Laserspektroskopie

Fortgeschrittenenpraktikumsbericht

vorgelegt von
Hermann Böttcher & Yannik ???

an der

Universität Konstanz

Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Sektion
Fachbereich Physik

Tutor: Timo Raab

Konstanz, 2016

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis

Tabellenverzeichnis

KAPITEL 1

Physikalische Grundlagen

1.1 Zeeman Effekt

Der ZEEMAN Effekt beschreibt die beobachtete Energieaufspaltung der entarteten $E_{n,l,m}$-Zustände der Elektronen in der Atomschale in m Subniveaus in einem externen Magnetfeld $\vec{B}$, wobei n, l, m die bekannten Quantenzahlen sind. Nach dem semiklassischen Modell bewegen sich die Elektronen auf einer Kreisbahn um den Atomkern. Hierdurch wird ein Kreisstrom und damit ein magnetisches Moment

$$\vec{p}_m = -\frac{e}{2m_e} \cdot \vec{l},$$

mit dem Bahndrehimpuls des Elektrons $\vec{l}$, der Elementarladung e und der Elektronenmasse m_e, erzeugt, welches mit dem Feld $\vec{B}$ wechselwirkt. Die magnetische Quantenzahl m kann die Werte

$$-l \leq m \leq +l$$

annehmen. Damit spalten die Energieniveaus $E_{n,l,m}$ gemäß

$$E_{n,l,m} = E_{\text{Coul}}(n, l) + \underbrace{\frac{e\hbar}{2m_e}}_{=\mu_{\text{Bohr}}} \cdot mB \tag{1.1}$$

in $(2l + 1)$ Komponenten auf. μ_{Bohr} wird als BOHR'sches Magneton bezeichnet. Die ZEEMAN-*Aufspaltung* der Spektrallinien ist unabhängig von n, l und damit äquidistant

$$\Delta E = \mu_{\text{Bohr}} \cdot B. \tag{1.2}$$

Ausführlich inklusive der Erklärung der erlaubten Übergänge wird der ZEEMAN Effekt in [1] beschrieben, obige Beschreibung enthält Auszüge.

1.2 Spin-Bahn-Kopplung und Feinstruktur

Zusätzlich zu dem aus der Bahnbewegung des Elektrons resultierenden magnetischen Moment ergibt sich aus dem quantenmechanischen Modell das magnetische Moment

$$\vec{\mu}_s = -2\mu_{\text{Bohr}} \frac{\vec{s}}{\hbar},$$

welchem der Spindrehimpuls $\vec{s}$ zugrunde liegt.

Das magnetische Moment $\vec{\mu}_s$ des rotierenden Elektrons befindet sich nun im durch die Rotation erzeugten Magnetfeld $\vec{B}$. Je nach Spineinstellung führt dies zur einer Erhöhung bzw. einer Verringerung der Energie

$$\Delta E_{l,s} = -\vec{\mu}_s \cdot \vec{B} \approx \frac{\mu_0 Z \cdot e^2}{8\pi m_e^4 r^3} \left(\vec{s} \cdot \vec{l}\right). \tag{1.3}$$

Hierbei ist μ_0 die magnetische Suszeptibilität und Z die Ordnungszahl des Atoms.

Die vektorielle Addition von Bahndrehimpuls und Spindrehimpuls ergibt den Gesamtdrehimpuls

$$\vec{j} = \vec{l} + \vec{s}.$$

Wie Bahndrehimpuls und Spindrehimpuls ist der Gesamtdrehimpuls gequantelt. Es gilt

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

wobei

$$j = +\frac{1}{2} \quad \text{für} \quad l = 0$$

und

$$j = l \pm \frac{1}{2} \quad \text{für} \quad l > 0,$$

da sich die z-Komponenten der Drehimpulse entweder parallel oder antiparallel einstellen können.

Nun lässt sich (1.3) umschreiben zu

$$\Delta E_{l,j} = \frac{a}{2} \cdot [j(j+1) - l(l+1) - s(s+1)] \tag{1.4}$$

mit der Spin-Bahn-Kopplungskonstante

$$a = \frac{\mu_0 Z e^2 \hbar^2}{8\pi m_e^2 r^3}.$$

Die Aufspaltung der Spektrallinien gemäß

$$E_{n,l,j} = E_n + \Delta E_{l,j} \tag{1.5}$$

ist die sogenannte *Feinstrukturaufspaltung*.

Die vorangegangenen Ausführungen sind eine Kurzfassung von [2].

1.3 Hyperfeinstruktur

Analog zum Spin des Elektrons wird auch dem räumlich ausgedehnten Atomkern ein Spin zugeordnet, der sogenannte Kernspin $\vec{I}$. Mit der Kernspinquantenzahl I wird die Quantelung des Kernspins gemäß

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

Dabei kann die Projektion auf die z-Richtung die $(2I+1)$ Werte

$$I_z = m_I \cdot \hbar \quad \text{mit} \quad -I \leq m_I \leq +I$$

annehmen. Das magnetische Kernmoment ergibt sich damit zu

$$\vec{\mu}_I = \gamma_K \cdot \vec{I}.$$

Das magnetische Kernmoment befindet sich im vom Elektron durch Bahnbewegung und Spinmoment erzeugten Magnetfeld B_j und hat hierdurch die Energie

$$E_{I,j} = -|\mu_I| \cdot B_j \cdot \cos\left(\sphericalangle\left(\vec{j}, \vec{I}\right)\right).$$

Mit dem Gesamtdrehimpuls des Atoms

$$\vec{F} = \vec{j} + \vec{I}$$

spaltet sich damit jedes Energieniveau der Feinstruktur in der *Hyperfeinstruktur* gemäß

$$E_{HFS} = En, l, j + \frac{A}{2} \left[F(F+1) - j(j+1) - I(I+1) \right], \tag{1.6}$$

mit der Hyperfeinkonstante

$$A = \frac{g_I \cdot \mu_K \cdot B_j}{\sqrt{j(j+1)}}.$$

Die vollständige Herleitung ist in [3] zu finden.

1.4 Caesium Übergänge

Im Versuch wird eine Gaskammer mit Cs_{133} verwendet.

Literatur

[1] Wolfgang Demtröder. „Experimentalphysik 3: Atome, Moleküle und Festkörper“. In: Hrsg. von Wolfgang Demtröder. Springer Spektrum, 2015. Kap. 5, 149ff.

[2] Wolfgang Demtröder. „Experimentalphysik 3: Atome, Moleküle und Festkörper“. In: Hrsg. von Wolfgang Demtröder. Springer Spektrum, 2015. Kap. 5, 158f.

[3] Wolfgang Demtröder. „Experimentalphysik 3: Atome, Moleküle und Festkörper“. In: Hrsg. von Wolfgang Demtröder. Springer Spektrum, 2015. Kap. 5, 163f.