

6. Januar 2010

IQOQI Medieninformation 1/2010



SPERRFRIST: Mittwoch, 6. Januar 2010, 19.00 Uhr MEZ

## Quantensimulation eines relativistischen Teilchens

**Dirac-Gleichung, ein Eckstein der Physik, von Innsbrucker Quantenphysikern simuliert**

**Institut für Quantenoptik und Quanteninformation**  
Österreichische Akademie der Wissenschaften

Otto Hittmair-Platz 1 / Technikerstraße 21a  
6020 Innsbruck, Austria, Europe  
Tel +43 512 507 4701  
Fax +43 512 507 9815  
iqoqi-ibk@oeaw.ac.at  
[www.iqoqi.at](http://www.iqoqi.at)

Geschäftsführender Direktor  
Univ.Prof. Dr. Peter Zoller  
peter.zoller@oeaw.ac.at

**Forscher des Instituts für Quantenoptik und Quanteninformation (IQOQI) verwendeten ein Ion zur Simulation eines relativistischen Quantenteilchens und konnten dabei ein Phänomen nachweisen, das in der Natur nie direkt beobachtet wurde: die sogenannte Zitterbewegung. Sie berichten darüber in der aktuellen Ausgabe der Fachzeitschrift *Nature*.**

Nachdem sich die Quantenmechanik in den 1920er-Jahren etabliert hatte, gelang es dem britischen Physiker Paul Dirac 1928 erstmals, diese Theorie auch mit der von Albert Einstein postulierten Speziellen Relativitätstheorie zu verbinden. Damit konnte die Quantenphysik auch auf Teilchen anwendbar gemacht werden, für die relativistische Verhältnisse gelten, die sich also mit extrem hoher Geschwindigkeit (nahe der Lichtgeschwindigkeit) bewegen. Aus der von Dirac formulierten Gleichung entsprangen einige bahnbrechende neue Erkenntnisse wie jene, dass es zu jedem Teilchen auch ein Antiteilchen (die Antimaterie) gibt, sowie eine natürliche Erklärung für die Existenz des Elektronenspins. Der österreichische Nobelpreisträger Erwin Schrödinger postulierte in der Folge 1930 die Existenz der sogenannten Zitterbewegung, einer Art Fluktuation in der Bewegung relativistischer Teilchen. „Nach der Dirac-Gleichung bewegt sich ein solches Teilchen im freien Raum nicht geradlinig fort, sondern ‚zittert‘ in allen drei Raumdimensionen“, erklärt Christian Roos vom Institut für Quantenoptik und Quanteninformation (IQOQI) der Österreichischen Akademie der Wissenschaften (ÖAW). „Es ist unklar, ob sich diese Zitterbewegung in der Natur direkt beobachten lässt.“

### Quantensimulation eines Quantenteilchens

Physikalische Phänomene werden oftmals durch Gleichungen beschrieben, die zu kompliziert sind, um sie exakt zu lösen. In diesem Fall stützen sich Wissenschaftler oft auf Computersimulationen, um Antworten auf offene Fragen zu erhalten. Da diese Strategie selbst für relativ kleine Quantensysteme an der mangelnden Rechenleistung der Computer scheitert, haben Forscher wie Richard Feynman vorgeschlagen, diese Phänomene in anderen Quantensystemen experimentell zu simulieren. Voraussetzung dafür sind freilich sehr detaillierte Kenntnisse der Physik dieser Systeme und eine extrem



**ÖAW**  
Österreichische Akademie  
der Wissenschaften

gute Beherrschung der Technologie. All dies hat die Forschungsgruppe um Prof. Rainer Blatt mit ihren Experimenten zu Quantencomputern in den vergangenen Jahren in Innsbruck aufgebaut und ist daher nun in der Lage, solche Quantensimulationen im Labor durchzuführen. „Die Herausforderung besteht darin, die Gleichungen in dem Quantensystem gut nachzubilden, die verschiedenen Parameter über einen weiten Bereich zu kontrollieren und die Ergebnisse zu messen“, sagt Christian Roos. Die Innsbrucker Experimentalphysiker haben dazu ein Kalziumatom in einer Ionenfalle gefangen und mit Lasern stark abgekühlt. In diesem wohldefinierten Zustand wurden dem Teilchen mit Hilfe von weiteren Lasern die Eigenschaften des zu simulierenden relativistischen Teilchens eingeschrieben. „Unser Quantensystem verhielt sich nun genau so wie ein freies, relativistisches Teilchen, das den Gesetzmäßigkeiten der Dirac-Gleichung gehorcht“, erklärt Rene Gerritsma, niederländischer Postdoc am IQOQI und Erstautor des Beitrags in der Fachzeitschrift Nature. Mit Hilfe von Messungen konnten die Wissenschaftler schließlich die Eigenschaften dieses simulierten Teilchens charakterisieren. „So gelang es uns, die Zitterbewegung in der Simulation nachzuweisen. Auch konnten wir die Wahrscheinlichkeit bestimmen, mit der sich das Teilchen an einem bestimmten Ort befindet“, erläutert Gerritsma. In dem sehr kleinen Quantensystem bildeten die Physiker die Dirac-Gleichung nur für eine räumliche Dimension nach. „Es handelt sich um ein Demonstrationsexperiment“, sagt Roos, „das mit entsprechendem technologischen Aufwand auch auf dreidimensionale Verhältnisse umgelegt werden kann.“

### **Auch Antiteilchen simuliert**

Das Innsbrucker Experiment zeichnet sich durch eine extrem gute Beherrschung der physikalischen Eigenschaften des simulierten Teilchens aus. So konnten die Physiker zum Beispiel die Masse des Objekts verändern und auch Antiteilchen simulieren. „Letztendlich war unser Zugang sehr einfach, aber man muss erst einmal auf die Idee kommen, es so zu machen“, sagt Christian Roos, dessen Team sich dabei vom theoretischen Vorschlag einer spanischen Forschergruppe inspirieren ließ. Finanziell unterstützt wurden die Forscher unter anderem vom österreichischen Wissenschaftsfonds FWF und der Europäischen Kommission.

\*\*\*\*\* Bitte beachten Sie die SPERRFRIST: Mittwoch, 6. Januar 2010, 19.00 Uhr MEZ \*\*\*\*\*

**Publikation:** Quantum simulation of the Dirac equation. Gerritsma R, Kirchmair G, Zähringer F, Solano E, Blatt R, Roos CF. Nature 7. Januar 2010. (In der gleichen Ausgabe findet sich ein „News and Views“-Beitrag von Christof Wunderlich zu dieser Arbeit)

Bilder unter: <http://iqoqi.at/download>

Kontakt:

Dr. Christian Roos

Institut für Quantenoptik und Quanteninformation

Österreichische Akademie der Wissenschaften

Otto-Hittmair-Platz 1

A-6020 Innsbruck, Austria

Tel.: +43 512 507-4728

E-Mail: [Christian.Roos@uibk.ac.at](mailto:Christian.Roos@uibk.ac.at)

Web: <http://www.quantumoptics.at>

Dr. Christian Flatz

Public Relations

Institut für Quantenoptik und Quanteninformation

Österreichische Akademie der Wissenschaften

Otto-Hittmair-Platz 1, 6020 Innsbruck, Austria

Mobil: +43 650 5777122

E-Mail: [pr-iqoqi@oeaw.ac.at](mailto:pr-iqoqi@oeaw.ac.at)

Web: <http://www.iqqi.at>