

„Eine fundamentale Größe der Physik“

Kim Hermann 27.05.2020

Alle bekannte Materie im Universum – von Lebewesen über Planeten bis hin zu Galaxien – besteht aus Atomen. Diese Bausteine der Materie setzen sich wiederum aus noch kleineren Teilchen zusammen: Einer Hülle aus Elektronen und einem Atomkern aus Protonen und Neutronen. Obwohl Physiker diese Teilchen seit Langem erforschen, sind einige grundlegende Eigenschaften noch nicht genau bekannt. Dazu zählt etwa die Größe des Neutrons. Ein Forscherteam hat das Neutron nun auf eine neue Art und Weise vermessen. Welche Schwierigkeiten das mit sich bringt und inwiefern ihr Ergebnis von bisherigen Messungen abweicht, berichtet Evgeny Epelbaum von der Universität Bochum im Interview mit Welt der Physik.

Welt der Physik: Aus welchen Teilchen setzt sich ein Atom zusammen?

Evgeny Epelbaum: Früher dachten die Menschen, Atome sind die kleinsten Teilchen, aus denen Materie aufgebaut ist. Zu Beginn des 20. Jahrhunderts entdeckten Forscher jedoch, dass es im Zentrum eines Atoms einen kompakten, positiv geladenen Atomkern gibt, der von negativ geladenen Elektronen umgeben ist. Dieser Atomkern besteht aus positiv geladenen Protonen und elektrisch neutralen Neutronen. Noch später fand man heraus, dass selbst die Kernteilchen eine Struktur besitzen und aus noch kleineren Teilchen – sogenannten Quarks und Gluonen – bestehen. Wie Elektronen gehören auch Quarks zu den fundamentalen Elementarteilchen, die unser Leben und unser Universum bestimmen.

Wie lässt sich die Größe von Protonen oder Neutronen messen?

Protonen und Neutronen bestehen im Wesentlichen aus drei Quarks, die selbst eine elektrische Ladung tragen. Stellt man sich nun vor, dass sich diese Quarks innerhalb des Kernteilchens bewegen, erzeugt das eine Ladungsverteilung. Die Ausdehnung dieser Verteilung bestimmt dann die Größe des Kernteilchens. So lässt sich die Größe eines Protons mit verschiedenen Methoden messen: Beispielsweise indem man einen Wasserstoffkern – der aus einem einzigen Proton besteht – mit einem Elektronenstrahl beschießt. Dabei interagieren die Elektronen mit den Quarks im Proton aufgrund ihrer elektrischen Ladung und werden abgelenkt. Aus der Ablenkung – auch Streuung genannt – lässt sich dann die Größe des Protons bestimmen.

Kann man mit dieser Methode auch die Größe von Neutronen messen?

Auch Neutronen – obwohl sie als Ganzes elektrisch neutral sind – bestehen aus geladenen Quarks, deren elektrische Ladung sich allerdings gegenseitig aufhebt. Daher wechselwirken auch Neutronen mit Elektronen. Da Neutronen in Atomkernen nur in Kombination mit einem oder mehreren Protonen vorkommen, kann man kein einzelnes Neutron als Streukörper herstellen. Deshalb sind keine direkten Streuexperimente von Elektronen an einem Neutron möglich.

Wie haben Forscher dann die Neutronengröße bestimmt?

Der aktuelle Wert der Neutronengröße wurde auf andere Art und Weise gemessen: Man schießt nämlich nicht mit einem Elektronenstrahl auf Neutronen, sondern mit einem Neutronenstrahl auf Elektronen. Die freien Neutronen existieren lange genug, um mit den Elektronen aus der Atomhülle zu interagieren und werden dabei abgelenkt. Aus dieser Ablenkung lässt sich – analog zu Elektronenstreuexperimenten – die Neutronengröße bestimmen. Damit sich eine ausreichend große Ablenkung beobachten lässt, braucht man schwere Atome mit vielen Elektronen. Doch je schwerer die Atome sind – und je mehr Teilchen damit an dem Experiment beteiligt sind –, desto komplizierter werden die Berechnungen. Daher liefern solche indirekten Experimente viel ungenauere Werte als bei einem Proton und die Ergebnisse weichen oft stark voneinander ab.

Wie haben Sie dieses Problem gelöst?

Anstelle der Streuexperimente haben wir uns eine andere Methode überlegt, für die wir nur sehr leichte Atomkerne – nämlich Kerne von Deuterium – verwenden. Deuterium ist ein Isotop von Wasserstoff und besteht im Kern – der auch Deuteron genannt wird – aus einem Proton und einem Neutron. Die Kernteilchen sind relativ weit voneinander entfernt, sodass der Radius des Deuterons deutlich größer ist als die Summe des Protonenradius und des Neutronenradius. Die genaue Größe des Deuterons hängt also zum einen von der Ausdehnung der Kernteilchen selbst ab und zum anderen von den Kräften, die zwischen den Kernteilchen wirken. Wir haben nun den Einfluss der Kräfte auf die Größe des Deuterons sehr genau berechnet. Diese theoretischen Überlegungen haben wir mit präzisen experimentellen Messungen an Deuteron kombiniert. So ist es uns gelungen, die Neutronengröße zu bestimmen.

Was haben Sie mit Ihrer Methode herausgefunden?

Wir haben im Vergleich zu den existierenden indirekten Messungen einen deutlich kleineren Wert für die Neutronengröße erhalten. Es ist möglich, dass die Streuexperimente an schweren Atomen größere systematische Unsicherheiten aufweisen als bisher angenommen. Doch auch beim Radius von Protonen kommen verschiedene Experimente zu unterschiedlichen Ergebnissen. Obwohl die Kernteilchen bereits in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts entdeckt wurden, verstehen wir einige ihrer fundamentalen Eigenschaften wie ihre Ausdehnung auch heute immer noch nicht komplett. Doch je genauer wir die Eigenschaften von Protonen und Neutronen kennen, desto besser verstehen wir auch exotischere Teilchen, die ebenfalls aus Quarks bestehen. Diese sogenannten Hadronen sollen im geplanten PANDA-Experiment an der neuen Beschleunigeranlage FAIR in Darmstadt im Detail untersucht werden. Unser Ergebnis liefert einen wichtigen Beitrag zur Erforschung der inneren Struktur von Hadronen.