

Garching, 25. Januar 2013

Presse-Information

Weiter Rätsel um das Proton

Internationales Forscherteam bestätigt mittels Laserspektroskopie an exotischem Wasserstoff unerwartet kleinen Protonenradius.

Dieses Ergebnis sorgte bereits vor knapp drei Jahren für großes Aufsehen: Untersuchungen an exotischem Wasserstoff, bei dem statt eines Elektrons ein negativ geladenes Myon den Atomkern umkreist, lieferten einen signifikant kleineren Wert für den Protonenradius (genauer gesagt: den Ladungsradius) als die bis dahin erfolgten Messungen an natürlichem Wasserstoff oder der Elektron-Proton-Streuung. Eine neue Messung desselben Teams bestätigt nun einerseits diesen Wert für den Ladungsradius und ermöglicht andererseits erstmalig die Bestimmung des magnetischen Radius des Protons mittels Laserspektroskopie an myonischem Wasserstoff. Die neue Arbeit wird in der amerikanischen Fachzeitschrift *Science* vom 25. Januar 2013 veröffentlicht. Die Experimente wurden am Paul Scherrer Institut (PSI) im schweizerischen Villigen durchgeführt, das als einziges Forschungszentrum weltweit ausreichend viele Myonen für solche Untersuchungen erzeugt. Beteiligt waren unter anderem Forscher vom Max-Planck-Institut für Quantenoptik (MPQ) in Garching bei München, der Eidgenössischen Technischen Hochschule (ETH) Zürich, der Universität Freiburg (Schweiz), dem Institut für Strahlwerkzeuge (IFSW) der Universität Stuttgart, sowie von Dausinger & Giesen GmbH, Stuttgart. Die Ergebnisse fachen erneut die Debatte darüber an, ob die beobachteten Diskrepanzen eine konservative Erklärung finden werden, weil sie etwa auf ein mangelndes Verständnis der in allen Messungen auftretenden systematischen Fehler zurückgehen, oder ob am Ende doch „neue Physik“ dahinter steckt.

Bei den Untersuchungen der Naturgesetze spielt das chemische Element Wasserstoff seit vielen Jahren eine Schlüsselrolle. Sein Atomkern besteht aus einem einzigen Proton, um den ein Elektron kreist – dieses von Niels Bohr 1913 vorgeschlagene Modell hat sich bis heute hervorragend bewährt. Für die Energieniveaus in diesem denkbar einfachen Atom liefert die Quantenelektrodynamik sehr genaue Vorhersagen. Dabei muss berücksichtigt werden, dass die elektrische Ladung des Protons – im Gegensatz zur Ladung des Elektrons – nicht in einem Punkt vereint ist. Vielmehr besteht das Proton aus Quarks, die durch „Klebeilchen“ (Gluonen) zusammengehalten werden, so dass sowohl die elektrische Ladung als auch der Magnetismus im Proton über einen ausgedehnten Bereich verteilt sind. Diese Ausdehnung des Protons führt zu Verschiebungen der Energieniveaus im Wasserstoff – und im Umkehrschluss lassen sich aus gemessenen Verschiebungen die elektrischen und magnetischen Protonenradien bestimmen.

2010 veröffentlichten die Wissenschaftler die ersten spektroskopischen Messungen der Verschiebung des sog. 2S-Energieniveaus in myonischem Wasserstoff. Für die Herstellung dieser exotischen Variante beschossen sie Wasserstoff mit Myonen (diese Teilchen stimmen in fast allen Eigenschaften mit Elektronen überein, sind jedoch 200mal schwerer) aus einem Beschleuniger am PSI. Diese nehmen, wenn sie langsam genug sind, im Wasserstoffatom den Platz der Elektronen ein. Auf Grund seiner großen Masse kommt das

Presse- und
Öffentlichkeitsarbeit
Dr. Olivia Meyer-Streng

Tel.: 089 / 32 905-213
E-Mail: olivia.meyer-streng@mpq.mpg.de

Hans-Kopfermann-Str. 1
D-85748 Garching

Tel.: 089 / 32 905-0
Fax: 089 / 32 905-200

Myon dem Proton sehr viel näher als das Elektron, dementsprechend stärker ist auch die Verschiebung der Energieniveaus. Ihre Messung stellt hohe technische Anforderungen an das Experiment: da die myonischen Wasserstoffatome sehr kurzlebig sind (Myonen leben etwa nur zwei Millionstel Sekunden), müssen die Lichtpulse für die Anregung der Resonanz innerhalb von Nanosekunden nach der Registrierung eines Myons auf das Wasserstofftarget abgefeuert werden. Der am Institut für Strahlwerkzeuge (IFSW) der Universität Stuttgart entwickelte Scheibenlaser war dabei ein wesentlicher Baustein zur Erfüllung dieser Anforderung. Die für die Anregung notwendigen Spektroskopielaser wurden gemeinsam vom Max-Planck-Institut für Quantenoptik und dem Laboratoire Kastler Brossel (Paris) entwickelt.

In dem jetzt in *Science* beschriebenen Experiment wurde die Verschiebung für einen weiteren Übergang in myonischem Wasserstoff bestimmt. Daraus konnten die Wissenschaftler zum einen erneut den elektrischen Protonenradius ermitteln. Der Wert von 0.84087(39) Femtometern ($1 \text{ fm} = 0.000\,000\,000\,001 \text{ Meter}$) ist in Übereinstimmung mit dem 2010 veröffentlichten (0,84184 fm), jedoch noch 1,7mal genauer. Die Diskrepanz zu den Messungen im normalen Wasserstoff bzw. zur Elektron-Proton-Streuung hat also an Gewicht gewonnen.

Die neue Messung erlaubt zudem erstmals die Bestimmung des magnetischen Radius des Protons aus der Laserspektroskopie an myonischem Wasserstoff. Der so bestimmte Wert von 0.87(6) Femtometern stimmt gut mit den bisherigen Werten überein. Auch wenn die Genauigkeit derzeit nicht besser ist als die der bisherigen Messungen, birgt die Laserspektroskopie von myonischem Wasserstoff das Potenzial, die Messgenauigkeit für den magnetischen Radius in Zukunft deutlich zu steigern.

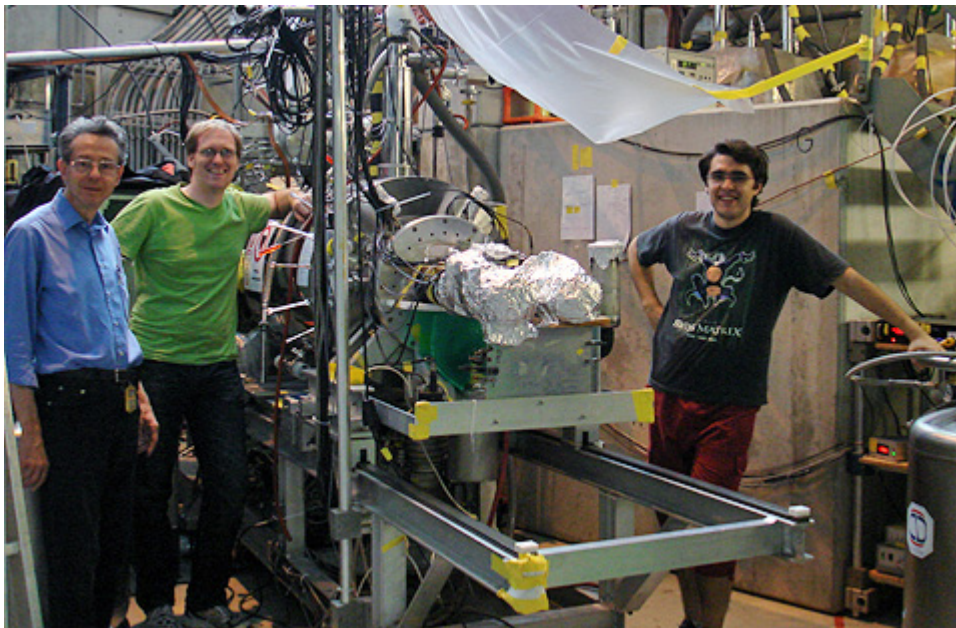


Foto: Dr. Franz Kottmann, Dr. Randolph Pohl und Dr. Daniel Covita (von links nach rechts) stehen vor einem supraleitenden Magnet (5 Tesla), in dem das Experiment stattfindet. Im Inneren befinden sich die Myonendetektoren und die Wasserstoffzelle. Das starke Magnetfeld ist notwendig, um den Myonenstrahl auf etwa den Durchmesser eines Bleistiftes zu bündeln. © CREMA-Kollaboration, MPQ

Den Ursachen des Proton-Rätsels auf den Grund zu gehen ist weltweit Motivation für vielseitige Untersuchungen. Einerseits werden die alten Messungen im Wasserstoff und in der Elektronenstreuung neu analysiert oder wiederholt. Andererseits beteiligen sich Theoretiker vieler Fachrichtungen intensiv an der Suche nach der Lösung. Äußerst spannende Vorschläge versuchen, die beobachtete Diskrepanz durch Physik jenseits des Standardmodells zu erklären. Aber es könnte auch sein, dass das Proton eine viel komplexere Struktur hat als bisher angenommen, die jedoch erst unter dem Einfluss des schweren Myons deutlich wird. Um diesen Effekt abzuklären, sind weitere Messungen notwendig. So sind bereits Experimente zur Myon-Proton-Streuung am PSI in Planung. Am Elektronenbeschleuniger in Mainz sind neue Präzisionsmessungen im Gespräch. Und die Spektroskopie myonischer Atome

wird vorangetrieben: so wird dieses Jahr erstmalig auch myonisches Helium spektroskopisch vermessen – von derselben Forschergruppe, wiederum am PSI. Dazu wird auch das Lasersystem angepasst und überarbeitet, wozu an der ETH Zürich (Prof. Dr. Klaus Kirch, Dr. Aldo Antognini) und am IFSW (Prof. Dr. Thomas Graf, Dr. Andreas Voß) derzeit das vom Schweizerischen Nationalfond (SNF) und der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) geförderte Gemeinschaftsprojekt „Thin-disk laser for muonic atoms spectroscopy“ läuft. Auch vom European Research Council (ERC) wird das Projekt „Myonisches Helium“ großzügig gefördert: Dr. Randolph Pohl vom MPQ in Garching erhielt für das Projekt einen ERC Starting Grant.
Olivia Meyer-Streng

Originalveröffentlichung:

Aldo Antognini, François Nez, Karsten Schuhmann, Fernando D. Amaro, François Biraben, João M. R. Cardoso, Daniel S. Covita, Andreas Dax, Satish Dhawan, Marc Diepold, Luis M. P. Fernandes, Adolf Giesen, Andrea L. Gouvea, Thomas Graf, Theodor W. Hänsch, Paul Indelicato, Lucile Julien, Cheng-Yang Kao, Paul Knowles, Franz Kottmann, Eric-Olivier Le Bigot, Yi-Wei Liu, José A. M. Lopes, Livia Ludhova, Cristina M. B. Monteiro, Françoise Mulhauser, Tobias Nebel, Paul Rabinowitz, Joaquim M. F. dos Santos, Lukas A. Schaller, Catherine Schwob, David Taqqu, João F. C. A. Veloso, Jan Vogel-sang, Randolph Pohl

Proton structure from the measurement of 2S – 2P transition frequencies of muonic hydrogen,
Science, 25. Januar 2013

An dem hier beschriebenen Experiment sind zahlreiche Einrichtungen aus verschiedenen Ländern beteiligt: *Max-Planck-Institut für Quantenoptik, Garching bei München, Paul Scherrer Institut PSI, Villigen, Schweiz, Institut für Teilchenphysik, Eidgenössische Technische Hochschule ETH Zürich, Schweiz, Laboratoire Kastler Brossel, Paris, Frankreich, Université P. et M. Curie, Paris, Frankreich, Institut für Strahlwerkzeuge der Universität Stuttgart und Dausinger & Giesen GmbH, Stuttgart, Deutschland, Universidade de Coimbra, Portugal, Universidade de Aveiro, Portugal, Yale University, New Haven, USA, National Tsing Hua University, Hsinchu 300, Taiwan, Departement für Physik, Universität Freiburg, Freiburg, Schweiz, Princeton University, USA, Ludwig-Maximilians-Universität München.*

Kontakte:

Dr. Randolph Pohl

Max-Planck-Institut für Quantenoptik
Hans-Kopfermann-Straße 1
85748 Garching
Tel.: +49 (0) 89 / 32 905 -281
Fax: +49 (0) 89 / 32 905 -200
E-Mail: randolf.pohl@mpq.mpg.de
<http://www.mpg.mpg.de/~rnp/>

Dr. Aldo Antognini

ETH Zürich
CH-8093 Zürich
Tel.: +41 (0) 56 / 31 046 14
Fax: +41 (0) 44 / 63 320 31
E-Mail: aldo@phys.ethz.ch
<https://muhy.web.psi.ch/wiki/>

Prof. Dr. Theodor W. Hänsch

Lehrstuhl für Experimentalphysik,
Ludwig-Maximilians-Universität, München
Max-Planck-Institut für Quantenoptik
Hans-Kopfermann-Straße 1,
85748 Garching
Tel.: +49 (0) 89 / 32 905 -702/-712
Fax: +49 (0) 89 / 32 905 312
E-Mail: t.w.haensch@mpq.mpg.de

Dr. Franz Kottmann

Paul Scherrer Institut
CH-5232 Villigen
Tel.: +41 (0) 56 / 31 035 02
E-Mail: franz.kottmann@psi.ch

Prof. Dr. Thomas Graf

Universität Stuttgart
Institut für Strahlwerkzeuge
Pfaffenwaldring 43
D-70569 Stuttgart
Telefon: +49 (0) 711 / 68 566 840
E-Mail: graf@ifsw.uni-stuttgart.de

Karsten Schuhmann

ETH Zürich
CH-8093 Zürich
Tel.: +41 (0) 44 / 63 320 31
E-Mail: skarsten@phy.ethz.ch
and Dausinger & Giesen GmbH
Rotebühlstrasse 87
D-70178 Stuttgart