

Zusammenfassung

In dieser Arbeit präsentieren wir detaillierte Untersuchungen der kollektiven Oszillationen eines ultrakalten Gases von fermionischen ${}^6\text{Li}$ Atomen. Für unsere Experimente ist die Abstimmbarkeit der Teilchen-Teilchen Wechselwirkung fundamental, was wir mittels einer breiten magnetischen Feshbach Resonanz realisieren. Diese Feshbach Resonanz ermöglicht auf der Seite mit abstoßender Wechselwirkung die Bildung stabiler, bosonischer ${}^6\text{Li}_2$ Moleküle, die ein Bose-Einstein Kondensat (BEC) bilden können. Auf der anderen Seite der Resonanz bilden sich Cooper-Paare aus fermionischen Atomen, was zur Bildung des suprafluiden Bardeen-Cooper-Schrieffer (BCS)-Zustands führen kann. Zwischen den beiden Grenzfällen eines BECs und eines BCS-Zustandes findet ein kontinuierlicher Übergang statt. Dieser BEC-BCS Crossover ist ein interessantes Modellsystem für andere Teilgebiete der Physik wie beispielsweise Neutronensterne oder Hochtemperatursupraleitung. Unsere Experimente ermöglichen konkrete Messungen in diesem Crossover-Regime.

Kollektive Oszillationen sind eine Methode zur Untersuchung der Eigenschaften von Vielteilchensystemen. Wir stellen niederenergetische kollektive Oszillationsmoden vor, wobei wir uns auf die für unseren experimentellen Aufbau geeigneten radialen Moden einer zigarrenförmigen Wolke beschränken. Wir beschreiben insbesondere die radiale Kompressionsmode, die radiale Quadrupolmode und die radiale Scheremode.

Wir messen die Frequenz der radialen Kompressionsmode, was eine Untersuchung der Zustandsgleichung des Systems, insbesondere auf über die mean-field Beschreibung hinausgehende Effekte, ermöglicht. Unsere Ergebnisse stimmen mit theoretischen Berechnungen im Limes unitärer Wechselwirkung und im BEC-Limes überein. Hochpräzisionsmessungen im stark wechselwirkenden BEC Regime erlauben außerdem eine detaillierte quantitative Überprüfung theoretischer Modelle und bestätigen die Quanten-Monte-Carlo Theorie gegenüber der mean-field BCS Theorie.

Die radiale Quadrupolmode wird nicht von der Zustandsgleichung des Systems beeinflusst. Deshalb nutzen wir diese Mode um festzustellen, ob sich das Gas im hydrodynamischen oder im kollisionsfreien Regime befindet. Wir messen neben Frequenz und Dämpfung dieser Mode auch ihre Expansionsdynamik. Unsere Ergebnisse zeigen den Übergang zwischen diesen beiden Regimen im BEC-BCS Crossoverbereich.

Wir zeigen abschließend erste Ergebnisse zur radialen Scheremode. Eine genaue Charakterisierung der Temperaturabhängigkeit dieser Mode zusammen mit einer Untersuchung rotierender Systeme eröffnet neue Untersuchungsmöglichkeiten von Suprafluidität. Auf diese Weise können wir Suprafluidität bei Temperaturen von mehreren zehn Prozent der Fermitemperatur erforschen. Unsere Experimente mit ultrakalten Gasen im BEC-BCS Crossover ermöglichen somit den Brückenschlag zur Theorie der Hochtemperatursupraleitung.