

Garching, 28. Juli 2011

Presse-Information

## Fundamentale Symmetrie zwischen Materie und Antimaterie bestätigt

**Im Rahmen einer internationalen Kollaboration haben MPQ-Wissenschaftler mit bislang unerreichter Genauigkeit das Verhältnis von Antiproton- zu Elektronmasse ermittelt.**

Nach modernen kosmologischen Modellen wurden Materie und Antimaterie am Beginn des Universums, beim Urknall, in gleichen Mengen erzeugt. Diverse theoretische Konzepte versuchen zu erklären, warum das sichtbare Universum heute dennoch ausschließlich aus Materie zu bestehen scheint. Gleichzeitig erzeugen experimentelle Gruppen künstlich Antimaterie-Teilchen. Damit wollen sie herausfinden, ob Antimaterie-Teilchen, wie in den Modellen der Teilchenphysik vorhergesagt, exakt die gleichen Eigenschaften haben wie ihre materiellen Gegenstücke, abgesehen von der entgegen gesetzten elektrischen Ladung. Jetzt hat die Forschungsgruppe „Antimatter Spectroscopy“ von Dr. Masaki Hori, die mit der Abteilung Laserspektroskopie von Prof. Theodor W. Hänsch am Max-Planck-Institut für Quantenoptik in Garching assoziiert ist, die theoretisch geforderte Symmetrie zwischen Materie und Antimaterie untermauert (Nature, 28. Juli 2011). Indem die Wissenschaftler eine neue Methode der Laserspektroskopie auf antiprotonisches Helium, ein zur Hälfte aus Antimaterie bestehendes Atom, anwandten, gelang es ihnen, das Verhältnis von Antiproton- zu Elektronmasse mit einer Genauigkeit von  $1,3 \text{mal } 10^{-9}$  zu bestimmen. Ihr Ergebnis stimmt exakt mit dem mit gleicher Genauigkeit bestimmten Verhältnis von Proton- zu Elektronmasse überein. Das Experiment wurde am Europäischen Forschungszentrum für Teilchenphysik CERN in Genf ausgeführt, unter Leitung von Wissenschaftlern des MPQ und der Universität Tokio. Maßgeblich beteiligt waren außerdem die Universität Brescia (Italien), das Stefan Meyer-Institut in Wien und das ungarische KFKI Forschungsinstitut in Budapest.

Allen gegenwärtigen theoretischen Konzepten und experimentellen Beobachtungen zufolge herrscht in der Natur eine fundamentale Symmetrie, die sogenannte C(harge)P(arity)T(ime) Invarianz (das steht für Ladungskonjugation, Raumspiegelung und Zeitumkehr). Das sogenannte CPT-Theorem postuliert, dass eine „Antiwelt“, in der alle Materie im Universum durch Antimaterie ersetzt, rechts und links vertauscht und überdies der Fluss der Zeit umkehrt wird, von unserer realen Welt nicht zu unterscheiden ist. Atome aus Antimaterie müssten demnach präzise dasselbe wiegen wie ihre materiellen Gegenstücke und auch mit exakt denselben Frequenzen schwingen. Könnte experimentell ein noch so kleiner Unterschied zwischen Materie und Antimaterie festgestellt werden, so würde das einen Bruch dieser fundamentalen Symmetrie bedeuten. Das Schlüsselwort dabei lautet „klein“ – es ist absolut notwendig, die genauesten zur Verfügung stehenden Methoden und Instrumente zu verwenden, um diesen Vergleich mit der höchstmöglichen Präzision durchzuführen.

Antimaterie ist nur sehr schwer im Labor zu untersuchen, da sie bereits beim geringsten Kontakt mit gewöhnlicher Materie, und sei es auch nur einem einzelnen Luftmolekül, zerstrahlt und sich dabei in Energie und neue Teilchen

Presse- und Öffentlichkeitsarbeit,  
Dr. Olivia Meyer-Streng

Tel.: +49(0)8932 905-213  
E-Mail: [olivia.meyer-streng@mpq.mpg.de](mailto:olivia.meyer-streng@mpq.mpg.de)

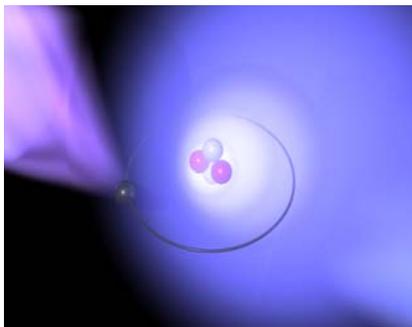
Hans-Kopfermann-Str. 1  
D-85748 Garching

Tel.: +49(0)8932 905-0  
Fax: +49(0)8932 905-200

umwandelt. 1997 bauten Forscher des MPQ in Zusammenarbeit mit dem CERN in Genf (Schweiz) sowie weiteren europäischen, amerikanischen und japanischen Gruppen eine neue Anlage namens „Antiprotonen Decelerator“ (Abbremsler). Hier werden die in Teilchenkollisionen bei hohen Energien erzeugten Antiprotonen gesammelt, zirkulieren in einer ringförmigen Vakuumkammer von 190 Meter Umfang und werden dort schrittweise abgebremst, bevor sie den Experimenten zugeführt werden. Die sogenannte ASACUSA<sup>1</sup>-Gruppe (für „Atomic Spectroscopy and Collisions using Slow Antiprotons“, genannt nach einem Stadtteil in Tokio), zu der Dr. Hori gehört, schickt die Antiprotonen auf ein Helium-Target, um damit antiprotonisches Helium zu erzeugen und zu untersuchen.

Gewöhnliches Helium besteht aus einem Atomkern, der von zwei Hüllenelektronen umrundet wird. Bei antiprotonischem Helium wird das negativ geladene Elektron durch das ebenfalls negativ geladene Antiproton ersetzt, das sich jetzt in einer hoch angeregten Umlaufbahn in einer Entfernung von etwa 100 Pikometern ( $10^{-10}$  Metern) befindet. Dieses Atom wird jetzt mit Laserlicht bestrahlt, dessen Frequenz genau so eingestellt ist, dass das Antiproton von einer Bahn auf die nächste hüpft. Vergleicht man diese Frequenz mit theoretischen Berechnungen, dann lässt sich daraus die Masse des Antiprotons im Verhältnis zur Masse des Elektrons ableiten.

Die ständige thermische Bewegung der Antiprotonen ruft jedoch prinzipielle Ungenauigkeiten hervor: Atome, die sich dabei auf den Laser zu bewegen, sehen aufgrund der Dopplerverschiebung eine andere Frequenz als Atome, die sich davon weg bewegen. Das ist der gleiche Effekt, der auch bei sich nähernden oder wieder entfernenden Sirenen zu einer Änderung des Tons führt. Dadurch wurde die Genauigkeit der 2006 von der ASACUSA-Gruppe ausgeführten Messungen begrenzt, bei denen die Atome nur mit einem Laserstrahl angeregt wurden.



*Abb.: Ein Antiproton (schwarzes Kügelchen), das in einem Heliumatom gefangen ist, wird von zwei Laserstrahlen beleuchtet.*

Mit der bei diesem Experiment verwendeten Methode der „Zwei-Photon-Spektroskopie“ wird dieser Effekt zumindest teilweise ausgetrickst, was zu einer vier bis sechs Mal höheren Genauigkeit führt. Dabei werden die Atome von zwei gegenläufigen Laserstrahlen unterschiedlicher Farbe beleuchtet. Der erste Laser bringt das Antiproton nur auf eine Bahn, die einem virtuellen, d.h. quantenmechanisch nicht erlaubten Energieniveau entspricht. Erst der zweite Laser bringt das Antiproton auf die niedrigste erlaubte Bahn. Da das Antiproton sehr schwer ist (rund 1800 Mal so schwer wie das Elektron), ist es extrem schwierig, diesen Zwei-Photonen-Übergang zu realisieren. Erst die extrem scharfe Einstellung der Laserfrequenzen, welche die MPQ-Physiker mit dem optischen Frequenzkamm erzielten (für diese Entwicklung erhielt Prof. Hänsch 2005 den Nobelpreis für Physik), brachte den Durchbruch

Die neuen Messungen ergaben, dass das Antiproton 1836,1526736(23) Mal schwerer ist als das Elektron, die Zahl in der Klammer entspricht der Ungenauigkeit in der ersten Standardabweichung. „Wir haben die Masse des Antiprotons im Verhältnis zur Masse des Elektrons auf 10 Dezimalstellen genau bestimmt“, erklärt Masaki Hori. „Dies untermauert die Gültigkeit des CPT-Theorems. Darüber hinaus lernen wir, dass Antiprotonen den gleichen nichtlinea-

<sup>1</sup> ASACUSA ist eines von diversen Experimenten, die am CERN Antimaterie untersuchen: ATRAP und ALPHA untersuchen Atome aus Antiwasserstoff, AeGIS beobachtet das Verhalten von Antimaterie unter der Schwerkraft, und ACE befasst sich mit der potentiellen Anwendung von Antiprotonen für die Strahlentherapie von Krebserkrankungen.

ren Regeln der Quantenoptik unterliegen wie normale Teilchen, und wir sie ganz genauso mit Laserlicht beeinflussen können. Die neue Zwei-Photon-Technik wird zu einer erheblichen Steigerung solcher Messungen führen, so dass die Masse des Antiprotons vielleicht einmal genauer bestimmt sein wird als die des Protons.“

Das „Komitee für Daten in Wissenschaft und Technologie (CODATA)“ verwendet die neuen Messergebnisse auch zur Bestimmung des Verhältnisses von Protonmasse zu Elektronmasse. Diese Größe hat wiederum Einfluss auf viele andere Naturkonstanten. [OM]

**Originalveröffentlichung:**

Masaki Hori, Anna Sótér, Daniel Barna, Andreas Dax, Ryugo Hayano, Susanne Friedreich, Bertalan Juhász, Thomas Pask, Eberhard Widmann, Dezső Horváth, Luca Venturelli, Nicola Zurlo

**Two-photon laser spectroscopy of antiprotonic helium and the antiproton-to-electron mass ratio**

*Nature*, 28. Juli 2011

**Kontakt:**

**Dr. Masaki Hori**

Max-Planck-Institute für Quantenoptik

Hans-Kopfermann-Straße 1

85748 Garching

Tel.: +49(0)89 32905 268

E-Mail: masaki.hori@mpq.mpg.de