

Kapitel 7

Zusammenfassung

In dieser Arbeit wurden zwei Verfahren der hochauflösenden Absorptionsspektroskopie am einzelnen Barium-Ion theoretisch untersucht. Eines davon wurde experimentell durchzuführen versucht.

Zur theoretischen Untersuchung wurde das Verfahren der optischen Blochgleichungen verwendet, das sich zur Berechnung der Wechselwirkung von Atomen mit klassischen Lichtfeldern eignet. Ausgehend vom Zwei-Niveau-System wurde das Verfahren auf ein Λ -förmiges Drei-Niveau-System erweitert. In diesem System können Zwei-Photon-Effekte, wie die Dunkelresonanzen und die damit verbundenen Hellresonanzen studiert und verstanden werden. Aufgrund der Entartung des D -Niveaus kann das Modellsystem — ein einfach positiv geladenes Bariumion — jedoch nicht als Drei-Niveau-System beschrieben werden. Durch Einführung eines externen Magnetfeldes, welches die Entartung aufhebt und eine Quantisierungsachse festlegt, ergibt sich ein Acht-Niveau-System, für das im nächsten Schritt die optischen Blochgleichungen aufgestellt und die sich einstellenden stationären Zustände untersucht wurden. Zur Lösung der stationären Zustände ergibt sich ein lineares Gleichungssystem mit 63 Unbekannten.

Unter Verwendung eines Matrixkettenbruchverfahrens wurde der Einfluß untersucht, den die Modulation des einen oder anderen Lichtfeldes auf den stationären Zustand des Systems hat. Davon ausgehend konnten mit Hilfe der Dipolmatrixelemente des Ions Aussagen über das von dem Ion abgestrahlte elektromagnetische Feld gemacht werden. Die Überlagerung vom ursprünglichen Feld mit dem vom Ion erzeugten Feld ergab das hinter dem Ion beobachtete Feld. Dieses trägt Informationen über das Ion, die mit den Methoden der Modulationsspektroskopie nachgewiesen werden können. Aus den errechneten Feldern konnten theoretische Vorhersagen für Frequenzmodulations-(FM) und Modulationstransfer-(MT) Signale gemacht werden.

In der FM-Spektroskopie wird die Amplitudenmodulation gemessen, die einem phasenmodulierten Lichtfeld aufgeprägt wird, wenn es ein absorptives Medium durchquert. Das Verfahren kann in linearer Näherung erklärt werden. Das Signal weist eine typische dispersive Struktur auf, auf der der Einfluß der Zwei-Photon-Resonanzen sowie anderer nichtlinearer Effekte zusätzliche Strukturen aufprägt.

Bei der MT-Spektroskopie wird die erzeugte Amplitudenmodulation auf einem Lichtfeld nachgewiesen, das vorher weder phasen- noch amplitudenmoduliert war. Der Modulationstransfer entsteht zum einen durch Vier-Wellen-Mischung, bei der aus Träger und Seitenband des einen Lichtfelds dem anderen Lichtfeld ein Seitenband aufgeprägt wird. Zum anderen gibt es dadurch Modulationsübertrag, daß das unmodulierte Lichtfeld eine oszillierende Suszeptibilität vorfindet, die durch das modulierte Lichtfeld verursacht wurde. Der Effekt der Vier-Wellen-Mischung ist dabei wesentlich stärker. Die Vier-Wellen-Mischung kann als Zwei-Photon-Prozess verstanden werden. Im MT-Signal werden daher fast ausschließlich die Einflüsse der Dunkelresonanzen im Acht-Niveau-System des Barium-Ions gesehen. Es hat sich herausgestellt, daß die Leistungsverbreiterung schon sehr schnell zu Überlappungen der durch die einzelnen Resonanzen erzeugten Signalen führt.

Während die MT-Spektroskopie ein Signal produziert, das vorwiegend die Breite der Ein-Photon-Resonanz hat, werden mit der MT-Spektroskopie fast ausschließlich die feinen Strukturen der Dunkelresonanzen gesehen.

Im Falle der FM-Spektroskopie wird eine Amplitudenmodulation auf dem Signal nachgewiesen, das zuvor phasenmoduliert wurde. Da es technisch schwierig ist, ein rein phasenmoduliertes Lichtfeld zu erzeugen, ist eine untergrundfreie Messung praktisch nicht möglich. Ein Untergrund aufgrund unerwünschter Amplitudenmodulation des eingestrahlten Feldes ist nicht zu vermeiden. Da bei der schwachen Wechselwirkung eines einzelnen Ions mit dem Lichtfeld eine möglichst untergrundfreie Messung unumgänglich ist, wurde für den experimentellen Teil dieser Arbeit das Verfahren der MT-Spektroskopie verwendet. Hier gibt es deshalb keine Probleme mit dem Untergrund, weil die Amplitudenmodulation auf einem Lichtfeld nachgewiesen wird, daß zuvor nicht moduliert wurde. Untergrund ergibt sich nur aufgrund von stochastischen Fluktuationen in der Lichtintensität sowie durch elektronische Einstrahlungen in die Nachweisapparaturen.

Wie bei Messung eines sehr kleinen Signals zu erwarten war, ist das aufgenommene Signal stark verrauscht. Es wurde ein Signal-zu-Rausch-Verhältnis von etwa 2:1 gemessen. Das starke Rauschen und wahrscheinlich auch eine Drift unbekanntem Ursprungs haben es unmöglich gemacht, die berechnete Linienform zweifelsfrei zu verifizieren. Es läßt sich jedoch eindeutig feststellen, daß im Rahmen dieser Arbeiten das MT-Signal eines einzelnen Ions gemessen wurde.