

Quantengase

Atomwolken in Kleeblattform

Der Tanz nach dem großen Kollaps: Bei der Explosion von Bose-Einstein-Kondensaten aus magnetischen Teilchen prägen die magnetischen Kräfte das Bild. Experimente sollen Einblick in die immer noch rätselhafte Hochtemperatur-Supraleitung geben.

Von Rainer Scharf

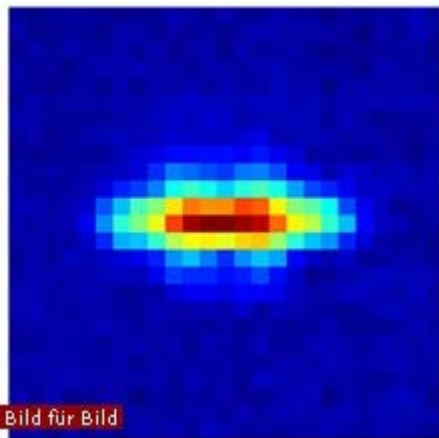


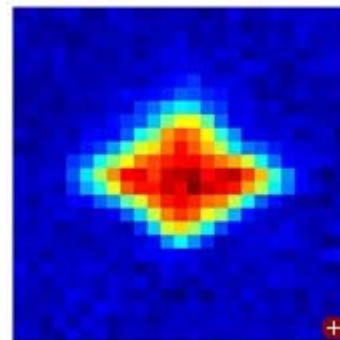
Bild für Bild

Der Beginn der Explosion

28. August 2008 Atomare Gase verhalten sich eigenartig, wenn sie auf extrem tiefe Temperaturen gekühlt werden. In der Nähe des absoluten Nullpunkts geben die Atome plötzlich ihre Individualität auf und stimmen ihr Verhalten perfekt aufeinander ab. Es entstehen Bose-Einstein-Kondensate, an denen sich viele physikalische Phänomene studieren lassen – bei nahezu perfekter Kontrolle aller wichtigen Parameter. Beispiele sind das reibungslose Fließen von Supraflüssigkeiten oder der widerstandslose elektrische Stromfluss in Supraleitern.

Von den Experimenten erhoffen sich die Wissenschaftler neue Einblicke in die noch immer rätselhafte Hochtemperatur-Supraleitung. Ein mitunter überraschendes Verhalten legen Bose-Einstein-Kondensate aus magnetischen Atomen – Atomen mit magnetischem Moment – an den Tag, die sich seit kurzem herstellen lassen. Das haben jetzt Wissenschaftler der Universität Stuttgart beobachtet. Die Kondensate kollabieren, und gleich darauf fliegen sie wieder in Form eines Kleeblatts auseinander.

Explosionen von extrem kalten Quantengasen hatten die späteren Nobelpreisträger Eric Cornell und Carl Wieman an der University of Colorado in Boulder erstmals vor sieben Jahren beobachtet. Die Kondensate, die aus Atomen des Isotops Rubidium-85 bestanden, kollabierten, wenn die Atome sich stark anzogen. Die beiden Forscher verstärkten dazu die zwischen den Atomen wirkenden elektrischen Kräfte mit einem äußeren Magnetfeld. Nach dem Kollaps dehnte sich die Atomwolke explosionsartig in alle Richtungen aus. Wieman hatte den Explosionen deshalb den scherzhaften Namen „Bose-Nova“ verliehen.

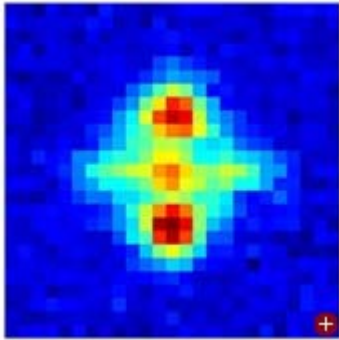


Nach 0,1 Millisekunden

Kinematische Einschränkungen

Für den Ablauf einer Bose-Nova haben die Forscher folgende Erklärung: Kollabiert das Bose-Einstein-Kondensat, wird es verdichtet. Das schränkt zum einen die Bewegungsfreiheit der Atome ein, wodurch nach der Heisenbergschen Unschärfebeziehung die Geschwindigkeit der Atome so groß wird, dass viele Teilchen aus der Wolke entweichen

können. Zum anderen kollidieren die Atome häufiger, und es treten mehr Kollisionen von drei Atomen auf. Aus kinematischen Gründen kann nur dann, wenn mindestens drei Atome aufeinandertreffen, eines davon entfliehen.



Nach 0,2 Millisekunden

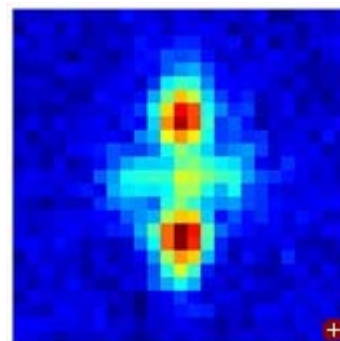
Eine kleeblattförmige Wolke, wie sie die Stuttgarter Forscher um Tilman Pfau jetzt bei der Explosion von Bose-Einstein-Kondensaten aus magnetischen Atomen beobachtet haben, hatte man mit unmagnetischen Atomen nicht feststellen können. Das liegt daran, dass sich die beiden Atomarten bei Kollisionen unterschiedlich verhalten. Stoßen zwei unmagnetische Atome zusammen, gleichen sie sich zu perfekten Kugeln, deren räumliche Orientierung auf den Verlauf der Kollision keinen Einfluss hat. Magnetische Atome üben zusätzlich zu der bei Kollisionen wirkenden elektrischen Kraft auch noch eine richtungsabhängige magnetische Kraft aufeinander aus. Setzt man eine Wolke

aus magnetischen Atomen einem starken äußeren Magnetfeld aus, dann zeigen die magnetischen Momente der Atome alle in ein und dieselbe Richtung. Wenn zwei Momente nebeneinanderliegen, so stoßen sie sich ab. Sind sie hingegen hintereinander aufgereiht, dann ziehen sie sich an. Wie eine Kollision zwischen magnetischen Atomen verläuft, hängt deshalb vor allem von ihrer räumlichen Anordnung ab.

In der Magnetfalle

Für ihre Experimente haben Tilman Pfau und seine Kollegen ein Bose-Einstein-Kondensat aus etwa 20 000 magnetischen Chrom-52-Atomen hergestellt und in einer Magnetfalle festgehalten. Dabei konnten sie der Atomwolke die Gestalt einer Zigarre oder eines Pfannkuchens aufprägen. In einer pfannkuchenförmigen Wolke lagen die magnetischen Momente zumeist nebeneinander, wodurch sich die Atome abstießen und es somit zu keiner Explosion kam. Das änderte sich, wenn die Atomwolke die Form einer Zigarre annahm. Nun waren die Atome und deren magnetische Momente überwiegend hintereinander angeordnet und zogen sich an. Die Wolke kollabierte.

Das zigarrenförmige Kondensat stürzte in weniger als einer Millisekunde in sich zusammen, wobei es zunächst einem etwa drei Mikrometer langen, hauchdünnen Faden glich. Die darauf folgende Explosion führte dazu, dass die Wolke bevorzugt in bestimmte Richtungen expandierte. Dabei nahm sie schließlich die Form eines vierblättrigen Kleeblatts an, berichten die Forscher in den „Physical Review Letters“ (Bd. 101, Nr. 080401).



Nach 0,3 Millisekunden

Mit Computersimulationen, die die zwischen den Atomen wirkenden Kräfte berücksichtigen, konnten die Wissenschaftler die Kleeblattform der explodierenden Atomwolken reproduzieren. Die Rechnungen zeigten zudem, dass sich die Atome in den einzelnen Blättern in unterschiedlichen Richtungen bewegen sollten. Dabei kann es zur Bildung von Wirbelringen kommen, wie man sie vom Zigarrenrauch her kennt. Diese Wirbel wollen die Forscher künftig auch experimentell nachweisen.

Text: F.A.Z.

© Frankfurter Allgemeine Zeitung GmbH 2010.
Alle Rechte vorbehalten.

▶ Vervielfältigungs- und Nutzungsrechte erwerben



Verlagsinformation

Mit dem FAZ.NET-Stromrechner können Sie sich Ihren persönlichen Stromtarif kostenlos berechnen lassen. Jetzt hier klicken und Stromtarife vergleichen.

F.A.Z. Electronic Media GmbH 2001 - 2010
Dies ist ein Ausdruck aus www.faz.net.