

Dr. Sergey Denisov,  
Prof. Dr. Peter Hänggi, Institut für Physik, Universität Augsburg, Universitätsstr. 1, 86159 Augsburg

kalten Rubidium-Atome lässt sich in extrem guter Näherung durch einen Hamilton-Operator der Form,  $H(t) = p^2/2m + V(x, t)$  beschreiben, wobei das zeitlich pulsierende Potential die Form  $V(x, t) = V(x)A(t)$  mit dem Sägezahnprofil  $V(x)$  und einer Amplitudenmodulation  $A(t)$  hat. Durch eine entsprechende Wahl für die Modulation  $A(t)$  lässt sich die zeitliche Symmetrie brechen. Für die Floquet-Zustände, also das Analogon von Energie-Eigenzuständen bei zeitlich periodischen Hamilton-Operatoren, bedeutet dies, dass deren mittlere Geschwindigkeit von null verschieden ist [3]. Je nach der Anfangspräparation tragen verschiedene transportierende Floquet-Zustände mit unterschiedlichem Gewicht zur gerichteten Bewegung bei (Abb. 1). Bei Parameterwerten der Modulation  $A(t)$ , die die Zeitumkehr nicht bricht, sind alle Geschwindigkeiten der Floquet-Zustände null, sodass die gerichtete Quantenbewegung verschwinden sollte [3].

Salger et al. haben in ihrem Experiment das Verschwinden des Stromes bei den entsprechenden Parameterwerten bestechend verifiziert (s. Abb. 3 in [4]). Darüber

hinaus haben sie – im klaren Gegensatz zu klassischen Ratschen und Quantenratschen mit Energielaxation (Quantendissipation) – eindrucksvoll bestätigt, dass die zeitlich gemittelte Geschwindigkeit eine Funktion des Startwertes  $t_0$  der Amplitudenmodulation ist (Abb. 2) [4]. Damit geht in diesem Experiment zweifelsohne kohärenter Quantentransport gerichtet vorstatten. Zugleich ist dieses Experiment ein Meilenstein auf dem Weg zu reinen, reibungsfreien Quantenmaschinen, wie sie kürzlich theoretisch konzipiert worden sind [5]. Diese verrichten dissipationfreie Arbeit gegenüber äußeren Kräften.

Die Natur ermöglicht kein wirklich reines Quantensystem, das absolut immun gegenüber jeglicher, wenn auch kleinster Dekohärenz wäre. Auch in diesem Experiment schlägt mit zunehmender Beobachtungszeit der Einfluss einer endlichen, wenn auch kleinen Dissipation zu. Das Problem einer Quantenratsche bei sehr schwacher Dissipation ist extrem anspruchsvoll und trickreich, weil ein zunächst unitäres und nicht-ergodisches Verhalten „zunehmend“ in ein ergodisches Quantenverhalten

übergehen muss [6]. Insbesondere geht die Dynamik bei starker Dekohärenz in ein quasi-klassisches Verhalten über, wie es Ferruccio Renzoni und seine Mitarbeiter schon vor Jahren theoretisch und experimentell analysiert haben [7]. Wichtige andere Herausforderungen sind Untersuchungen von Quantenratschen bei Anwesenheit von Atom-Atom-Wechselwirkung [8] oder statischer und dynamischer Unordnung. Das faszinierende Gebiet der Quantenratschen wird sicher auch weiterhin Überraschungen bereithalten.

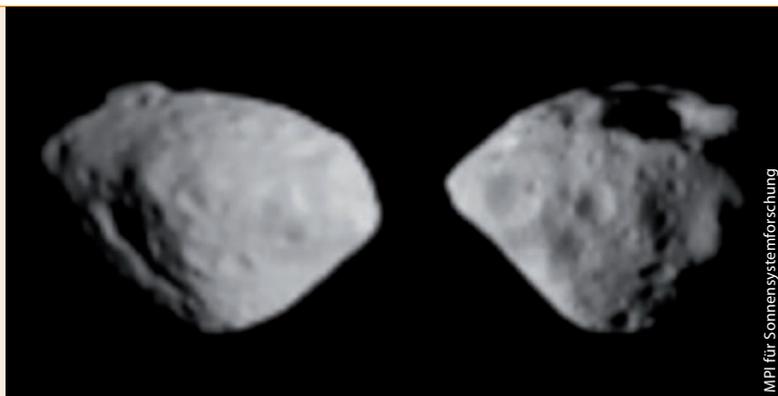
Peter Hänggi und Sergey Denisov

[1] R. Bartussek und P. Hänggi, Phys. Blätter, Juni 1995, S. 506  
 [2] S. Flach et al., Phys. Rev. Lett. **84**, 2358 (2000)  
 [3] S. Denisov et al., Phys. Rev. A **75**, 063424 (2007)  
 [4] T. Salger et al., Science **326**, 1241 (2009)  
 [5] A. V. Ponomarev et al., Phys. Rev. Lett. **102**, 230601 (2009)  
 [6] S. Denisov et al., EPL **85**, 40003 (2009)  
 [7] M. Schiavoni et al., Phys. Rev. Lett. **90**, 094101 (2003)  
 [8] D. Poletti et al., Phys. Rev. Lett. **102**, 130604 (2009)

ANSICHTEN EINES STEINS

Im Teleskop ist der Asteroid Steins nur ein unscheinbares Lichtpünktchen. Bei näherer Betrachtung entpuppt er sich als eine Art Schutthalde mit konischer Form und großen Kratern auf der Oberfläche. Das zeigen die Nahaufnahmen, die dem Team um Horst Uwe Keller vom Max-Planck-Institut für Sonnensystemforschung in Katlenburg-Lindau gelangen. Dabei nutzten die Forscher das Kamerasystem OSIRIS an Bord der europäischen Raumsonde Rosetta. Die Sonde flog am 5. September 2008 in einem Abstand von nur 800 Kilometern und mit einer Geschwindigkeit von 30 000 Kilometern pro Stunde an Steins vorbei. Steins ist ein etwa 5,3 Kilometer großes Objekt im Asteroidengürtel zwischen den Bahnen von Mars und Jupiter, wo sich mehr als 400 000 solcher Himmelskörper tummeln.

Die Bilder zeigen, dass Steins kein monolithischer Gesteinsbrocken ist, sondern vielmehr aus vielen kleinen Teilen zusammengesetzt ist. Das würde auch seine unregelmäßige Form erklären, die offenbar durch YORP verur-



Die Sonde Rosetta lieferte Nahaufnahmen vom Asteroiden Steins, auf denen

unter anderem eine ausgeprägte Kraterreihe zu erkennen ist.

sacht wurde. Diese Abkürzung steht für den Yarkovsky-O'Keefe-Radzievskii-Paddack-Effekt und beschreibt die Wirkung der Sonnenstrahlung auf einen kleinen Himmelskörper, etwa einen Planetoiden. Die Sonne heizt dessen Oberfläche auf. Wird die Wärme als Strahlung wieder abgegeben, entsteht ein geringes Drehmoment. Dadurch kann sich die Rotation verlangsamen

oder beschleunigen, die räumliche Lage der Rotationsachse verändern und schließlich auch die Gestalt des Planetoiden. Die detaillierte Analyse der Bilder weist darauf hin, dass der YORP-Effekt auch bei Asteroiden im Hauptgürtel eine wichtige Rolle spielen kann. (MPG)

H. U. Keller et al., Science **327**, 190 (2010)

MPI für Sonnensystemforschung