

Deformierte Atomkerne

Lisa Leander 23.03.2017

Ganz ähnlich wie die Elektronenhülle eines Atoms lässt sich auch der Atomkern mithilfe eines Schalenmodells beschreiben. Doch es gibt auch wesentliche Unterschiede, wie Physiker erst im vergangenen Jahr feststellten: Manche Atomkerne ändern spontan ihre Form. Im Podcast erklärte Norbert Pietralla von der Technischen Universität Darmstadt, wie er dieses Phänomen mit seinem Team nachweisen konnte.

Wir selbst und alles um uns herum bestehen aus Atomen. Und diese setzen sich wiederum aus einer äußeren Hülle aus negativ geladenen Elektronen und einem positiv geladenen Kern zusammen.

Norbert Pietralla: *„Ein Atomkern besteht aus elektrisch positiv geladenen Protonen und elektrisch neutralen Neutronen. Die Protonen werden voneinander elektromagnetisch abgestoßen, weil sie die gleiche Ladung haben. Zusammengehalten werden Protonen und Neutronen aber durch die starke Kernkraft, die stärker ist als die Coulomb-Abstoßung – und auf diese Weise halten die Protonen und Neutronen im Atomkern zusammen.“*

Ähnlich wie die Elektronen in der Hülle, die sich auf bestimmte Energieniveaus oder sogenannte Atomorbitale verteilen, lassen sich auch die Nukleonen – also die Protonen und Neutronen – innerhalb des Kerns abhängig von ihrer Energie verschiedenen Orbitalen zuordnen.

„Diese Orbitale oder Schalen bezeichnen die Aufenthaltswahrscheinlichkeiten von den Nukleonen, die sich in diesen Orbitalen befinden. Das heißt, je nach Besetzung einer entsprechenden Schale wird sich dieses Nukleon – Proton oder Neutron – mit einer unterschiedlichen Wahrscheinlichkeit an verschiedenen Orten des Atomkerns aufhalten, so wie sich Elektronen in verschiedenen Orbitalen im Atom mit einer unterschiedlichen Wahrscheinlichkeit an den verschiedenen Orten aufhalten können.“

Sind alle Schalen abgeschlossen, also mit der maximal möglichen Zahl an Nukleonen besetzt, besitzt der Atomkern eine gleichmäßig sphärische Form.

„Bei einer nicht vollbesetzten Schale können jedoch Wechselwirkungen zwischen Protonen und Neutronen dazu führen, dass ein Atomkern etwas anderes als eine Kugelgestalt annimmt. Das geschieht spontan dann, wenn eine solche Gestalt energetisch günstiger ist als die Kugelgestalt. Das liegt zum einen an Details der Kernkräfte und zum anderen an der Art und Weise, wie die Quantenschalen in dem Atomkern von Protonen und Neutronen besetzt werden können.“

Je nach Anordnung der Nukleonen kann die Form des Atomkerns sehr unterschiedlich ausfallen.

„Also es gibt sehr viele Atomkerne, die sich so verformen, dass eine Achse länger ist als die beiden anderen. So etwas findet man im Alltag etwa in Form einer Zigarre. Eine Zigarre hat eine Symmetrieachse, zwei kurze und eine lange Achse. In einem Atomkern, der sich

zigarrenförmig – Physiker sprechen von prolat – verformt, ist die lange Achse etwa dreißig Prozent länger als die beiden kurzen Achsen. Es gibt auch ganz extreme Ausprägungen von dieser Deformation, dann spricht man von Superdeformation, wo die lange Achse etwa doppelt so lang ist wie die beiden kurzen Achsen.“

Andere Atomkerne sind wie ein Diskus geformt, seltener sind Kerne mit einer birnen- oder zitronenartigen Gestalt. Um die Form von Atomkernen zu vermessen, bringen Pietralla und seine Kollegen an der TU Darmstadt Elektronen in einem Beschleuniger auf hohe Energien und lassen sie anschließend auf die Atomkerne prallen. Die Kerne werden dadurch angeregt – erhalten also zusätzliche Energie – und die Elektronen werden aus ihrer ursprünglichen Bahn abgelenkt. Anhand dieser Streuung der Elektronen können die Forscher bestimmen, ob Kerne vom Grundzustand in einen angeregten Zustand übergegangen sind. In ihren Experimenten untersuchten die Forscher unter anderem Zirkon-96 – ein Isotop des Metalls Zirkon mit 40 Protonen und 56 Neutronen im Kern.

„Wir waren interessiert an der Stärke von elektromagnetischen Übergängen zwischen Zuständen des Atomkerns. In unseren Untersuchungen zeigte sich eine unerwartet hohe Deformation der angeregten Zustände. Festgestellt haben wir das durch unerwartet hohe elektrische Quadrupolübergangsstrahlung, die wir zum ersten Mal vermessen konnten.“

Diese Quadrupolübergangsstrahlung entsteht, wenn ein zigarrenförmiger Kern angeregt wird und die dabei aufgenommene Energie wenig später in Form von elektromagnetischer Strahlung wieder abgibt. Je stärker die Deformation entlang der Längsachse, desto stärker ist diese Übergangsstrahlung. Das Team diskutierte seine Ergebnisse mit Wissenschaftlern aus Tokio, die Kernzustände am Computer simulieren.

„Erst in Gesprächen mit den Kollegen wurde uns klar, dass es sich hier um ein Beispiel der Schalenentwicklung in einem Kern handelt, das vorher von dieser Gruppe nur als Funktion von Nukleonenzahlen diskutiert wurde.“

Die Forscher gingen also bislang davon aus, dass sich die Form eines Kerns dann ändert, wenn zusätzliche Nukleonen hinzukommen – beispielsweise in verschiedenen Isotopen eines Elements. Diese enthalten jeweils die gleiche Zahl an Protonen, aber unterschiedlich viele Neutronen.

„Dass das auch in ein und demselben Kern auftreten kann – einfach durch Anregung von gewissen Nukleonen, die zu einer dynamischen Veränderung der Schalenstruktur führt –, das war neu und das konnten wir hier in diesem Kern zum ersten Mal nachweisen und belegen durch die Vermessung von elektromagnetischen Übergangsraten.“

Für die Physiker ist nun interessant, ob sie weitere Kerne finden können, die ebenfalls verschiedene Formen annehmen. Das Team aus Japan will dafür die Wechselwirkungen und Energien im Kern mit leistungsfähigen Computern berechnen und so Voraussagen treffen, die die Forscher in Darmstadt dann überprüfen können.

„Die japanischen Kollegen – aber auch Kollegen hier an der TU Darmstadt – sind schon sehr weit fortgeschritten, Kerne mit sehr vielen Valenznukleonen, also Nukleonen außerhalb von abgeschlossenen Schalen, zu berechnen. Diese Forschung werden wir auf alle Fälle

weitertreiben und wir suchen auch nach anderen Kernen, in denen sich diese Bedeutung der Schalenevolution, der Schalenentwicklung, besonders stark ausprägt.“

Allerdings lassen sich viele Kerne, die die Wissenschaftler besonders interessieren, nur schwer im Beschleuniger untersuchen, weil sie beispielsweise sehr instabil sind. Mit der neuen internationalen Beschleunigeranlage FAIR, die derzeit in Darmstadt gebaut wird, werden Physiker solche instabilen Atomkerne gezielt herstellen können. Auf diese Weise werden Experimente möglich, mit denen die Wissenschaftler künftig noch mehr über die Strukturen und Wechselwirkungen in Atomkernen herausfinden können.

[Welt der Physik CC by-nc-nd](#)