

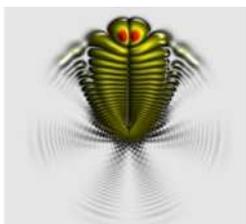


Ein Dipol aus zwei gleichen Atomen

In einem Molekül aus zwei Rubidiumatomen entsteht ein Ungleichgewicht der Ladung, wenn ein Atom in einen Rydberg-Zustand angeregt wird

24. November 2011

Das Tauziehen zweier gleicher Atomkerne um die Bindungselektronen in einem Molekül geht normalerweise unentschieden aus: Beide kämpfen mit gleichen Kräften, keinem gelingt es, die Elektronen näher an sich zu ziehen. Die Entstehung eines negativen und positiven Pols – ein permanentes elektrisches Dipolmoment – in einem Molekül aus zwei gleichen Atomen ist daher ausgeschlossen. Ein internationales Team um Wissenschaftler des Dresdener Max-Planck-Instituts für Physik komplexer Systeme berichtet nun erstmals über ein permanentes elektrisches Dipolmoment an einem Riesenmolekül aus zwei Rubidium-Atomen: Bei Temperaturen nahe dem absoluten Nullpunkt wird dabei eines der Rubidium-Atome mittels Laserlicht so stark angeregt, dass sein äußeres Elektron gerade noch am Atomkern gebunden bleibt. An einem solchen exotischen Molekül konnten die Forscher ein permanentes elektronisches Dipolmoment in der Größe von 1 Debye nachweisen. Ein Phänomen, das der bisherigen Lehrmeinung widerspricht.



Ein Trilobiten-Molekül: Geht ein stark angeregtes Rydberg-Atom eine Bindung mit einem nicht angeregten Atom ein, entsteht ein Molekül, das an ein urzeitliches Tierchen erinnert. Das Rydberg-Atom sitzt in der Mitte des Kreises, der den möglichen Aufenthaltsbereich des angeregten Elektrons markiert. Das nicht angeregte Atom befindet sich am oberen Rand. Der Größenunterschied der beiden Atome bewirkt eine Verzerrung der Ladungsverteilung, so dass in dem Molekül aus zwei gleichen Atomen ein Dipol entsteht.

© MPI für Physik komplexer Systeme / Universität Stuttgart

Treffen sich zwei exakt gleich starke Menschen zum sportlichen Tauziehen, so wird es keinem von beiden gelingen, den anderen auch nur ein Stück zu sich zu ziehen. So ähnlich verhält es sich bei zwei gleichen Atomen, die eine Bindung eingehen: Bei wasserstoffähnlichen Elementen wie Rubidium teilen sich die Atome die beiden äußeren Elektronen. Beide Atome sind genau gleich stark, keines der beiden schafft es, die Ladungen auch nur ein Stück näher an sich zu ziehen. Die Entstehung eines Dipols, also einer ungleichen Ladungsverteilung zwischen gleichen Partnern, ist unmöglich.

Für das Ergebnis dieses Wettkampfs ist es außerdem unerheblich, ob die Sportler die Seiten wechseln. In der Quantenmechanik ist das ganz ähnlich, hier bedeutet das: Die Elektronen der beiden „Tauzieher“ können untereinander ihre Plätze tauschen – Physiker sprechen dann von tunneln –, was in normalen Molekülen auch ständig passiert. Nur wenn diese so genannte Symmetrie zwischen den Atomen nicht mehr gegeben ist, kann ein Dipolmoment auch nach quantenmechanischen Prinzipien existieren.

Ein riesiges Molekül aus einem stark und einem nicht angeregten Atom

Nun haben Wissenschaftler um Jan M. Rost am Max-Planck-Institut für Physik komplexer Systeme in Dresden in Zusammenarbeit mit dem Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics in Cambridge für ein Molekül aus zwei Rubidium-Atomen erstmals theoretisch gezeigt, dass dies ein permanentes elektrisches Dipolmoment von der Größe von 1 Debye besitzt. Ergebnisse von Kollegen des Physikalischen Instituts der Universität Stuttgart, die dieses Dipolmoment auch im Labor nachweisen konnten, bestätigen die Berechnungen.

Das äußere Elektron eines Rubidium-Atoms wird dabei mittels Laserlicht so stark angeregt, dass es auf eine planetenartige Umlaufbahn gerät, die einen weiten Bogen um seinen Heimatkern beschreibt. Diese Umlaufbahn, und damit das Atom, hat einen Durchmesser, der tausendmal größer ist, als das ursprüngliche Atom. Diese so genannten Rydberg-Atome sind fragile Objekte und überleben nur in einer Umgebung mit geringen Störeinflüssen, das heißt, sie brauchen ultrakalte Temperaturen nahe dem absoluten Nullpunkt. Befindet sich nun während der Laseranregung ein weiteres nicht-angeregtes Atom innerhalb der Planetenbahn des Elektrons, so kann sich ein riesiges zweiatomiges Rydberg-Molekül bilden. Im elektrischen Feld haben die Wissenschaftler daran mittels hochauflösender Spektroskopie eine permanente Ladungsverschiebung nachgewiesen. Das Rubidium-Atom im Grundzustand ist dabei der negative Pol, das Rydberg-Atom der positive.

Das Besondere an diesem äußerst fragilen polaren Molekül: Es ist etwa tausend Mal so groß wie gewöhnliche Moleküle. Der Größenunterschied zwischen dem gigantischen Rydberg-Atom und dem nicht-angeregten Atom-Zwerg macht nun den Platztausch zwischen den Elektronen unmöglich: Das

Tunneln eines stark gebundenen Elektrons von einem Atom zum anderen dauert aufgrund der riesigen Distanz zwischen den Partnern länger als die Lebensdauer des Universums. Das hat einen Symmetriebruch zur Folge, der die Bildung eines permanenten elektrischen Dipolmoments quantenmechanisch erst möglich macht. „Die Existenz eines permanenten elektrischen Dipols in einem Molekül mit zwei gleichen Kernen ist überraschend und unterstreicht, dass diese Art von Riesen-Rydberg-Molekülen neuartige Eigenschaften haben, die sie zu einer eigenen Spezies machen“, sagt Jan M. Rost, Direktor am Dresdener Max-Planck-Institut.

Mit Rydberg-Molekülen lassen sich chemische Verbindungen untersuchen

Im Jahr 2009 gelang es den Kollegen der Universität Stuttgart erstmals, Riesen-Rydberg-Moleküle im Labor herzustellen. Bisher ging man allerdings davon aus, dass die quantenmechanische Elektronendichte des Rydberg-Elektrons, also die Orte, an denen sich dieses aller Wahrscheinlichkeit nach aufhält, Kugelbahnen entsprechen, und das Molekül damit kein Dipolmoment besitzt. Durch die Interaktion des Rydberg-Elektrons mit dem nicht-angeregten Atom ändert sich die Aufenthaltswahrscheinlichkeit des Rydberg-Elektrons jedoch ganz leicht, die Kugelbahnen werden leicht verzerrt und ein Dipolmoment entsteht. Dies haben die Physiker um Jan M. Rost vorhergesagt. „Unsere theoretischen Berechnungen stehen dabei in exzellenter Übereinstimmung mit den experimentellen Ergebnissen“, sagt er.

Die Forscher haben damit nicht nur gezeigt, dass ein bisher nicht für möglich gehaltenes Phänomen tatsächlich existiert. Es könnte zukünftig auch für andere Wissenschaftler interessant sein: Aufgrund der hohen Empfindlichkeit für elektrische Felder könnten Physiker und Chemiker mit Hilfe von Riesen-Rydberg-Molekülen bei ultrakalten Bedingungen chemische Reaktionen kontrollieren und verfolgen – und so neue Erkenntnisse über die Struktur chemischer Verbindungen gewinnen.

PR/PH

ANSPRECHPARTNER



Prof. Dr. Jan-Michael Rost,
Max-Planck-Institut für Physik komplexer Systeme, Dresden
Telefon: +49 351 871-2202
Fax: +49 351 871-2299
E-Mail: rost@pks.mpg.de

ORIGINALVERÖFFENTLICHUNG

Weibin Li, Thomas Pohl, Jan-Michael Rost, Seth T. Rittenhouse, Hossein R. Sadeghpour, Johannes Nipper, Bjoern Butscher, Jonathan Balwieski, Vera Bendowsky, Robert Löw, Tilman Pfau

A Homonuclear Molecule with a Permanent Electric Dipole Moment

Science, 25. November 2011; doi: 10.1126/science.1211255

Adresse: <http://www.mpg.de>

© 2003-2013, Max-Planck-Gesellschaft, München