



# Anleitung zum F-Praktikumsversuch: Hochauflösende Laserspektroskopie an atomarem Rubidium

Betreuer: Alexander Miethke

## 1 Vorbemerkung

Zielsetzung des Versuches ist es, grundlegende Techniken der modernen Laserspektroskopie experimentell kennen zu lernen.

Unter dem Begriff Laserspektroskopie werden verschiedene Verfahren zusammengefasst, in denen Laser zur Untersuchung von atomaren oder molekularen Spektren eingesetzt werden. Laserspektroskopische Verfahren werden in verschiedenen Bereichen der Analytik verwendet. Zum Einen dient die Laserspektroskopie in der physikalischen Grundlagenforschung als Präzisionswerkzeug der Atomphysik zur Untersuchung der Eigenschaften von Atomen und deren Elektronenhülle. Beispielsweise werden laserspektroskopische Methoden zur Bestimmung der Rydbergkonstante eingesetzt - der am genauesten bestimmten Naturkonstante! Zum Anderen werden laserspektroskopische Verfahren z. B. in der Spurenanalytik eingesetzt, um Substanzen in gasförmiger Umgebung nachzuweisen. Allen Verfahren ist gemein, dass in der Laserspektroskopie der Laser als monochromatische, abstimmbare Lichtquelle zur Anregung von elektronischen Übergängen in der Atomhülle verwendet wird.

Im Praktikumsversuch wird ein DFB-Diodenlaser benutzt, um dopplerverbreiterte Absorptionsspektren und dopplerfreie Sättigungsspektren von atomarem Rubidium aufzunehmen.

## 2 Vorbereitung

Mit folgende Begriffen und Themenbereichen sollten Sie sich (so weit noch nicht bekannt) vor der Versuchsdurchführung vertraut machen bzw. Ihre Kenntnisse auffrischen:

1. Aufbau der atomaren Elektronenhülle
2. Atomare Spektren
3. Natürliche Linienbreite, Dopplerverbreiterung, Sättigungsverbreiterung
4. Absorptionsspektroskopie
5. Sättigungsspektroskopie
6. Hyperfeinstruktur
7. Atomare Struktur von Rubidium
8. Verschiedene experimentell wichtige Techniken/Geräte:  
Polarisationsoptik, Fabry-Perot-Resonator, DFB Laserdioden, Oszilloskop

Im Praktikumsversuch wird die D<sub>1</sub>-Linie ( $5S_{1/2} \rightarrow 5P_{1/2}$ ) von Rubidium ( $\lambda_L \approx 795\text{nm}$ ) spektroskopisch untersucht. Da die Isotopieverschiebung größer als die Dopplerverbreiterung ist, sind die Absorptionslinien für die beiden Isotope klar getrennt. Zusätzlich weist jedes der beiden Isotope eine Hyperfeinstructuraufspaltung des Grundzustandes auf, die größer als die Dopplerverbreiterung ist. Daher werden im Absorptionsspektrum der D<sub>1</sub>-Linie von Rubidium vier Linien beobachtet. Bei der Sättigungsspektroskopie kann auch die (wesentlich geringere) Hyperfeinstruktur des angeregten Zustandes von Rubidium aufgelöst werden.

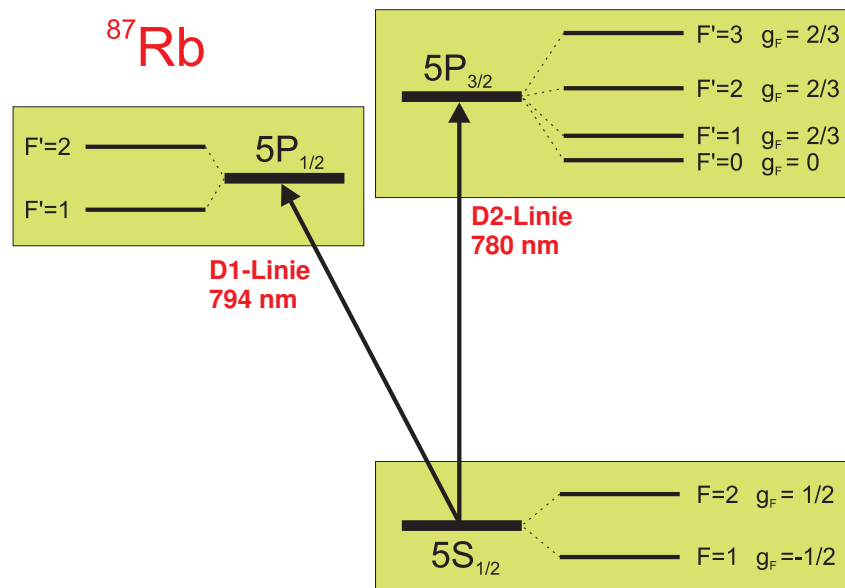


Abbildung 1: Termschema der D-Linien von <sup>87</sup>Rb.

Ein detailliertes Termschema der relevanten Übergänge in <sup>85</sup>Rb und <sup>87</sup>Rb mit Angabe der Hyperfeinstructuraufspaltungen finden Sie in Anhang A.

## 3 Versuchsdurchführung

### Versuchsbeschreibung

Der Versuch wird mit Hilfe eines DFB-Diodenlasers durchgeführt, der einige mW Licht bei einer Wellenlänge von 795 nm emittiert. Die Frequenz des Lasers lässt sich regeln über die Temperatur der Laserdiode und den Laserdiodenstrom.

Für die quantitative Auswertung der Spektren wird ein „Frequenzlineal“ benötigt, zu dessen Erzeugung ein Teil des Laserlichts in einen Fabry-Perot-Resonator eingekoppelt ist. Ein weiterer Teil des Laserlichts wird für ein Wellenlängenmeßgerät abgezweigt, mit dessen Hilfe die Wellenlänge des Lasers auf etwa  $\pm 0,001$  nm genau bestimmt werden kann.

Der Aufbau der weiteren Versuchsanordnungen soll eigenständig erfolgen, das heißt, dass wir Ihnen nicht explizit vorgegeben, wie Sie die vorhandenen optischen und elektronischen Elemente einsetzen. Vielmehr sollen Sie aufbauend auf den Skizzen, die in dieser Anleitung zu finden sind, eigene Versuchsaufbauten entwerfen. Natürlich steht Ihnen der Versuchsbetreuer dabei mit Rat zur Seite.

### Versuchsvorbereitung

Alle benötigten optischen und elektronischen Instrumente liegen auf dem Versuchstisch für Sie bereit. Machen Sie sich zunächst mit deren Funktionsweisen vertraut. Lassen Sie sich vom Betreuer in die Bedienung des Diodenlasers einweisen.

Führen Sie während der Versuchsdurchführung ein **ausführliches Protokoll**, in dem alle für die Reproduktion des Versuchs relevanten Fakten sowie alle für die Auswertung nötigen Angaben aufgelistet sind.

Bitte tragen Sie während der Versuchsdurchführung und insbesondere während der Justage der Laserstrahlen die Laserschutzbrillen!

## Versuch 1: Absorptionsspektroskopie an Rubidium

**Aufgabe:** Nehmen Sie Absorptionsspektren von Rubidium auf. Ziel ist die Beobachtung der Hyperfeinstrukturaufspaltung des Grundzustandes und die Messung der Dopplerverbreiterung.

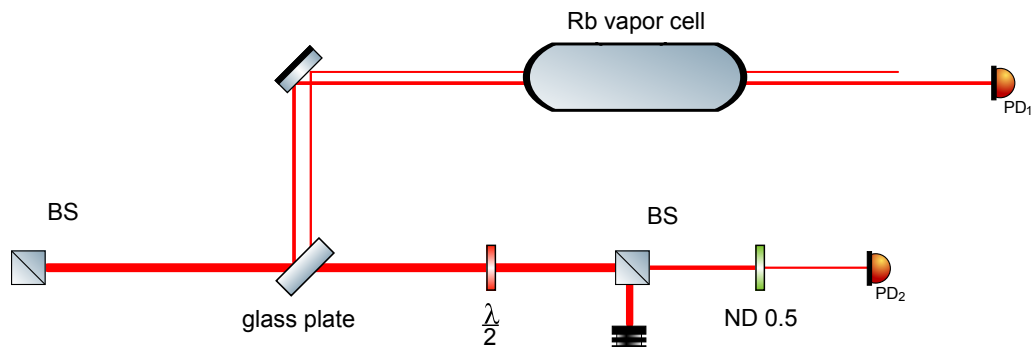


Abbildung 2: Schematischer Aufbau für die Absorptionsspektroskopie.

Hinweise:

- Suchen Sie diesen Bereich mit Hilfe der Wellenlängenabstimmbarkeit des Lasers (Diodenstrom) nach Linien ab.
- Wie viele Absorptionslinien erwarten Sie?
- Bestimmen Sie von jeder Linie die Wellenlänge und speichern Sie für die Auswertung jeweils drei Oszilloskopbilder.
- Für die quantitative Auswertung muß parallel zur Absorptionslinie auf dem zweiten Oszilloskopkanal das Signal des Fabry-Perot-Resonators mit mindestens zwei zusammengehörigen peaks dargestellt sein.

## Versuch 2: Sättigungsspektroskopie an Rubidium

**Aufgabe:** Nehmen Sie Sättigungsspektren für alle vier beobachteten Absorptionslinien von Rubidium auf. Ziel ist die Beobachtung der Hyperfeinstrukturaufspaltung des angeregten Zustandes (Lambdips und cross-over-Resonanzen) und die dopplerfreie Vermessung der Spektrallinien. Zusätzlich soll die Breite der Spektrallinien als Funktion der Pumpstrahlintensität untersucht werden.

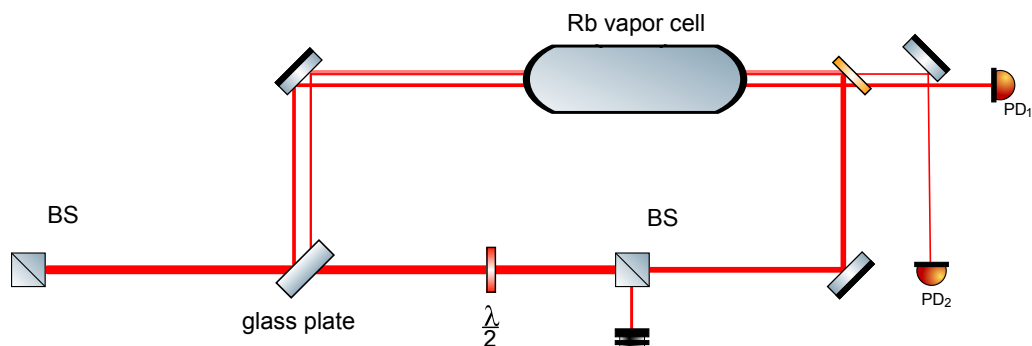


Abbildung 3: Schematischer Aufbau für die Sättigungsspektroskopie.

Hinweise:

- Für ein deutliches Hervortreten der Lamb-Dips ist es wichtig, Pump- und Probstrahl möglichst gut zu überlappen. Ein weiterer Justageparameter ist die Leistung des Pumpstrahls, die mit Hilfe der  $\lambda/2$ -Platte in Kombination mit dem polarisierenden Strahlteilerwürfel eingestellt werden kann. Arbeiten Sie zunächst mit wenig Leistung im Probstrahl
- Betrachten Sie zur Justage zunächst die Signale der beiden Photodioden einzeln und gleichen Sie die Größe der beiden Signale mit der *Gain*-Einstellung von Photodiode 1 ab. Betrachten Sie anschließend die Differenz der beiden Signale.
- Wie viele Lamb-Dips erwarten Sie pro Absorptionslinie? Wie viele Sättigungslinien erwarten Sie insgesamt pro Absorptionslinie?
- Speichern Sie für die Auswertung von jedem der vier Sättigungsspektren drei Oszilloskopbilder.
- Untersuchen Sie dann am Beispiel einer Linie die Breite der Sättigungslinien als Funktion der Intensität des Pumpstrahls. Speichern Sie dazu das Sättigungsspektrum dieser Linie bei verschiedenen Leistungen (etwa zehn Werte; Leistungsbereich von etwa  $10\mu\text{W}$  bis über  $1\text{mW}$  abdecken; Assistent nach Powermeter fragen).

## 4 Auswertung

1. Bestimmung der Frequenzabstände der beobachteten Absorptionslinien und Zuordnung der Linien zum Isotop und zum Grundzustandsniveau
2. Bestimmung der Dopplerbreite der Absorptionslinien und Vergleich mit der theoretisch erwarteten Dopplerverbreiterung
3. Dopplerfreie Darstellung der Sättigungslinien, Zuordnung der Linien zu den Hyperfeinstruktur-niveaus des angeregten Zustandes
4. Vergleich Sie die Frequenzabstände der Linien im Sättigungsspektrum mit den Literaturwerten
5. Bestimmung der Linienbreiten der Sättigungslinien als Funktion der Intensität des Pumpstrahls. Vergleich mit Literaturwerten. Fit an theoretisches Modell zur Sättigungsverbreiterung von Spektrallinien.

Zur Bestimmung von Linienbreiten und -positionen verwenden Sie bitte das Programm *Origin*, welches auch auf dem Computer im Praktikumsraum vorhanden ist. Das Fitten mehrerer Gauss- oder Lorenz-peaks an einen Datensatz erfolgt dabei am einfachsten über den Menüpunkt *Analyse* → *Anpassen* → *Anpassen mehrerer Impulse*.

Berücksichtigen Sie bei der Darstellung und Auswertung der Versuchsteile jeweils bitte die folgenden Punkte:

- Beschreiben Sie die Prinzipien der Versuche.
- Erläutern Sie die von Ihnen gewählten Versuchsaufbauten.
- Stellen Sie die erzielten Ergebnisse klar dar und vergleichen sie mit den Literaturwerten.
- Diskutieren Sie mögliche Fehlerquellen.

Die Ausarbeitung soll einen Umfang von ca. 15 Seiten aufweisen. Jeder Teilnehmer muss eine **eigene** Ausarbeitung abgeben (Ausnahme: Studenten im Diplomstudiengang).

# A Termschemata von $^{85}\text{Rb}$ und $^{87}\text{Rb}$

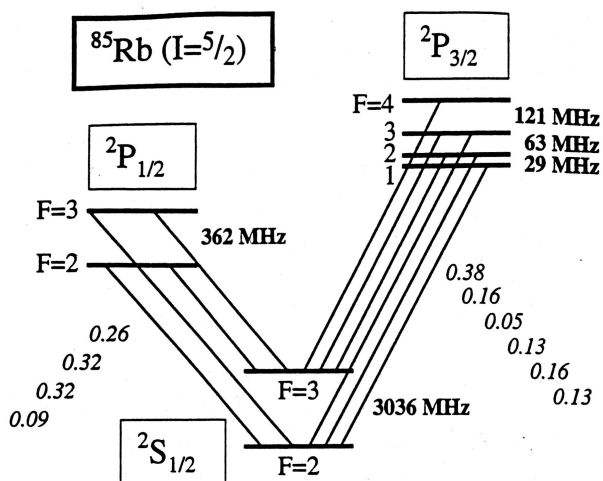


Abb. A.2: Linienstärken und Hyperfeinintervalle Rubidium-Isotops  $^{85}\text{Rb}$ , welches einen Kernspin von  $I = 5/2$  hat. Kursiv sind die jeweils auf Eins normierten Linienstärken angegeben. Die Hyperfeinintervalle wurden [Ari77] entnommen.

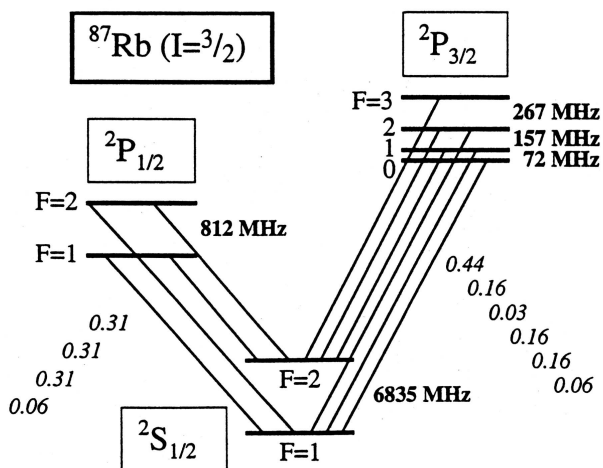


Abb. A.3: Linienstärken und Hyperfeinintervalle von  $^{87}\text{Rb}$ . Angaben wie in Abb. A.2.