

ZUSAMMENFASSUNG

Diese Doktorarbeit präsentiert experimentelle Studien universeller Drei- und Vierkörperphänomene, die unter Verwendung eines ultrakalten atomaren Cäsium-Quantengases mittels “Fallen-Verlustspektroskopie durchgeführt wurden. Die vorteilhaften Streueigenschaften von Cäsium folgen aus dem Vorhandensein dreier breiter und vieler schmaler Zweikörperresonanzen, sogenannter Feshbach-Resonanzen, die eine Abstimmbarkeit der effektiven Zweikörperwechselwirkungsstärke ermöglichen. Aus diesem Grund ist Cäsium ein erstklassiger Kandidat zur Erforschung von “Wenig-Teilchen” Physik im universellen Wechselwirkungsbereich.

Der Hauptteil dieser Arbeit behandelt das Efimov Szenario, welches die Existenz einer unendlichen Serie von universell zusammenhängenden, gebundenen Dreikörperzuständen vorhersagt. Diese Trimerzustände koppeln für effektiv anziehende Zweikörperwechselwirkungen mit dem Kontinuum freier Atome, und für abstoßende Wechselwirkungen mit der Atom-Dimer-Schwelle. In beiden Fällen kommt es zu einer experimentell nachweisbaren Verlustresonanz, die dementsprechend als dreiatomige beziehungsweise als Atom-Dimer Efimov-Resonanzen bezeichnet werden. Wir untersuchen das zuletzt genannte Szenario mittels eines ultrakalten Atom-Dimer-Gemisches. Diese Messungen weisen experimentell erstmalig die Existenz einer Atom-Dimer Efimov-Resonanz nach. Deren Position weicht geringfügig von jener Resonanzposition ab, welche laut universeller Theorie zu erwarten wäre. In einem weiteren Experiment wurden in einem atomaren Cäsiumgas die Eigenschaften des Dreikörperparameters studiert, der in universellen Theorien die unbekannt, kurzreichweitige Wechselwirkungen beinhaltet. Dazu wurden Dreikörperverluste in der Nähe unterschiedlicher Feshbach-Resonanzen in einem ungefähr 800 G umfassenden Magnetfeldbereich untersucht. Bei dieser Messung wurden einige Efimov-verwandte Phänomene beobachtet, einschließlich dreier dreiatomiger Efimov-Resonanzen. Die Auswertung unserer Ergebnisse zeigt, dass der Dreikörperparameter für die betrachteten Streuszenarien im Wesentlichen konstant ist.

Unter Verwendung eines ultrakalten Atom-Dimer-Gemisches beobachten wir einen magnetisch steuerbaren Austauschprozess. Dieses Experiment stellt die erste Demonstration eines elementaren Reaktionsprozesses im Regime univer-

seller Wechselwirkungen dar. Die vollständige Kontrolle über diesen experimentellen Vorgang wird mittels der magnetischen Abstimbarkeit der Wechselwirkungsstärke ausgeübt.

Ein weiterer Forschungsschwerpunkt dieser Arbeit liegt auf universellen Vierkörperprozessen in reinen Atom- beziehungsweise Dimer-Quantengasen. Die Untersuchung inelastischer Zweikörperkollisionen in einem Gas schwach gebundener Dimere enthüllt ein ausgeprägtes Verlustminimum. Dieses Phänomen, welches Einsicht in einen elementaren Vierkörperprozess gibt, entzieht sich derzeit noch unserem Verständnis. Eine Erweiterung dieser Studie unter Einbeziehung nicht-universeller Dimerzustände bringt mehrere schmale Verlustresonanzen zum Vorschein, die auf die Kopplung mit komplexen molekularen Strukturen hinweisen. Aufgrund der Form der Resonanzen gehen wir davon aus, dass diese durch Tetramerzustände verursacht werden, deren Eigenschaften noch nicht vollständig bekannt sind.

Eine vor kurzem veröffentlichte theoretische Arbeit deutet auf die Existenz zweier universeller Vierkörperzustände hin, die jeweils mit einem Efimov-Zustand einhergehen. Zur Überprüfung dieses Szenarios werden Vierkörperverlustmessungen in einem ultrakalten atomaren Gas durchgeführt. Wir finden dabei zwei Resonanzen, die einen ersten Beweis für diese universellen Vierkörperzustände darstellen. Dieses Resultat ist in guter Übereinstimmung mit den theoretischen Erwartungen. ngerman