



Kräfte zwischen Atomkern und Elektron im Fokus

Präzisionsmessung in schweren Ionen weicht stark von Vorhersagen ab

Darmstadt, 16. Mai 2017. Erstmals ist es einem Team unter Federführung der TU Darmstadt gelungen, bei lithiumartigen Ionen des Elements Wismut den Übergang zwischen Energieniveaus mit Lasern so präzise zu vermessen, dass zugrunde liegende Theorien überprüft werden können – mit einem überraschendem Ergebnis, das die Forscher jetzt in „Nature Communications“ veröffentlichten: Das bisherige Verständnis des Wechselspiels von Elektron und Atomkern könnte fehlerhaft sein.

An der Oberfläche von Atomkernen des Elementes Wismut existieren Magnetfelder in einer Stärke wie sonst nur an der Oberfläche gewaltiger Neutronensterne. Das Verhalten von Elektronen in diesen Feldern untersucht eine Forschungsgruppe unter Federführung der Technischen Universität Darmstadt. Erst vor kurzem gelang ihr ein Durchbruch mit der erstmaligen Beobachtung eines speziellen Übergangs in lithiumartigen Ionen dieses Elementes. Jetzt konnte sie diesen Übergang am GSI Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung in Darmstadt so präzise vermessen, dass erstmals ein aussagekräftiger Test der zugrundeliegenden Theorie möglich wurde. In der jüngsten Ausgabe des Fachjournals „Nature Communications“ berichten die Wissenschaftler über das überraschende Ergebnis: Die Diskrepanz zwischen Theorie und Experiment ist eklatant. Sie weist auf einen Fehler im Verständnis des Wechselspiels des Elektrons mit der komplizierten inneren Struktur des Kerns hin.

Einfache Atome, die nur aus einem Kern und einem oder wenigen Elektronen bestehen, sind ideale Systeme, um unser Verständnis der grundlegenden physikalischen Kräfte zu testen. Die Theorie der Atomhülle, basierend auf der Quantenelektrodynamik (QED), ist dabei wesentlich besser verstanden als der Aufbau des Atomkerns. Die QED erlaubt es, die Eigenschaften der Elektronen und die Zustände, in denen das Atom existieren kann, mit hoher Genauigkeit zu berechnen. Diese Berechnungen werden dann in Präzisionsmessungen überprüft. Bislang hat die QED alle diese Tests mit Bravour gemeistert. Bei der Verwendung schwerer Kerne sind die Forscher vor allen Dingen an dem Einfluss der gigantischen elektrischen und magnetischen Feldstärken auf die darin gebundenen Elektronen interessiert. Unter diesen extremen Bedingungen gibt es bislang nur sehr wenige experimentelle Überprüfungen der Theorie, und sie weisen bei weitem nicht die hohen Genauigkeiten auf, die mit leichten Kernen erreicht wurden. Die starken Felder machen die theoretischen

Kommunikation und Medien
Corporate Communications

Karolinenplatz 5
64289 Darmstadt

Ihre Ansprechpartnerin:
Silke Paradowski
Tel. 06151 16 - 20019
Fax 06151 16 - 23750
paradowski.si@pvw.tu-darmstadt.de

www.tu-darmstadt.de/presse
presse@tu-darmstadt.de



Berechnungen viel komplizierter. Hinzu kommt, dass die komplexe innere Struktur der Kerne nicht hinreichend genau bekannt ist, aber großen Einfluss auf die Atomhülle hat. Um diese Schwierigkeit zu umgehen, berechnen die Theoretiker bestimmte Differenzen für Systeme mit unterschiedlicher Elektronenzahl, aber identischem Atomkern. Diese sogenannten „spezifischen Differenzen“ sind so beschaffen, dass sich die Beiträge der Kernstruktur nahezu exakt eliminieren sollten und dienen den Wissenschaftlern als Ausgangspunkt für eine genauere Überprüfung der QED-Berechnungen. Stattdessen scheinen die jetzt publizierten Ergebnisse aber eher das Konzept der spezifischen Differenz in Frage zu stellen.

In seinem Experiment hat das Team zunächst wasserstoff- und lithiumartige Wismutionen erzeugt. Diese Ionen werden in den Experimentierspeicherring (ESR) an der GSI-Beschleunigeranlage eingeschossen, der einen Umfang von 108 Metern besitzt und zwei gerade Strecken hat, in denen Experimente durchgeführt werden können. In der einen wird dem Ionenstrahl ein Elektronenstrahl definierter Energie überlagert. Nach einigen Sekunden gleicht sich die Geschwindigkeit der Ionen an die Geschwindigkeit der Elektronen an. In diesem Abschnitt wird dem Ionenstrahl zusätzlich ein gepulster Laserstrahl überlagert. Die Wellenlänge des Lasers wird dann in winzigen Schritten geändert. Wenn der Laser exakt die Wellenlänge des zu untersuchenden Übergangs des Ions erreicht, absorbieren die Ionen Lichtteilchen (Photonen) und damit Energie aus dem Laserstrahl. Auf diese Art angeregte Ionen geben diese Energie nach kurzer Zeit wieder ab und senden dabei wiederum eine sehr kleine Zahl Photonen aus. Der effiziente Nachweis dieser kleinen Zahl von Photonen gelang mit einem speziellen, an der Universität Münster entwickelten Spiegel- und Einzelphotonennachweissystem. Aufgrund der hohen Geschwindigkeit ist die Wellenlänge des Lasers für die Ionen um etwa einen Faktor 2,4 gestaucht oder gestreckt, je nachdem aus welcher Richtung der Laser eingestrahlt wird. Dieser Faktor hängt von der Beschleunigungsspannung der Elektronen ab. Zur präzisen Messung dieser Hochspannung von etwa 214.000 Volt mit einer Genauigkeit von etwa einem Volt wurde ein an der PTB Braunschweig entwickelter Hochspannungsteiler eingesetzt. Wissenschaftler der TU Darmstadt waren unter anderem für die Datenaufnahme, die Datenanalyse und die zeitliche Synchronisation der nur wenige Milliardstel Sekunden (Nanosekunden) währenden Laserpulse mit dem Umlauf der Ionen im Speicherring zuständig.

Die gemessene spezifische Differenz der Übergangswellenlängen in wasserstoffartigem und lithiumartigem Wismut kann auch nach Berücksichtigung aller bekannten systematischen Fehlerquellen nicht mit



der theoretischen Vorhersage in Einklang gebracht werden. Die Ursache für diese Abweichung ist derzeit noch unbekannt und soll in weiteren Messungen an anderen Isotopen des Wismuts überprüft werden. Diese Isotope sind allerdings radioaktiv und müssen daher vor dem Einschuss in den Speicherring produziert werden. Diese Möglichkeiten sind am GSI Helmholtzzentrum verfügbar. Am neuen Beschleunigerzentrum FAIR, dessen Aufbau in Darmstadt in Kürze beginnen wird, werden sich vielfältige neue Möglichkeiten zur weiteren Untersuchung dieser Beobachtung ergeben.

Die in „Nature Communications“ erschienenen Ergebnisse basieren auf einer Zusammenarbeit der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster, der PTB Braunschweig, der Johannes Gutenberg-Universität Mainz, des GSI Helmholtzzentrums für Schwerionenforschung Darmstadt und des Helmholtz-Institutes Jena sowie weiteren Institutionen unter Federführung des Instituts für Kernphysik an der Technischen Universität Darmstadt.

Die Veröffentlichung

„High precision hyperfine measurements in bismuth challenge bound-state strong-field QED“, DOI 10.1038/NCOMMS15484

Kontakt:

TU Darmstadt
Fachbereich Physik
Prof. Dr. Wilfried Nörtershäuser
Tel.: 06151/16-23575
wnoertershaeuser@ikp.tu-darmstadt.de

Physikalisch-Technische Bundesanstalt
Dr. Johann Meisner
Arbeitsgruppe 2.32 Hochspannungsmesstechnik
Telefon: (0531) 592-2320
E-Mail: johann.meisner@ptb.de

GSI Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung
Dr. Rodolfo Sánchez
Abteilung Atomphysik
Tel.: 06159/71-2090
E-Mail: r.sanchez@gsi.de



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Universität Münster
Dr. Volker M. Hannen
Institut fuer Kernphysik, AG Christian Weinheimer
Tel: +49-251-83-34992
E-mail: hannen@uni-muenster.de

Johannes Gutenberg- Universität Mainz
Dr. Christopher Geppert
Institut für Kernchemie
Tel.: +49(0)6131 - 39 - 2 53 24
E-Mail: cgeppert@uni-mainz.de

Friedrich-Schiller-Universität Jena
Prof. Dr. Thomas Stöhlker
Helmholtz Institut Jena
Tel.: +49 3641 947-600
E-mail t.stoehlker@gsi.de

MI-Nr. 43/2017, Nörtershäuser/sip