

# Praktikum Atome, Moleküle, kondensierte Materie

## Versuch 401: Elektronische Übergänge in Atomen

Carlos Pascua\*<sup>1</sup> and Michael Vogt†<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Uni Bonn

4. November 2024

### Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Zeeman-Effekt</b>	<b>1</b>
1.1	Beobachtung des Zeeman-Effekts . . . . .	1
1.1.1	transversale Konfiguration . . . . .	1
1.1.2	longitudinale Konfiguration . . . . .	2
1.2	Messung des Zeeman-Effekts . . . . .	2
1.2.1	Magnetfeldkalibrierung . . . . .	2
1.2.2	Messungen mit CCD-Kamera . . . . .	3
<b>2</b>	<b>Fazit</b>	<b>4</b>

---

\*s87cpasc@uni-bonn.de

†s65mvogt@uni-bonn.de

## Einleitung

In diesem Versuch wird die Energieaufspaltung von Energie-Niveaus in Cadmium durch den Zeeman-Effekt untersucht. Daraus wird das Bohrsche Magneton bestimmt sowie Eigenschaften des verwendeten Fabry-Perot-Etalons errechnet.

Anschließend wird das Franck-Hertz-Experiment durchgeführt, um die Energiedifferenz zwischen dem 6S- und 6P-Zustand von Quecksilber zu bestimmen.

## 1 Zeeman-Effekt

Im ersten Versuchsteil wird anhand einer Cadmiumlampe in einem Magnetfeld der Zeeman-Effekt auf die Zustände  $^1D_2$  und  $^1P_1$  untersucht. Der verwendete Aufbau ist in Abb. 1 zu sehen.

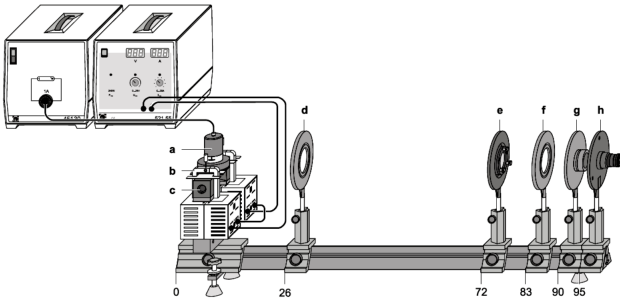


Abbildung 1: Versuchsaufbau Zeeman-Effekt [2]

Folgende wichtige Bestandteile sind zu sehen [1]:

- Cadmium-Lampe
- Klammern
- Polschuhe
- Kondensorlinse
- Polarisationsfilter
- Fabry-Perot-Etalon
- Abbildungslinse
- Interferenzfilter ( $\lambda = 643.8 \text{ nm}$ )
- Okular mit Strichskala

Außerdem werden Stromquellen (oben links im Bild; links normal, rechts Hochstrom) zur Versorgung der Cadmiumlampe und der Elektromagneten eingesetzt.

Das Fabry-Perot-Etalon in Kombination mit den Linsen erzeugt ein Interferenzmuster mit Ringen, deren Position von der Wellenlänge des Lichts abhängt.

Der Interferenzfilter wird eingesetzt, um ausschließlich das Licht vom Übergang  $^1D_2 \rightarrow ^1P_1$  betrachten zu können.

Zur Justage des Aufbaus wird am Okular die Strichskala scharfgestellt und die Abbildungslinse verschoben, bis das Interferenzmuster der Lampe durch das Etalon scharf zu sehen ist. Das Etalon wird so gedreht, dass das Zentrum des Musters am Nullpunkt der Strichskala ist und die Kondensorlinse verschoben, um eine gleichmäßige Ausleuchtung zu erhalten.

### 1.1 Beobachtung des Zeeman-Effekts

#### 1.1.1 transversale Konfiguration

Zunächst wird in transversaler Konfiguration ohne eingesetzten Polarisationsfilter beobachtet, d.h. die optische Achse steht senkrecht zum Magnetfeld, wie in Abb. 1 gezeigt. Nach Abb. 2 sollte hier sowohl Strahlung vom  $\Delta M_J = 0$ -Übergang ( $\pi$ -Übergang), als auch den  $\Delta M_J = \pm 1$ -Übergängen ( $\sigma^\pm$ -Übergänge), zu sehen sein. Hierbei ist die Strahlung der beiden verschiedenen  $\sigma$ -Übergänge gleich polarisiert; die Polarisation vom  $\pi$ -Übergang steht senkrecht dazu.

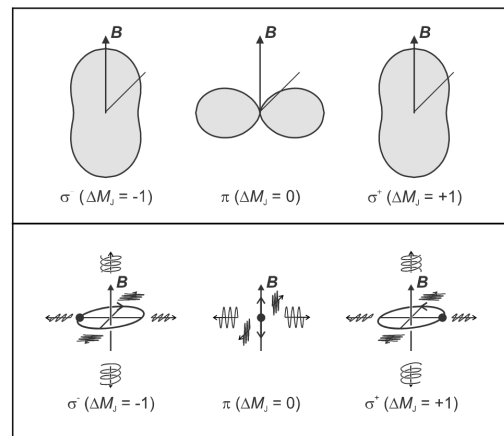


Abbildung 2: Polarisationsverteilung und Abstrahlungscharakteristik elektrischer Dipolübergänge [1] [2].

Das am Okular entstehende Bild ist in Abb. 3 gezeigt.

Abbildung 3: Interferenzmuster bei transversaler Beobachtung ohne Magnetfeld, ohne Polarisationsfilter.

Es sind die verschiedenen Interferenzringe zu erkennen, die hier alle von der gleichen Wellenlänge stammen.

Nun wird das Magnetfeld eingeschaltet und erhöht, bis man eine Aufspaltung der Ringe sieht, siehe Abb. 4

Abbildung 4: Interferenzmuster bei transversaler Beobachtung mit Magnetfeld, ohne Polarisationsfilter.

Durch den Zeeman-Effekt gibt es eine Energieaufspaltung  $\Delta E \propto B_z M_J$  der Niveaus. Dadurch sind die  $\pi$ -Übergänge unbeeinflusst, während die  $\sigma^+$ - bzw.  $\sigma^-$ -Übergänge eine etwas geringere bzw. höhere Wellenlänge produzieren. Was zuvor ein Ring war, spaltet sich daher in drei Ringe auf.

Die verschiedenen Komponenten können durch Einsatz des Polarisationsfilters herausgefiltert werden (Abb. 5, 6).

Abbildung 5: Interferenzmuster bei transversaler Beobachtung mit Magnetfeld, mit Polarisationsfilter auf  $90^\circ$ .

Abbildung 6: Interferenzmuster bei transversaler Beobachtung mit Magnetfeld, mit Polarisationsfilter auf  $0^\circ$ .

Wenn der Filter auf  $90^\circ$  steht, sind wieder nur einzelne Ringe zu sehen, die dem  $\pi$ -Übergang entsprechen, welche Licht mit Polarisation parallel zum Magnetfeld produziert. Steht der Filter auf  $0^\circ$ , gibt es jeweils zwei Ringe, die  $\sigma^+$  bzw.  $\sigma^-$  entsprechen.

**(Auflösungsvermögen)**

### 1.1.2 longitudinale Konfiguration

Die Magneten mitsamt der Cadmiumlampe werden um  $90^\circ$  gedreht, um die Beobachtungen in longitudinaler Konfiguration (Magnetfeld parallel zur optischen Achse bzw. der Beobachtungsrichtung) zu wiederholen.

Ohne Magnetfeld ergibt sich das Muster in Abb. 7, was mit der entsprechenden Beobachtung bei transversaler Konfiguration übereinstimmt.

Abbildung 7: Interferenzmuster bei longitudinaler Beobachtung ohne Magnetfeld, ohne Polarisationsfilter.

Wird das Magnetfeld angeschaltet (Abb. 8), ist eine Aufspaltung in jeweils zwei Ringe zu beobachten. Diese entsprechen den beiden  $\sigma$ -Übergängen, während

der  $\pi$ -Übergang aufgrund seiner Abstrahlungscharakteristik in longitudinaler Konfiguration nicht zu sehen ist.

Abbildung 8: Interferenzmuster bei longitudinaler Beobachtung mit Magnetfeld, ohne Polarisationsfilter.

Als nächstes wird zusätzlich eine  $\lambda/4$ -Platte in  $0^\circ$ -Stellung in den Strahlengang vor dem Polarisationsfilter eingesetzt. Diese dient dazu, das rechts- bzw. links-polarisierte Licht der  $\sigma$ -Übergänge (siehe Abb. 2) zu verschiedenen linearen Polarisationsrichtungen umzuwandeln, welche dann mit dem Polarisationsfilter ausgewählt werden können.

Mit dem Polarisationsfilter auf  $-45^\circ$  ist nur noch jeweils ein Ring stark zu sehen (Abb. 9)

Abbildung 9: Interferenzmuster bei longitudinaler Beobachtung mit Magnetfeld, mit Polarisationsfilter.

Mit dem Polarisationsfilter in  $45^\circ$ -Stellung ist nur der jeweils andere Ring stark zu sehen (Abb. 10).

Abbildung 10: Interferenzmuster bei longitudinaler Beobachtung mit Magnetfeld, mit Polarisationsfilter.

## 1.2 Messung des Zeeman-Effekts

Es soll nun quantitativ die Stärke der Aufspaltung in Abhängigkeit des anliegenden Magnetfelds gemessen werden. Hierzu wird die transversale Konfiguration verwendet.

### 1.2.1 Magnetfeldkalibrierung

Es wird die Abhängigkeit der Magnetfeldstärke vom fließenden Strom durchgemessen, um daraus eine Kalibrierungskurve zu erstellen. Hierzu wird anstatt der Cadmiumlampe eine Hall-Sonde genau mittig zwischen den Polschuhen eingeführt. In Reihe zu den Magneten wird ein „Cassy-Modul“ eingeschaltet, wodurch am Computer mithilfe einer speziellen Software die Abhängigkeit automatisch aufgezeichnet werden kann. Die Messung wird gestartet und der Strom allmählich bis zum maximal erreichbaren Wert hochgefahren. Dann wird die Messung gestoppt und der Strom wieder ausgeschaltet.

Eine solche Kalibrierung wurde zweimal durchgeführt, einmal vor und einmal nach den Messungen aus 1.2.2. In Abb. 12 sind die Messdaten zusammen

mit einem  $\chi^2$ -Fit der Form

$$B(I) = a + bI + cI^2 + dI^3$$

dargestellt. Als Fehlerwerte auf  $I$  und  $B$  wurden dabei 2% des jeweiligen Werts angesetzt, wobei Fehlerwerte von 0.002 A und 0.2 mT nicht unterschritten werden dürfen.

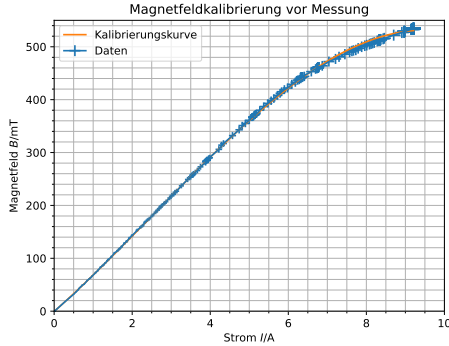


Abbildung 11: Magnetfeldkalibrierung vor der Messung mit CCD-Kamera

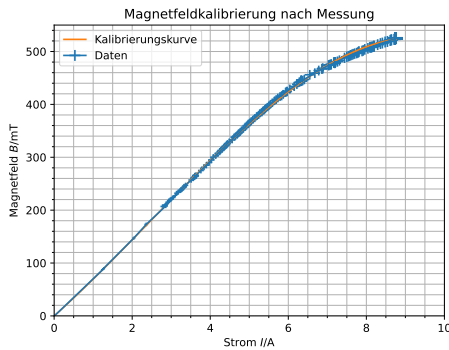


Abbildung 12: Magnetfeldkalibrierung nach der Messung mit CCD-Kamera

$$\begin{aligned} a_1 &= (-0.548 \pm 0.025) \text{ mT}, \quad b_1 = (65.44 \pm 0.16) \text{ mT A}^{-1}, \\ c_1 &= (3.960 \pm 0.065) \text{ mT A}^{-2}, \quad d_1 = (-0.5213 \pm 0.0059) \text{ mT A}^{-3} \\ a_1 &= (-0.104 \pm 0.027) \text{ mT}, \quad b_1 = (66.20 \pm 0.53) \text{ mT A}^{-1}, \\ c_1 &= (3.970 \pm 0.186) \text{ mT A}^{-2}, \quad d_1 = (-0.5361 \pm 0.0152) \text{ mT A}^{-3} \end{aligned}$$

Diese Werte sind in relativ guter Übereinstimmung miteinander; alle Parameter haben Überschneidungen in ihren Fehlerbereichen. Leichte Abweichungen, z.B. beim Parameter  $a$  lassen sich unter anderem dadurch erklären, dass die zweite Messung durchgeführt wurde, als die Magnetspulen noch heiß vom vorigen Betrieb waren. Dies kann die Ergebnisse verändern.

Um eine einzelne Kalibrationskurve zu haben, verwenden wir im Folgenden die Mittelwerte der Parameter:

$$\begin{aligned} i &= \frac{i_1 + i_2}{2}, \quad i = a, b, c, d \\ a &= (-0.326 \pm 0.019) \text{ mT}, \quad b = (65.82 \pm 0.28) \text{ mT A}^{-1}, \\ c &= (3.960 \pm 0.099) \text{ mT A}^{-2}, \quad d = (-0.5288 \pm 0.0082) \text{ mT A}^{-3} \end{aligned}$$

Der Fehler wird dabei mithilfe von Gauß'scher Fehlerfortpflanzung bestimmt.

### 1.2.2 Messungen mit CCD-Kamera

## 2 Fazit

## Literatur

- [1] *Physikalisches Praktikum Teil IV – Versuchsbeschreibungen*, Universität Bonn, Abruf 29.10.2024
- [2] *Beobachtung des normalen Zeeman-Effekts in transversaler und longitudinaler Konfiguration*, Leybold Didactic, Abruf 30.10.2024