

FP

Käsekuchenmuffins

Katharina Brägelmann
Tobias Janßen

katharina.braegelmann@tu-dortmund.de, tobias2.janssen@tu-dortmund.de
Durchführung: 09. November 2018, Abgabe: 10. November 2018

Inhaltsverzeichnis

1 Zielsetzung

Hier könnte Ihre Werbung stehen.

2 Theorie

Ein Atom hat diskrete Energieniveaus, auf denen sich die Hüllenelektronen befinden. Die Verteilung der Elektronen erfolgt bei den äußeren Hüllenelektronen statistisch nach Boltzmann. Die Besetzungszahlen N_1, N_2 zweier Niveaus mit der statistischen Gewichtung g_1, g_2 liegen in folgendem Zusammenhang:

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{g_2 \exp\left(-\frac{W_2}{k_B}\right)}{g_1 \exp\left(-\frac{W_1}{k_B}\right)}.$$

Das Prinzip des optischen Pumpens besetzt die Niveaus entgegen dieser thermischen Verteilung.

Der Landé-Faktor g ist eine Materialeigenschaft, die zur Stoff- und Isotopenbestimmung benutzt werden kann. Das Bohr'sche Magneton ist der Betrag des magnetischen Momentes $\vec{\mu}$ eines Elektrons mit Bahndrehimpuls $L = 1$. Der Landé-Faktor ist ein Verhältnisfaktor für die magnetischen Momente des Spins \vec{S} , des Bahndrehimpulses \vec{L} , des Gesamtdrehimpulses \vec{J} , etc. zum Bohr'schen Magneton μ_B : Das magnetische Moment zu dem Spin \vec{S} sieht wie folgt aus:

$$\vec{\mu}_S = -g_S \mu_B \vec{S} \quad \text{mit} \quad |\vec{\mu}_S| = g_S \mu_B \sqrt{S(S+1)}.$$

Entsprechend ist das magnetische Moment des Bahndrehimpuls \vec{L}

$$\vec{\mu}_L = -\mu_B \vec{L} \quad \text{mit} \quad |\vec{\mu}_L| = \mu_B \sqrt{L(L+1)}.$$

Die Kopplung von Spin und Bahndrehimpuls ergibt den Gesamtdrehimpuls \vec{J} und das zugehörige magnetische Moment $\vec{\mu}_J$:

$$\vec{\mu}_J = \vec{\mu}_S + \vec{\mu}_L = -g_J \mu_B \vec{J} \quad \text{mit} \quad |\vec{\mu}_J| = g_J \mu_B \sqrt{J(J+1)}.$$

Nur das magnetische Moment $|\vec{\mu}_J|$ in Richtung von \vec{J} hat schlussendlich einen Effekt, da \vec{J} eine Präzessionsbewegung vollführt (Abb. ??). Die Winkelbeziehung in $|\vec{\mu}_J|$ lässt sich aus Abbildung ?? erkennen. Damit ergibt sich:

$$\begin{aligned} |\vec{\mu}_J| &= |\mu_S| \cos(\alpha) + |\mu_L| \cos(\beta) \\ \Leftrightarrow g_J \mu_B \sqrt{J(J+1)} &= g_S \mu_B \sqrt{S(S+1)} \cos(\alpha) + \mu_B \sqrt{L(L+1)} \cos(\beta) \end{aligned}$$

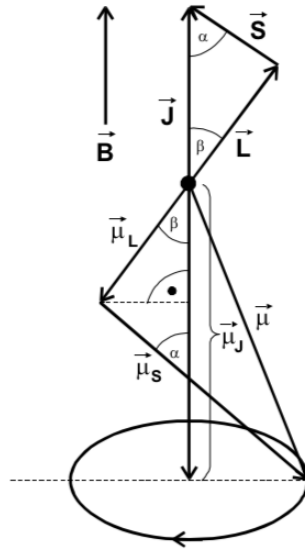


Abbildung 1: Darstellung der verschiedenen magnetischen Momente von Spin, Bahndrehimpuls und Gesamtdrehimpuls [1]

Für die Winkel lässt sich aufstellen:

$$\cos(\alpha) = \frac{|\vec{S}|^2 - |\vec{L}|^2 + |\vec{J}|^2}{2|\vec{L}||\vec{J}|^2}$$

$$\cos(\beta) = \frac{-|\vec{S}|^2 + |\vec{L}|^2 + |\vec{J}|^2}{2|\vec{S}||\vec{J}|^2}.$$

Schlussendlich ergibt sich:

$$g_J = \frac{(g_S + 1)J(J + 1) + (g_S - 1)[S(S + 1) - L(L - 1)]}{2J(J + 1)}. \quad (1)$$

Der Zeemaneffekt beschreibt die Aufspaltung der vorhandenen Energieniveaus durch ein äußeres Magnetfeld. Die magnetischen Momente wechselwirken mit dem äußeren Magnetfeld \vec{B} und es haben nur die Beiträge entlang der \vec{J} -Achse einen Effekt. Durch die Richtungsquantelung ist die Wechselwirkungsenergie E_{mag} ein ganzzahliges Vielfaches M_J von $g_J\mu_B B$:

$$E_{\text{Zeeman}} = -\vec{\mu}_J \vec{B} \Leftarrow E_{\text{Zeeman}} = M_J g_J \mu_B B. \quad (2)$$

Der Kernspin \vec{I} entspricht dem Eigendrehimpuls des Atomkerns und führt zur Aufspaltung der Energieniveaus im Rahmen der Hyperfeinstruktur. Die Hyperfeinstruktur wird durch den Zeemaneffekt weiter aufgespalten (Abb. ??). Der Gesamtdrehimpuls \vec{J} des Elektrons

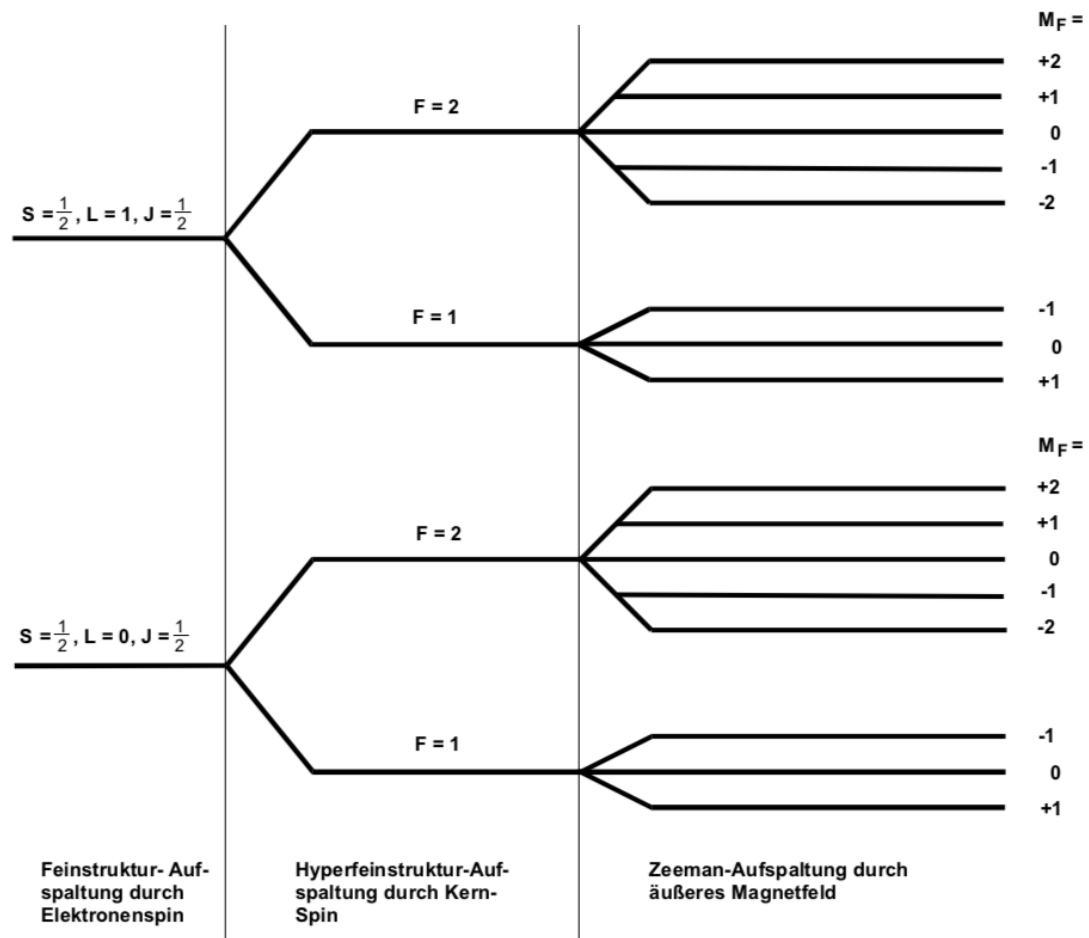


Abbildung 2: Darstellung der Aufspaltung der Energieniveaus durch die Hyperfeinstruktur und den Zeemaneffekt [1]

und der Kernspin \vec{I} koppeln zu dem Gesamtdrehimpuls \vec{F} des Atoms:

$$\vec{F} = \vec{J} + \vec{I} \quad \text{mit} \quad |\vec{\mu}_F| = g_F \mu_B \sqrt{F(F+1)}.$$

Der Kernspin beeinflusst auch den Landé-Faktor g_F , der sich nun wie folgt berechnet:

$$\mu_F = g_F \mu_B \frac{F(F+1) + J(J+1) - I(I+1)}{2\sqrt{F(F+1)}} \quad (3)$$

Optisches Pumpen + Aufbau

- zunächst sind alle Anregungen möglich, da die Elektronen noch auf allen Niveaus vorhanden sind
- das Licht wird also vollständig absorbiert

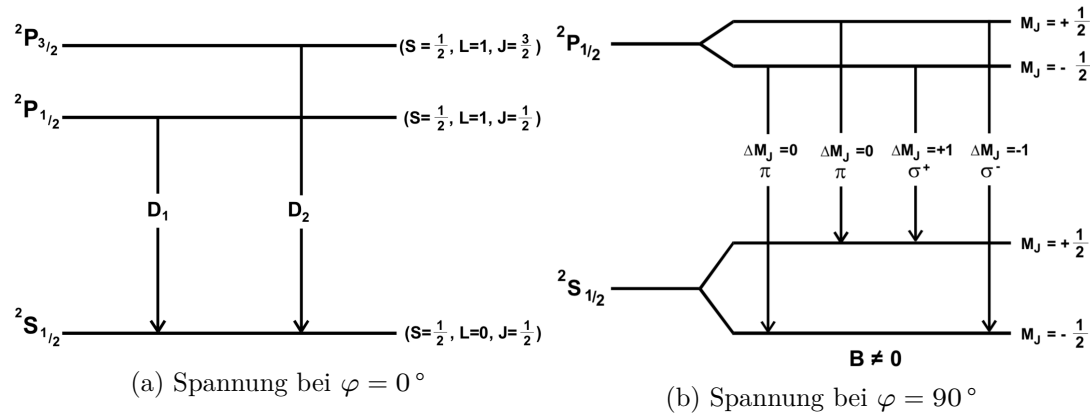


Abbildung 3: Spannungsverläufe an dem Mischer

- mit der Zeit werden die Elektronen in einem Energieniveau gesammelt
- es sind keine Absorptionen möglich
- das Gas wird zunehmend transparent

Emission

- spontane Emission: Elektron fällt von alleine zurück (statistisch)
- Wahrscheinlich bei hohen Frequenzen des RF-Felds
- induzierte Emission: Elektron fällt zurück entlang der Energie der eingestrahlten Photonen (RF-Quanten)
- Wahrscheinlich bei niedrigen Frequenzen des RF-Felds
- induzierte Emission bei 'Resonanzstelle' (passendes RF-Feld mit der richtigen Energie für induzierte Emission)

$$h\nu = g_J \mu_B \Delta M_J B_m \Leftrightarrow B_m = \frac{4\pi m_0 \nu}{e_0 g_J} \quad (4)$$

Optisches Pumpen + Kernspin

- Energie der Spektrallinie überdeckt alle Hyperfeinstrukturen und Zeemaneffekt
- σ^+ -Licht lässt nur $\Delta M_F = +1$ zu, also sammeln sich die Elektronen bei $^2S_{1/2}, F = 2, M_F = +2$

Quadratischer Zeemaneffekt/Breit-Rabi-Formel

- große B-Felder
- Wechselwirkung Spin-Bahn-Kopplung
- Wechselwirkung magnetische Momente

$$U_{\text{HF}} = g_F \mu_B B + g_F^2 \mu_B^2 B^2 \frac{(1 - 2M_F)}{\Delta E_{\text{HF}}} \quad (5)$$

3 Aufbau und Durchführung

3.1 Aufbau der Messapparatur

- Spektrallampe
- Sammellinse/Kollimator
- D_1 -Interferenzfilter
- Polarisationsfilter + $\lambda/4$ -Platte
- Dampfzelle
- Heizer
- Helmholtzspulenpaare
- Vertikalfeld
- Horizontalfeld
- Sweepfeld
- RF-Feld mit Frequenzgenerator (Sinusspannung)
- Kollimator
- Photodiode
- Verstärker
- Oszilloskop

3.2 Vorbereitung

- Intensitätsmaximum der optischen Elemente auf die Photodiode bringen
- Ausrichten des Tisches mit der Messapparatur
- Vertikalfeld erhöhen bis der Peak auf dem Oszilloskop möglichst schmal ist

3.3 Messung der Resonanzstellen

- RF-Frequenz setzen ($\nu = 100 - 1000 \text{ kHz}$)
- B-Feld der Sweep-Spule erhöhen, um Resonanzstelle des B-Felds zu finden
- B-Feld proportional zu den Umdrehungen des verwendeten Potentiometers, Strom durch Potentiometerumdrehungen ablesen
- Horizontalfeld ebenfalls erhöhen um Resonanzstellen ins Bild des Oszilloskop zu bringen
- Frequenz, Umdrehung Sweep-Spule für beide Isotope, Umdrehung Horizontalfeldspule für beide Isotope notieren

4 Auswertung

Hier könnte ihre Werbung stehen.

5 Diskussion

Hier könnte Ihre Werbung stehen.