



## Stuttgarter Physiker weisen erstmals zweifelsfrei einen Suprafestkörper nach

Exotische Quantenmaterie ist Kristall und Supraflüssigkeit zugleich

Suprafestkörper (im englischen supersolids) beschreiben einen Aggregatzustand, den man vereinfacht als fest und flüssig zugleich beschreiben kann. Um den Nachweis dieser exotischen Quantenmaterie ist in den vergangenen Jahren ein regelrechter Wettbewerb entbrannt. Einem Team um Prof. Tilman Pfau und Tim Langen am 5. Physikalischen Institut der Universität Stuttgart gelang nun erstmals der experimentelle Nachweis, dass der lange vorhergesagte, suprasolide Zustand der Materie tatsächlich existiert. Die Forscher beschreiben ihre Ergebnisse im Magazin Nature.

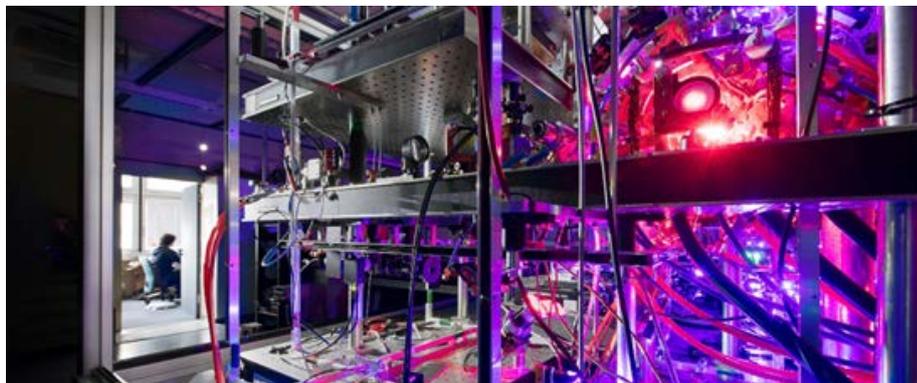
### Hochschulkommunikation

Leiter Hochschulkommunikation  
und Pressesprecher  
Dr. Hans-Herwig Geyer

Kontakt  
T 0711 685-82555

Ansprechpartnerin  
Andrea Mayer-Grenu

Kontakt  
T 0711 685-82176  
F 0711 685-82291  
hkom@uni-stuttgart.de  
www.uni-stuttgart.de



In diesem experimentellen Aufbau gelang es den Stuttgarter Forschern, mit Lasern und magnetischen Feldern den Suprafestkörper aus Dysprosium-Atomen zu erzeugen.

Foto: Wolfram Scheible.

Im Alltag kennt man drei Aggregatzustände von Materie - fest, flüssig und gasförmig. Kühlt man Materie extrem ab, entstehen auch andere Aggregatzustände wie Supraflüssigkeiten, in denen sich die Atome widerstandslos und reibungsfrei bewegen können. Auf atomarer Ebene kommt dabei die Quantenmechanik ins Spiel: Einzelne Teilchen wie Atome



oder Elektronen können sich überlagern und so beispielsweise unvorhersehbar und zufällig an zwei verschiedenen Orten auftauchen. Theoretisch ist es aber auch möglich, dass ganze Aggregatzustände wie etwa fest oder flüssig zu neuen Aggregatzuständen mit neuen Eigenschaften überlagert werden. Ein Suprafestkörper ist ein solcher Überlagerungszustand und besteht aus der kristallinen Struktur eines Festkörpers und einer Supraflüssigkeit. Ein Teilchen könnte daher nun unvorhersehbar und zufällig Teil des Kristalls oder der Supraflüssigkeit sein.

Der an der Universität Stuttgart erzeugte Suprafestkörper besteht aus Dysprosium-Atomen, die sich wie kleine Magnete verhalten. Im Experiment werden die Atome bis nahe zum absoluten Nullpunkt ( $-273^{\circ}$  Celsius) abgekühlt. An diesem Punkt spielen zwei Arten der Wechselwirkung zwischen den Atomen eine Rolle: kommen sich zwei Atome sehr nahe, stoßen sie wie Billardkugeln zusammen. Gleichzeitig können sie sich aufgrund der magnetischen Wechselwirkung aber auch über längere Distanzen anziehen oder abstoßen. Um einen Suprafestkörper zu erzeugen, tariieren die Forscher das Verhältnis zwischen diesen beiden Kräften so aus, dass sich gleichzeitig eine kristalline Gitterstruktur und die sogenannte Suprafluidität - ein reibungsloser Fluss von Atomen - ausbilden. "Die periodische Kristallbildung konnten wir direkt optisch feststellen und die quantenmechanische Überlagerung durch Interferenzexperimente testen", erklären Mingyang Guo und Fabian Böttcher, Postdoktorand und Doktorand am 5. Physikalischen Institut, ihre Messungen.

### **Nachweis mit Hilfe von Schallwellen**

Der endgültige Nachweis, dass es sich bei der im Experiment erzeugten Materie tatsächlich um einen Suprafestkörper handelt, gelang dem Team durch die Untersuchung von zwei Arten von Schallwellen, die mit verschiedenen Schallgeschwindigkeiten durch den Suprafestkörper laufen. Solche Schallwellen breiten sich in verschiedenen Materialien sehr unterschiedlich aus – in der Luft ist der Schall zum Beispiel viel langsamer als im Wasser. Diesen „normalen“ Schall gibt es auch im Suprafestkörper. Weil der Suprafestkörper gleichzeitig fest *und* flüssig ist, lässt sich aber auch eine charakteristische zweite Form von Schallwellen beobachten, bei denen sich der Kristall und die Supraflüssigkeit jeweils genau entgegengesetzt bewegen. Dadurch entstehen Schallwellen mit einer sehr geringen



Geschwindigkeit, was die Stuttgarter Forscher im Experiment erstmals beobachten konnten.

Immer wieder sind in den letzten Jahren Beobachtungen eines Suprafestkörpers gemeldet worden. Dann hat sich aber später herausgestellt, dass keine zwei Schallarten gemessen wurden. "In diesem weltweiten Wettrennen ist es uns jetzt zum ersten Mal gelungen, alle drei Bedingungen für einen suprasoliden Zustand in einem Experiment mit ultrakalten Dysprosium Atomen zu demonstrieren" freut sich Tilman Pfau. Die Experimente der Stuttgarter Forscher eröffnen damit erstmals die Möglichkeit, die exotischen Eigenschaften von Suprafestkörpern detailliert zu untersuchen.

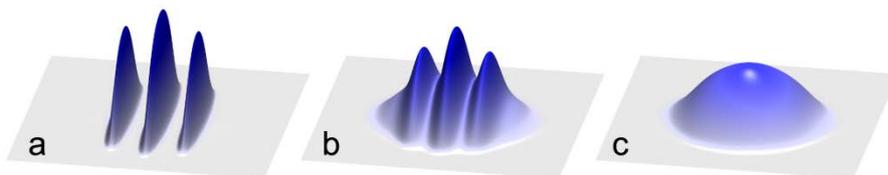


Abbildung a) zeigt einen kleinen Kristall, in c) wurde aus den Atomen eine Supraflüssigkeit präpariert, b) zeigt die Überlagerung aus beiden - den Suprafestkörper. In einem bestimmten Parameterbereich können dabei die beiden, sich in der klassischen Welt ausschließenden Eigenschaften fest und flüssig, in einer quantenmechanischen Überlagerung existieren.

#### Originalpublikation:

"The low-energy Goldstone mode in a trapped dipolar supersolid"  
Mingyang Guo, Fabian Böttcher, Jens Hertkorn, Jan-Niklas Schmidt,  
Matthias Wenzel, Hans Peter Büchler, Tim Langen, Tilman Pfau: Nature  
2019, [doi:10.1038/s41586-019-1569-5](https://doi.org/10.1038/s41586-019-1569-5),

Preprint: <https://arxiv.org/abs/1906.04633>

#### Fachlicher Kontakt:

Prof. Tilman Pfau, Universität Stuttgart, 5. Physikalisches Institut,  
Tel.: +49 711 685-68025, E-Mail: [t.pfau \(at\) physik.uni-stuttgart.de](mailto:t.pfau@physik.uni-stuttgart.de)

#### Pressekontakt:

Andrea Mayer-Grenu, Universität Stuttgart, Hochschulkommunikation,  
Tel.: +49 711 685-82176, E-Mail: [andrea.mayer-grenu \(at\) hkom.uni-stuttgart.de](mailto:andrea.mayer-grenu@hkom.uni-stuttgart.de)