

V 27

Zeeman Effekt

Donata Osthues

donata.osthues@tu-dortmund.de

Jonas Rönsch

jonas.roensch@tu-dortmund.de

Durchführung: 20.07.2020

Abgabe: 16.09.2020

TU Dortmund – Fakultät Physik

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|-----------|
| 1 Motivation | 3 |
| 2 Theorie | 3 |
| 3 Versuchsaufbau | 5 |
| 3.1 Die Lummer-Gehrke-Platte | 6 |
| 4 Versuchsdurchführung | 7 |
| 5 Auswertung | 8 |
| 5.1 Vorbereitung | 8 |
| 5.2 Bestimmung des Magnetfeldes | 10 |
| 5.3 Aufspaltung der roten Spektrallinie | 12 |
| 5.4 Aufspaltung der blauen Spektrallinie | 13 |
| 5.5 Bestimmung des Landéfaktors | 18 |
| 6 Diskussion | 18 |
| 6.1 Aufspaltung der roten Spektrallinie | 19 |
| 6.2 Aufspaltung der blauen Spektrallinie | 19 |
| Literatur | 19 |

1 Motivation

Ziel dieses Versuches ist die Untersuchung des Zeeman-Effektes. Er beschreibt die Aufspaltung und Polarisation von Energieniveaus in Form von Spektrallinien unter dem Einfluss eines Magnetfeldes. In diesem Versuch wird die Aufspaltung für rote und blaue Linien von Cadmium Atomen gemessen.

2 Theorie

Neben dem Eigendrehimpuls des Atomkerns (Kernspin), der in dieser Betrachtung jedoch vernachlässigt wird, müssen der Gesamtbahndrehimpuls \vec{L} und der Gesamtspin \vec{S} der Hüllelektronen betrachtet werden. Beide setzen sich additiv aus den Einzelspins \vec{s} und -bahndrehimpulsen \vec{l} der Hüllelektronen zusammen. Für ihre Beträge gilt der Zusammenhang:

$$|\vec{L}| = \sqrt{L(L+1)}\hbar, \quad (1)$$

$$|\vec{S}| = \sqrt{S(S+1)}\hbar. \quad (2)$$

Die Beträge dieser Einzeldrehimpulse ergeben sich über die zugehörigen Bahndrehimpulsquantenzahlen l und Spinquantenzahlen s :

$$|\vec{l}| = \sqrt{l(l+1)}\hbar, \quad (3)$$

$$|\vec{s}| = \sqrt{s(s+1)}\hbar. \quad (4)$$

Die Bahndrehimpulsquantenzahl ist abhängig von der Hauptquantenzahl n , also der Zahl des Hauptenergieniveaus eines Elektrons. l kann die Werte 0 bis $n-1$ annehmen. Darüber lassen sich auch die zu den Drehimpulsen gehörigen magnetischen Momente definieren:

$$\vec{\mu}_l = -\frac{\mu_B}{\hbar} \vec{l} = -\mu_B \sqrt{l(l+1)} \vec{l}_e, \quad (5)$$

$$\vec{\mu}_s = -g_s \frac{\mu_B}{\hbar} \vec{s} = -g_s \mu_B \sqrt{s(s+1)} \vec{s}_e. \quad (6)$$

In Gleichung 18 entspricht μ_B dem magnetischen Moment eines Elektrons. Dieses magnetische Moment wird auch Bohrsches Magneton genannt:

$$\mu_B = -\frac{1}{2} e_0 \frac{\hbar}{m_0}. \quad (7)$$

In der Gleichung zum Bohrschen Magneton 7 entspricht e_0 der Elementarladung, m_0 der Masse des Elektrons und g_s dem Landé-Faktor des Elektrons, welcher unter

Berücksichtigung relativistischer Korrekturen ungefähr den Wert 2 annimmt. Der Gesamtdrehimpuls \vec{J} der Elektronenhülle ergibt sich durch die Kopplung des Gesamtspins und des Gesamtdrehimpulses:

$$\vec{J} = \vec{L} + \vec{S}. \quad (8)$$

Der Betrag des Gesamtdrehimpulses ergibt sich dann äquivalent zu:

$$|\vec{J}| = \sqrt{J(J+1)\hbar} \quad (9)$$

und sein magnetisches Moment wird aus der Superposition der magnetischen Momente des Bahndrehimpulses und des Spins zusammengesetzt:

$$\vec{\mu}_J = \vec{\mu}_L + \vec{\mu}_S. \quad (10)$$

Der Betrag dieses Momentes ist zu einem Landé-Faktor g_J proportional:

$$|\vec{\mu}_J| = g_J \mu_B \sqrt{J(J+1)}. \quad (11)$$

Um den Landé-Faktor g_J zu berechnen wird folgender Zusammenhang verwendet:

$$g_J = \frac{3J(J+1) + S(S+1) - L(L+1)}{2J(J+1)}. \quad (12)$$

Das Prinzip der Richtungsquantelung besagt, dass ein äußerlich angelegtes Magnetfeld dazu führt, dass die z -Komponente des magnetischen Momentes des Gesamtdrehimpulses ein ganzzahliges Vielfaches vom Produkt zwischen Bohrschem Magneton und Landé-Faktor sein muss:

$$\mu_{J_z} = -m g_J \mu_B. \quad (13)$$

Die Variable m aus Gleichung 13 wird Orientierungsquantenzahl genannt und kann die Werte $m = -J, -J+1, \dots, J-1, J$ annehmen. Für die Energie E eines magnetischen Momentes in einem äußeren Magnetfeld gilt:

$$E = -\vec{\mu}_J \cdot \vec{B} = m g_J \mu_B B. \quad (14)$$

Das bedeutet, dass die Energie $2J+1$ verschiedene, zueinander äquidistante Werte annehmen kann. Hierbei wird dann von der Aufspaltung der Energieniveaus gesprochen. Diese führt zu einer Aufspaltung der Spektrallinien. Dieser Effekt wird Zeeman-Effekt genannt. Es wird zwischen dem normalen und dem anormalen Zeeman-Effekt unterschieden. Beim normalen Zeeman-Effekt verschwindet der Gesamtspin der Elektronenhülle. Dadurch hat der Landé-Faktor des Gesamtdrehimpulses den Wert 1 und die Verschiebung der Energieniveaus ergibt sich zu:

$$\delta E = m \mu_B B. \quad (15)$$

Die Aufspaltung einer Spektrallinie ergibt sich in drei Unterlinien, die nach der Art der Polarisation charakterisiert werden. Die σ -Linien werden mit zirkularer Polarisation und die π -Linie mit linearer Polarisation verknüpft. Lineare Polarisation entspricht einer Polarisation parallel zum Magnetfeld, sodass die π -Linie bei $\delta m = 0$ auftritt. Die σ_- -Linie tritt bei $\delta m = -1$ und die σ_+ -Linie entsprechend bei $\delta m = +1$. Beim anormalen Zeeman-Effekt spielt der Spin mit in die Energieaufspaltung hinein, was zu einer viel feineren Spektrallinienaufspaltung führt. Die Verschiebung der Energieniveaus ergibt sich für den anormalen Zeeman-Effekt daher zu:

$$\delta E = (m_j - m_i)g_j\mu_B B + E_0 \quad (16)$$

In Gleichung (16) stellen m_j und m_i zwei benachbarte Orientierungsquantenzahlen dar, die je zwei benachbarte Energieniveaus charakterisieren, zwischen denen ein Übergang stattfinden kann. Dieses Kapitel wurde mit Hilfe der Quellen [1] und [2] erstellt.

3 Versuchsaufbau

Dieser Versuch wird mit einer Apparatur, wie sie in Abbildung 1 dargestellt ist, durchgeführt. Dabei befindet sich eine Spektrallampe mit dem Material Cadmium (Cd) zwischen den Polen eines Elektromagneten, welcher ein Magnetfeld erzeugen kann, dessen Feldlinien transversal zu den elektromagnetischen Strahlen der Cd-Lampe verlaufen. Ihr emittiertes Licht wird daraufhin durch ein Objektiv und eine Kondensorlinse auf einen Spalt gerichtet. Eine zweite Linse projiziert den Strahl danach auf ein Geradsichtprisma, welches die Eigenschaft hat, Licht nach seiner Wellenlänge separieren zu können. Jetzt kann es durch einen Polarisationsfilter nach seiner Polarisation und durch einen Spalt nach seiner Wellenlänge ausgewählt werden, sodass es schließlich auf eine Lummer-Gehrke-Platte 3.1 abgebildet wird. Um eine vollständige Abbildung auf das Eintrittsfenster der Platte und auf den davor verbauten Spalt zu ermöglichen, befinden sich zwischen Filter und Spalt, sowie zwischen Spalt und Lummer-Gehrke-Platte zwei weitere Linsen. Die Strahlen, die das Gehäuse um die Platte verlassen, können schließlich mit einer Digitalkamera photographisch festgehalten werden.

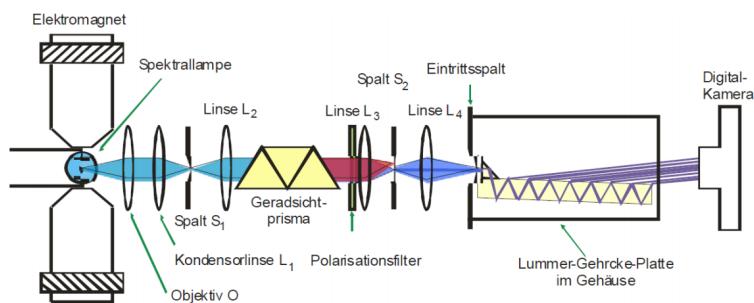


Abbildung 1: Diese Abbildung zeigt den schematischen Aufbau dieses Versuches [3].

3.1 Die Lummer-Gehrke-Platte

Eine Lummer-Gehrke-Platte besteht aus zwei planparallelen Platten, welche im Abstand d voneinander befestigt sind. Am Eintrittsfenster in den durch die Platten begrenzten Raum befindet sich ein Prisma. Parallel einfällendes Licht wird durch das Prisma im Winkel β auf eine der Platten gelenkt und an ihr reflektiert, sodass es im gleichen Winkel auf die andere Platte treffen kann. Auf diese Weise durchläuft ein Lichtstrahl die Lummer-Gehrke-Platte, wobei immer auch ein Teil des Lichts an den Reflektionspunkten im Winkel α transmittiert wird 2.

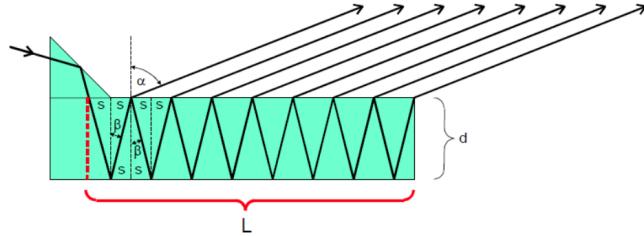


Abbildung 2: In dieser Abbildung ist die Reflektion und Transmission eines Lichtstrahles in einer Lummer-Gehrke-Platte dargestellt.

Zwischen den Transmissionsstrahlen herrscht genau dann konstruktive Interferenz, wenn die Bedingung

$$2nd \cos(\beta) = m\lambda \quad (17)$$

gilt. λ ist in dieser Gleichung die Wellenlänge des einfallenden Lichtstrahles und n der Brechungsindex der Platte, welcher durch

$$n = \frac{\sin(\alpha)}{\sin \beta} \quad (18)$$

gegeben ist. Einen weiteren Einfluss hat die Ordnungszahl der Interferenz, welche in Gleichung 17 durch m gegeben ist.

Für den Fall eines monochromatisch einfallenden Lichtstrahls ist der Gangunterschied der Interferenz von der Breite der Wellenlänge des Lichtes. Das führt dazu, dass sich die Änderung der Wellenlänge an der Änderung des Abstandes der Interferenzstreifen ablesen lässt. Eine solche Änderung kann bspw. durch ein eingeschaltetes Magnetfeld am Elektromagneten 1 erzeugt werden.

Das Dispersionsgebiet einer Lummer-Gehrke-Platte ist der Spektralbereich, für den eine Messung möglich ist. Um eine Überlagerung der Ordnungen zu vermeiden, sollten zwei Wellenlängen maximal auf eine Differenz von der Größe dieses Spektralbereiches aufgespalten werden. Für große Austrittswinkel α ist er durch

$$\Delta\lambda_D = \frac{\lambda^2}{2d} \frac{1}{\sqrt{n^2 - 1}} \quad (19)$$

gegeben. Das Auflösungsvermögen einer Lummer-Gehrke-Platte ist neben ihr zugeordneten Eigenschaften, wie der Plattenlänge und dem Brechungsindex, auch von der Wellenlänge des Lichtes abhängig. Es kann über den folgenden Zusammenhang bestimmt werden:

$$A = \frac{\lambda}{\delta\lambda} = \frac{L}{\lambda}(n^2 - 1) \quad (20)$$

Dieser Abschnitt wurde mit der Literaturangabe [3] erstellt.

4 Versuchsdurchführung

Die Versuchsdurchführung wird in vier Hauptaufgaben unterteilt. Zunächst muss der Elektromagnet geeicht werden. Danach kann die Apparatur justiert werden und schließlich kann die Messung der Wellenlängenaufspaltung für rote und blaue Spektrallinien durchgeführt werden [3].

1. Eichung des Elektromagneten:
 - Das B-Feld wird in Abhängigkeit des Feldstroms gemessen.
 - Im Bereich von 0,45 A bis 5,02 A werden 10 Wertepaare aufgenommen.
2. Justierung der Apparatur:
 - Die Strahlung der Cd-Lampe wird mit Hilfe des ersten Objektivs und der ersten Linse auf den ersten Spalt (siehe 1) abgebildet.
 - Die zweite Linse wird so eingestellt, dass der auf das Geradsichtprisma einfalende Strahl möglichst parallel ist. Es wird außerdem darauf geachtet, dass der gesamte Strahl in das Prisma eindringen kann, sodass möglichst wenig Strahlungsintensität für die Messung verloren geht.
3. Messung der Wellenlängenaufspaltung für rote Spektrallinien:
 - Am zweiten Spalt kann eine Wellenlänge, in diesem Fall eine Rote, gewählt werden. Dafür wird mit der dritten Linse ein scharfes Bild am zweiten Spalt erzeugt.
 - Die vierte Linse wird so eingestellt, dass ein scharfes Bild von der Größe des Eintrittsfensters auf die Lummer-Gehrke-Platte abgebildet wird.
 - Am Polarisationsfilter wird der Übergang $\delta m = \pm, 0$ mit B-Feld, sowie keine Polarisation einmal mit und einmal ohne B-Feld eingestellt. Die Feldstromstärke beträgt bei diesen Messungen jeweils 5,02 A. Die folgenden Stichpunkte werden für jede Polarisationsstellung einzeln durchlaufen.
 - Wenn eine Aufspaltung der Zeeman-Linien zu erkennen ist, werden sie mit einer Digitalkamera am Ende der Lummer-Gehrke-Platte aufgenommen.

4. Messung der Wellenlängenaufspaltung für blaue Spektrallinien:

- Die Einstellungen der Apparatur werden analog zur Messung der roten Spektrallinien durchgeführt, wobei die Einstellungen am Polarisationsfilter variiert werden.
- Zunächst wird bei einer Feldstromstärke von $3,96 \text{ A}$ eine Messung der Übergänge $\delta m = \pm, 0$ vorgenommen. Dann wird eine Messung ohne Polarisation, jedoch mit Magnetfeld aufgenommen.
- Dieser Messvorgang wird für eine Feldstromstärke von $5,05 \text{ A}$ wiederholt.

5 Auswertung

5.1 Vorbereitung

Für die Vorbereitung soll das Dispersionsgebiet und das Auflösungsvermögen für die beiden verwendeten Wellenlängen bestimmt werden. Diese Größen können mit den Gleichungen (19) und (20) berechnet werden. Die Ergebnisse sind in Tabelle 1 aufgelistet.

Tabelle 1: Dispersionsgebiet und Auflösungsvermögen für die beiden Wellenlängen.

| Wellenlänge λ / nm | Auflösungsvermögen A | Dispersionsgebiet $\Delta\lambda_D / \text{pm}$ |
|-----------------------------------|------------------------|---|
| rot 643,8 | $2,09 \cdot 10^5$ | 48,9 |
| blau 480,0 | $2,85 \cdot 10^5$ | 27,0 |

Die Quantenzahlen und die mit Gleichung (12) berechneten Landéfaktoren sind in Tabelle 2 aufgelistet.

Tabelle 2: Quantenzahlen und Landé-Faktoren der einzelnen Zustände.

| Zustand | S | L | J | g_j |
|-----------|---|---|---|-------|
| 1P_1 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| 1D_1 | 0 | 2 | 2 | 1 |
| 3S_1 | 1 | 0 | 1 | 2 |
| 3P_1 | 1 | L | 1 | 1,5 |

Die Landé-Faktoren g_{ij} der Übergänge werden mit der Gleichung (21) bestimmt.

$$g_{ij} = m_i g_i - m_j g_j \quad (21)$$

Der Übergang des roten Lichtes ist ${}^1P_1 \rightarrow {}^1D_1$ und für das blau Licht ist der Übergang ${}^3S_1 \rightarrow {}^3P_1$. Die Landé-Faktoren g_{ij} der Übergänge des roten Lichtes sind in Tabelle 3 und die für das blaue Licht in Tabelle 4 aufgelistet.

Tabelle 3: Landé-Faktoren der Zustände und Übergänge des roten Lichtes.

| Übergang | Zustand i | | Zustand j | | | | | |
|------------|-----------|---------|-----------|-------|-------|-------|------------|----------|
| | 1P_1 | 1D_1 | m_i | g_i | m_j | g_j | Δm | g_{ij} |
| π | 1 | | 1 | | | | | |
| | 0 | 1 | 0 | 1 | | | 0 | 0 |
| | -1 | | -1 | | | | | |
| σ^- | 2 | | 1 | | | | | |
| | 1 | 1 | 0 | 1 | | | -1 | 1 |
| | 0 | | -1 | | | | | |
| σ^+ | 0 | | 1 | | | | | |
| | -1 | 1 | 0 | 1 | | | 1 | -1 |
| | -2 | | -1 | | | | | |

Tabelle 4: Landé-Faktoren der Zustände und Übergänge des blauen Lichtes.

| Übergang | Zustand i | | Zustand j | | | | | |
|------------|-----------|---------|-----------|-------|-------|-------|------------|----------|
| | 3S_1 | 3P_1 | m_i | g_i | m_j | g_j | Δm | g_{ij} |
| π | 1 | | 1 | | | | -0,5 | |
| | 0 | 1,5 | 0 | 2 | | | 0 | 0 |
| | -1 | | -1 | | | | 0,5 | |
| σ^- | 1 | 1,5 | 0 | 2 | | | -1 | 1,5 |
| | 0 | | -1 | | | | 2 | |
| σ^+ | 0 | | 1 | | | | 1 | -2 |
| | -1 | 1,5 | 0 | 2 | | | -1,5 | |

5.2 Bestimmung des Magnetfeldes

Um die Magnetfeldstärke bestimmen zu können, wird diese in Abhängigkeit der Stromstärke gemessen. Die Messdaten sind in Tabelle 5 aufgelistet. Durch die Daten aus Tabelle

Tabelle 5: Magnetfeldstärke und Stromstärke für die Bestimmung einer Ausgleichsgeraden.

| I / A | B / mT |
|-------|--------|
| 0,45 | 39,4 |
| 1,02 | 83,7 |
| 1,50 | 125,7 |
| 2,00 | 167,7 |
| 2,50 | 209,7 |
| 3,00 | 246,0 |
| 3,50 | 285,4 |
| 4,04 | 321,6 |
| 4,49 | 352,8 |
| 5,02 | 380,3 |

5 wird eine Ausgleichsgerade der Form

$$B(I) = mI + b$$

gelegt. Die Fitparameter sind

$$m = (76 \pm 1) \frac{\text{mT}}{\text{A}} \quad b = (12 \pm 5) \text{ mT}.$$

Die Messdaten und die Ausgleichsgerade sind in Abbildung 3 abgebildet.

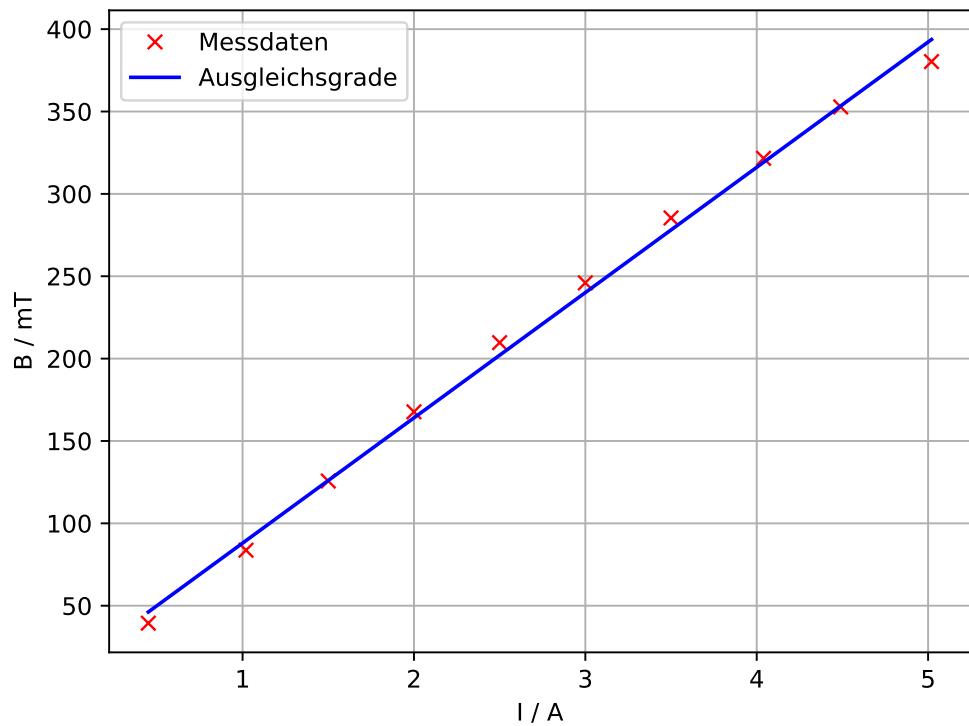


Abbildung 3: Messdaten und Ausgleichsgerade für die Bestimmung der Magnetfeldstärke in Abhängigkeit der Stromstärke.

5.3 Aufspaltung der roten Spektrallinie

Die Aufspaltung der roten Spektrallinie ist in Abbildung 4 zu sehen. Die Abstände ΔS und δS werden mit dem Programm Inkscape [4] vermessen.

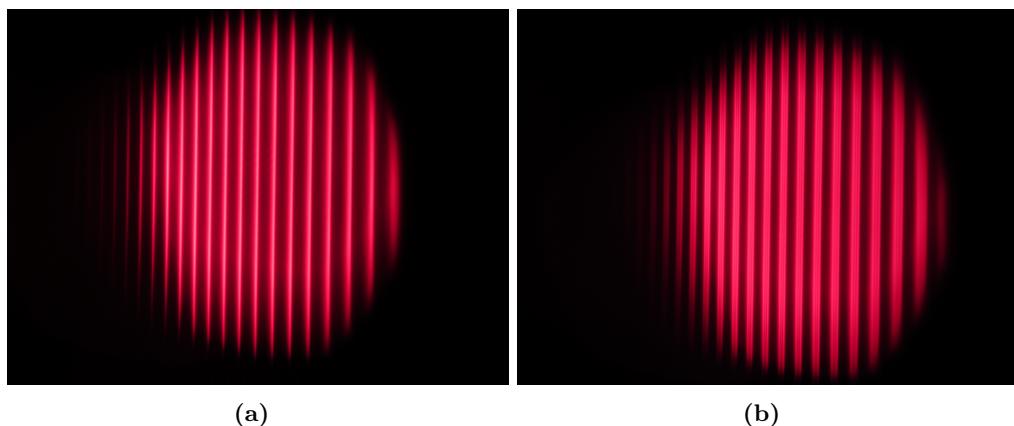


Abbildung 4: Messung der roten Spektrallinie für die Bestimmung der Verschiebung $\delta\lambda$ des σ -Übergangs, (a) ohne Magnetfeld, (b) mit Magnetfeld der Stärke (394 ± 9) mT.

Die Verschiebungen können mit der Formel

$$\delta\lambda = \frac{1}{2} \frac{\delta S}{\Delta S} \Delta\lambda_D \quad (22)$$

bestimmt werden. Die Verschiebungen und die benötigten Messwerte sind in Tabelle 6 aufgelistet.

Tabelle 6: Messwerte für die Bestimmung der Verschiebung $\delta\lambda$ der roten Spektrallinie und die $\delta\lambda$ Werte. Hierbei werden die ΔS und δS Werte in Pixeln angegeben.

| ΔS | δS | Verschiebung $\delta\lambda$ / pm |
|------------|------------|-----------------------------------|
| 56,34 | 23,37 | 10,14 |
| 56,93 | 23,98 | 10,3 |
| 57,53 | 24,00 | 10,2 |
| 58,73 | 26,39 | 10,99 |
| 59,34 | 26,37 | 10,87 |
| 63,52 | 29,97 | 11,54 |
| 65,92 | 28,16 | 10,44 |
| 63,52 | 30,56 | 11,76 |
| 70,71 | 28,16 | 9,74 |
| 71,91 | 28,76 | 9,78 |
| 76,14 | 31,17 | 10,01 |
| 79,70 | 37,76 | 11,58 |
| 80,30 | 35,96 | 10,95 |
| 90,49 | 40,15 | 10,85 |
| 95,89 | 34,76 | 8,86 |
| 100,67 | 44,98 | 10,92 |

Aus den $\delta\lambda$ Werten aus der Tabelle 6 kann der Mittelwert

$$\overline{\delta\lambda} = (10,6 \pm 0,7) \text{ pm}$$

für den σ -Übergang berechnet werden.

5.4 Aufspaltung der blauen Spektrallinie

Auch die Aufspaltung der blauen Spektrallinie wird wie im vorherigen Kapitel vermessen. Hierbei kann allerdings ein σ und ein π Übergang gemessen werden. Die Abbildungen für die Bestimmung des σ -Übergangs sind in Abbildung 5 zu sehen.

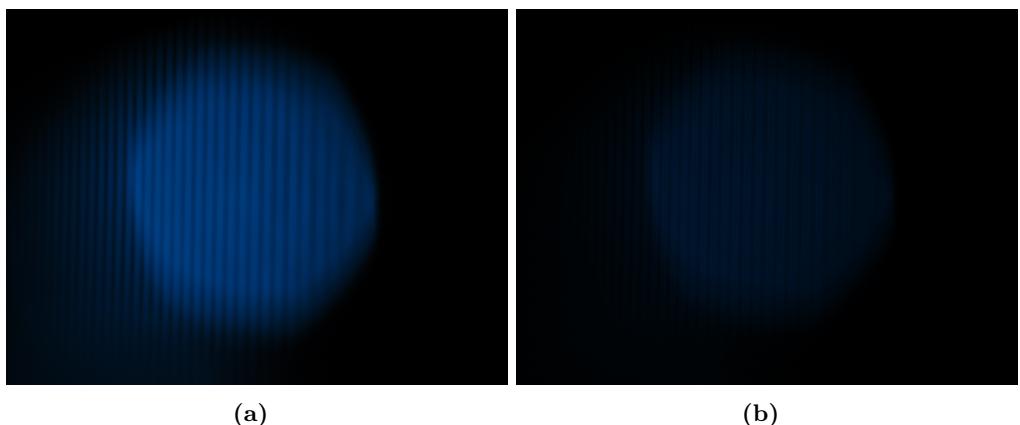


Abbildung 5: Messung der blauen Spektrallinie für die Bestimmung der Verschiebung $\delta\lambda$ des σ -Übergangs, (a) ohne Magnetfeld, (b) mit Magnetfeld der Stärke (313 ± 8) mT.

Die Messwerte sind in Tabelle 7 aufgelistet. Mit der Gleichung (22) kann wieder die Verschiebung der Wellenlänge bestimmt werden.

Tabelle 7: Messwerte für die Bestimmung der Verschiebung $\delta\lambda$ der blauen Spektrallinie und die $\delta\lambda$ Werte des σ -Übergangs. Hierbei werden die ΔS und δS Werte in Pixeln angegeben.

| ΔS | δS | Verschiebung $\delta\lambda$ / pm |
|------------|------------|-----------------------------------|
| 42,39 | 17,08 | 5,44 |
| 39,83 | 17,98 | 6,09 |
| 41,10 | 15,88 | 5,22 |
| 43,65 | 17,39 | 5,38 |
| 45,34 | 18,28 | 5,44 |
| 43,65 | 16,48 | 5,1 |
| 44,50 | 19,48 | 5,91 |
| 46,19 | 20,47 | 5,98 |
| 51,27 | 20,08 | 5,29 |
| 45,76 | 21,87 | 6,45 |
| 52,54 | 22,47 | 5,77 |
| 51,70 | 19,48 | 5,09 |
| 54,24 | 24,29 | 6,05 |
| 55,93 | 24,27 | 5,86 |
| 51,69 | 24,87 | 6,5 |
| 63,56 | 28,22 | 5,99 |

Die gemittelten $\delta\lambda$ Werte aus der Tabelle 7 ergeben

$$\overline{\delta\lambda} = (5,7 \pm 0,4) \text{ pm}$$

für den σ -Übergang der blauen Spektrallinie. Die Abbildungen für den π -Übergang sind in Abbildung 6 zu sehen.

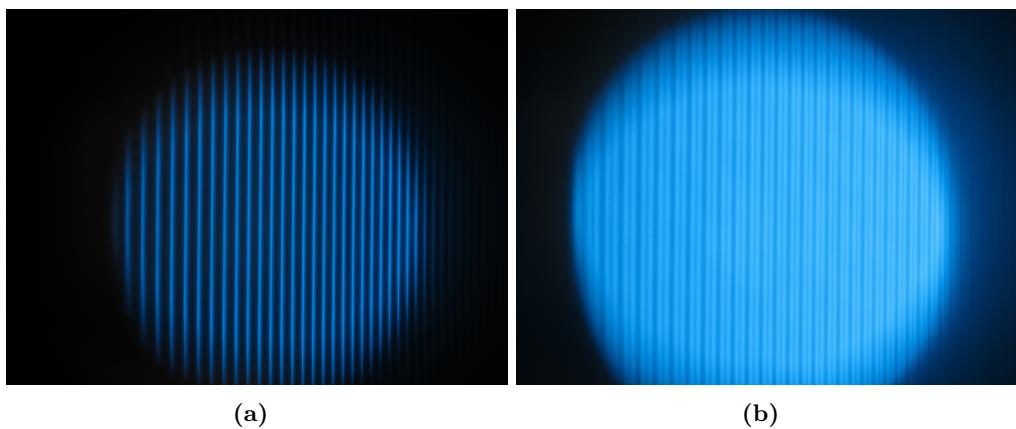


Abbildung 6: Messung der blauen Spektrallinie für die Bestimmung der Verschiebung $\delta\lambda$ des π -Übergangs, (a) ohne Magnetfeld, (b) mit Magnetfeld der Stärke 1009 mT.

Die Messwerte für die Bestimmung der Wellenlängenverschiebung des π -Übergangs der blauen Spektrallinie sind in Tabelle 8 aufgelistet.

Tabelle 8: Messwerte für die Bestimmung der Verschiebung $\delta\lambda$ der blauen Spektrallinie und die $\delta\lambda$ Werte des π -Übergangs. Hierbei werden die ΔS und δS Werte in Pixeln angegeben.

| ΔS | δS | Verschiebung $\delta\lambda$ / pm |
|------------|------------|-----------------------------------|
| 66,10 | 27,97 | 5,71 |
| 58,48 | 36,87 | 8,51 |
| 63,58 | 34,32 | 7,29 |
| 60,17 | 35,18 | 7,89 |
| 57,63 | 30,94 | 7,25 |
| 53,40 | 29,66 | 7,5 |
| 52,54 | 28,81 | 7,4 |
| 51,70 | 31,78 | 8,3 |
| 50,86 | 30,51 | 8,1 |
| 49,15 | 27,12 | 7,45 |
| 47,88 | 27,15 | 7,66 |
| 45,35 | 25,85 | 7,7 |
| 47,47 | 29,24 | 8,32 |
| 44,93 | 26,69 | 8,02 |
| 44,07 | 24,58 | 7,53 |
| 43,23 | 23,31 | 7,28 |
| 41,10 | 24,58 | 8,07 |
| 42,80 | 21,19 | 6,68 |
| 38,99 | 25,46 | 8,82 |
| 41,53 | 23,73 | 7,71 |
| 39,41 | 24,15 | 8,27 |
| 37,71 | 24,16 | 8,65 |
| 39,83 | 23,73 | 8,04 |
| 36,44 | 21,19 | 7,85 |
| 37,71 | 19,92 | 7,13 |
| 37,71 | 22,46 | 8,04 |
| 34,75 | 22,46 | 8,73 |

Die gemittelten $\delta\lambda$ Werte aus der Tabelle 8 ergeben

$$\overline{\delta\lambda} = (7,8 \pm 0,7) \text{ pm}$$

für den π -Übergang der blauen Spektrallinie.

5.5 Bestimmung des Landéfaktors

Die Änderung der Energie ΔE lässt sich durch die Gleichung

$$\Delta E = \Delta m g \mu_B B \quad (23)$$

beschreiben. Diese kann auch als Ableitung der Gleichung

$$E = \frac{hc}{\lambda}$$

angegeben werden. Die Ableitung ist

$$\frac{\partial E}{\partial \lambda} = -\frac{hc}{\lambda^2}.$$

Daraus folgt die Gleichung

$$\Delta E = \frac{\partial E}{\partial \lambda} \cdot \delta\lambda. \quad (24)$$

Die Gleichung (23) wird mit Gleichung (24) gleichgesetzt und in die Gleichung (21) eingesetzt, um diese nach g_{ij} umzustellen. Da es sich um Energiedifferenzen handelt, wird das negative Vorzeichen vernachlässigt. Daraus folgt

$$g_{ij} = \frac{hc}{\lambda^2} \frac{\delta\lambda}{\mu_{BB}}. \quad (25)$$

Die damit bestimmten Landé-Faktoren sind in Tabelle 9 aufgelistet.

Tabelle 9: Daten für die Bestimmung der Landé-Faktoren und die bestimmten Landé-Faktoren.

| λ / nm | Übergang | B / mT | $\delta\lambda / \text{pm}$ | Landé-Faktoren |
|-----------------------|----------|-----------------|-----------------------------|-----------------|
| rot 643,8 | σ | 394 ± 9 | $10,6 \pm 0,7$ | $1,39 \pm 0,10$ |
| blau 480,0 | σ | 313 ± 8 | $5,7 \pm 0,4$ | $1,70 \pm 0,14$ |
| blau 480,0 | π | 1009 | $7,8 \pm 0,7$ | $0,72 \pm 0,06$ |

6 Diskussion

Die Magnetfeldstärke konnte an die Stromstärke mit einer linearen Ausgleichskurve angeglichen werden. Das bestätigt den linearen Zusammenhang zwischen Magnetfeldstärke und Stromstärke.

6.1 Aufspaltung der roten Spektrallinie

Bei der roten Spektrallinie wurde der σ -Übergang vermessen. Hierfür werden die ΔS und δS Werte bestimmt. Da diese mit dem Programm Inkscape [4] bestimmt wurden, sind keine Unsicherheiten vorhanden, allerdings müsste eine Unsicherheit vorhanden sein, da manche Linien sehr verschwommen sind. Die Verschiebung der Wellenlänge beträgt $\overline{\delta\lambda} = (10,6 \pm 0,7)$ pm. Die Unsicherheit kommt nur durch die Standardabweichung des Mittelwerts zustande und müsste eigentlich höher sein. Der Landé-Faktor des σ -Übergangs des roten Lichtes ist $g = 1$. Experimentell wurde der Wert $g = 1,39 \pm 0,10$ bestimmt. Dieser weicht von der Theorie ab. Das kann durch die nicht einfach bestimmbarer δS Werte zustande kommen und dadurch, dass die Unsicherheiten unterschätzt werden.

6.2 Aufspaltung der blauen Spektrallinie

Die Vermessung des σ -Übergangs fällt schwer, da das Bild für die Bestimmung der δS Werte unterbelichtet ist. Auch hier wird, durch die fehlenden Unsicherheiten der ΔS und δS Werte, die Unsicherheit der Wellenlängeverschiebung unterschätzt. Die Verschiebung liegt bei $\overline{\delta\lambda} = (5,7 \pm 0,4)$ pm. Der damit bestimmte Landé-Faktor liegt bei $g = 1,7 \pm 0,4$. Laut Theorie müssten zwei verschiedene Werte bestimmbar sein. Da aber keine verschiedene Aufspaltung zu sehen sind, kann nur ein Wert bestimmt werden. Die Theoriwerte liegen bei $g = 1,5$ und $g = 2$. Der Mittelwert der beiden theoretischen Landé-Faktor beträgt $g = 1,75$. der gemessene Wert weicht etwas mehr als eine σ -Umgebung davon ab. Die Vermessung des π -Übergangs fällt aufgrund der besseren Belichtung leichter. Hierbei wird für die Wellenlängeverschiebung der Wert $\overline{\delta\lambda} = (7,8 \pm 0,7)$ pm bestimmt. Auch hier wird die Unsicherheit aus den gleichen Gründen unterschätzt. Der gemessene Landé-Faktor hat den Wert $g = 0,72 \pm 0,06$ und weicht daher auch von den Theoriwerten von $g = 0,5$ ab. Insgesamt kann gesagt werden, dass die Werte alle etwas von den Theoriwerten abweichen. Diese Abweichung ist allerdings gering genug, dass bei einer höheren Unsicherheit die Werte die Theorie bestätigen würden.

Literatur

- [1] Wolfgang Demtröder. *Experimentalphysik 1 - Mechanik und Wärme*. Springer-Lehrbuch. ISBN: 978-3-540-79295-6.
- [2] Wolfgang Demtröder. *Experimentalphysik 3 - Atome, Moleküle und Festkörper*. Springer-Lehrbuch. ISBN: 978-3-662-49094-5.
- [3] TU Dortmund. *Versuch zum Literaturverzeichnis*. 2014.
- [4] Inkscape Project. *Inkscape*. URL: <https://inkscape.org/de/>.