

Zusammenfassung

Im Rahmen dieser Arbeit wurde ein Bose-Einstein-Kondensat (BEC) aus Molekülen realisiert. Ausgangspunkt waren optisch gefangene, ultrakalte fermionische ${}^6\text{Li}$ -Atome, deren Wechselwirkung untersucht wurde. Durch gezielte Manipulation der Wechselwirkung mithilfe einer Feshbach-Resonanz konnten die fermionischen Atome zu bosonischen ${}^6\text{Li}_2$ -Molekülen gepaart werden, die durch evaporatives Kühlen kondensiert wurden.

Um eine große Anzahl von ${}^6\text{Li}$ -Atomen aus einer magneto-optischen Falle zu laden, wurde eine neuartige optische Dipolfalle entwickelt, die die resonante Überhöhung in einem optischen Resonator ausnutzt, um mit nur zwei Watt Leistung eines Nd:YAG Lasers eine tiefe Falle mit großem Volumen zu erzielen.

Eine breite Feshbach-Resonanz für eine Mischung der zwei niedrigsten Spinzustände des ${}^6\text{Li}$ -Grundzustands führt zu resonanter quantenmechanischer Streuung in Magnetfeldern um 800 G. Die elastischen Stoßeigenschaften in Magnetfeldern bis 1500 G wurden zunächst durch Evaporationsverluste beobachtet, wobei ein Nulldurchgang der Streulänge bei 530(3) G bestimmt werden konnte, bei dem keine Evaporationsverluste auftraten.

In den nachfolgenden Experimenten gelang es, durch gezielte Abstimmung der Wechselwirkung in der Nähe der Feshbach-Resonanz durch Dreikörper-Rekombination stabile, schwach gebundene ${}^6\text{Li}_2$ -Moleküle zu bilden. Um diese Moleküle evaporativ zu kühlen wurde eine zweite optische Dipolfalle aufgebaut, die aus einem fokussierten Laserstrahl besteht, dessen Leistung sich von 10.5 W präzise um mehr als vier Größenordnungen reduzieren lässt. Die niedrigen inelastischen und hohen elastischen Stoßraten der Moleküle ermöglichten es, das molekulare Gas zur Bose-Kondensation zu kühlen. Die Existenz des Kondensats konnte durch die Anregung eines kollektiven Schwingungszustands und die Abstimbarkeit der Wechselwirkungsenergie des Kondensats über das Magnetfeld bestätigt werden. Der Phasenübergang zum BEC manifestierte sich in einer bimodalen räumlichen Verteilung in der Falle, die aus einem schmalen, kondensierten Anteil und einer breiteren thermischen Verteilung besteht.

Das molekulare Kondensat, das den Abschluss dieser Arbeit bildet, repräsentiert das stark gekoppelte Extrem des sogenannten BEC-BCS-Übergangs. Weiterführende Experimente konnten zeigen, dass die Stärke der Kopplung durch das Magnetfeld adiabatisch verringert werden kann und der Übergang zu einem schwach wechselwirkenden, hoch entarteten Fermigas möglich ist. Dieses abstimmbare Quantengas ist ein ideales Modell für vielfältige physikalische Systeme wie Neutronensterne, Hochtemperatursupraleiter, und für schwere Kerne.