

ZUSAMMENFASSUNG

Vor einem Jahrhundert wurde die Theorie zur Bose-Einstein Kondensation aufgestellt und die Suprafluidität in Experimenten entdeckt. Einerseits die Theorie für Systeme mit vernachlässigbarer Wechselwirkung zwischen den Teilchen und andererseits das Experiment an einem System mit stark wechselwirkenden Teilchen wurden Jahrzehnte später miteinander in Verbindung gebracht. Eine makroskopisch besetzte Wellenfunktion wie von N. Bose und A. Einstein beschrieben ist die Grundlage für Suprafluidität, jedoch bleibt die theoretische Beschreibung stark wechselwirkender Systeme eine Herausforderung. Derzeit eröffnen ultrakalte Quantengase die Möglichkeit, den gesamten Bereich von schwach zu stark wechselwirkend im Experiment zu untersuchen, und tragen dadurch maßgeblich zum Verständnis der Vielteilchenphysik bei. Ein besonderes Interesse gilt dabei den fermionischen Quantengasen, da sie der gleichen Statistik wie z.B. Elektronen unterliegen, deren Vielteilchenverhalten eine der großen Herausforderungen an die Physik darstellt.

Die vorliegende Arbeit diskutiert Experimente an ultrakalten, fermionischen Quantengasen, wobei wir insbesondere die Einstellbarkeit der Wechselwirkung nutzen, um Verständnis für den stark wechselwirkenden Bereich ausgehend vom schwach wechselwirkenden Bereich zu erlangen.

Wir untersuchen die Suprafluidität und Kohärenz einer unpolarisierten Zweikomponentenmischung von ^6Li Atomen in zwei verschiedenen Zeemanzuständen. Anders als im Bereich schwacher Wechselwirkung, wo die Mischung ausschließlich in der superfluiden Phase hydrodynamisches Verhalten zeigt, verhält sich die Mischung im Bereich starker Wechselwirkung auch bei höheren Temperaturen in der normalen Phase, auf Grund der hohen Stoßrate, noch hydrodynamisch. Um nun direkt im Bereich starker Wechselwirkung zwischen dem klassischen Verhalten und der Superfluidität zu unterscheiden, nutzen wir die Eigenschaft, dass das Suprafluid nicht in Rotation versetzt werden kann, solange keine Singularitäten (Vortices) angeregt werden. Wir messen das Trägheitsmoment der Wolke und stellen fest, dass dieses bei sehr niedrigen Temperaturen in der Tat kleiner ist als das eines klassischen Gases. Eine Messung des Trägheitsmoments als Funktion der Temperatur erlaubt es uns, die kritische Temperatur für Suprafluidität zu messen. Eine weitere Eigenschaft eines Suprafluids ist, dass eine makroskopische Anzahl von Teilchen die Grundzustandswellenfunktion besetzt und damit zueinander kohärent ist. Dies zeigen wir eindrucksvoll durch die Interferenz zweier unabhängig erzeugter Suprafluide und realisieren damit erstmals Interferenz von molekularen Kondensaten.

Des Weiteren dringen wir erstmals auch mit einer heteronuklearen Fermi-Fermi Mischung

von ^{40}K und ^6Li Atomen in den Bereich starker Wechselwirkung vor. Wir zeigen dies durch die Beobachtung von Effekten hydrodynamischer Expansion in der normalen Phase. Das Mischen von Fermionen unterschiedlicher Masse bereichert das Studium fermionischer Mischungen um einen zusätzlichen Freiheitsgrad, was neuartige Tests von Vielteilchentheorien oder auch neue Quantenphasen ermöglichen wird. Wir untersuchen das Verhalten von wenigen ^{40}K Atomen in einem Fermisee von ^6Li Atomen. Erstmals gelingt es uns, in einem fermionischen Quantengas einen wohldefinierten Vielteilchenzustand bei stark repulsiver Wechselwirkung zu realisieren. ^{40}K Atome regen den ^6Li Fermisee derart an, dass sich ein Bereich geringerer ^6Li Dichte um das ^{40}K Atom ausbildet. Nach L. Landaus Theorie wird nun das System ^{40}K Atom plus Anregungen des Fermisees zu einem Quasiteilchen zusammengefasst, welches in unserem Fall "repulsives Polaron" genannt wird. Wir messen eine beachtliche Lebenszeit dieses repulsiven Polarons in der ^{40}K ^6Li Mischung, was Möglichkeiten eröffnet, neuartige Quantenphasen in stark repulsiv wechselwirkenden Fermi Gasen zu realisieren.