

# Versuchsdurchführung Zeeman-Effekt

## 1 Ziel des Versuchs

Ziel des Versuchs ist es, an mindestens einer Singulettlinie des Neons den ZEEMAN-Effekt transversal zu messen. Hierzu eignen sich die Linien mit den Wellenlängen 6163 Å, 6074 Å, 6266 Å und insbesondere 5852 Å. Dazu muss der Aufbau justiert, das Spektrometer kalibriert und dann die zu messenden Spektrallinien identifiziert werden. Tabelle 1 gibt Auskunft über die Wellenlängen, Landé-Faktoren, Übergangswahrscheinlichkeiten und Lebensdauern der  $2p^5 3s-2p^5 3p$ -Übergänge im neutralen Neon.

## 2 Bedienungshinweise zu den Geräten

### 2.1 Der Elektromagnet

Der Elektromagnet wird von einem regelbaren Netzgerät versorgt, so dass verschiedene Feldstärken erzeugt werden können. Das Netzgerät darf nur ausgeschaltet werden, wenn der Strom auf Null heruntergeregt ist (Warum?).

Die Feldstärke wird mit einer Hallsonde gemessen und kann am  $\mu\text{A}$ -Meter direkt in Ørsted abgelesen werden. **ACHTUNG!** Das Netzgerät des Magneten ist zwischen den Messungen auf Null herunterzuregeln, um eine Überhitzung des Magneten zu vermeiden. Bedenken Sie, dass die Leistungsaufnahme bei maximaler Feldstärke etwa 2.4 kW beträgt, die in Wärme umgesetzt wird. Benutzen Sie daher Ströme von unter 6 A (darüber: Sättigung!).

### 2.2 Der Monochromator

Der Monochromator ist ein Czerny-Turner-Spektrograph. Da das Gitter mit Hilfe eines computergesteuerten Schrittmotors gedreht wird, wird die Wellenlänge-Achse letztlich in Schritten gemessen und erfordert eine Kalibrierung. Die Gitterdrehung wird manuell oder computergesteuert über eine Schrittmotorsteuerung durchgeführt.

### 2.3 CCD-Zeilendetektor und Aufnahmerechner

Die Lichtintensität der einzelnen Spektrallinien wird mit Hilfe einer CCD-Zeile detektiert. Der CCD-Sensor hat eine Pixelhöhe von  $200\mu\text{m}$  und die Pixel jeweils eine Breite von  $8\mu\text{m}$ . Insgesamt besteht die Zeile aus 3748 Pixeln, die mit einer 12-Bit-Auflösung vom Aufnahmerechner ausgelesen werden. Die Verwendung des LabVIEW-Programms zur Datenakquisition wird von der Assistentin/dem Assistenten erläutert.

## 3 Versuchsdurchführung

### 3.1 Justage und Herstellung der Meßbereitschaft

Zunächst muss der Strahlengang justiert werden. Es ist für das Gelingen des Versuchs von entscheidender Bedeutung, dass der innere (homogene) Bereich zwischen den Polschuhen auf den Detektor abgebildet wird. Dazu werden zunächst die Neonlampe und die Linse aus dem Magneten entfernt und die Justierblende eingebaut. Der Strahl eines Justierlasers ( $\lambda \approx 532\text{ nm}$ ) wird durch die Polschuhe und das Spektrometer geleitet. Dazu wird der Eintrittsspalt des Spektrometers auf circa  $200\mu\text{m}$  eingestellt. Ziel der Justage ist, dass der Laserstrahl alle optischen Objekte mittig durchläuft und dann auf die CCD-Zeile trifft. Dazu muss das Gitter auf die Wellenlänge des Justierlasers gedreht werden! Bitte dem Assistenten den justierten Zustand vorführen.

Mit dem Polarisator wird die Intensität des Lasers stark gedämpft und die Laserlinie für verschiedene Spaltbreiten des Eintrittsspalt auf aufgenommen. Zusätzlich wird die Breite der 0ten Ordnung auf dem Kollimatorspiegel ermittelt. Das Ergebnis ist zu dokumentieren.

Da der Hallsensor dort sitzt, wo sich später die Neonlampe befindet, muss vor der Arbeit mit der Lampe die Stromanzeige des Spulennetzteils auf Ørsted umkalibriert werden. Messen Sie für die später benötigten Feldstärkewerte die einzustellenden Stromwerte. Versuchen Sie den Fehler der Magnetfeldmessung abzuschätzen.

An mindestens einer Singulettlinie des Neons soll nun der ZEEMAN-Effekt transversal gemessen werden. Dazu wird die Neonlampe eingebaut und der im Interferriktum des Elektromagneten befindliche Teil des Geißlerrohres wird mit der Linse scharf auf den Eingangsspalt abgebildet. Ein Übersichtsspektrum der Neonlampe wird über den kompletten Drehbereich des Gitters aufgenommen. Im Neon-Spektrum der Geissler-Röhre sind viele Linien zu finden. Zur Kalibrierung der Wellenlänge wird mit dem USB-Spektrometer ein Referenzspektrum der Neonlampe aufgenommen. Nach erfolgter Identifizierung können nun geeignete Neon-Linien gezielt angefahren und die ZEEMAN-Aufspaltung untersucht werden.

### 3.2 Messungen

Folgende Messungen sind durchzuführen:

1. Aufnahme der Laserlinie für verschiedene Spaltbreiten
2. Kalibrierspektrum mit tabellierten Linienpositionen
3. ZEEMAN-Effekt:
  - (a) Aufnahme des ungestörten Linienprofils bei 5852 Å und Kalibration (Lineardispersion  $\leftrightarrow$  Winkeldispersion)
  - (b) Aufnahmen des ZEEMAN-Triplets, der  $\pi$ -Komponente und der  $\sigma$ -Komponenten bei fünf Feldstärken (5kØ, 10kØ, 15 kØ, 20 kØ und 25 kØ).
  - (c) Nehmen Sie eine weitere geeignete Linie entsprechend auf.

## 4 Auswertung

Die Form und Breite der Spektrallinien wird im Wesentlichen durch das Apparateprofil des Spektrometers bestimmt, dieses kann gut durch ein Gaussprofil angenähert werden (Bitte im Protokoll genau begründen!). Gelingt es, an die Spektren die Summe von drei Gaussprofilen anzupassen, so erhält man aus dieser Anpassung direkt die Höhen und Lage der ZEEMAN-Komponenten. Es steht ein Programm zur Verfügung, welches mit einer Methode der Quadratischen Fehlerminimierung (Extremalwertaufgabe) diese Anpassung durchführt. Im Gegensatz zu analytischen Verfahren (z.B. Lineare Regression oder Polynom-Fit) benötigt dieser nichtlineare Fit aber gute Startwerte. Führen Sie die Anpassung für alle erforderlichen Profile durch.

## 5 Zum Protokoll

1. Erstellen Sie ein Übergangsschema der 5852 Å Linie.
2. Fassen Sie die qualitativ gemachten Beobachtungen kurz zusammen und vergleichen Sie mit der Theorie. Erläutern Sie warum die ausgewählten Linien angenommen wurden.
3. Das Mehrelektronenatom Neon gibt Anlaß zur Betrachtung möglicher Kopplungsmodelle von Drehimpulsen der Elektronenhülle. Welche Wechselwirkungen treten auf, und durch welche Kopplungsarten werden sie beschrieben? Wie ergibt sich der Landé-Faktor in Russell-Saunders-Kopplung?

4. Stellen Sie die Kalibrierkurve des Elektromagneten graphisch dar. Warum müssen sie mehr als eine Ausgleichsgerade benutzen?
5. Stellen Sie die aufgenommenen Laserdiodenspektren graphisch dar. Erläutern Sie die Aufnahmen der Laserdiode. Erläutern Sie beobachtete Abnahme der Linienbreite mit der Spaltbreite. Schätzen Sie anhand der Laserdiodenspektren das Auflösungsvermögen des Spektrometers ab und vergleichen Sie mit dem theoretischen Wert.
6. Stellen Sie das gemessene Übersichtsspektrum der Neonlampe und das Referenzspektrum in einer Graphik dar und erläutern Sie die so durchgeführte Kalibrierung des Spektrometers. Erstellen Sie eine Kalibrierkurve  $\lambda$ (Schritte).
7. Stellen Sie alle gemessenen Linienspektren graphisch dar, sodass die nachfolgenden Auswertungen daran erläutert werden können.
8. Zur Auswertung der Linienprofile sind die Halbwertsbreiten und die Linienmitten bestimmt worden. Stellen Sie diese Daten und deren Anpassungen geeignet dar. Aus dem Abstand der Linien gewinnt man die Aufspaltung  $\Delta\lambda$ . Stellen Sie die lineare Abhängigkeit  $\Delta\lambda(H)$  graphisch dar und bestimmen Sie aus der Steigung die spezifische Ladung des Elektrons. Vergleichen Sie die gemessenen Werte mit den theoretischen und diskutieren Sie den Fehler! Machen Sie die gleiche Untersuchung für die Ergebnisse weiterer Linien. Berechnen Sie  $e/m$  aus den Aufspaltungen der beiden anderen Linien, beachten Sie die jeweiligen Landé-Faktoren!
9. An Hand der aufgenommenen Daten sollen die Intensitätsregeln (und die beiden resultierenden Schlußfolgerungen) verifiziert werden. Die Fläche unter dem Linienprofil ist proportional zu der relativen Intensität der Linie. Aus den Anpassungsergebnissen für Intensität und FWHM der einzelnen ZEEMAN-Komponente können Sie die Flächen unter den Profilen der  $\sigma$ -Komponenten und  $\pi$ -Komponenten berechnen und die Intensitätsverhältnisse prüfen. In gleicher Weise lässt sich die Transmission des Polarisationsfilters bestimmen.
10. Fehlerrechnung nicht vergessen!

	$^3P_1$ g=1,503	$^3P_1$ g=1,464	$^3P_0$	$^1P_1$ g=1,034	Total
$^1S_0$	A=0	5400,56Å A=0,07·10 <sup>7</sup> s <sup>-1</sup>	A=0	5852,49Å A=6,88·10 <sup>7</sup> s <sup>-1</sup>	τ = 14,4ns A=6,95·10 <sup>7</sup> s <sup>-1</sup>
$^3P_1$ g=1,34	5881,90Å A=0,82·10 <sup>7</sup> s <sup>-1</sup>	6030,00Å A=0,48·10 <sup>7</sup> s <sup>-1</sup>	6163,59Å A=1,35·10 <sup>7</sup> s <sup>-1</sup>	6598,95Å A=2,49·10 <sup>7</sup> s <sup>-1</sup>	τ = 18,8ns A=5,32·10 <sup>7</sup> s <sup>-1</sup>
$^3P_0$	A=0	6074,34Å A=5,6·10 <sup>7</sup> s <sup>-1</sup>	A=0	6652,09Å A=0,09·10 <sup>7</sup> s <sup>-1</sup>	τ = 17,6ns A=5,69·10 <sup>7</sup> s <sup>-1</sup>
$^3P_2$ g=1,301	5944,83Å A=0,9·10 <sup>7</sup> s <sup>-1</sup>	6096,16Å A=1,56·10 <sup>7</sup> s <sup>-1</sup>	A=0	6678,28Å A=2,77·10 <sup>7</sup> s <sup>-1</sup>	τ = 19,1ns A=5,23·10 <sup>7</sup> s <sup>-1</sup>
$^1P_1$ g=0,999	5975,53Å A=0,31·10 <sup>7</sup> s <sup>-1</sup>	6128,45Å A=0,05·10 <sup>7</sup> s <sup>-1</sup>	6266,50Å A=2,27·10 <sup>7</sup> s <sup>-1</sup>	6717,04Å A=2,38·10 <sup>7</sup> s <sup>-1</sup>	τ = 19,9ns A=5,02·10 <sup>7</sup> s <sup>-1</sup>
$^1D_2$ g=1,229	6143,06Å A=2,31·10 <sup>7</sup> s <sup>-1</sup>	6304,79Å A=0,45·10 <sup>7</sup> s <sup>-1</sup>	A=0	6929,47Å A=2,3·10 <sup>7</sup> s <sup>-1</sup>	τ = 19,7ns A=5,07·10 <sup>7</sup> s <sup>-1</sup>
$^3D_1$ g=0,669	6217,28Å A=0,52·10 <sup>7</sup> s <sup>-1</sup>	6383,00Å A=3,03·10 <sup>7</sup> s <sup>-1</sup>	6532,88Å A=1,19·10 <sup>7</sup> s <sup>-1</sup>	7024,05Å A=0,3·10 <sup>7</sup> s <sup>-1</sup>	τ = 19,9ns A=5,03·10 <sup>7</sup> s <sup>-1</sup>
$^3D_2$ g=1,137	6334,43Å A=1,64·10 <sup>7</sup> s <sup>-1</sup>	6506,53Å A=2,89·10 <sup>7</sup> s <sup>-1</sup>	A=0	7173,94Å A=0,51·10 <sup>7</sup> s <sup>-1</sup>	τ = 19,8ns A=5,04·10 <sup>7</sup> s <sup>-1</sup>
$^3D_3$ g=1,329	6402,25Å A=·10 <sup>7</sup> s <sup>-1</sup>	A=0	A=0	A=0	τ = 19,4ns A=5,15·10 <sup>7</sup> s <sup>-1</sup>
$^3S_1$ g=1,9484	7032,41Å A=2,44·10 <sup>7</sup> s <sup>-1</sup>	7245,17Å A=1,01·10 <sup>7</sup> s <sup>-1</sup>	7438,90Å A=0,3·10 <sup>7</sup> s <sup>-1</sup>	8082,46Å A=0,3·10 <sup>7</sup> s <sup>-1</sup>	τ = 24,8ns A=4,04·10 <sup>7</sup> s <sup>-1</sup>
Total		τ = 22ns A=4,76·10 <sup>7</sup> s <sup>-1</sup>		τ = 1,5ns A=66,4·10 <sup>7</sup> s <sup>-1</sup>	

Tabelle 1: Wellenlängen, Landé-Faktoren, Übergangswahrscheinlichkeiten und Lebensdauern für die 2p<sup>5</sup>3s–2p<sup>5</sup>3p-Übergänge im neutralen Neon.