

## Press release

Technische Universität Wien

Dr. Florian Aigner

01/25/2016

<http://idw-online.de/en/news644854>

Research results, Scientific Publications  
Physics / astronomy  
transregional, national



## Lösungen finden, wenn alles mit allem zusammenhängt

**Quantenobjekte kann man nicht einfach als Summe ihrer Einzelteile verstehen – das macht Quanten-Rechnungen oft extrem schwierig. An der TU Wien berechnet man nun Bose-Einstein-Kondensate, die ihre spannendsten Eigenschaften nur im Kollektiv preisgeben.**

Quantensysteme kann man nur dann auf einfache Weise berechnen, wenn sie aus wenigen Einzelteilen bestehen. Ein Wasserstoffatom ist kein Problem – eine Atomwolke, die tausende Teilchen enthält, kann man normalerweise nur näherungsweise beschreiben. Der Grund dafür ist, dass die Teilchen quantenphysikalisch miteinander verbunden sind und nicht einfach getrennt voneinander betrachtet werden können. Kaspar Sakmann vom Atominstitut der TU Wien zeigt nun gemeinsam mit Mark Kasevich (Stanford, USA) im Fachjournal „Nature Physics“, dass man mit bestimmten Methoden sogar Effekte in ultrakalten Bose-Einstein-Kondensate berechnen kann, die sich nur durch die quantenphysikalische Korrelation zwischen vielen Atomen erklären lassen.

### Quantenphysikalische Verbindungen

Die Quantenphysik ist ein großes Zufallsspiel: Die Atome in einer Atomwolke haben zunächst keinen festgelegten Aufenthaltsort. Ähnlich wie ein Würfel noch keine Augenzahl anzeigt, so lange er noch in der Luft herumwirbelt, befinden sich die Atome zunächst überall gleichzeitig. Erst bei der Messung werden die Positionen der Atome festgelegt. „Wir bestrahlen die Atomwolke mit Licht, das von den Atomen absorbiert wird“, erklärt Kaspar Sakmann. „Man fotografiert die Atome gewissermaßen und legt ihre Position damit fest. Das Ergebnis ist völlig zufällig.“

Allerdings unterscheidet sich dieser Quantenzufall vom Würfelspielen: Wenn man nämlich mit verschiedenen Würfeln gleichzeitig würfelt, kann man sie völlig getrennt voneinander betrachten. Ob man mit dem ersten Würfel eine Sechser würfelt, hat überhaupt keinen Einfluss darauf, welche Zahl beim Würfel Nummer sieben drankommen wird. Die Atome in der Atomwolke sind hingegen quantenphysikalisch miteinander verbunden. Man kann sie nicht getrennt voneinander betrachten, sie sind ein gemeinsames Quantenobjekt. Daher hängt das Ergebnis jeder Atom-Aufenthaltsmessung auf mathematisch komplizierte Weise von den Aufenthaltsorten aller anderen Atome ab.

„Es ist nicht schwer, die Wahrscheinlichkeit zu ermitteln, dass man ein Teilchen an einem bestimmten Ort vorfinden wird“, sagt Kaspar Sakmann. „Im Zentrum der Wolke ist die Wahrscheinlichkeit am größten, nach außen hin nimmt sie stetig ab.“ Hätte man es mit einem klassischen Zufallssystem zu tun, dann wäre das schon alles: Wenn man weiß, dass mit einem einzelnen Würfel in einem Sechstel aller Fälle eine Eins würfeln wird, dann kann man problemlos die Wahrscheinlichkeit ausrechnen, mit drei Würfeln jeweils eine Eins zu würfeln. Auch wenn man fünfmal die Eins würfelt, ist beim sechsten Würfel die Wahrscheinlichkeit für eine Eins wieder genauso groß wie immer – ein Sechstel. Bei quantenphysikalischen Teilchen ist das viel komplizierter.

„Wir teilen das Problem Schritt für Schritt auf“, erklärt Sakmann. „Wir berechnen zuerst die Wahrscheinlichkeit, mit der sich das erste Teilchen an einer bestimmten Stelle befindet. Die Aufenthaltswahrscheinlichkeiten des zweiten Teilchens hängen dann davon ab, wo man das erste gefunden hat, der Ort des dritten Teilchens von den ersten beiden – und

immer so weiter.“ Um die Verteilung zu berechnen, die das letzte Teilchen beschreibt, muss man ausnahmslos alle anderen Teilchen berücksichtigen – diese Art von Quantenverschränkung macht das Problem mathematisch höchst kompliziert.

Ohne Korrelationen wäre das Experiment unerklärbar

Doch genau diese Art von höheren Korrelationen zwischen vielen Teilchen sind unverzichtbar – zum Beispiel um das Verhalten von kollidierenden Bose-Einstein-Kondensaten zu berechnen. „Aus dem Experiment weiß man, dass bei solchen Kollisionen spezielle Quantenwellen entstehen. An manchen Orten findet man viele Teilchen, gleich daneben überhaupt keine“, sagt Kaspar Sakmann. „Betrachtet man die Atome des Bose-Einstein-Kondensats einzeln, dann ist dieser Effekt nicht zu erklären. Erst wenn man die vollständige, Quanten-Verteilungsfunktion mit höheren Korrelationen betrachtet, tauchen diese Wellen in der Rechnung auf.“

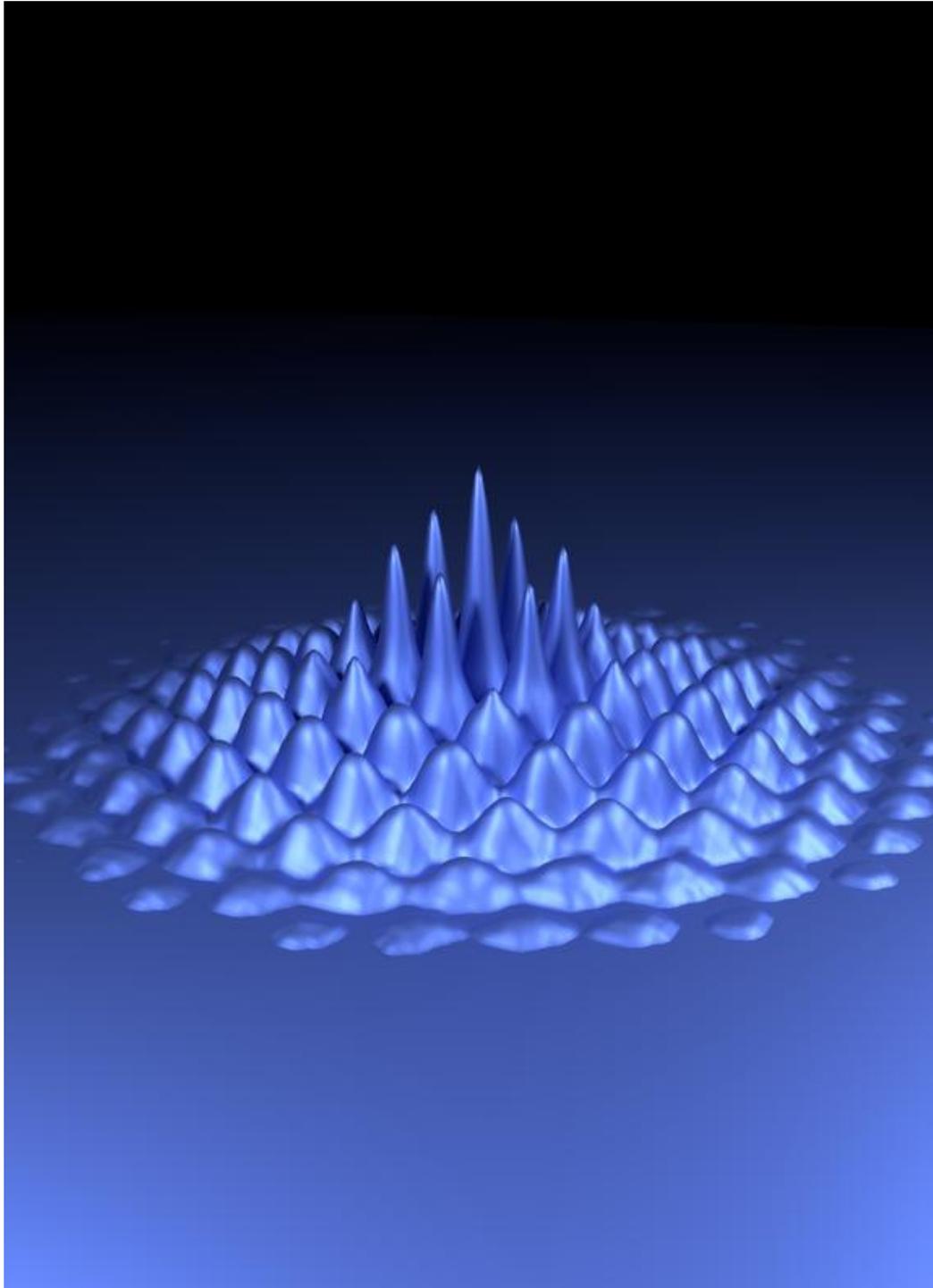
Berechnet wurden auch Bose-Einstein-Kondensate, die man mit einem Laserstrahl umrührt, woraufhin spontan an bestimmten Orten kleine Vortices entstehen – auch ein typischer Vielteilcheneffekt. „Unsere Ergebnisse zeigen, wie wichtig diese Korrelationen sind, und dass man sie trotz aller Schwierigkeiten korrekt berücksichtigen kann“, sagt Sakmann. Mit einigen Modifikationen sollte die Rechenmethode auch für viele andere Quantensysteme anwendbar sein.

Rückfragehinweis:

Dr. Kaspar Sakmann  
Atominstitut  
Technische Universität Wien  
Stadionallee 2, 1020 Wien  
T: +43-1-58801-141889  
kaspar.sakmann@ati.ac.at

Aussender:

Dr. Florian Aigner  
Büro für Öffentlichkeitsarbeit  
Technische Universität Wien  
Operngasse 11, 1040 Wien  
T: +43-1-58801-41027  
florian.aigner@tuwien.ac.at



Bose-Einstein-Kondensate, die Wellen schlagen: Ein Vielteilchen-Phänomen  
TU Wien



Kaspar Sakmann  
Kaspar Sakmann, TU Wien