

Zusammenfassung

Die Untersuchung von Systemen, deren Verhalten von den Gesetzen der Quantenmechanik bestimmt wird, ist ein faszinierendes und lebendiges Gebiet aktueller Forschung. Experimente mit Gasen von ultrakalten Atomen sind dabei ausgesprochen erfolgreich und blicken zurück auf eine lange Geschichte von Präzisionsmessungen, bei denen immer tiefere Temperaturen erreicht wurden. Die ersten Bose-Einstein Kondensate (BECs) wurden vor etwa 20 Jahren erzeugt und eröffneten die Möglichkeit, quantenentartete Materie zu studieren. Bis auf wenige Ausnahmen wurden diese Versuche mit Alkaliatomen durchgeführt, da diese eine relativ einfache elektronische Struktur aufweisen.

Die elektronische Struktur von Erdalkaliatomen hingegen ist dank ihrer zwei Valenzelektronen sehr viel reichhaltiger und zeichnet sich durch Singlett- und Triplettzustände sowie schmale Interkombinationsübergänge aus. Solche Übergänge werden etwa in optischen Uhren verwendet; diese erreichen eine um Größenordnungen bessere Genauigkeit als Atomuhren, deren Funktionsweise auf einem Mikrowellenübergang beruht. Die einzigartigen Eigenschaften der Erdalkaliatome ermöglichen neuartige Verfahren für Quantensimulationen. Die hierzu vorgeschlagenen experimentellen Studien, etwa von Quantenmagnetismus und Spinmodellen, erfordern sowohl quantenentartete Gase von Erdalkaliatomen, als auch eine sehr genaue Kontrolle aller relevanten Parameter.

Das Ziel dieser Dissertation ist es, eine experimentelle Grundlage für diese Untersuchungen zu schaffen. Als Atomsorte wurde dazu das Element Strontium ausgewählt. Wir präsentieren die erste Bose-Einstein Kondensation dieses Elementes, wobei hierfür das Isotop ^{84}Sr auf Grund seiner günstigen Eigenschaften ausgewählt wurde. Dieser Erfolg sorgte für weltweite Anerkennung, und bald darauf konnten auch BECs der beiden anderen bosonischen Isotope, ^{86}Sr und ^{88}Sr , erzeugt werden.

Die angesprochenen Vorschläge zur Quantensimulation basieren auf einem Isotop mit von Null verschiedenem Kernspin und wecken daher Interesse am fermionischen Isotop ^{87}Sr , welches einen vergleichsweise großen Kernspin von $I = 9/2$ besitzt. Wir demonstrieren eine Reihe experimenteller Techniken, mit Hilfe derer sich die Besetzung der Spinzustände in einem atomaren Ensemble kontrollieren lässt, und erreichen tiefentartete Fermigase mit einer frei einstellbaren Anzahl von Spinkomponenten.

Dipolare Quantengase sind ein weiteres hochaktuelles Forschungsthema. Zweiatomige Moleküle, bestehend aus einem Alkali- und einem Erdalkaliatom, besitzen in ihrem Grundzustand sowohl ein elektrisches als auch ein magnetisches Dipolmoment. Magnetische Feshbach-Resonanzen, wie sie üblicherweise zur Assoziation von Alkali-Molekülen verwendet werden, sind in Bi-Erdalkali- oder Alkali-Erdalkali-Systemen jedoch nicht vorhanden oder ausgesprochen schwach. Aus diesem Grunde haben wir eine neuartige Methode der Molekülassoziation

entwickelt und dokumentieren diese am Beispiel des homonuklearen Moleküls Sr_2 . Unsere Herangehensweise nutzt als Ausgangspunkt zwei Atome auf einem doppelt besetzten Platz eines optische Gitters, um diese durch einen kohärenten optischen Transfer in einen molekularen Bindungszustand zu überführen.

Abschließend wenden wir uns einem seit langem bestehenden Ziel zu: der Erzeugung von Bose-Einstein Kondensaten nicht durch Verdampfungskühlung, sondern nur durch Laserkühlung und gleichzeitiger Thermalisierung zwischen den Atomen. Wir erreichen dieses Ziel mit Hilfe fein abgestimmter, räumlich strukturierter Dipolpotentiale. Dieses Verfahren könnte für die Erzeugung eines kontinuierlichen, kohärenten Atomstrahls verwendet werden.