

Zusammenfassung

Die Erzeugung des ersten Bose-Einstein-Kondensats vor ungefähr zwei Jahrzehnten sowie des ersten entarteten Fermigases vier Jahre später, öffnete die Tür zur Erkundung einer Vielzahl faszinierender Quantenphänomene. Der Großteil dieser Experimente konzentrierte sich dabei auf quantenentartete atomare Gase mit kurzreichweitiger Kontaktwechselwirkung zwischen den Teilchen.

Atome mit großem magnetischen Dipolmoment, wie zum Beispiel Chrom, Dysprosium und Erbium, bieten einmalige Möglichkeiten, durch die Dipolwechselwirkung hervorgerufene Phänomene zu erforschen. Der Charakter dieser Wechselwirkung ist nicht nur langreichweitig sondern auch richtungsabhängig und prägt dem System qualitativ neue Eigenschaften auf. Herausragende Beispiele hierfür sind der d -Wellen-Kollaps eines dipolaren Bose-Einstein-Kondensats aus Chromatomen, realisiert von der Gruppe in Stuttgart, die Spin-Magnetisierungs- und Demagnetisierungsdynamik, beobachtet von Gruppen in Stuttgart, Paris und Stanford sowie eine Deformation der Fermifläche, welche von unserer Gruppe beobachtet werden konnte.

Die vorliegende Dissertation behandelt die Erzeugung und Untersuchung des ersten Bose-Einstein-Kondensats und des ersten entarteten Fermigases von Erbiumatomen. Erbium gehört zur Gruppe der Lanthanoide und besitzt ein großes magnetisches Moment von sieben Bohr Magnetonen. Diese Arbeit beschreibt im Besonderen die experimentelle Apparatur und den Ablauf, welcher zur Erzeugung eines dipolaren Quantengases notwendig ist. Das Hauptaugenmerk liegt dabei auf der Produktion der schmalbandigen magneto-optischen Falle für Erbium, die eine sehr effiziente und robuste Art der Laserkühlung darstellt und das experimentelle Herstellungsverfahren maßgeblich vereinfacht.

Nach der Beschreibung des experimentellen Aufbaus werden in der Arbeit einige fundamentale Fragen bezüglich des dipolaren Charakters von Erbium und seiner Natur als Element der Lanthanoiden behandelt. Erste Untersuchungen konzentrieren sich dabei auf die Streueigenschaften bei ultrakalten Temperaturen, welche den elastischen und inelastischen Streuquerschnitt sowie das Spektrum von Feshbach-Resonanzen einschließen. Im Speziellen beobachten wir, dass identische dipolare Fermionen kollidieren und rethermalisieren können, und dies sogar im tiefen Temperaturbereich. Der damit verbundene elastische Streuquerschnitt, welcher im Rahmen der Theorie der universellen dipolaren Streuung berechnet werden kann, hängt nur von der Masse des Teilchens und seinem magnetischen Moment ab und ist temperaturunabhängig. Dies stellt einen entscheidenden Unterschied im Vergleich zu nicht dipolaren Fermionen dar, welche einen mit der Temperatur schnell abklingenden elastischen Streuquerschnitt aufweisen.

Eine weitere markante Eigenschaft von Erbium ist dessen Spektrum von Feshbach-Resonanzen. Unter der Verwendung von bosonischem Erbium beobachteten wir eine enorme Dichte von Resonanzen, welche die bei Alkalimetallen vorhandene Resonanzdichte um mehr als das Zehnfache übersteigt. Wir führten eine statistische Analyse der Verteilung von Feshbach-Resonanzen im Sinne der Theorie der Zufallsmatrizen durch und zeigten, dass die Resonanzen eine starke Korrelation aufweisen. Wir identifizierten den Ursprung dieser Korrelation in dem

hochgradig richtungsabhängigen van der Waals Potential von Erbium, wie es erstmals in ultrakalten Quantengasen beobachtet werden konnte.

In Bezug auf Mehrkörperwechselwirkungen konnten wir den d -Wellen-Kollaps des Bose-Einstein-Kondensates beobachten, ähnlich wie im Chrom-Experiment in Stuttgart. Mithilfe des dipolaren Fermigases demonstrierten wir darüberhinaus die Deformation der Fermifläche in ein Ellipsoid, welche durch Auswirkungen der Dipolwechselwirkung im Impulsraum zu erklären ist.