

Neuer Transregio SFB 21

Kontrollierte Herstellung von Quantenmaterie angestrebt

Wäre dies die Filmkritik des jüngsten Hollywood Kassenschlagers, dann würde die Geschichte wohl zwangsläufig auf »gigantische thermonukleare Energiefreisetzungen« in »virtuellen Welten« hinauslaufen. Doch – glücklicherweise ist dies nicht der Fall, da es sich hier um einen sehr realen Erfolgsbericht einer geglückten Zusammenarbeit von Forschern der Universitäten Ulm, Stuttgart, Tübingen, sowie des Max-Planck Institutes für Festkörperforschung handelt. Nach einer fast zweijährigen Vorbereitungszeit wurde schließlich im Juli 2005 ein neuer, von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) geförderter, Sonderforschungsbereich (SFB) zum Thema »Quantenkontrolle in maßgeschneiderter Materie: gemeinsame Perspektiven von mesoskopischen Systemen und Quantengasen« eingerichtet.

Einleitung

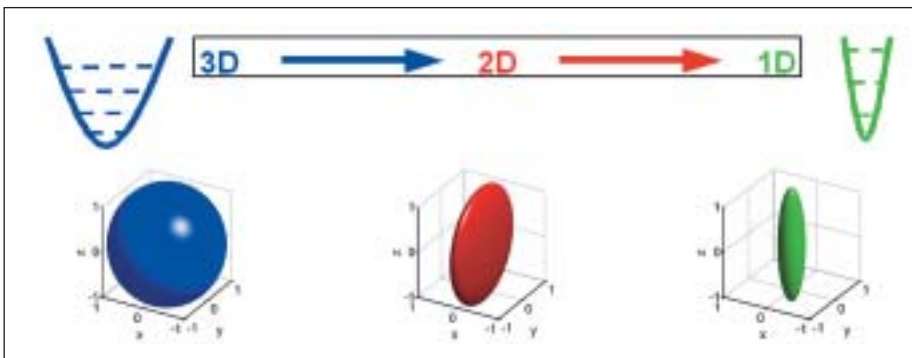
Zwei Forschungsgebiete der modernen Physik wachsen zusammen, da sich Arbeitsgruppen aus der Quantenphysik der Atome und der Festkörper für ähnliche Fragestel-

Ziele des Sonderforschungsbereiches

Quantenmaterie bietet eine beeindruckende Vielfalt von physikalischen Phänomenen, wie zum Beispiel die Suprafluidität, die

nen, sehr gut geeignet, neue Erkenntnisse zu liefern, die es ermöglichen

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



Die kontinuierliche Deformation der räumlichen Geometrie der atomaren Falle (3D→2D→1D) gestattet es, die statischen und dynamischen Eigenschaften von superfluiden Quantengasen während des dimensional Überganges zu studieren

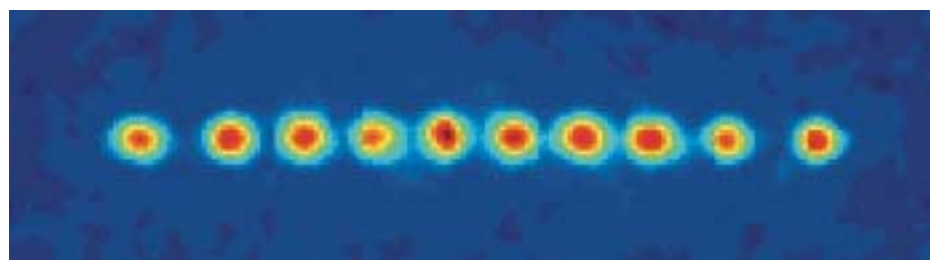
lungen interessieren. Die Zusammenarbeit der Forscher wird insbesondere dadurch stimuliert, dass diese Themen an gänzlich unterschiedlichen physikalischen Systemen, wie zum Beispiel Supraleitern, Quantenpunkten, einzelnen Atomen, atomaren Quantengasen oder organischen Metallen, untersucht werden. Der dazu von den Universitäten Stuttgart, Tübingen, Ulm und dem Max-Planck-Institut für Festkörperforschung (Stuttgart) initiierte Transregio SFB 21 wurde im Mai 2005 von der DFG genehmigt und hat offiziell am 1. Juli 2005 begonnen. Das Ziel dieses neuen SFBs ist die kontrollierte Herstellung von Quantenmaterie, das heißt Materie, deren kollektives Verhalten durch die Gesetze der Quantenmechanik bestimmt wird, und die Manipulation ihrer Eigenschaften am Quantenlimit.

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 kön-

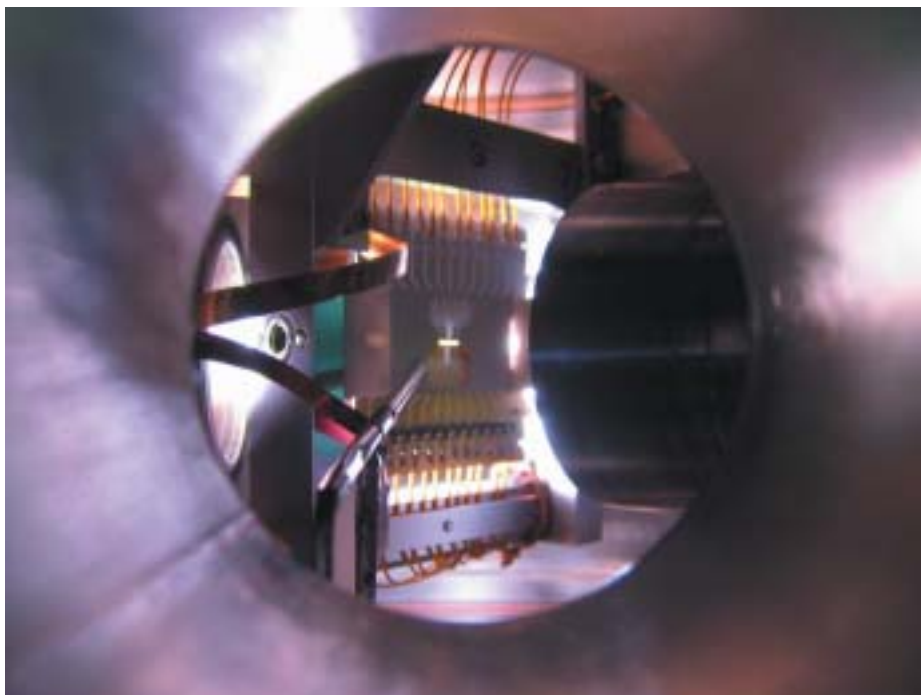
Das gemeinsame Ziel der renommierten Wissenschaftler, unter ihnen auch der Nobelpreisträger (1985) Klaus von Klitzing, ist es, die teilweise komplementären Kontrollmöglichkeiten in mesoskopischen Systemen und atomaren Quantengasen einzusetzen, um Korrelationen in Vielteilchensystemen gezielt zu steuern.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

Ausgewählte Projekte

Die Universität Ulm ist derzeit durch die Lehrstühle von Prof. Wolfgang Schleich



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 µm.



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

(Abteilung Quantenphysik) und von Prof. Ferdinand Schmidt-Kaler (Abteilung Quanteninformationsverarbeitung) mit vier von insgesamt 14 Projekten an diesem SFB 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 Fluktuationen getrieben, z. B. das Schmelzen von Eis bei 0° Celsius. Bei den verschwindend geringen Temperaturen von nur 10 bis 9 Kelvin über dem absoluten Nullpunkt, wie sie heutzutage mit ultrakalten atomaren Quantengasen erreicht werden, dominieren aber Quantenfluktuationen, wie zum Beispiel 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 Dimensiona-

lität 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.

Miniaturisierte Ionenfallen

Einzelne Atome können gefangen und beobachtet werden und stellen ein exemplarisches Quantensystem dar. Die dafür idealen Systeme sind Ionenkristalle in dynamischen Paul-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 Wechsel-

wirkung 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.

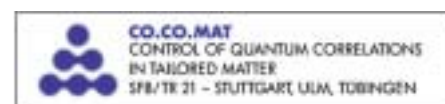
Weiter interessiert uns die Nutzung von Ionenkristallen, um einen sogenannten »Analog-Rechner« für komplexe Vielteilchensysteme zu realisieren. Auf diese Weise können Quantenphasenübergänge untersucht werden, während gezielt äußere Parameter verändert werden. Bis zum heutigen Zeitpunkt ist die erforderliche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

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 an der Universität Ulm sind Prof. Wolfgang Schleich und Dr. Reinhold Walser (Abteilung Quantenphysik) sowie Prof. Ferdinand Schmidt-Kaler (Abteilung Quanteninformationsverarbeitung). ■

Dr. habil. Reinhold Walser



Logo und Thematik des neuen Sonderforschungsbereiches TR21. Weitere Informationen unter www.physik.uni-stuttgart.de/TR21.