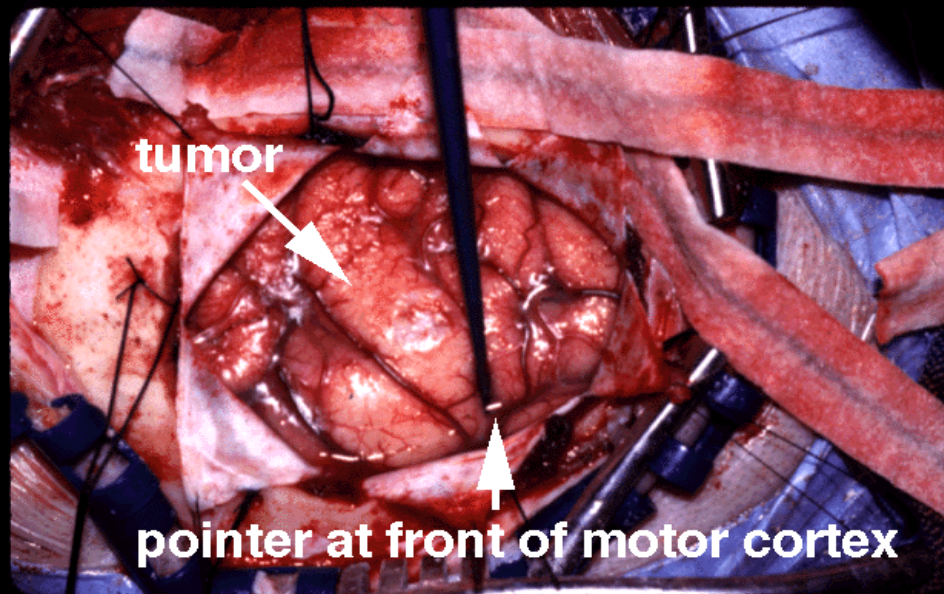
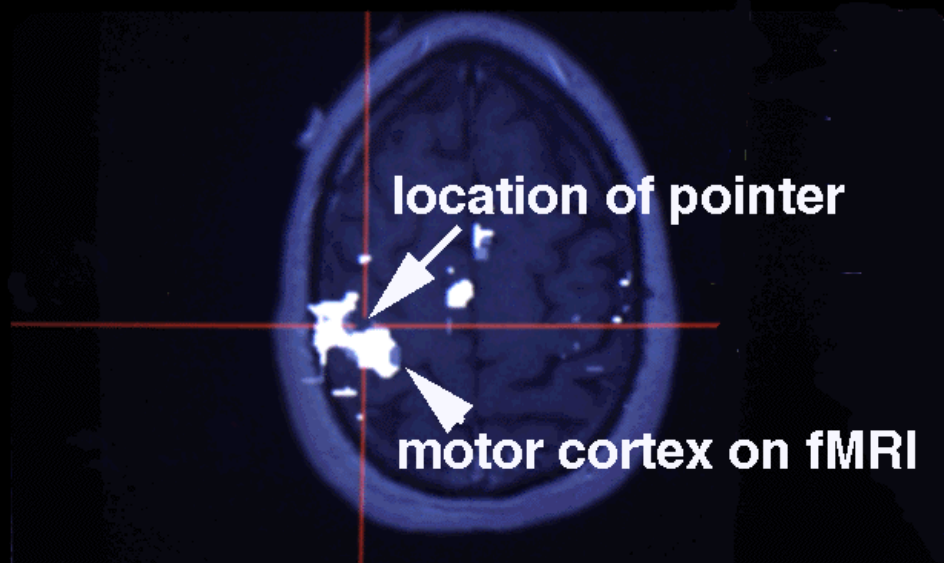
CREATING REFINED ANATOMICAL IMAGES

Within the metallic cocoon of an MRI scanner, the patient is surrounded by four electromagnetic coils and the components of a transceiver



<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/hframe.html>

functional MRI (=interactive MRI) Beispiel für "image guided robotic surgery"



5T_3YC#MR310C0

36 1

tumor removed

motor cortex

This axial T1-weighted MRI scan shows the brain after tumor removal. A white arrow points to the surgical cavity, labeled 'tumor removed'. Another white arrow points to the motor cortex, labeled 'motor cortex'.

164 Hz

22
1.0sp
4
7/1 NEX

P103

153

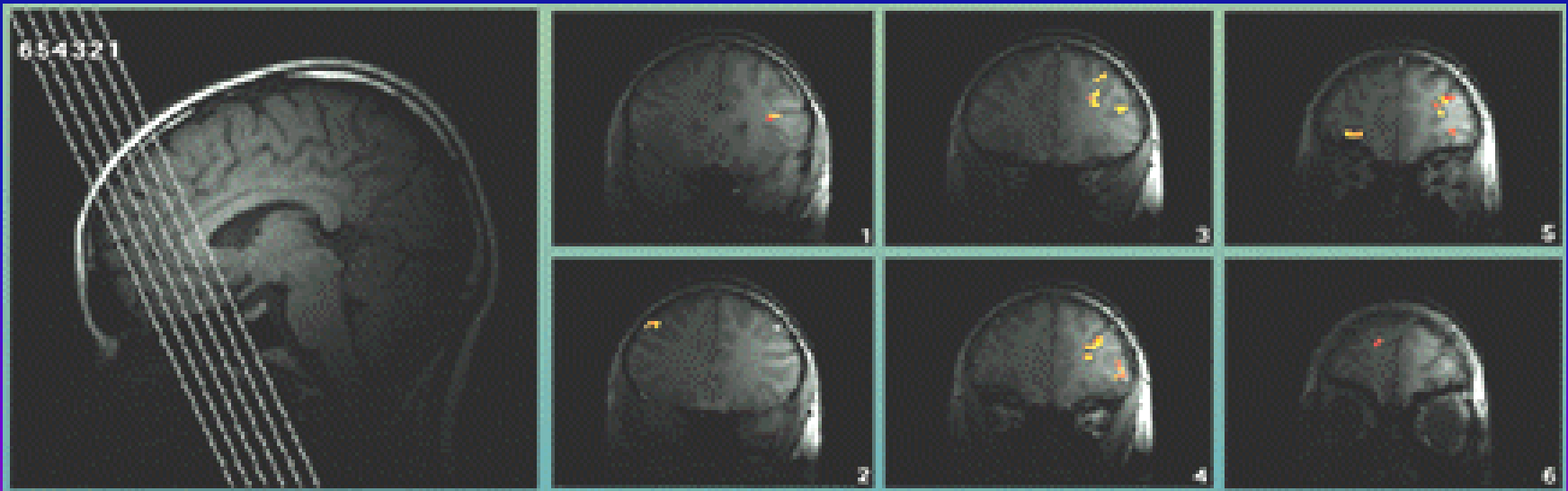
Violent Video Games Trigger Unusual Brain Activity in Aggressive Adolescents

Adolescents with disruptive behavior disorders (DBD) have different brain structure and brain activation patterns than nonaggressive adolescents.

When watching violent video games, aggressive adolescents had less brain activation than the nonaggressive control group.

Normal adolescents previously exposed to greater amounts of violent media also exhibited differences in brain function.

Adolescents with DBD showed abnormal development of the brain's frontal lobes.



Zum Mitnehmen

Aufspaltung der Spektrallinien kann im optischen Bereich (normaler und anomaler) Zeeman-Effekt, im Mikrowellenbereich (ESR) und Radiobereich (NMR) beobachtet werden.

NMR führt zu interessanten Anwendungen als 3D Imaging im Bereich der Medizin