

Fluctuations and correlations in ultracold Fermi gases

Doctoral Thesis

Author(s):

Meineke, Jan Jakob

Publication date:

2012

Permanent link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-007580148>

Rights / license:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#)

Diss. ETH No. 20357

Fluctuations and Correlations in Ultracold Fermi Gases

A dissertation submitted to the
ETH ZURICH

for the degree of
Doctor of Sciences

presented by

JAN JAKOB MEINEKE

Dipl.-Phys.,
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Germany

born 21.02.1981 in Hamburg, Germany
citizen of Germany

accepted on the recommendation of
Prof. Dr. Tilman Esslinger, examiner
Prof. Dr. Corinna Kollath, co-examiner

2012

Kurzfassung

In dieser Arbeit präsentieren wir die ersten *in-situ* Messungen von Dichte- und Spin-Fluktuationen in ultrakalten Fermigasen mit einer Auflösung auf der intrinsischen Längenskala, die durch die Fermi-Wellenlänge definiert wird. Die Messung der Fluktuationen bietet einen direkten Zugang zu den Korrelationsfunktionen, die den Vielteilchen-Eigenschaften von stark wechselwirkenden Systemen zugrundeliegen.

Mit Hilfe eines hochauflösenden Abbildungssystems beobachteten wir eine Unterdrückung der Dichtefluktuationen in quantendegenerierten, schwach wechselwirkenden Fermigasen. Die Unterdrückung der Fluktuationen ist eine Konsequenz der quantenstatistischen Eigenschaften von ununterscheidbaren Fermionen und repräsentiert eine Messung der Antibunching im Ortsraum. Darüber hinaus haben wir eine neue Methode zur Messung der Temperatur von ultrakalten Quantengasen demonstriert, die auch für stark wechselwirkende Systeme anwendbar ist und auf dem Fluktuations-Dissipations-Theorem beruht.

Für die Messung der Spin-Fluktuationen entwickelten wir eine interferometrische Methode, die die Spin-Polarisation der Atome auf eine einzelne Mode des Lichtfelds überträgt und dabei nur durch das Schrotrauschen der Photonen limitiert ist. Mit dieser Methode haben wir auf quantitative und ortsaufgelöste Art und Weise die Spin-Fluktuationen in schwach und stark wechselwirkenden zweikomponentigen Fermigasen untersucht und die Spin-Suszeptibilität bestimmt. Für ein Gas mit stark abstossender Wechselwirkung haben wir eine Verringerung der Spin-Fluktuationen um 9.4 dB gemessen. Darüber hinaus haben wir unsere Messung der Spin-Fluktuationen als einen makroskopischen Verschränkungszeugen interpretiert. Letzteres macht den Weg frei für weiterführende experimentelle Untersuchungen von Verschränkung in Vielteilchensystemen.

Einem komplementären Ansatz folgend haben wir die erste Leitfähigkeitsmessung mit kalten Atome durchgeführt. Diese basiert auf der Realisierung makroskopischer Atom-Reservoire, die durch ein schmalen Kanal verbunden sind. Mit Hilfe unseres hochauflösenden Abbildungssystems, das auch die Manipulation auf kleinen Längenskalen erlaubt, haben wir gezeigt, dass sich an den Verbindungsstellen zwischen den Reservoiren und dem Kanal ein Kontaktwiderstand ausbildet. Diese Messungen bilden die Grundlage für die Quantensimulation von mesoskopischen Bauteilen.

Abstract

In this thesis we present the first *in-situ* measurement of density- and spin-fluctuations in trapped ultracold Fermi gases with a spatial resolution on the intrinsic scale set by the Fermi wavelength. The measurement of the fluctuations gives direct experimental access to the correlation functions underlying the many-body properties of strongly interacting systems.

Using high-resolution imaging, we have observed the suppression of the density fluctuations below atomic shot-noise in quantum-degenerate, weakly interacting Fermi gases. This suppression is as a consequence of the quantum statistics obeyed by indistinguishable fermions and constitutes a measurement of antibunching in real space. We have also demonstrated a new method for measuring the temperature of trapped ultracold gases that is applicable also for strongly interacting system and which is based on the fluctuation-dissipation theorem.

For our measurement of the spin-fluctuations we have developed a shot-noise limited interferometer, which maps the spin-polarization of the atoms to a single mode of the light field. With this method we have studied the spin-fluctuations in weakly and strongly interacting two-component Fermi gases in a spatially resolved and quantitative way. For a strongly interacting gas we have measured a reduction of the spin-fluctuations due to pairing by 9.4 dB. We have used the spin-fluctuations to determine the spin-susceptibility. Furthermore, we interpret our measurement of the spin-fluctuations as a macroscopic entanglement witness, opening the way towards experimental investigations of entanglement in many-body systems.

In a complimentary approach, we have achieved the first conduction measurement with cold atoms by engineering macroscopic atom reservoirs connected by a narrow channel. Using high-resolution imaging and manipulation of the atoms, we have demonstrated the emergence of a contact resistance, where the reservoirs and the channel connect. These measurements open the way towards the quantum simulation of mesoscopic devices.