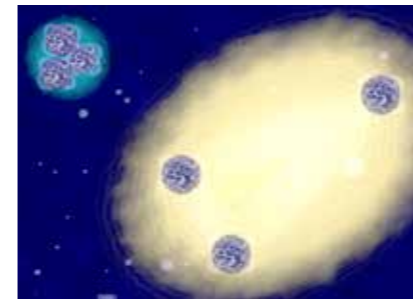




Titel: Margaret Bourke-White, 1937
In der öffentlichen Wahrnehmung wurde die amerikanische Familie oft überhöht. Im Alltag gestaltete sich das Zusammenleben weit weniger glamourös. Zeitgenössische Studien zeichnen ein Bild mit Licht- und Schattenseiten.



Sozialer Wandel in den USA: „It’s a Family Issue!“ | Forschung und Innovation in Europa: Pluralität und Freiheit | Efimov-Zustände: Ménage à trois | Neue Biomaterialien: Alles außer gewöhnlich | Pergamon-Ausstellung in New York: Das Beste aus beiden Welten | Neuropsychanalyse: Vom narrativen Selbst | „KlimaTaucher“: Junge Zielgruppe im Blick

Kommentar

Peter Strohschneider
Welches Europa wir wollen 2
Nicht ökonomistische Verkürzung, sondern Pluralität und Freiheit als Grundlagen

Naturwissenschaften

Reinhard Dörner
Ménage à trois 4
Efimov-Zustände – lange nur vermutet, nun von Experimentalphysikern nachgewiesen

Geistes- und Sozialwissenschaften

Isabel Heinemann
„It’s a Family Issue!“ 9
Vaterschaft, Mutterschaft, Geschlechterrollen – Wertewandel in der US-Gesellschaft

Porträt

Rembert Unterstell
Alles außer gewöhnlich 14
Hermann Ehrlich erforscht Biomineralisation im Dienste extremer Biomimetik

forschung international

Hans-Dieter Bienert
Das Beste aus beiden Welten 16
Pergamon in New York: Begeisternde Ausstellung und Begleitsymposium im Met

Lebenswissenschaften

Nikolai Axmacher
Vom narrativen Selbst 18
Wie die Neuropsychanalyse versucht, Denken und Fühlen besser zu verstehen

Wissenschaftsjahr 2016*17 „Meere und Ozeane“

Christoph Straub
Junge Zielgruppe im Blick 22
Wissen aus der Meeresforschung: Die neue DFG-Website „KlimaTaucher“

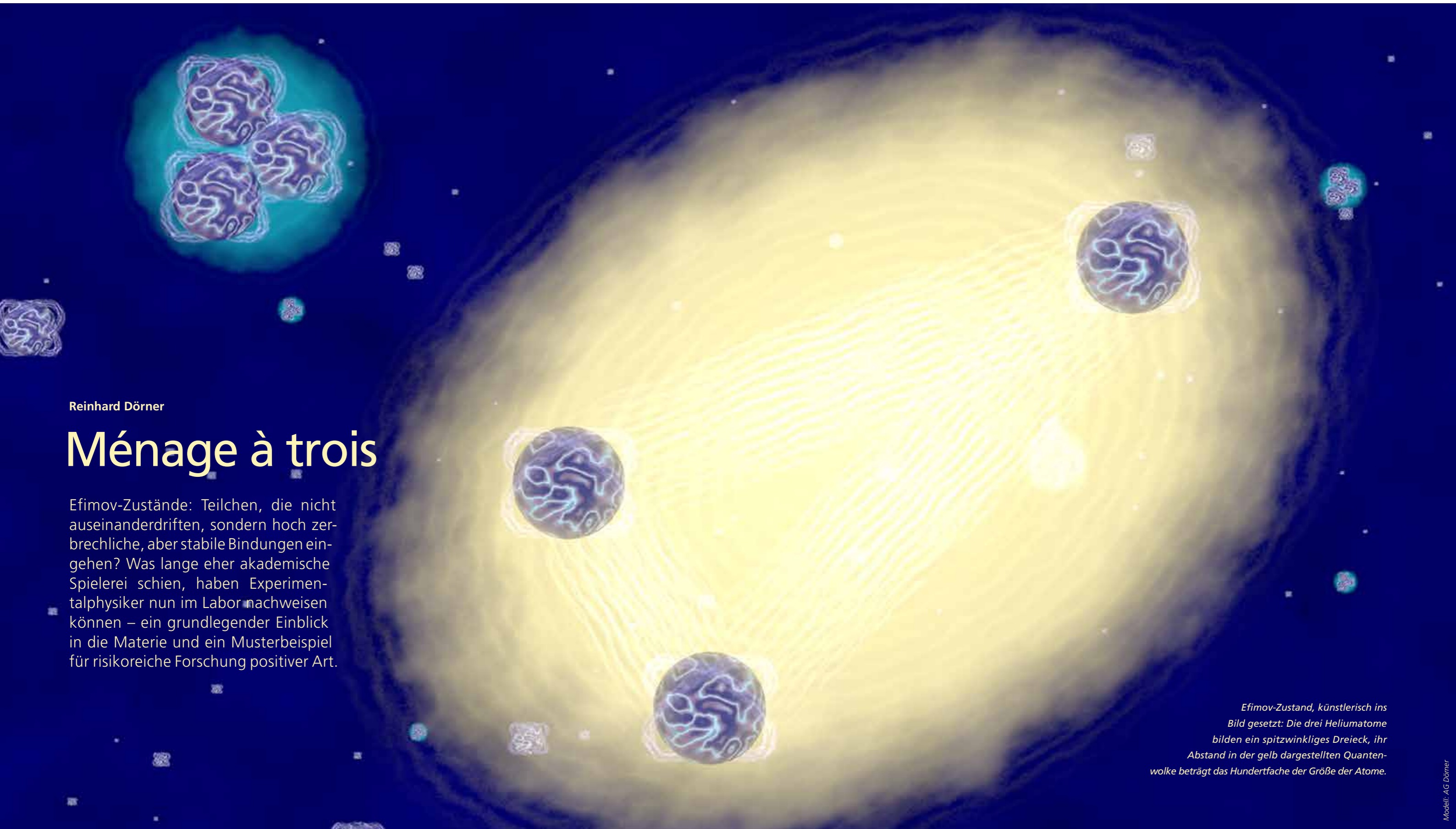
Im Blickpunkt

Mit Augenmaß 24
Bonner Tagung diskutiert Evaluationsstudien als Teil guter Governance

Zündende Ideen 25
Aktuelle Ausschreibung zum Internationalen Forschungsmarketing

Querschnitt

Nachrichten und Berichte aus der DFG 26
DFG und Wissenschaftsrat begrüßen Einigung über „Exzellenzstrategie“
+++ Transatlantischer Nachwuchs +++ Copernicus-Preis +++ Dual Use +++
„Global Solutions for Sustainable Development“ +++ Communicator-Preis



Reinhard Dörner

Ménage à trois

Efimov-Zustände: Teilchen, die nicht auseinanderdriften, sondern hoch zerbrechliche, aber stabile Bindungen eingehen? Was lange eher akademische Spielerei schien, haben Experimentalphysiker nun im Labor nachweisen können – ein grundlegender Einblick in die Materie und ein Musterbeispiel für risikoreiche Forschung positiver Art.

Efimov-Zustand, künstlerisch ins Bild gesetzt: Die drei Heliumatome bilden ein spitzwinkliges Dreieck, ihr Abstand in der gelb dargestellten Quantenwolke beträgt das Hundertfache der Größe der Atome.

Es begann mit einer verschobenen Idee: Drei Teilchen könnten sich zu riesigen, auch auf Dauer stabilen Objekten verbinden, selbst wenn sie sich nicht in Reichweite ihrer gegenseitigen Anziehungskraft befinden – so zumindest sagte es der sowjetische Kernphysiker Vitali Efimov 1970 voraus. Das erschien zunächst unvorstellbar. Mehr noch: Folgte man Efimovs Berechnungen, so schafft die Quantenmechanik Teilchenverbände. Diese Vorstellung wollte nicht in die Denkwelt der klassischen Physik passen, die etwa Planetenbahnen oder den Fall eines Steins beschreibt. Bald sollte die Beobachtung aber eine „neue Art der Bindung“ genannt werden – eine Bindung, die über all das hinausgeht, was man bisher an Mechanismen kannte, mit deren Hilfe die Natur

stabile Aggregate aus einzelnen Teilchen zusammenbaut.

Bei normalen Molekülen und Atomkernen ist die Situation eher wie bei Standardtänzern. Die Partner bewegen sich innerhalb der Reichweite ihrer Arme und halten sich fest. Was Efimov vorhersagte, gleicht der Situation von drei Einzeltänzern auf einer unendlich großen Tanzfläche, die nur durch Sichtkontakt, ohne Festhalten, locker beieinanderbleiben. Nur: Was ist unter Sichtkontakt im Mikrokosmos zu verstehen? Normalerweise zerfällt Materie in ihre einzelnen Bausteine, wenn die Teilchen sich erst einmal über die Reichweite ihrer Kräfte hinaus entfernt haben. Die Teilchen driften dann auseinander.

Genau dieses Auseinanderdriften sollte aber, nach Vitali Efimovs Vorhersage, unter ganz besonderen

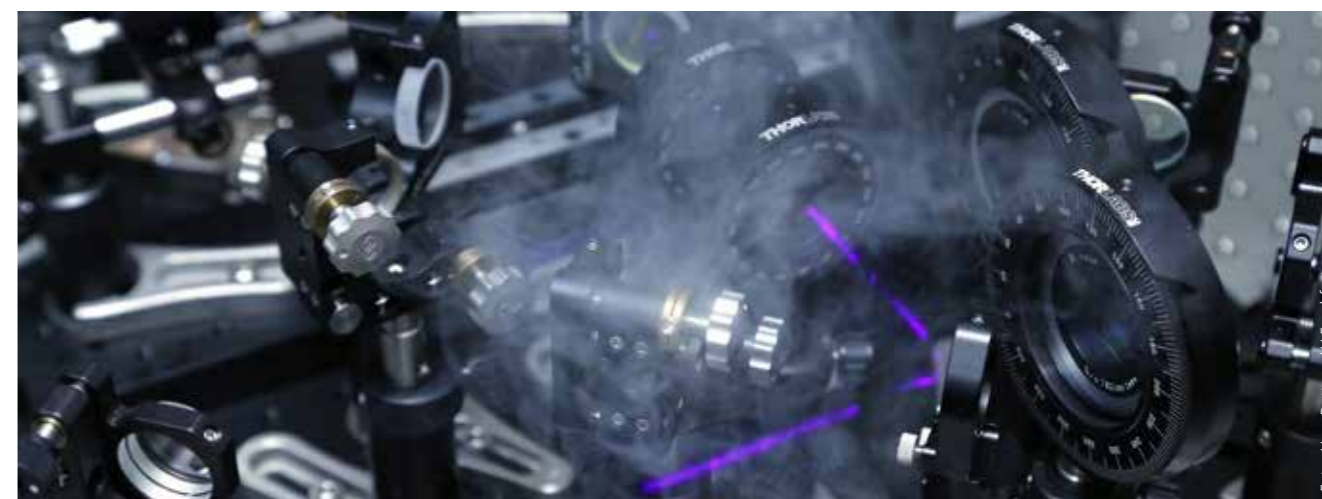
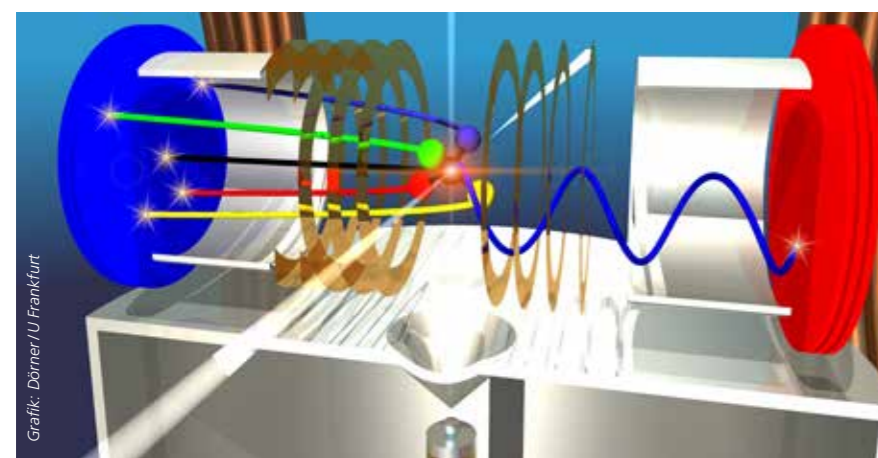
Voraussetzungen für drei Teilchen nicht geschehen, es sollten sich stattdessen riesige, unglaublich fragile, aber dennoch langzeitstabile Systeme bilden. Nach ihrem geistigen Vater wurden sie „Efimov-Zustände“ genannt. Der zugrunde liegende Effekt ist universell: Er hängt nicht von der Art der Wechselwirkung ab und sollte sowohl bei Atomen als auch in Atomkernen auftreten, also auf sehr unterschiedlichen Energie- und Größenskalen im Universum.

Bald nach dieser ersten Berechnung gab es neue Vorhersagen, die nahelegten, dass die von Efimov vorausgesetzten Bedingungen auch tatsächlich in der Natur vorkommen, es sich also nicht nur um eine akademische Spielerei handelt. Das chemische Element, bei dem dies der Fall sein sollte, ist nicht einmal besonders selten. Es ist Helium, das einfachste und leichteste Edelgas, bekannt als Füllgas von Luftballons. Die prognostizierten Efimov-Zustände aus drei Heliumatomen findet man aber nicht in einem Ballon. Sie sind so zerbrechlich, dass sie bei normalen Temperaturen nicht existieren können. Ihre Bindungsstärke entspricht einer Temperatur von nur dreitausendstel Grad über dem absoluten Nullpunkt. Die Suche nach diesen außergewöhnlichen Zuständen blieb viele Jahre erfolglos. Erst im Mai 2015 gelang es unserer Arbeitsgruppe, sie herzustellen und – viel wichtiger noch – sie im Detail zu vermessen.

Vitali Efimovs Vorhersage hatte bereits 2006 eine bemerkenswerte Bestätigung erfahren. Damals machte die Innsbrucker Forschergruppe um Rudi Grimm eine Beobachtung in einer Atomfalle, die Efimov indirekt Recht gab. In Atomfallen kann man durch ein Magnetfeld die Anziehung zwischen den gefangenen Atomen manipulieren und damit künstlich die



Reinhard Dörner (links) und Maksim Kunitiski (rechts) an dem COLTRIMS-Reaktionsmikroskop, in dem die Efimov-Zustände erzeugt und nachgewiesen werden konnten. Unten: Artists View des COLTRIMS-Reaktionsmikroskops.



Ein fast magisch wirkender Ultrakurzzeit-Laser. Mit ihm werden Moleküle kontrolliert zur Explosion gebracht. Aus Richtung und Geschwindigkeit der Moleküle können die Forscher auf die Struktur des Moleküls vor der Explosion schließen.

von Efimov geforderten Bedingungen auch zwischen Atomen schaffen. Wenn man sich der dafür nötigen Magnetfeldstärke näherte, verschwanden plötzlich die Atome aus der Falle. Dies belegte, dass sich in der Falle die Atome zu Efimov-Zuständen zusammengruppiert hatten, denn diese können im Gegensatz zu den einzelnen Atomen, aus der Falle entkommen. Über diesen Nachweis der Verluste von Atomen aus Fallen konnten bis heute viele der Eigenschaften der Efimov-Zustände vermessen werden.

Ein neues, heute boomendes Forschungsfeld der „Efimov-Physik“ entstand. Die gebildeten Efimov-Moleküle bleiben dabei allerdings unbeobachtet, ihre Größe und Form blieb Theorie. Und bei Helium, dem heißesten Kandidaten für stabile Efimov-Zustände unter normalen Bedingungen, funktioniert der Fallentrick nicht.

Hier setzte 2009 das Koselleck-Projekt des Autors an: „Exploring the Weakest Bond: Structure and Ionization of the Helium Dimer, Trimer and the Search for the Efimov State“. Reinhardt Koselleck-Projekte sind ein von der DFG 2004 ins Leben

gerufenes Förderinstrument, das den häufig gehörten Vorwurf gegen die DFG ernst nimmt, ihre Förderung sei zu konservativ, innovationsfeindlich und biete keinen Raum für riskante und kühne Forschungsprojekte. Die Idee der Koselleck-Projekte ist es, auf Basis einer nur fünf Seiten umfassenden Projektskizze und dem Forschungsprofil des Antragstellers bis zu 1,25 Millionen Euro für ein in positivem Sinne risikobehaftetes Projekt fünf Jahre lang zur Verfügung zu stellen. Die damit gewonnene Freiheit soll es erlauben, flexibel auf die unvorhersehbaren Schwierigkeiten eines jeden Risikoprojekts reagieren zu können. Die Suche nach den vorhergesagten Heliumquantenriesen schien ein idealer Kandidat für eine solche „high risk, high gain“-Projektförderung. 2009 konnte es losgehen, heute, 2016, ist das Geld so gut wie aufgebraucht, und in letzter Minute ist uns der Durchbruch gelungen. Der Weg war lang und steinig.

Zunächst muss man mit Helium Gasdrücke und Temperaturen schaffen, damit sich die einzelnen Atome zu Efimov-Zuständen zusammenfinden. Die Teilchen müssen sich lang-

sam genug bewegen, dass sie, wenn sie sich treffen, zusammenbleiben können und nicht sofort wieder auseinanderreißen. Langsame Geschwindigkeiten sind durch das Kühlen des Gases zu erreichen. Gleichzeitig muss die Dichte der Teilchen genau richtig sein: so hoch, dass häufig drei oder vier zusammenstoßen, aber auch wieder so klein, dass – wenn sie sich einmal zusammengefunden haben – nicht ein anderes Teilchen quasi als Geisterfahrer mit dem Efimov-Trio kollidiert und es zerstört. Wie tief die nötigen Temperaturen und Drücke lagen, war unklar, es half nur probieren.

Als Nächstes galt es, die neuen Teilchen von den 100 Mal häufiger vorkommenden einzelnen Atomen zu trennen. Auch hier half wieder die Quantenmechanik. Ähnlich wie ein Prisma einen weißen, aus allen Farben zusammengesetzten Lichtstrahl in die Regenbogenfarben auffächert, lässt sich ein Strahl von Atomen und Atomverbänden durch ein mikroskopisches Gitter nach der Masse seiner Bestandteile sortieren. Die Abstände der Stäbe dieses Gitters sind dabei nur etwa der tausendste Teil des Durchmessers eines Haars. Schickt man ei-

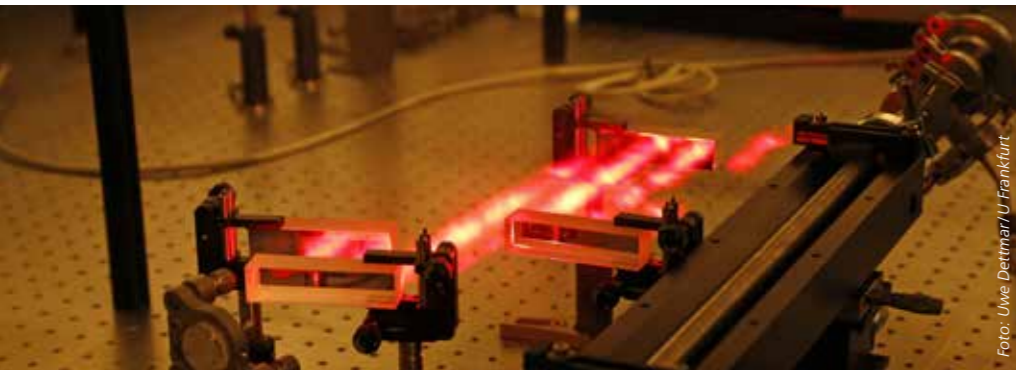


Foto: Uwe Detmar / U. Frankfurt

nen Strahl kalter Atome durch ein solches Gitter, so werden die gesuchten Komplexe aus drei Atomen in eine bestimmte Richtung abgelenkt. Hier kann man versuchen, ihre Struktur zu vermessen. Die Vorhersage war, dass drei Heliumatome zwei Sorten von Komplexen bilden: einen eher kleinen, traditionell gebundenen, bei dem ebenfalls viele Fragen offen sind, und dann – wenn alles stimmt – den zehn Mal größeren Efimov-Zustand.

Die eigentliche Herausforderung liegt darin, die auf diesem Wege hoffentlich hergestellten Teilchenverbände sichtbar zu machen und ihre Größe und innere Struktur zu vermessen. Die Efimov-Zustände sind zwar gigantisch für ein Molekül, etwa 100 Mal größer als ein Wassermolekül, das genau wie die Efimov-Zustände auch aus drei Atomen besteht, aber eben dennoch mikroskopisch klein. Hier half eine auf den ersten Blick verrückt erscheinende Technik: Man bringt das Molekül kontrolliert zum Explodieren und fängt die Bruchstücke, die einzelnen Atome, wieder auf. Wenn man ihre Richtung und die Geschwindigkeit gemessen hat, kann man auf die Struktur des Moleküls vor der Explosion schließen.

Um diese Explosion auszulösen, feuert man einen starken Ultrakurzzeitlaser auf die Teilchen. Dessen Laserblitze sind extrem kurz, die Atome bewegen sich während dieser minimalen Zeitspanne nicht. Die Hellig-

keit dieser Lichtblitze entspricht der Gesamtheit des Sonnenlichts, das auf die ganze Erdkugel fällt, fokussiert auf die Fläche eines Fingernagels. Unter solchen extremen Bedingungen entzieht das Licht jedem Atom mindestens eines seiner Elektronen. Die zurückbleibenden Atomrümpfe sind positiv geladen und stoßen sich vehement ab, das Molekül explodiert.

Mit einem COLTRIMS-Reaktionsmikroskop lassen sich die einzelnen Fragmente nachweisen. Cold Target Recoil Ion Momentum Spectroscopy (COLTRIMS) ist eine bildgebende Technik, die die Bewegungen von Elektronen und Kernen in Atom- und Molekülreaktionen sichtbar macht. Das Aufspüren der Efimov-Zustände gleicht dabei der Suche nach der sprichwörtlichen Stecknadel im Heuhaufen: Der Laser blitzt 8000 Mal pro Sekunde. Das führt dazu, dass ein Hagel von einigen tausend Teilchen pro Sekunde auf die Detektoren prasselt. Die konventionellen, kleinen Atomverbände aus drei Heliumatomen zeigten sich dabei schnell. Ihre Struktur war aber erstaunlich: Sie formten nicht etwa ein gleichschenkliges Dreieck, wie man bei drei gleichen Teilchen hätte vermuten können, sondern eher eine winzige ungeordnete Wolke. Von den Efimov-Zuständen war jedoch zunächst nichts zu sehen.

Erst eine extreme Verdünnung des Gases führte schließlich zu ih-

Ein weiterer Versuchsaufbau mit Laser.

rer Entstehung: einige Tausend der gesuchten Riesen innerhalb von Tagen. Ihre Größe war, wie vorhergesagt, enorm. Sie bestehen im Wesentlichen aus leerem Raum. Die drei Atome sind Hunderte von Atomdurchmesser voneinander getrennt und bilden ein spitzwinkliges Dreieck. Bei diesen Abständen herrschen keine Kräfte mehr zwischen den Atomen, die sie zusammenhalten können. Dennoch zerfallen diese Gebilde nicht, sondern sind, dank Quantenmechanik, auf Dauer stabil.

Vitali Efimov, heute an der University of Washington tätig, zeigte sich begeistert und gratulierte schriftlich: „It appears Mother Nature has eventually disclosed one of her big secrets.“ Ohne das Koselleck-Projekt der DFG wäre dieses Geheimnis der Natur verborgen geblieben. Der Efimov'sche Quanteneffekt spielt wahrscheinlich in verschiedenen Bereichen in der Natur eine Rolle. In Atomkernen und zwischen Atomen ist er jetzt unumstritten, aber erste Spekulationen weisen schon jetzt auf seine Relevanz in der Festkörperphysik und der Biologie hin.



Prof. Dr. Reinhard Dörner

ist Atomphysiker; er forscht und lehrt an der Universität Frankfurt. 2016 erhielt er den Helmholtz-Preis für Metrologie.

Adresse: Institut für Kernphysik, Max-von-Laue-Str. 1, 60438 Frankfurt/Main

Förderung als Reinhard Koselleck-Projekt der DFG.

www.atom.uni-frankfurt.de



Isabel Heinemann



Foto: Margaret Bourke-White, 1937

„It's a Family Issue!“

Auch in der US-amerikanischen Gesellschaft führte der soziale Wandel von der traditionellen Kernfamilie zu diverseren Formen von Familie, Vaterschaft und Mutterschaft. Doch linear verlief der viel zitierte Wertewandel in der Familie und bei den Geschlechterrollen nicht – neue Forschungen zeichnen ein Bild mit Licht- und Schattenseiten.

Als Hilary Clinton ihre Kampagne um die Nominierung als Präsidentschaftskandidatin der Demokraten für den Wahlkampf 2016 aufnahm, rückte sie die Familie ins Zentrum ihrer Überlegungen. Das war kein Zufall. Ihre sozialpolitischen Ziele – vom Abbau des Lohngefälles zwischen Männern und

Frauen bis zur Einbürgerung illegaler Immigranten, vom Ausbau der Kinderbetreuung bis zur Anerkennung gleichgeschlechtlicher Ehen und Familien – deklarierte sie kurzerhand zu Familienangelegenheiten: „This isn't a women's issue. It's a family issue. [...] In America, every family should feel like they belong.“

Anders als die meisten ihrer Vorgänger setzte Clinton damit jedoch nicht auf die Stärkung einer vermeintlich historisch gewachsenen „traditional family“, bestehend aus männlichem Ernährer, Hausfrau/Mutter und Kindern. Stattdessen entwarf sie ein pluralistisches, integrierendes Verständnis von Fami-