

Atome in der Lichtratsche

27-11-2009

Atome in der Lichtratsche

Gerichteter Transport von Rubidiumatomen in einer stehenden Lichtwelle.

Die belebte Natur zeigt uns mit ihren zahllosen molekularen Motoren, dass sich die ungeordnete Bewegung der Moleküle gleichrichten und dadurch zur Leistung von Arbeit nutzen lässt. Dass dabei alles mit rechten Dingen zugeht und die Entropie nicht zunimmt, lässt sich an einfachen Modellen studieren. So führt die ungerichtete Brownsche Bewegung von Teilchen in einem periodisch an- und abgeschalteten asymmetrischen Ratschenpotential zu einer gerichteten Bewegung. Jetzt hat man beobachtet, dass eine stehende ratschenförmige Lichtwelle die quantenmechanischen Bewegungen von Atomen gleichrichten kann.

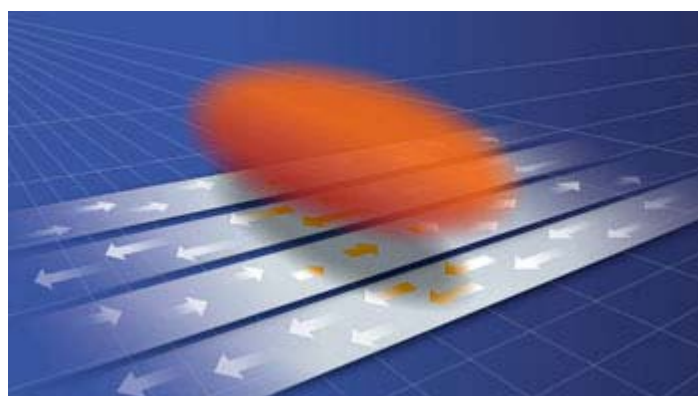


Abb.: Die Atome eines Bose-Einstein-Kondensats werden vom Ratschenpotential einer asymmetrischen stehenden Lichtwelle bevorzugt in eine Richtung transportiert. (Bild: Univ. Bonn)

Eine Ratsche hat ein periodisches, Sägezahnprofil, in dem sich steile und weniger steile Flanken abwechseln. Bewegen sich Brownsche Teilchen in einem eindimensionalen Ratschenpotential, so sammeln sie sich in den Mulden. Schaltet man das Potential vorübergehend ab, so können die Teilchen ungerichtet diffundieren. Sobald das Potential wieder angeschaltet ist, stellt sich heraus, dass mehr Teilchen einer Mulde die kurze und steile Flanke hinter sich gelassen haben als die lange und weniger steile Flanke. Es findet daher ein effektiver Transport, von einer Mulde zur nächsten, in Richtung der steilen Flanken statt, d. h. in Sperrrichtung der Ratsche.

Sind die Brownschen Teilchen im Ratschenpotential Atome, so sollten sich bei ihrem gerichteten Transport Quanteneffekte bemerkbar machen. Was geschieht jedoch, wenn die Atome keinem Wärmebad ausgesetzt sind und deshalb auch keine Brownschen Teilchen sind sondern reine Quantenteilchen, deren quantenmechanische Bewegungen durch eine Hamilton-Dynamik beschrieben werden können? Dass auch in diesem Fall unter bestimmten Bedingungen gerichtete Bewegung auftreten kann, haben Forscher um Tobias Salger und Martin Weitz von der Universität Bonn experimentell nachgewiesen.

Sie benutzten dazu ein Bose-Einstein-Kondensat aus Rubidiumatomen, das einer stehenden Lichtwelle mit ratschenförmiger Intensitätsverteilung ausgesetzt war. Die Lichtwelle wurde durch Überlagerung von gegenläufigen Laserstrahlen einer Grundfrequenz und ihrer höheren Harmonischen erzeugt. Die zu den beiden Frequenzkomponenten gehörenden Teilwellen konnten räumlich gegeneinander verschoben werden, sodass sich die Intensitätsverteilung der resultierenden Lichtwelle verändern ließ. Da das Licht gegen eine bestimmte Anregungsfrequenz der Atome rotverstimmt war, wurden die Atome zu den Intensitätsmaxima der Lichtwelle hingezogen: Sie verspürten ein optisches Ratschenpotential.

Das optische Potential konnten die Forscher an- und abschalteten, indem sie seiner Amplitude einen sägezahnförmigen zeitlichen Verlauf gaben. Dadurch wurden alle räumlichen und zeitlichen Symmetrien

des Ratschenpotentials zerstört. Theoretische Untersuchungen von Peter Hänggi in Augsburg und seinen Kollegen hatten ergeben, dass in einem Quantensystem mit einem solch asymmetrischen zeitabhängigen Potential Quantenzustände auftreten, die im Impulsraum asymmetrisch sind zu einem gerichteten Transport führen. Die Experimente haben dies jetzt bestätigt.

Dazu haben die Bonner Forscher das Bose-Einstein-Kondensat mehreren Pulsen des Ratschenpotentials ausgesetzt und es anschließend frei expandieren lassen. Während die meisten Atome weiterhin in Ruhe waren, bewegten sich einige Atome nach rechts oder nach links. Die Impulsverteilung der Atome hatte die Form eines Beugungsbildes. Demnach bewegten sich die Atome kohärent und nicht wie Brownsche Teilchen. Das Beugungsbild war jedoch asymmetrisch: In die eine Richtung bewegten sich deutlich mehr Atome als in die andere. In welche Richtung sich die Atome bevorzugt bewegten, hing sowohl vom zeitlichen Verlauf als auch von der räumlichen Gestalt des Ratschenpotentials ab. Wenn das Potential nicht mehr asymmetrisch war, weil der zeitliche Verlauf oder die räumliche Gestalt eine symmetrische Sägezahnform hatten, kam der Atomtransport zum Erliegen.

Eine stehende Lichtwelle kann somit Atome in eine gerichtete und zudem kohärente Bewegung versetzen. Die Forscher sehen ihr Ergebnis als Beispiel für einen Quantenmotor, der Atome in eine bestimmte Richtung transportiert, obwohl im zeitlichen Mittel keine resultierende Kraft auftritt. Mit solch einem Quantenmotor eröffnen sich für die Nanotechnologie neue Möglichkeiten, indem sie die Quantenphysik nicht bloß semiklassisch berücksichtigen muss, sondern ihr Potential konsequent nutzen kann.

RAINER SCHARF

Weitere Infos:

- Originalveröffentlichung:
Tobias Salger et al.: Directed Transport of Atoms in a Hamiltonian Quantum Ratchet. *Science* **326**, 1241 (2009)
<http://www.sciencemag.org/cgi/content/abstract/326/5957/1241>
- Gruppe von Martin Weitz an der Universität Bonn:
http://www.iap.uni-bonn.de/ag_weitz/index.html

Weitere Literatur:

- *S. Denisov et al.*: Periodically driven quantum ratchets: Symmetries and resonances. *Phys. Rev. A* **75**, 063424 (2007)
<http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevA.75.063424>
<http://www.physik.uni-augsburg.de/theo1/hanggi/Papers/463.pdf> (frei!)
- *A. V. Ponomarev et al.*: ac-driven atomic quantum motor. *Phys. Rev. Lett.* **102**, 230601 (2009)
<http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevLett.102.230601>
<http://www.physik.uni-augsburg.de/theo1/hanggi/Papers/553.pdf> (frei!)
- *P. Hänggi and F. Marchesoni*: Artificial Brownian motors: Controlling transport on the nanoscale. *Rev. Mod. Phys.* **81**, 387 (2009)
<http://dx.doi.org/10.1103/RevModPhys.81.387>
<http://www.physik.uni-augsburg.de/theo1/hanggi/Papers/515.pdf> (frei!)
- *R. D. Astumian and P. Hänggi*: Brownian Motors. *Physics Today* **55** (11), 33 (2002)
<http://www.physik.uni-augsburg.de/theo1/hanggi/Papers/309.pdf> (frei!)

AL

www.pro-physik.de