

Zusammenfassung

Die Untersuchung ultrakalter Quantengase ist ein schnell wachsendes Teilgebiet der experimentellen und theoretischen Physik. Die derzeitigen Forschungsrichtungen beinhalten unter anderem die Simulation von Festkörpersystemen, die Erforschung von Suprafluidität und die Realisierung kontrollierter Quantenchemie. In dieser Doktorarbeit stellen wir unseren Beitrag in Form mehrerer durchgeführter Experimente, gruppiert in vier Themengebiete, vor.

In einem dreidimensionalen optischen Gitter untersuchen wir die Eigenschaften ultrakalter Atome in Abhängigkeit von der Wechselwirkungsstärke. Dieses System kann mit dem aus der Festkörperphysik stammenden Bose-Hubbard Modell beschrieben werden. Für ein stark wechselwirkendes System können wir das Versagen einiger grundlegenden Annahmen des Bose-Hubbard Modells durch präzise Messung des Anregungsspektrums zeigen. Bei Präparation eines Mott-Isolators und anschließendem Umschalten zu attraktiven Wechselwirkungen beobachten wir eine überraschende Stabilität und finden Hinweise darauf, dass sich das System durch Unterdrückung von Dreikörperverlusten aufgrund einer hohen Dreikörperverlustrate in Verbindung mit dem Quanten Zeno-Effekt selbst stabilisiert.

Wir untersuchen die Dynamik von Materiewellen entlang eines Gitterpotentials durch Analyse von Bloch-Oszillationen, welche durch eine auf die Atome wirkende Kraft auftreten. Wir testen die Auswirkungen von Wechselwirkung und externen Kraftgradienten auf diese Oszillationen und können die Analogie zwischen unserem System und dem Talbot-Effekt aus der klassischen Optik demonstrieren. Bei Modulation der Kraft beobachten wir Super-Bloch-Oszillationen, die wir zum Teilchentransport durch das Gitter ausnutzen.

In einer weiteren Reihe von Experimenten erzeugen wir ultrakalte Moleküle im absoluten Rotations-Schwingungs-Grundzustand nahe der Quantenentartung, eine Grundvoraussetzung für viele grundlegende Quantenchemieexperimente. Wir erzeugen zuerst schwach gebundene Moleküle durch Nutzung einer Feshbach-Resonanz und schützen die Moleküle mithilfe eines optischen Gitters vor inelastischen Stößen. Anschließend transferieren wir die Moleküle mit Hilfe der STIRAP-Technik in den absoluten Grundzustand, wobei wir eine Bindungsenergie entsprechend einer Temperatur von ~ 5200 K ohne Erwärmung der Moleküle abführen können. Damit behalten wir nahezu die volle Kontrolle über alle internen und externen Freiheitsgrade der Moleküle.

Durch ein optisches Gitterpotential erzeugte Röhren realisieren eine effektiv eindimensionale Geometrie, welche wir zur Untersuchung entsprechender physikalischer Modelle nutzen. Für stark repulsive Wechselwirkung gelangen wir in den Bereich des Tonks-Girardeau Gases, das einem idealen Gas harter Kugeln entspricht und sich durch starke Teilchenkorrelationen auszeichnet. Mithilfe einer Einschlussresonanz können wir die Wechselwirkung auf große attraktive Werte umschalten, wodurch wir das hochangeregte Super-Tonks-Girardeau Gas erzeugen können. Durch Hinzunahme eines schwachen Gitters entlang der Röhren können wir den sogenannten 'Pinning'-Quantenphasenübergang beobachten.