

Physik IV – Atome und Moleküle; Sommer 2012

Prof. Wim de Boer & Dr. Frank Hartmann, KIT

LÖSUNGEN Übung 10

1. Erklären sie NMR inklusive einer SKIZZE des Aufbaus

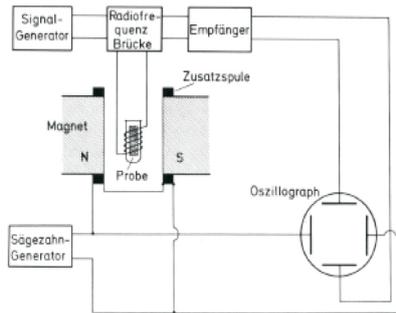


Abb. 20.18. Schema einer einfachen Kernspin-Resonanz-Apparatur. Die Probe befindet sich im Reagenzglas zwischen den Polschuhen eines homogenen Magnetes. Das hochfrequente B_1 -Feld wird über eine Brücke und eine Induktionsspule eingestrahlt. Zum besseren Nachweis der Resonanz kann das B_0 -Feld durch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

NMR nuclear magnetic resonance

B → **Energieaufspaltung** → **Absorption HF**

bei NMR Paschen Back Effekt - Spin-Bahn-Kopplung aufgehoben

NMR: Konzentrationsmessung von Isotopen, z.B in der Medizin Kern-Spin-Tomographie

Nutzt **Kernspin** g_I nicht Elektronenspin aus! (Radiowellen 40MHz)

bei **NMR: RF-Feld (Radiowellen) in Spule UND B statisch** (das ist bei ESR nicht möglich da dort die Frequenz (GHz) und dadurch die kapazitiven Verluste $\sim 1/\omega C$ zu gross)

Resonante Absorption wenn eingestrahlte Frequenz = Lamorfrequenz $\sim 40\text{MHz}$

2. Zwei Elektronen bilden einen Gesamtspin $S=1$ und einen Bahndrehimpuls $L=2$!

- (a) Welche möglichen Werte hat der Gesamtdrehimpuls?

L:

Für den Gesamtdrehimpuls gilt:

$$\vec{J} = \vec{L} + \vec{S} \Rightarrow J = 1, 2, 3 \quad (1)$$

- (b) Welche Winkel bilden S und L für $J=2$?

L: Vektoren bilden ein Dreieck mit den Seitenlängen:

$$|\vec{s}| = \sqrt{s \cdot (s + 1)} = \sqrt{2} \quad (2)$$

$$|\vec{l}| = \sqrt{l \cdot (l + 1)} = \sqrt{6} \quad (3)$$

$$|\vec{j}| = \sqrt{j \cdot (j + 1)} = \sqrt{6} \quad (4)$$

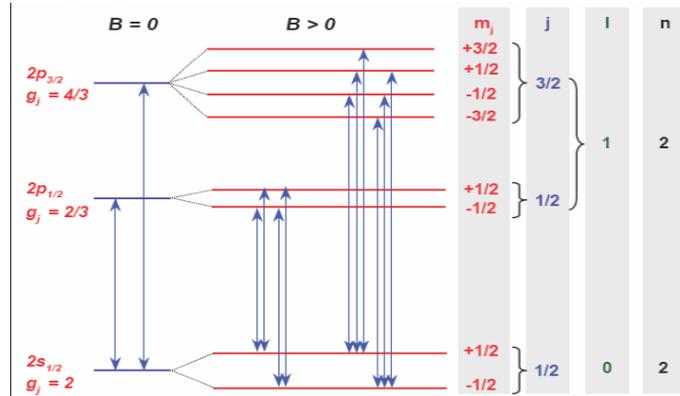
Mit dem Cosinussatz folgt:

$$j^2 = l^2 + s^2 - 2 \cdot |\vec{l}||\vec{s}| \cdot \cos(\alpha) \quad (5)$$

$$180^\circ - \cos \alpha = \frac{j^2 - l^2 - s^2}{2 \cdot |l| |s|} = 0.288 \quad (6)$$

$$\alpha = 180^\circ - 73,2^\circ = 107^\circ \quad (7)$$

(c) Übergänge **nur** die 8 Linien:



(d) Übergänge im Magnetfeld:

Welches Magnetfeld braucht man, um einen Übergang von $2S_{1/2}; m_j = +1/2$ auf $2S_{1/2}; m_j = -1/2$ mit einer 3 cm Mikrowelle zu induzieren?

$$g_j = 1 + \frac{j(j+1) - l(l+1) + s(s+1)}{2j(j+1)}; g_{1/2} = 2 \quad (8)$$

$$\Delta E = h\nu = \Delta m_j \mu_B B g_j \quad (9)$$

$$\Delta m_j = 1$$

$$c = \nu \lambda \rightarrow \nu = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \cdot 10^8}{3 \cdot 0.01s} = 10^{10} \frac{1}{s} \quad (10)$$

$$\Rightarrow B = \frac{h\nu}{2\mu_B} = \frac{10^{10} \cdot 4.1 \cdot 10^{-15} eV}{2 \cdot 5.6 \cdot 10^{-5} eV/T} = 0.3T \quad (11)$$

3. Spektren komplexer Atome

T. Mayer-Kuckuk Kapitel 8.4 Seite 180.

Hier geht es darum, auch in der Vorlesung nicht besprochene Terme anzureisen und zu vervollständigen.

4. Alkaliatome

(a) Die zwischen dem äusseren Elektron (Leuchtelektron) und Kern befindlichen Elektronen schirmen die Kernladung ab (abh. von r, also der Position des Leuchtelektrons auf seiner Bahn.)

→ das effektive Potential ist nicht mehr $\sim \frac{1}{r}$ (verantwortlich für die l -Entartung)

→ l -Entartung aufgehoben.

(b) Vergleich Termschema Alkali- und Wasserstoffatom

siehe Abbildung 4b

(c) Termschema mit Zeemann-Aufspaltungen

siehe Abbildung 4c

Es handelt sich um einen anomalen Zeemann Effekt, daher wird g_j wie in Aufgabe 1 berechnet.

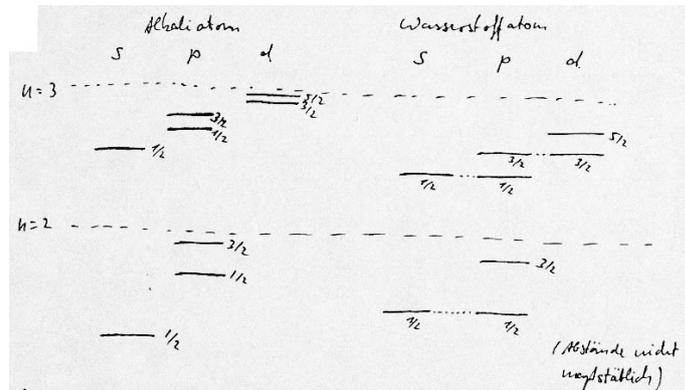


Abbildung 1: Termschema: Alkali- und Wasserstoffatom.

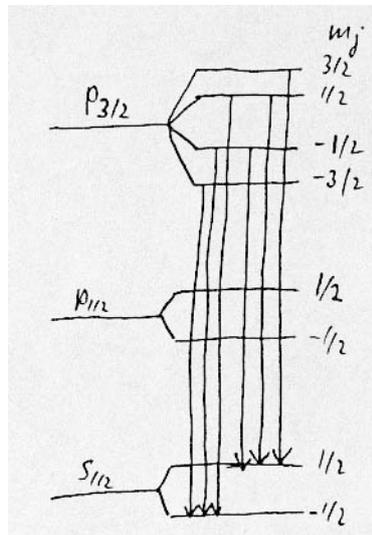


Abbildung 2: Termschema mit Zeemann-Aufspaltungen.

(d) $\Delta E = (E_{p_{1/2}} + \frac{2}{3}m_j\mu_B B) - (E_{s_{1/2}} + 2m'_j\mu_B B) = \Delta E_{p_{1/2} \rightarrow s_{1/2}} + \mu_B B (\frac{3}{2}m_j - 2m'_j) = 16960.88 \frac{1}{cm} + 0.404 \frac{1}{cm} (m_j - 3m'_j)$ mit $\frac{2\mu_B B}{3hc} = 0.404 \frac{1}{cm}$ mit $s_{\frac{1}{2}} : g_j = 2; p_{\frac{1}{2}} : g_j = \frac{2}{3}, p_{\frac{3}{2}} : g_j = \frac{4}{3}$ (siehe auch Aufgabe 1)

m_j	-1/2	-1/2	+1/2	+1/2
m'_j	-1/2	+1/2	-1/2	+1/2
$\Delta E [\frac{1}{cm}]$	+0.404	-0.808	+0.808	-0.404

5. Stark Effekt

- (a) Lichtemission von H-Atomen in einem starken E-Feld eines Kondensators. Stark beobachtete die Aufspaltung der Balmer Serie.
- (b)
 - linear:
zur Feldstärke proportionale Aufspaltung der Terme mit $l \neq 0$. Tritt aus, wenn l-Entartung durch äusseres Feld und nicht schon durch innere atomare Felder aufgehoben wird: nur bei Wasserstoff, oder Wasserstoffähnlichen Atomen, insb. Rydbergatome
 - quadratisch:
zu E^2 proportionale Aufspaltung: $V \sim \alpha E^2$, mit α : Polarisierbarkeit, tritt bei allen anderen Atomen auf (das angelegte E-Feld induziert ein Dipolmoment αE).
- (c) Es werden *sehr hohe* Felder benötigt. (Durchschlaggefahr im Kondensator)
- (d) Elektrisches Feld unterscheidet nicht zwischen m_j und $-m_j$ (Analogie: Wirkung des E-Feldes auf links bzw. rechtsdrehendes Elektron im Zeimittel dasselbe)
 $\Rightarrow j+1$ (bei ganzzahligen j) bzw. $j \Rightarrow +\frac{1}{2}$ (bei halbzahligen j) Aufspaltungen.