

Ulm Ulm Suchen



Neuer SFB Transregio 21



Einleitung



CO.CO.MAT
CONTROL OF QUANTUM CORRELATIONS
IN TAILORED MATTER
SFB/TR 21 – STUTTGART, ULM, TÜBINGEN

SFB/TR 21: "Quantenkontrolle in maßgeschneiderter Materie: Gemeinsame Perspektiven von mesoskopischen Systemen und Quantengasen"

Zwei Forschungsgebiete der modernen Physik wachsen zusammen, da sich Arbeitsgruppen aus der Quantenphysik der Atome und der Festkörper für ähnliche Fragestellungen interessieren. Die Zusammenarbeit der Forscher wird insbesondere dadurch stimuliert, dass diese Themen an gänzlich unterschiedlichen physikalischen Systemen, wie z.B. Supraleitern, Quantenpunkten, einzelnen Atomen, atomaren Quantengasen oder organischen Metallen, untersucht werden. Der dazu von den Universitäten [Stuttgart](#), [Tübingen](#), Ulm und dem [Max-Planck-Institut für Festkörperforschung](#) (Stuttgart) initiierte [Sonderforschungsbereich Transregio 21](#) wurde am 24.05.2005 von der [Deutschen Forschungsgemeinschaft](#) [genehmigt](#). Das Ziel dieses neuen SFBs ist die kontrollierte Herstellung von Quantenmaterie, d.h. Materie, deren kollektives Verhalten durch die Gesetze der Quantenmechanik bestimmt wird, und die Manipulation ihrer Eigenschaften am Quantenlimit.

Ziele des SFBs

Quantenmaterie bietet eine beeindruckende Vielfalt von physikalischen Phänomenen, wie z.B. die Suprafluidität, die Supraleitung und den anomalen Elektronentransport in

niedrigdimensionalen Systemen. Gleichzeitig ist unser Verständnis der nano- und mesoskopischen Quantenmaterie auch heute noch beschränkt. Verantwortlich hierfür sind starke Korrelationen und Quanteneffekte. Daher sind Systeme, die in wohl definierter Umgebung und Geometrie dynamisch kontrolliert werden können, sehr gut geeignet, neue Erkenntnisse zu liefern, die es ermöglichen

1. neue Zustände der Materie zu entdecken,
2. neue dynamische Quantenzustände zu erzeugen,
3. das Verständnis des Skalierungsverhaltens von wenigen zu vielen gekoppelten Systemen zu entwickeln,
4. Dekohärenzeffekte zu manipulieren und zu untersuchen, sowie
5. Licht-Materiezustände zu kontrollieren

Das gemeinsame Ziel der renommierten Wissenschaftler, unter ihnen auch der Nobelpreisträger (1985) Klaus von Klitzing, ist es, die teilweise komplementären Kontrollmöglichkeiten in mesoskopischen Systemen und atomaren Quantengasen einzusetzen, um Korrelationen in Vielteilchensystemen gezielt zu steuern. Dadurch sollen die Voraussetzung für die Herstellung und Anwendung von maßgeschneiderter Quantenmaterie geschaffen werden.

Projekte der Universität Ulm

Die Universität Ulm ist an diesem SFB mit vier von insgesamt 14 Projekten beteiligt. In diesen Projekten werden Quanteneigenschaften von [fraktionalem Josephson-Flusswirbeln](#), das Verhalten von stark [korrelierten Quantengasen in optischen Gittern](#), die [Nichtgleichgewichtsdynamik von ultrakalten Atomen](#) in Fallen mit kontrollierbarer Geometrie und die Wechselwirkung von einzelnen [Ionen mit Festkörpersystemen in miniaturisierten Ionenfallen](#) untersucht. Nachfolgend werden zwei Projekte näher vorgestellt.

Nichtgleichgewichtsdynamik von ultrakalten Atomen

Klassische Phasenübergänge werden durch thermische Fluktuation getrieben, z.B. das Schmelzen von Eis bei 0° Celsius. Bei den verschwindend geringen Temperaturen von nur 10^{-9} Kelvin über dem absoluten Nullpunkt, wie sie heutzutage mit ultrakalten atomare Quantengasen erreicht werden, dominieren aber Quantenfluktuationen, wie z. B. in Bose-Einstein-Kondensaten (Nobelpreis 2001: E. Cornell, C. Wiemann, W. Ketterle) und in superfluiden Fermigasen. Das

physikalische Verhalten wechselwirkender Vielteilchensysteme hängt nun aber auch stark von der räumlichen Dimensionalität ab. Es ist deshalb besonders interessant, die Physik der superfluiden Phasenübergänge in diesen Modellsystemen zu untersuchen, wenn die Geometrie der atomaren Falle kontinuierlich deformierbar ist. Dies ist heutzutage mit Hilfe elektromagnetischer Felder experimentell leicht realisierbar. In dem Projekt zur Nichtgleichgewichtsdynamik entarteter Quantengase in geometrisch kontrollierbaren Atomfallen soll die zunehmende Bedeutung der Quantenfluktuationen bei abnehmender räumlicher Dimension untersucht werden.

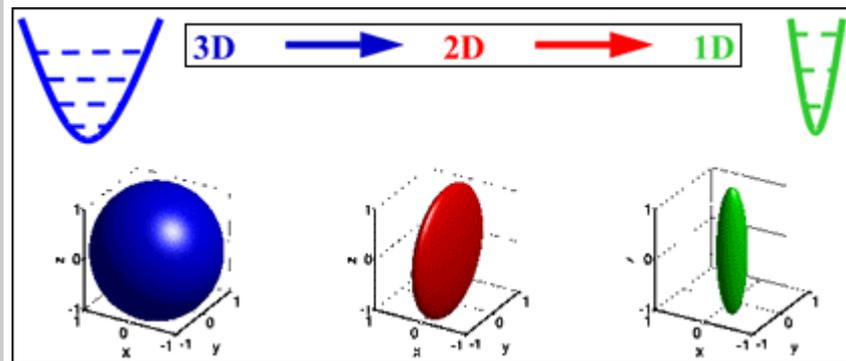


Abb. 1:

Kontinuierliche Deformationen der räumlichen Geometrie der atomaren Falle (3D->2D->1D), gestatten es die statischen und dynamischen Eigenschaften von superfluiden Quantengasen während des dimensionalen Überganges zu studieren.

Miniaturisierte Ionenfallen

Einzelne Atome können gefangen und beobachtet werden und stellen ein exemplarisches Quantensystem dar. Die dafür idealen Systeme sind Ionenkristalle in dynamischen Pauli-Fallen (Wolfgang Paul, Nobelpreis 1989), da die Atome weitgehend ungestört gefangen und untersucht werden können. Das Ziel eines der Ulmer Projekte innerhalb des neuen SFBs ist nun die gezielte Kopplung einzelner gefangener Ionen mit Festkörpersystemen. Die geplanten Experimente erlauben das Studium eines vollständig verstandenen einfachen Quantensystems – dem Ion in der Falle – in Wechselwirkung mit einem mesoskopischen Festkörpersystem. Dabei dient das Ion als präzise positionierbare Sonde, deren Zustand vor der Wechselwirkung präpariert und nach der Wechselwirkung perfekt ausgelesen werden kann. Für alle dazu nötigen Schritte benutzen wir Laserlichtfelder. Ionenkristalle, bestehend aus mehreren Atomen, können in quantenverschränkten Zuständen präpariert werden und könnten als "Kohärenz-Probe" der Festkörper-Oberflächen benutzt werden. Bei weiterer Reduktion der Strukturgröße der

Falle auf nur wenige μm und einer Integration von Nanostrukturen sollen neuartige Dekohärenz-Mechanismen untersucht werden.

Weiter interessiert uns die Nutzung von Ionenkristallen, um einen sogenannten "Analog-Rechner" für komplexe Vielteilchensysteme zu realisieren. Auf diese Weise können Quantenphasenübergänge untersucht werden, während gezielt äußere Parameter verändert werden. Bis zum heutigen Zeitpunkt sind die erforderliche Theorie äußerst rechenaufwendig und daher nur teilweise möglich. Im Gegensatz dazu können Ionenketten verwendet werden, um etwa magnetische Phasenübergänge zu simulieren.

Abb. 2:
Ionenfalle eingebaut im Vakuumtopf. In der Mitte ist der zentrale Schlitz zu sehen, in dem die Ionen gefangen werden.

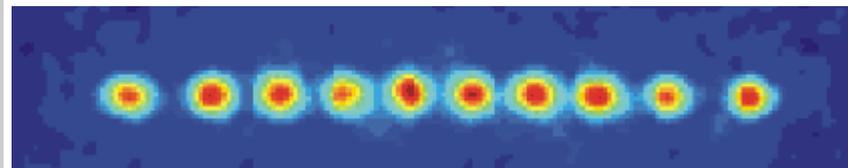
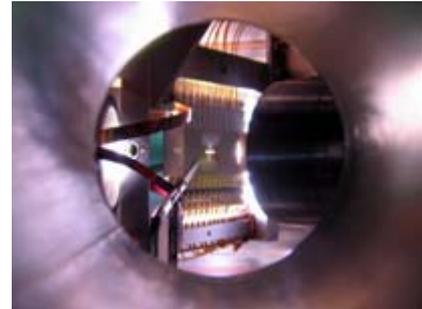


Abb. 3:
Linearer Ionenkristall aus zehn Kalzium Atomen. Die einzelnen Atome werden mit Laserlicht beleuchtet und ihre Fluoreszenz ist auf eine CCD Kamera abgebildet. Die Abstände betragen hier etwa $10\mu\text{m}$.

Perspektiven

Der neue SFB fügt sich perfekt in die Struktur der Universität Ulm ein. Langfristig, das heißt über die nächste Dekade, wird das hier nur in Grundzügen skizzierte Programm dazu dienen unser Verständnis der Quantennatur der Vielteilchenphysik entscheidend voranzubringen. Der Standort Ulm gewinnt durch die Einbindung in das Netzwerk an Attraktivität, sowohl für Forscher als auch für Studierende.

Ansprechpartner

Universität Ulm
Abteilung Quantenphysik
Albert-Einstein-Allee 11
89081 Ulm
<http://www.physik.uni-ulm.de/quant/>

Dr. Reinhold Walser
Tel.: +49 (0)731 50 - 230 84
Fax.: +49 (0)731 50 - 230 86
e-mail: Reinhold.Walser@uni-ulm.de

Universität Ulm
Abteilung Quanteninformationsverarbeitung
Albert-Einstein-Allee 11
89081 Ulm
<http://www.uni-ulm.de/qiv/>

Prof. Dr. Ferdinand Schmidt-Kaler
Tel.: +49 (0)731 50 - 228 30
Fax.: +49 (0)731 50 - 228 39
e-mail: Ferdinand.Schmidt-Kaler@uni-ulm.de

Sprecher des SFBs:
Universität Stuttgart
5. Physikalisches Institut
Pfaffenwaldring 57
70569 Stuttgart
<http://www.physik.uni-stuttgart.de/institute/pi/5>

Prof. Dr. Tilman Pfau
Tel.: +49 (0)711 68 - 548 20
Fax.: +49 (0)711 68 - 538 10

Uni Ulm

Suchen

V.i.S.d.P.: [Dr. Reinhold Walser](#)
Technische Fragen bitte an den [Webmaster](#)
Juni 2005