

A14: Zeeman-Effekt

1. Übersicht zum Thema und Zusammenfassung der Ziele

Im Jahre 1896 beobachtete der Holländer Peter Zeeman eine Aufspaltung der Natrium D-Linien in einem Magnetfeld. Dieser Effekt wird in seiner einfachen ´normalen´ Form klassisch durch das Modell oszillierender Elektronen erklärt. In seiner wesentlich komplexeren ´anormalen´ Form umfasst die quantenmechanische Erklärung das Zusammenspiel von magnetischen Momenten aus Spin- und Bahndrehimpulsen unter Einwirkung der Spin-Bahn-Kopplung.

Die experimentelle Beobachtung wird mit Hilfe eines Fabry-Perot-Interferometers durchgeführt. Dieses auf Vielstrahlinterferenz basierende Spektrometer findet breite Anwendung in hochauflösenden optischen Experimenten.

2. Theoretische Grundlagen

2.1 Zeeman-Effekt

Beim **normalen Zeeman-Effekt*** ist eine Aufspaltung in drei Linien beobachtbar. Die klassische Erklärung beschreibt Elektronen auf Kreisbahnen, deren Kreisfrequenzen bzw. Energieniveaus durch das Einwirken des Magnetfeldes verschoben werden (**Lorentz-Modell, Larmor-Frequenz**). Auch die je nach Beobachtungsrichtung auftretende **Polarisation des emittierten Lichts** wird durch dieses Modell erklärt.

Die quantenmechanische Erklärung, die auch Aufspaltungen in mehr als drei Linien (**anomaler Zeeman-Effekt**) beschreibt, basiert auf der Kopplung des atomaren magnetischen Moments an ein äußeres Magnetfeld. Im Allgemeinen tragen zu diesem neben dem Bahndrehimpuls auch der Spin der Elektronen bei, jedoch mit unterschiedlichen **gyromagnetischen Verhältnissen** (bzw. **g-Faktoren**). Die Aufsummierung dieser Beiträge muss nun unter Berücksichtigung der **Spin-Bahn-Kopplung** geschehen (**Vektormodell des Zeeman-Effekts, Landéscher g-Faktor**). Die Projektion des gesamten magnetischen Moments auf die Feldrichtung ergibt Anzahl und Größe der Aufspaltung der Energieniveaus. Die Aufspaltung der Spektrallinien ist schließlich Folge der Verschiebung beider beteiligter Energieniveaus sowie der **Auswahlregeln für optische Übergänge** ([MaK], [Woo]) (**Energieaufspaltung im allgemeinen Fall**, für den Übergang $(\gamma' L' S' J' M'_{J'}) \rightarrow (\gamma L S J M_J)$ [Woo]).

2.2 Fabry-Perot-Interferometer

Die Wirkungsweise des Fabry-Perot wird durch **Vielstrahlinterferenz** erklärt. Die Teilstrahlen entstehen durch Reflexion an planparallelen teildurchlässigen Spiegeln mit einem von geometrischen Größen und der Lichtwellenlänge abhängigen Phasenunterschied (**Phasenunterschied beim Fabry-Perot**). Dieser bestimmt die **freie Spektralbreite** des Fabry-Perot, während dessen **spektrale Auflösung** entscheidend von der Reflektivität der verspiegelten Flächen mitbestimmt wird. ([BoW], [HeZ])

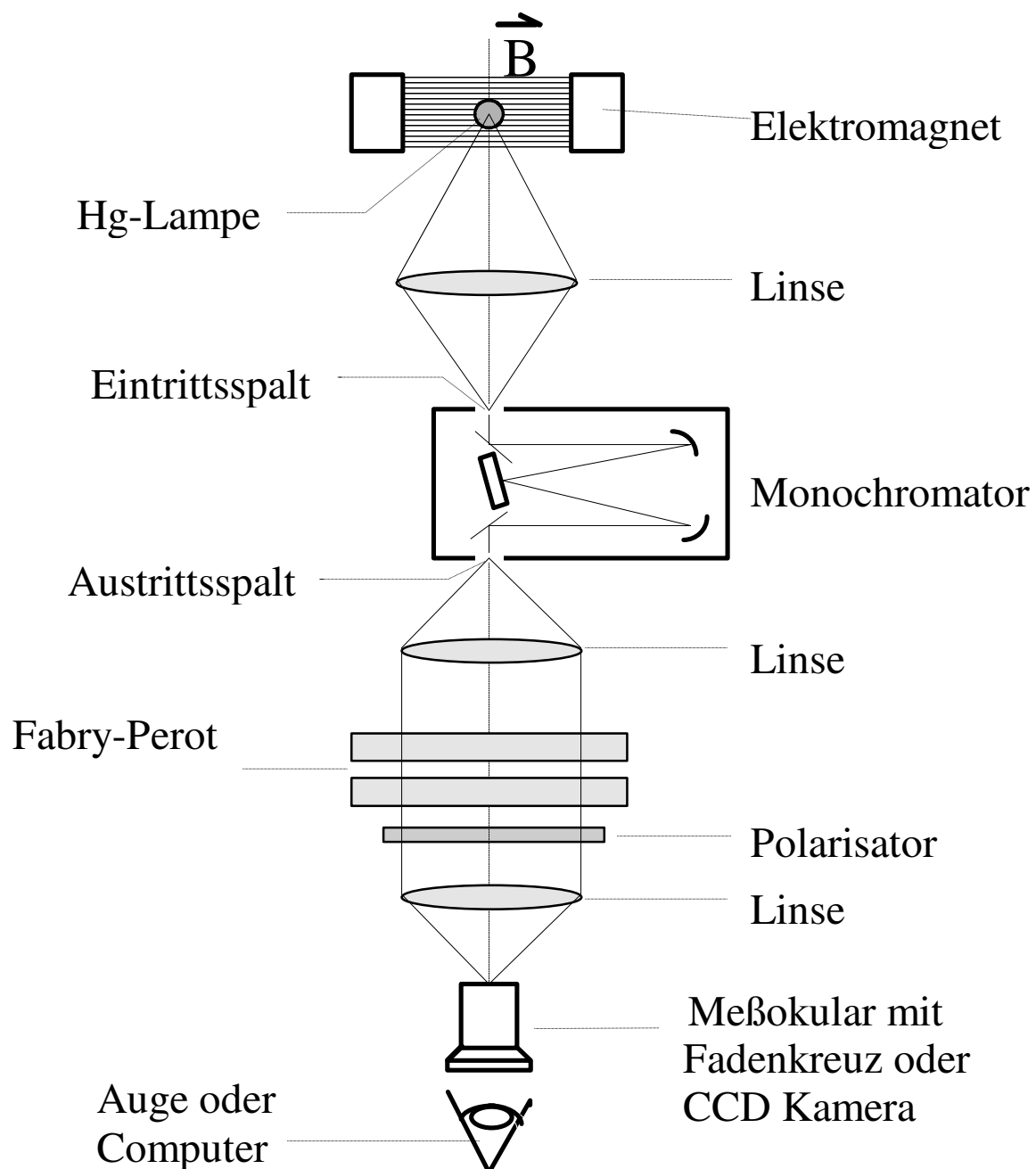
* Die Themenkreise zu den **fett** gedruckten Stichworten sollten Sie zum Versuchsbeginn beherrschen

3. Messprinzip

Das Licht einer sich in einem Magnetfeld befindenden **Gasentladungslampe** wird durch eine Linse auf den Eintrittsspalt eines **Gittermonochromators** (mit geringerer spektraler Auflösung) abgebildet. Am Austrittsspalt erscheint die ausgewählte Spektrallinie. Diese wird durch ein **Fabry-Perot** mit hoher Auflösung nach ihren spektralen Anteilen getrennt. Diese Aufspaltung wird durch computergestützte Vermessung der **ringförmigen Interferenzordnungen** beobachtet und quantitativ bestimmt.

4. Versuchsaufbau

4.1 Skizze des Versuchsaufbaus



4.2 Geräteliste

- Elektromagnet mit Netzteil (nur mit Wasserkühlung betreiben!) [G1]
- Polarisator
- Linsen (Achromate)
- Fabry-Perot (Justierung darf nur durch Assistenten durchgeführt werden!) [G2]
- Spaltblenden
- Monochromator [G3]
- Messokular mit beweglichem Fadenkreuz
- CCD-Kamera mit Objektiv $f = 75 \text{ mm}$ [G4]
- PC mit Frame-Grabber-Karte und Grafiksoftware

5. Aufgabenstellung

- 5.1 Beobachten Sie das Feinstrukturspektrum der Quecksilber-Spektrallampe von 400 nm bis 900 nm und identifizieren Sie die einzelnen Linien im Termschema (Fig. 1).
- 5.2 Beobachten Sie das Ringsystem der grünen und gelben Quecksilberlinien mit der CCD-Kamera. Können Sie die zwei gelben Linien mit dem Gittermonochromator trennen?
- 5.3 Betrachten Sie das Ringsystem der grünen Linie auf dem Computerbildschirm. Justieren Sie den gesamten Strahlengang auf optimale Schärfe der Ringe. Betrachten Sie dazu auch die Aufspaltung der Ringe bei angelegtem Magnetfeld.
- 5.4 Beobachten Sie das Interferenz-Ringsystem der grünen Quecksilberlinie und bestimmen Sie mit den Auswerteprogrammen den Radius von möglichst vielen Interferenzordnungen. Berechnen Sie aus dieser Messung die effektive Brennweite der verwendeten Linse.
- 5.5 Beobachten Sie die Aufspaltung der 546 nm-Linie im Magnetfeld (20 A) und bestimmen Sie die Polarisation der Zeeman-Komponenten. Wie viele Linien und welche Übergänge sind zu erwarten?
- 5.6 Vermessen Sie die Zeeman-Aufspaltung der 546 nm-Linie bei verschiedenen Magnetfeldern (20 A, 18 A, 16 A, 12 A).
- 5.7 Beobachten Sie die Aufspaltung der 577 nm-Linie im Magnetfeld (20 A) und bestimmen Sie die Polarisation der Zeeman-Komponenten. Wie viele Linien und welche Übergänge sind zu erwarten?
- 5.8 Vermessen Sie die Zeeman-Aufspaltung der 577 nm-Linie bei verschiedenen Magnetfeldern (20 A, 18 A, 16 A, 12 A).
- 5.9 Leiten Sie die Formel für die Ermittlung der Frequenzaufspaltung aus den Ringdurchmessern des Interferenzbildes ab.
- 5.10 Bestimmen Sie die Frequenzaufspaltung (in GHz und cm^{-1}) aus den Messdaten und stellen Sie die Feldabhängigkeit grafisch dar.

- 5.11 Führen Sie eine Fehlerrechnung durch und tragen Sie die Messfehler in die Grafik ein.
- 5.12 Bestimmen Sie den g_j -Faktor aus den Messdaten.
- 5.13 Diskutieren Sie das Ergebnis für den g_j -Faktor und die beobachtete Polarisation im Vergleich zum theoretischen Modell.

6. Literatur

Sie finden diese in der Fachbereichsbibliothek in der Literatursammlung zum Fortgeschrittenenpraktikum.

6.1. Gebrauchsanleitungen

- [G1] Elektromagnet mit Netzteil
- [G2] Fabry-Perot-Interferometer
- [G3] Monochromator
- [G4] CCD-Kamera

6.2 Monographien und Lehrbücher

- [BoW] Born, Wolf : "Principles of Optics", S. 323-341
- [HeZ] Hecht, Zajac : "Optics", S. 275-281, S. 301-311
- [MaK] T. Mayer-Kuckuck : "Atomphysik", S. 117-129
- [Woo] G. K. Woodgate: "Elementare Struktur der Atome", S. 161-170, S. 175-181
- [Hel] K.H. Hellwege: "Einführung in die Physik der Atome", 4. Auflage, S. 82

7. Hilfestellung zur Auswertung

Zu Aufgabe 5.1 :

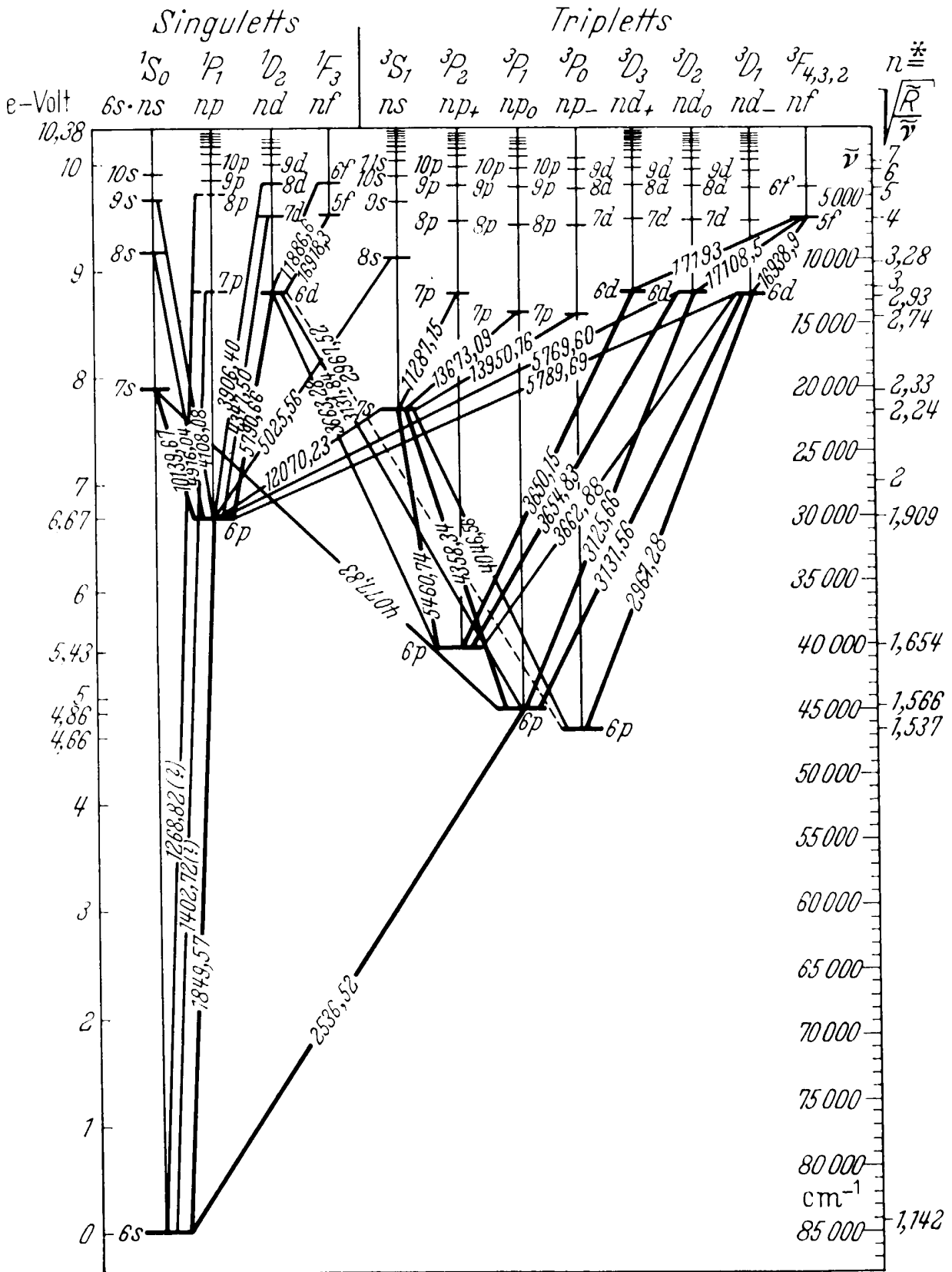


Fig. 1: Termschema des Quecksilberatoms [Hel]. Bei den Übergängen ist die Wellenlänge in Å angegeben.