

## Zusammenfassung

Mit einem ultrakalten Gas fermionischer  ${}^6\text{Li}$  Atome erforschen wir den Übergang von einem molekularen Bose-Einstein Kondensat (BEC) zu einem superfluiden Bardeen-Cooper-Schrieffer (BCS) Zustand aus zu Cooper-Paaren gebundenen Fermionen. Die ausschlaggebende Größe bei diesem Übergang ist die Stärke der Kopplung zwischen den gepaarten Atomen. Bei ausreichend tiefen Temperaturen bildet sich im Bereich extrem starker Kopplung ein BEC fest gebundener Moleküle, während sich im Grenzfall äußerst schwacher Kopplung ein BCS Zustand delocalisierter Paare ausbildet.

Eine magnetisch abstimmbare Streuresonanz bei einem Feld von etwa 834 G dient uns als experimenteller Schlüssel zur Erforschung verschiedenster Kopplungsbereiche. Durch diese Feshbach-Resonanz kontrollieren wir die Wechselwirkungen im Gas und variieren die Kopplungsstärke über einen großen Bereich. Ausgangspunkt unserer Experimente ist ein molekulares BEC aus fest gebundenen Paaren, das wir durch Verdampfungskühlung eines optisch gefangenen  ${}^6\text{Li}$  Spingemisches erzeugen. Mit Hilfe der Feshbach-Resonanz stellen wir die Kopplungsstärke ein und erforschen den BEC-BCS Übergang indem wir elementare makroskopische und mikroskopische Eigenschaften des Gases untersuchen.

Die Auswertung von Dichteprofilen im BEC-BCS Übergang zeigt, daß er stetig und reversibel ist. Darüberhinaus können wir durch die auf der Resonanz gemessene Größe der Wolke den Wert eines universellen Parameters bestimmen, welcher die Wechselwirkungsenergie des unitär limitierten Quantengases charakterisiert.

Zur Untersuchung der kollektiven Dynamik des Gases im BEC-BCS Übergang regen wir energetisch tiefliegende kollektive Schwingungen in der axialen und radialen Richtung unserer zigarrenförmigen Falle an. Die kollektiven Schwingungen in axialer Richtung weisen das für ein Gas im BEC-BCS Übergangsbereich erwartete Verhalten auf, wobei wir eine besonders geringe Dämpfung in unmittelbarer Nähe der Feshbach-Resonanz beobachten. Das Verhalten der Moden in der stark eingeschlossenen, radialen Richtung zeigt hingegen eine abrupte Änderung der Oszillationsfrequenz bei einem Magnetfeld, bei dem eine stark wechselwirkendes Fermi-Gas vorliegt. Eine plausible Erklärung für den beobachteten Einbruch des hydrodynamischen Verhaltens ist dass die Paare im stark wechselwirkenden Fermi-Gas durch eine Kopplung an die kollektiven Schwingungen aufgebrochen werden.

Durch Verwendung von Radiofrequenz-Spektroskopie untersuchen wir die Paarungsenergie im BEC-BCS Übergang. Wir zeigen die Abhängigkeit der Paarungsenergie von der Kopplungsstärke, der Temperatur und der Fermi-Energie. Der beobachtete frühzeitige Beginn der Paarung während der Kühlung legt nahe, dass sich das stark wechselwirkende Fermi-Gas am Ende des Kühlprozesses im superfluiden Zustand befindet.

Unsere Experimente eröffnen einzigartige Möglichkeiten für weiterführende Untersuchungen der faszinierenden Eigenschaften stark korrelierter Vielteilchensysteme. Diese Systeme sind von größter Bedeutung für eine Vielzahl physikalischer Arbeitsgebiete wie der Untersuchung von Quantenflüssigkeiten, Neutronensternen und, vor allem, der Untersuchung von Hochtemperatursupraleitern.