

Zusammenfassung

Diese Arbeit berichtet über die erste Beobachtung einer rein optischen Kontrolle der Wechselwirkung ultrakalter Atome. Um die Wechselwirkung zwischen den Atomen einzustellen, benutzen wir optisch induzierte Streuresonanzen. Diese basieren auf der optischen Kopplung von Paaren kollidierender Atome an einen gebundenen Molekülzustand. Anders als die bekannten magnetischen Feshbach-Resonanzen ermöglichen solche optische Feshbach-Resonanzen ein sehr schnelles Verändern der Wechselwirkung und deren räumliche Strukturierung. Denn Laserlicht kann viel schneller an- und ausgeschaltet werden als ein Magnetfeld, und es ermöglicht räumlich strukturierte Intensitätsmuster.

Ausgangspunkt unserer Experimente ist ein Bose-Einstein-Kondensat (BEC) aus ^{87}Rb Atomen, das wir in unserer neuen BEC Apparatur erzeugen. Der Aufbau wurde im Rahmen dieser Arbeit konstruiert und ermöglicht einen ausgezeichneten optischen Zugang zu den gespeicherten ultrakalten Atomen.

Um zu untersuchen wie atomare Wechselwirkungen mit einem einzelnen Laserstrahl kontrolliert werden können, koppeln wir Paare freier Atome an einen elektronisch angeregten Molekülzustand. Die optische Kopplung wird mit Laserlicht erreicht, dessen Frequenz in der Nähe des entsprechenden Photoassoziationsübergangs liegt. Indem wir die Laserfrequenz verstimmen, ist es möglich die atomare Streulänge über einen Bereich von $10 a_0$ bis $190 a_0$ zu variieren, wobei a_0 den Bohr-Radius bezeichnet. Die Streulänge ist ein Parameter, der die elastische Wechselwirkung ultrakalter Atome vollständig beschreibt. Weil laserinduzierte Atomverluste die Zeitdauer unserer Experimente einschränken, benutzen wir die Methode der Bragg-Spektroskopie, die eine schnelle Messung der Streulänge erlaubt.

In einem weiteren Experiment zeigen wir, dass optische Feshbach-Resonanzen auch mit einem Zwei-Photonen Raman-Prozess induziert werden können. Dazu wird ein weiterer Laser verwendet, der den angeregten Molekülzustand an ein molekulares Niveau in einem Grundzustandspotential koppelt. Wenn dieser zweite Laser durchgestimmt wird, beobachten wir wieder eine Variation der Streulänge, ähnlich wie zuvor.

Sowohl für die optische Kopplung mit einem einzelnen Laser als auch mit einem Raman Schema untersuchen wir, wie die elastischen Streueigenschaften von den verfügbaren Parametern, also den Laserverstimmungen und Intensitäten, abhängen. Die experimentellen Ergebnisse können wir erfolgreich mit einem vorhandenen theoretischen Modell beschreiben, das ultrakalte Stöße in der Gegenwart von Laserlicht behandelt.

Optische Feshbach-Resonanzen können sich zu einem wertvollen Werkzeug entwickeln, um Wechselwirkungen schnell zu verändern. Das ist besonders interessant für Konzepte zur Quanten-Informationsverarbeitung mit neutralen Atomen, wo Wechselwirkungen zwischen verschiedenen atomaren Qubits kontrolliert werden müssen.