

vor einem Jahr

in Wissenschaft

## Das Proton - kleiner als gedacht

### Ein internationales Team misst den Ladungsradius eines Wasserstoffkerns und stößt dabei auf physikalische Rätsel

(ddp direct) Manchmal sind große Probleme ganz klein. Das Problem, mit dem sich Physiker nun beschäftigen müssen, misst gerade einmal 0,0350 Millionstel eines Millionstel Millimeters. Um genau so viel ist ein Proton, der Kern eines Wasserstoffatoms, kleiner als bislang angenommen. Statt 0,8768 Femtometer misst es nämlich nur 0,8418 Femtometer. Das hat ein internationales Forscherteam um Physiker des Max-Planck-Instituts für Quantenoptik nun in Experimenten am Schweizer Paul-Scherrer-Institut gemessen, die zehnmal genauer sind als alle vorherigen: Sie bescheren der Physik damit einige knackige Probleme: Mindestens eine Naturkonstante ändert sich nun. Physiker müssen aber auch die Rechnungen der Quantenelektrodynamik überprüfen. Diese Theorie gilt als sehr gut belegt, ihre Vorhersagen stimmen aber nicht mit den aktuellen Messungen über. (Nature, 8. Juli 2008)

Jahrelang dachten Randolph Pohl und seine Kollegen, ihr Messinstrument sei nicht genau genug: Schon im Jahr 2003 hatten sie erstmals ein Experiment vorgenommen, um die Größe eines Protons zu bestimmen. Doch das Signal, das ihnen darüber Aufschluss geben sollte, haben sie nicht entdeckt. "Das lag aber nicht an der Genauigkeit unserer Methode, sondern daran, dass wir nicht mit einer so großen Abweichung gerechnet haben", sagt Randolph Pohl. So hatten die Forscher das Fenster für ihre Messungen zu klein gewählt. "Es ist trotzdem gut, dass wir unsere Methode noch einmal deutlich verfeinert haben, sonst würde man uns jetzt vielleicht nicht glauben", so Pohl.

Nun haben Randolph Pohl und seine Kollegen einer internationalen Kooperation also den Ladungsradius des Protons auf weniger als einen Tausendstel Femtometer genau gemessen. Das ist der Radius, den die Ladung des positiven Wasserstoffkerns einnimmt. Zu diesem Zweck haben sie winzige Feinheiten im atomaren Aufbau untersucht, und zwar in myonischem Wasserstoff, in dem nicht ein Elektron, sondern ein schwereres Myon um den Kern saust (siehe ‚Hintergrund: ein Lineal für ein Proton‘). Demnach misst der Wasserstoffkern 0,8418 Femtometer. Ein Ergebnis, das um das Fünffache außerhalb der Fehlergrenzen liegt, mit denen Physiker die bisherigen Messungen für den Protonenradius versehen hatten.

Auch wenn die Abweichung nach alltäglichen Maßstäben vernachlässigbar ist, hat sie möglicherweise gravierende Folgen. Welche, können die Forscher jedoch noch nicht gänzlich absehen. Fest steht, dass sich damit die Rydberg-Konstante ändert. Mit ihrer Hilfe berechnen Quantenphysiker, welche Energiepäckchen Atome und Moleküle aufnehmen und abgeben, wenn sie ihre Zustände ändern. Diese Energiepäckchen entsprechen den Spektrallinien der Elemente. Die Berechnungen für die Spektrallinien verschieben sich nun merklich und passen nicht mehr zum experimentellen Befund.

Nun suchen die Theoretiker einen Rechenfehler

"Da man die Rydberg-Konstante von allen Natur-Konstanten bislang am genauesten bestimmt hat, ist sie wie ein Fels in der Brandung", sagt Randolph Pohl. Wenn Physiker ein selbstkonsistentes Bild aller Naturkonstanten zeichnen, können sich die anderen Naturkonstanten wie etwa das Planck'sche Wirkungsquantum oder die Masse des Elektrons nur um die Rydberg-Konstante herum bewegen. Dass der Fels nun leicht verrückt wurde, dürfte die anderen Naturkonstanten aber kaum beeindrucken: Sie sind bislang ganz so genau bestimmt wie die Rydberg-Konstante, sodass sie den Ruck wahrscheinlich gar nicht merken. Der Test dafür steht jedoch noch aus.

"Auch mit weitergehenden Konsequenzen müssen wir sehr vorsichtig sein", so Pohl. Allerdings rechnen viele Theoretiker weltweit nun die Vorhersagen der Quantenelektrodynamik mit dem neuen Protonenradius nach. Diese Quantentheorie beschreibt, wie sich Atome, Elektronen, Elementarteilchen und andere Akteure in der Welt des Allerkleinsten bewegen und welche elektromagnetischen Felder dabei entstehen. Sie liefert im Vergleich mit den experimentellen Daten auch einen Wert für den Protonenradius - der liegt aber deutlich über dem nun gemessenen. "Ich gehe davon aus, dass bei der Rechnung irgendwo ein Fehler gemacht wurde, weil die Theorie der Quantenelektrodynamik sehr konsistent und gut belegt ist", sagt Pohl. Wenn nicht, würde der leicht verschobene Protonenradius jedoch ein physikalisches Erdbeben auslösen, das zumindest mit beträchtlichen Verwerfungen in dieser

## Pressekontakt

Frau Dr. Christina Beck

Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften e.V.  
Hofgartenstraße 8  
80539 München

Email: [Kontakt aufnehmen](#)

Website: [www.mpg.de](http://www.mpg.de)

Telefon: +49 (0)89 2108 - 1276

Fax: +49 (0)89 2108 - 1207

## Schlagworte



## Permanenter Link

<http://www.themenportal.de/wissenschaft/d/proton-kleiner-als-gedacht-73717>

Theorie endete.

Während Theoretiker jetzt also dem Rätsel um den falschen Protonenradius ihrer Modelle nachspüren, überprüfen die Garching Forscher und ihre Kollegen das neue Messergebnis mit weiteren Untersuchungen am Wasserstoffatom. Außerdem wollen sie ihre Apparatur so umbauen, dass sie auch den Ladungsradius des Heliumkerns messen können. Diese Untersuchungen sollen ihnen auch etwas darüber verraten, wie Atomkerne verzerrt werden, wenn sie mit einer negativen Ladung wechselwirken. So wollen die Physiker Schritt für Schritt den exakten Aufbau der Materie enthüllen - und hoffen natürlich, auf weitere physikalische Rätsel zu stoßen.

\*\*\*\*\*

Hintergrund: Ein Lineal für ein Proton

Um den Ladungsradius des Protons zu messen, nutzen die Forscher die elektronischen Wechselwirkungen in einem Wasserstoffatom aus und berücksichtigen dabei die kleinsten Feinheiten des Atomaufbaus: Der positiv geladene Kern zieht das Elektron an, das sich auf verschiedenen Schalen um den Kern tummeln kann. Die Energie des Elektrons nimmt zu, wenn es auf die nächsthöhere Schale springt. Auf der ersten Schale kann es sich dabei nur in einem Orbital aufhalten: dem s-Orbital, das sich als Kugel um den Atomkern schließt. Wenn das Elektron Schale für Schale nach oben klettert, steht ihm jeweils ein weiterer Aufenthaltsraum zur Verfügung. Auf der zweiten Schale etwa kann es zusätzlich zu dem kugelförmigen s-Orbital auch ein p-Orbital besetzen, das ein hantelförmiges Gebilde um den Atomkern formt.

Im einfachsten Modell eines Atoms besitzt das Elektron im s- und p-Orbital dieselbe Energie. Tatsächlich liegt seine Energie im p-Orbital aber ein bisschen höher als im s-Orbital. Die kleine Energielücke bezeichnen Physiker als Lamb-shift, englisch für Lamb-Verschiebung. Auf diese kleine Lücke haben es die Garching Physiker abgesehen. Sie tut sich nämlich unter anderem deshalb auf, weil das Proton kein unendlich kleiner Punkt, sondern eine winzige Kugel ist. Sitzt das Elektron im p-Orbital, merkt das Elektron davon nichts, weil die beiden knubbelartigen Enden der Hantel neben dem Atomkern liegen - das Elektron hält sich also nie im Kern selbst auf. In der Kugel des s-Orbitals ist das anders: Hier weilt das Elektron immer wieder auch im Kern selbst - dann haben sich die Ladungen von Kern und Elektron gegenseitig auf. Das senkt die durchschnittliche Anziehungskraft des Kerns und damit die Energie des Elektrons.

Im herkömmlichen Wasserstoffatom ist der Effekt so klein, dass er sich selbst in den genauesten Messungen kaum bemerkbar macht. Daher haben die Garching Physiker am Paul-Scherrer-Institut im Schweizerischen Villigen myonischen Wasserstoff erzeugt: In ihm ersetzt ein Myon das Elektron. Das Myon trägt dieselbe negative Ladung wie ein Elektron, ist aber rund 200 Mal schwerer. Daher schrumpft der gesamte Durchmesser des Atoms, und das Myon hält sich unterm Strich länger im Kern auf, so dass sich letztlich auch die Energie des fraglichen s-Orbitals stärker verschiebt. Den Energieunterschied messen die Forscher, indem sie dem Elektron mit einem Laser einen kleinen energetischen Schubs geben, so dass es von s-Orbital der zweiten Schale ins p-Orbital hüpf.

Soweit das Prinzip. Um den Energie-Unterschied zu messen, der auch im myonischen Wasserstoff immer noch winzig ist, müssen die Physiker um Randolph Pohl einige praktische Probleme lösen. Sie brauchen nicht nur einen Laser, dessen Wellenlänge sich extrem präzise einstellen lässt. Peu à peu verändern sie seine Energie, bis sie genau zu dem Übergang zwischen den beiden Orbitalen passt. Der Laser muss auch in weniger als einer Millionstel Sekunde einen Puls abgeben, wenn er den Befehl bekommt. Der ergeht, sobald die Detektoren des Apparates ein myonisches Wasserstoffatom registrieren.

In 99 Prozent der Fälle rutscht das Myon im Wasserstoffatom gleich ins s-Orbital der energetisch günstigeren ersten Schale durch. Und so schießt der Laser meistens auf Teilchen, die für ihr eigentliches Vorhaben unbrauchbar sind. Nur sechs bis sieben Mal in der Stunde registriert der Apparat ein Atom, in dem das Myon im s-Orbital der zweiten Schale hängen bleibt. "Da sitzen Sie stundenlang vor dem Bildschirm und kaum etwas passiert", sagt Randolph Pohl. Und dann dauert es nur eine Millionstel-Sekunde, bis das Myon von der zweiten in die erste, energetisch günstigere Schale fällt. Mit verschiedenen Kunstgriffen haben die Garching Forscher ihrem Laser eine Reaktionszeit von 900 Milliardstel Sekunden beigebracht und so die Messung erst ermöglicht.

Nachdem die Forscher monatelang ihre Apparatur am Paul-Scherrer-Institut aufgebaut und fein justiert hatten, haben sie schließlich drei Wochen ununterbrochen gemessen. Erst dann

hatten sie Myonen so oft vom s- ins p-Orbital der zweiten Schale befördert, dass sich in ihrem Spektrum ein deutlicher Peak abzeichnete. Der Rest war Rechnung. "Die Formel dafür hat es ziemlich in sich", sagt Pohl: Doch schließlich kamen sie so zu dem zehnmal genaueren Wert für den Protonenradius, der Quantentheoretiker nun vor einige neue Aufgaben stellt.