



## Fundamente der Physik bestätigt

### Einsteins Zeitdehnung und die Quantenelektrodynamik im Experiment

Darmstadt, 26.9.2014. Die spezielle Relativitätstheorie Albert Einsteins und die Quantenelektrodynamik, die unter anderem von Richard Feynman formuliert wurde, sind zwei wesentliche Fundamente der modernen Physik. Die Arbeitsgruppe von Professor Wilfried Nörtershäuser (Institut für Kernphysik, TU Darmstadt) stellte jetzt gemeinsam mit Kollegen von mehreren internationalen Universitäten und Instituten in zwei Experimenten am GSI Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung diese Theorien erneut auf den Prüfstand.

Um eventuelle Grenzen der beiden Theorien auszuloten, werden diese experimentell immer wieder überprüft. Da beide alle bisherigen Tests bestanden haben, wird nach Abweichungen in Experimenten bei höherer Präzision oder unter extremen Bedingungen gesucht.

Dazu hat das Team um Nörtershäuser nun Ionen auf Geschwindigkeiten nahe der Lichtgeschwindigkeit beschleunigt und mit einem Laser beleuchtet.

Die in zwei neuen Publikationen vorgestellten Ergebnisse bestätigen zum einen die in der Relativitätstheorie vorhergesagte Zeitdehnung bei hohen Geschwindigkeiten mit einer nie zuvor erreichten Genauigkeit. Außerdem gelang erstmals der direkte Nachweis einer Spektrallinie in hochgeladenen Wismutionen, nach der an der GSI und an anderen Forschungseinrichtungen fast 14 Jahre lang vergeblich gesucht wurde.

#### Einstein erneut bestätigt

In einem Experiment am Schwerionen-Speicherring ESR des GSI konnte die Zeitdehnung (Zeitdilatation) bei einer Geschwindigkeit von rund 34 Prozent der Lichtgeschwindigkeit gemessen werden. Die Vorhersage Einsteins, dass die Taktfrequenz einer Uhr von ihrer Geschwindigkeit abhängt, gehört zu den seltsamsten Konsequenzen der Relativitätstheorie. Da sich makroskopische Uhren nicht auf ausreichend hohe Geschwindigkeiten bringen lassen, verwendeten die Wissenschaftler Atomuhren in Form einfach geladener Lithiumionen. Das Grundprinzip der Experimente hatte schon Einstein selbst vorgeschlagen. Erstmals realisiert wurde es 1938 von Ives und Stilwell mit Wasserstoffatomen, die so die Zeitdehnung mit einprozentiger Genauigkeit nachweisen konnten. In modernen Experimenten erfolgt das „Ablesen“ dieser Uhren mit Hilfe von

Kommunikation und Medien  
Corporate Communications

Karolinenplatz 5  
64289 Darmstadt

Ihre Ansprechpartnerin:

Simone Eisenhuth

Tel. 06151 16 - 70966

Fax 06151 16 - 41 28

[eisenhuth.si@pvw.tu-darmstadt.de](mailto:eisenhuth.si@pvw.tu-darmstadt.de)

[www.tu-darmstadt.de/presse](http://www.tu-darmstadt.de/presse)

[presse@tu-darmstadt.de](mailto:presse@tu-darmstadt.de)



zwei Laserstrahlen, von denen einer den Ionen entgegen und der zweite hinterher gesendet wird. Die Fluoreszenz der Ionen beobachtet man mit Photodetektoren. Nur wenn beide Laser gleichzeitig mit den Ionen in Resonanz treten, kann dauerhaft Fluoreszenzlicht ausgestrahlt werden. Wenn das Signal maximal ist, misst man die Frequenzen beider Laser. „Das Produkt dieser Frequenzen, geteilt durch das Produkt der bekannten Resonanzfrequenzen der ruhenden Ionen muss gemäß Relativitätstheorie exakt 1 sein. Eine Abweichung davon würde bedeuten, dass die Formel für die Zeitdehnung inkorrekt ist“, erläutert Nörtershäuser.

Das Ergebnis bestätigt die Einstein'sche Vorhersage auf zwei Milliardenstel genau, rund viermal genauer als im Vorgängerexperiment, das am Heidelberger Testspeicherring (TSR) bei 6,4 Prozent der Lichtgeschwindigkeit durchgeführt worden war.

Die Publikation:

Test of Time Dilation Using Stored  $\text{Li}^+$  Ions as Clocks at Relativistic Speed.

Phys. Rev. Lett. 113, 120405, 2014. DOI:

<http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevLett.113.120405>

### **Ein 14 Jahre altes Rätsel ist gelöst**

In einem zweiten Experiment gelang der Arbeitsgruppe ein weiterer Durchbruch in einem Präzisionsexperiment. Hier wurde die Quantenelektrodynamik (QED) in den stärksten im Labor zur Verfügung stehenden Magnetfeldern getestet. Diese Felder treten an der Oberfläche von schweren Atomkernen auf. Sie entsprechen etwa dem 100-Millionenfachen der stärksten statischen Magnetfelder, die mit supraleitenden Magneten heute herstellbar sind. Bei Experimenten mit schweren hochgeladenen Ionen werden diese Felder zugänglich. Im Experiment wurden Wismutionen verwendet, die nur noch ein Elektron oder drei Elektronen besitzen. Während die Resonanz in Wismutionen mit nur einem Elektron bereits 1994 an der GSI gemessen wurde, hat sich die des lithiumartigen Wismuts bis vor kurzem jeglicher Beobachtung entzogen. Aber nur aus der Kombination beider Übergänge ergibt sich ein aussagekräftiger Test der QED.

Diese Ionen wurden im ESR bei etwa 71 Prozent der Lichtgeschwindigkeit gespeichert und mit einem Laser bestrahlt. Erneut wird die Fluoreszenz der Ionen nachgewiesen. „Als wir mit den Vorbereitungen des Experimentes begannen, wurde uns schnell klar, dass der Nachweis der Photonen einer der kritischsten Punkte war“, erklärt Dr. Matthias Lochmann von der Universität Mainz. „Es ist unmöglich Detektoren um den gesamten Ring herum anzubringen. Wir haben stattdessen an einer Position innerhalb des Rings ein besonders effizientes Nachweissystem eingebaut“, beschreibt Dr. Raphael Jöhren aus der Arbeitsgruppe von Prof. Weinheimer an der



Universität Münster seinen Beitrag zum Experiment. Mit diesem Detektor, einem neuen Lasersystem und einer ausgeklügelten Datenaufnahme gelang es den Wissenschaftlern erstmals, den lang gesuchten Übergang zu beobachten. Damit konnten sie die inzwischen aufgekommenen Zweifel an der theoretischen Vorhersage ausräumen.

#### Die Publikation

Observation of the hyperfine transition in lithium-like bismuth  $^{209}\text{Bi}^{80+}$ :  
Towards a test of QED in strong magnetic fields. Phys. Rev. A 90,  
030501(R), 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevA.90.030501>

#### Ansprechpartner

Prof. Dr. Wilfried Nörtershäuser  
Technische Universität Darmstadt  
Fachbereich Physik  
Institut für Kernphysik  
E-Mail: [wnoertershaeuser@ikp.tu-darmstadt.de](mailto:wnoertershaeuser@ikp.tu-darmstadt.de)  
Telefon: 06151-16-3116

#### Weitere Informationen

Eine ausführliche Beschreibung beider Publikationen finden Sie unter [www.tu-darmstadt.de/grundfeste\\_physik](http://www.tu-darmstadt.de/grundfeste_physik).

MI-Nr. 68/2014, Wilfried Nörtershäuser/se