

Ein Ouzo hilft da nicht

Griechenlands Jungforscher stehen am Tor zur Hölle

„Tief beunruhigend, ja alarmierend“, so beschreibt Thomas Rachel, parlamentarischer Staatssekretär im Bundesforschungsministerium, was er kürzlich in Griechenland erlebt hat. Der Leiter eines renommierten Forschungsinstituts in Athen eröffnete ihm zur Begrüßung, dass er vor wenigen Stunden drei Millionen Euro aus Institutsreserven an die Regierung überweisen musste, damit diese zahlungsfähig bleibe. Wenig später saß Rachel jungen Wissenschaftlern gegenüber, die davon ausgingen, dass ihre Arbeitsverträge kollektiv nicht verlängert werden.

„Im Moment besteht die Gefahr, dass hochqualifizierte Wissenschaftler Griechenland verlassen, weil sie arbeitslos sind oder Angst vor Arbeitslosigkeit haben müssen“, sagt Rachel. Ähnlich dramatisch schätzt Alexander Kritikos vom Deutschen Institut für Wirtschaftsforschung (DIW) die Lage ein: „Vielen Forschungsinstitutionen steht das Hals bis zum Wasser, es gibt einen Strom von Forschern ins Ausland.“

Die griechische Schuldenkrise steuert in diesen Tagen auf einen neuen Höhepunkt zu. Betroffen davon sind auch jene Wissenschaftler, die das Land dringend für seine Zukunft braucht. „Innovationsfähigkeit ist für Griechenland zentral, um künftig selbst Wohlstand zu erzeugen“, sagt Rachel. Deshalb verbucht er es als Erfolg, dass beide Regierungen nun vereinbart haben, ein gemeinsames Forschungsprogramm, das ursprünglich nur für 2014 und 2015 konzipiert war, bis 2018 zu verlängern und mit insgesamt 18 Millionen Euro auszustatten.

Derzeit werden deutsch-griechische Kooperationen in den Feldern Gesundheit, Bioökonomie, Energie, Geisteswissenschaften, Informationstechnologie, Graphen und Photonik gefördert. Die eingesetzten Summen kommen zwar im Verhältnis zu den Schuldenmilliarden den berühmten *Peanuts* gleich. Sie sind aber Alexander Kritikos zufolge angesichts des angespannten

„Im Moment müssen wir uns hart anstrengen, Wissenschaftlern die Gehälter zu bezahlen.“

Costas Fotakis, Vizeminister für Forschung.

Verhältnisses beider Länder von „großer und wichtiger Symbolkraft“, zumal andere deutsch-griechische Kooperationen momentan wegen des Schuldenstreits offenbar auf Eis lägen. Sowohl Griechenland als auch Deutschland haben keine vergleichbaren Forschungsprogramme mit anderen EU-Ländern laufen. Es ist nicht das erste Mal, dass Wissenschaftler zerstrittenen Ländern als Plattform der Verständigung dient.

Eingefädelt hat die Forschungskooperation auf griechischer Seite der zuständige Vizeminister Costas Fotakis, ein renommierter Laserphysiker mit internationaler Erfahrung, der nun versuchen muss, die Flagge der griechischen Forschung hochzuhalten. „Unsere Wissenschaftler sind sehr gut, sie schneiden bei internationalen Rankings entsprechend weit oben ab und haben aus dem siebten EU-Forschungsprogramm eine Milliarde Euro eingeworben“, betonte er im Gespräch mit dieser Zeitung. Die akuten Probleme leugnet er freilich nicht. Das deutsch-griechische Programm sei ein wichtiger Lösungsbeitrag. „Wir würden dies gerne noch durch gezielte Partnerschaften etwa zwischen Max-Planck- oder Fraunhofer-Instituten und griechischen Institutionen vertiefen“, sagte Fotakis. Sein Ziel könnte ambitionierter kaum sein: „Wir müssen erreichen, dass unser Land für griechische Wissenschaftler im Ausland wieder attraktiv wird und dass Forschung zu einer wichtigen Säule wirtschaftlichen Wachstums wird.“

Das Potential dafür sieht Alexander Kritikos, Innovationsforscher mit griechischen Wurzeln, durchaus: Bei Informationstechnologie, Polymeren, Photovoltaik und Biotechnologie sei griechische Forschung sehr gut. Der Ökonom kritisiert, dass die EU-Krisenpolitik einseitig auf Schulden statt Innovationsförderung konzentriert sei und so getan werde, als ob Griechenland nur von „Tomaten und Tourismus“ lebe. Zugleich sieht er massive Versäumnisse im Land selbst, in Form von „extrem unattraktiven Forschergehältern, einer schrecklichen Bürokratie und mangelnder Unterstützung für Wissenschaftler, die Firmen gründen wollen.“

Nur 0,7 Prozent des griechischen Brutto-sozialprodukts gehen derzeit in Forschung, im Gegensatz zu 2,9 Prozent in Deutschland. Forschungsminister Fotakis und Staatssekretär Rachel setzen beide auf Europa, um daran etwas zu ändern. Sie sprechen sich dafür aus, den milliardenschweren Investitionsfonds von EU-Kommissionspräsident Jean-Claude stärker zu nutzen. CHRISTIAN SCHWÄGERL

Wenn Sie diesen Fisch sehen, ist Ihnen der Klimawandel auf den Fersen



Sonnige Zeiten? Der räuberische Rotfeuerfisch ist ein Profiteur steigender Meerestemperaturen und breitet sich derzeit massiv aus.

Foto NOAA

Er könnte zum Sinnbild für die Veränderungen der Meere werden: Der Rotfeuerfisch ist ein schamloser Profiteur des Klimawandels. Je wärmer und damit tropischer die Wassertemperaturen werden, etwa vor den Küsten des Nordatlantiks, desto stärker breitet sich der bei Schnorchlern und Tauchern ebenso beliebte wie gefürchtete Giftbarsch aus. Seit Beginn des Jahrhunderts hat sich der Pazifische Rotfeuerfisch, *Pterois volitans*, stellenweise auch sein indischer Vetter, so stark in den oberen Wasserschichten ausgebreitet, dass die amerikanische Ozeanforschungsbehörde NOAA nun eine zwi-schenstaatliche Taskforce zur Eindämmung der invasiven Raubfische installiert hat. An manchen Küstenabschnitten soll der Raubfisch bis zu 80 Prozent der Korallenfische dezimiert haben. Die Ausbreitung von „invasiven“ Arten wie dem Feuerfisch dürfte aber nur ein Teil des wachsenden Problems werden, das Klimaforscher als marine Biodiversitätskrise diskutieren. In der Zeitschrift „Nature Climate Change“ sind soeben Computersimulationen künftiger wie auch historischer Meeresumwelten präsentiert worden. Gefragt wurde, wie sich die Vielfalt in den Weltmeeren unter der Erderwärmung verändern könnte. Fazit: Verläuft der Klimawandel ungebremst weiter, schreibt Richard Kirby von der University of Plymouth, würde die Artenzusammensetzung in 50 bis 70 Prozent der Ozeane so stark verändert werden wie in den letzten drei Millionen Jahren nicht mehr. (jom)

Eine Bindung, die es nicht geben dürfte

Will man das komplizierte Zusammenspiel von drei physikalischen Objekten beschreiben, stößt man schnell an mathematische Grenzen. Das mussten schon alle Astronomen erkennen, die versucht haben, die Umlaufbahnen von drei Himmelskörpern zu berechnen. Auch berühmte Mathematiker wie Euler, Lagrange und Poincaré haben sich an dem Dreikörperproblem die Zähne ausgebissen. Groß war deshalb die Überraschung, als 1970 der russische Theoretiker Vitaly Efimov ein Dreikörpersystem aus der Quantenphysik präsentierte, das sich überraschend einfach berechnen ließ. Danach sollen drei Teilchen schwach gebundene Zustände bilden können, obwohl sie dazu paarweise untereinander keine Bindung eingehen können.

Was theoretisch zunächst einfach klang, hat sich für die Experimentalphysiker jedoch als eine äußerst harte Nuss erwiesen. So sollte es über dreißig Jahre dauern, bis österreichische Physiker erstmals Hinweise auf mysteriösen Quantenzustand bei extrem kalten und speziell präparierten Cäsiumatomen fanden. Seitdem haben sich immer mehr Forscher dieser exotischen Dreierbeziehung verschrieben. Jetzt haben Physiker aus Frankfurt am Main den fragilen Efimov-Zustand erstmals auch bei Edelgasmolekülen in einem Gasstrahl entdeckt.

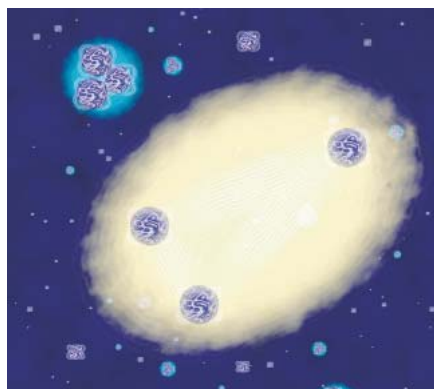
Das Interesse an Efimov-Zuständen ist nicht zuletzt deshalb so groß, weil sie sich sowohl bei stark wechselwirkenden Protonen und Neutronen und die aus ihnen gebildeten Atomkernen nachweisen lassen sollten als auch bei Molekülen, wo die elektromagnetische Kraft dominiert. Vitaly Efimov, der an der University of Washington in Seattle arbeitet, hatte ursprünglich vorgeschlagen, bei Atomkernen nach den exotischen Zuständen zu fahnden. Dort war aber die Suche bislang ebenso vergebens wie bei dreiatomigen Heliummolekülen, die ebenfalls als heiße Kandidaten gehandelt wurden. Auf jeden Fall sollte der spezielle Dreierbund nur zwischen Bosonen möglich sein, also zwischen Teilchen, die sich aufgrund ihrer intrinsischen Eigenschaften beliebig nahe kommen, was bei tiefen Temperaturen stark ausgeprägt ist.

Davon profitierten vor neun Jahren Rudi Grimm und seine Kollegen von der Universität Innsbruck, als sie den exotischen Dreierbund bei bosonischen Cäsiumatomen beobachteten, die man mit Laserlicht bis an den absoluten Temperatur-Nullpunkt gekühlt hatte. Die Atome wurden in eine spezielle Falle gesperrt, wo man sie zunächst sanft miteinander kollidieren ließ. Dabei bildeten sich zweiatomige Cäsiummoleküle. Mit einem variablen Magnetfeld vergrößerte man dann schrittweise den Abstand der beiden Partner. Bevor die Moleküle auseinanderfielen, kam es zu einer Bindung zu einem dritten Cäsiumatom. Auf diese Weise entstanden zahlreiche dreiatomige Moleküle, die alle Bedingungen von Efimovs Dreiteilchenzustand erfüllten. Allerdings betrug ihre Lebensdauer nur Sekundenbruchteile.

Seit den Pionierarbeiten aus Innsbruck hat man den Efimov-Effekt auch bei anderen tiefgekühlten Alkaliatomen ange-

Zarte Bande zwischen drei Heliumatomen: Der Efimov-Zustand ist nun auch bei Molekülen des leichten Edelgases aufgespürt worden.

Von Manfred Lindinger



Efimov-Molekül (gelb dargestellt) aus drei Heliumatomen Bild Universität Frankfurt

troffen. Doch blieben bei dreiatomigen Helium-Molekülen bisher alle Bemühungen erfolglos. Der Grund: Es hat sich als äußerst schwierig erwiesen, Edelgasmoleküle, die aus drei Atomen des Isotops Helium-4 bestehen, in großen Mengen zu erzeugen, zu isolieren und die Existenz des fragilen Efimov-Zustands nachzuweisen. Die Forscher um Reinhard Dörner und Maksim Kunitski von der Goethe-Universität in Frankfurt haben nun alle experimentellen Hürden überwinden können und ein stabiles Efimov-System bei dreiatomigen Helium-4-Atomen hergestellt.

Die Physiker ließen zunächst kaltes Heliumgas durch eine Düse in eine Vakuumkammer strömen. Dort dehnte sich der Gasstrahl aus und kühlte stark ab. Da-

durch bildeten sich auch Heliummoleküle aus drei oder mehr Atomen. Um die unterschiedlich großen Aggregate voneinander zu trennen, nutzten die Forscher ein spezielles Massenspektrometer, das von Physikern um Jan Peter Toennies am Max-Planck-Institut für Strömungsforschung in Göttingen eigens für Experimente an Heliumgasstrahlen entwickelt worden war. Da Heliummoleküle keine Ladung tragen und auch kein magnetisches Moment besitzen, lassen sie sich nicht auf herkömmliche Weise mit elektrischen und magnetischen Feldern manipulieren und somit mit konventionellen Massenspektrometern untersuchen. Toennies und seine Kollegen nutzten für ihre Experimente deshalb als Massenspektrometer ein feinmaschiges Gitter. Ankommande Heliumteilchen werden je nach ihrer Größe am Gitter unterschiedlich stark abgelenkt. Auf diese Weise gelang es den Forschern um Dörner, Heliumteilchen, die aus drei Atomen bestanden, von den übrigen Heliumatomen abzutrennen.

Um die Struktur der Moleküle und insbesondere deren Bindungsabstände zu vermessen, richteten die Forscher kurze Laserpulse auf die separierten Heliumtrimer. Dabei entstanden dreifach positiv geladene Moleküle, die aufgrund der starken elektrostatischen Abstößung sofort auseinanderbrachen. Mittels eines speziellen Spektrographen konnten die Forscher anschließend die Flugbahnen der entstandenen Heliumionen verfolgen und deren Energien und Impulse präzise vermessen und so Größe und Geometrie der Trimer rekonstruieren.

Als man die Messergebnisse mit Rechnungen der Theoretikerin Doerte Blume von der Washington State University verglich, wurde deutlich, dass in dem Molekülstrahl tatsächlich Efimov-Zustände existiert hatten, die offenkundig auf „natürliche Weise“ entstanden waren. Dabei handelte sich um einfach angeregte Heliumtrimer, wie die Wissenschaftler in der Zeitschrift „Science“ (Bd. 348, S. 551) berichteten. Die Bindungsabstände der in Frage kommenden dreiatomigen Heliummoleküle betragen zehn Nanometer und mehr, was im Reich der Moleküle eine gewaltige

des keine nennenswerten Schäden an der Erdoberfläche an. Den bisherigen Tiefenrekord für Beben mit dieser Stärke hielt mit 677 Kilometern ein Erdbeben, das sich im Jahre 2002 südwestlich der Tongainseln ereignete.

Derartige schwere Tiefherdbeben sind nicht nur selten, sie haben auch völlig andere physikalische Ursachen als die gewöhnlichen Flachherdbeben. Während in geringen Tiefen das Gestein der Erdkruste spröde ist und bei mechanischer Belastung – verursacht etwa durch die Bewegung der Erdkrustenplatten – brechen kann, ist das Gestein in mehreren hundert Kilometern plastisch und damit verformbar. In diesen großen Tiefen führen stattdessen Phasenübergänge in Mineralen zu Erdbeben. Der Vorgang ist vergleichbar mit dem Platzen einer Wasserflasche, die zu lange im Tiefkühlfach ei-

Ausdehnung ist. Normale Wassermoleküle sind mit einem typischen Durchmesser von 0,2 Nanometern im Vergleich dazu geradezu winzig. Auch die Struktur des angeregten Trimers hat die Forscher überrascht. Die drei Heliumatome formen ein ebenes, recht asymmetrisches Dreieck. Während zwei Atome sich recht nahe sind, befindet sich das dritte in einem großen Abstand. Ganz anders der Grundzustand: Dort bilden die Konstituenten keine geordnete Struktur, sondern schwirren in einer Art Wolke umeinander her.

„Dies ist das erste stabile Efimov-System, das entdeckt wurde. Das Dreiteilchensystem fliegt ohne weitere Wechselwirkung in der Vakuumkammer“, sagt Dörner. „Es ist erstaunlich, dass die Heliumatome aneinander gebunden bleiben, obwohl sie sich außerhalb ihrer gegenseitigen Anziehungskraft aufhalten. Bei normalen Molekülen und bei Atomkernen sei das eher wie bei Standardtänzen: die Partner bewegen sich innerhalb der Reichweite ihrer Arme und hielten sich gegenseitig fest.“ Der Efimov-Zustand den wir ‚fotografiert‘ haben, ist eher mit drei Einzeltänzern vergleichbar, die sich auf einer unendlich großen Tanzfläche bewegen und nur Sichtkontakt haben, aber trotzdem locker beieinanderbleiben“, so Dörner weiter. „Nur, was ist der ‚Sichtkontakt‘ bei Atomen? Woher ‚wissen‘ die Atome, dass sie sich nicht in alle Winde zerstreuen dürfen, wenn sie einmal den Kontakt über die Bindungskräfte verloren haben? Ohne Quantenmechanik kann man das nicht verstehen.“ Für Vitaly Efimov, der den Frankfurter Forschern zu ihrer Entdeckung gratulierte, habe Mutter Natur hier eines ihrer größten Geheimnisse offengelegt.

Der Efimov-Zustand sei jedoch kein exotischer Spezialfall, sondern ein Beispiel für einen universellen Quanteneffekt, der in vielen Bereichen der Physik offenbar eine wichtige Rolle spielt“, erklärt Kunitski. Man habe zahlreiche Hinweise für Efimov-Zustände auch in atomaren Clustern, in kleineren Atomkernen und sogar in Systemen der Festkörperphysik gefunden. Darüber hinaus gebe es auch erste Berichte über dessen Bedeutung in der Biologie.

nes Kühlschranks belassen wurde. Weil Eis eine geringere Dichte als Wasser hat, dehnt es sich beim Gefrieren aus. Die dabei entstehenden Kräfte sind groß genug, um Glas zum Platzen zu bringen.

In einigen hundert Kilometern Tiefe ist es dagegen der Übergang vom Mineral Olivin zu Spinell, der zu einer erheblichen Volumenänderung führt. Obwohl chemisch mit Olivin identisch, ist Spinell um etwa sieben Prozent dichter als Olivin. Beim Übergang von Olivin zu Spinell kommt es also zu einer Verringerung des Volumens, die sich unter dem großen Druck im Erdmantel als plötzliche Implosion bemerkbar macht. Das Gestein kollabiert ruckartig, und es kommt zu einem Erdbeben. Weil sich unterhalb von etwa 700 Kilometern Tiefe bereits alles Olivin in Spinell umgewandelt hat, gibt es darunter auch keine Erdbeben mehr. hra.

Gesundheit im großen Stil?

FAZ.net-Leserkonferenz zu den Erfolgsaussichten der „Nationalen Kohorte“

Die bisher größte bundesweite Gesundheitsstudie im Land läuft. Aber läuft sie auch rund? Und macht das Volk mit? 200 000 Erwachsene will die „Nationale Kohorte“ in den kommenden Jahren rekrutieren, um mit Hilfe der Datensammlungen und Fragebögen die Frage zu klären: Was hält uns gesund, was macht uns krank? Umwelt, Gene, Ernährung? Gleich, ob Sie auch schon von einem der 18 Nako-Studienzentren angeschrieben und um Teilnahme gebeten wurden oder ob Sie Zweifel am Sinn und Zweck so großer Gesundheitsveys haben, an diesem Mittwoch können Sie Ihre Erfahrungen und Einwände loswerden – oder einfach dringende Fragen stellen: Auf FAZ.net, dem Online-Auftritt unserer Zeitung, können Sie in der „Leserkonferenz“ mit uns in der Wissenschaftsredaktion und drei Experten live chatten. Von Seiten der Nationalen Kohorte werden der wissenschaftliche Vorstand, Karl-Heinz-Jöckel vom Universitätsklinikum Essen und Wolfgang Hoffmann von der Universität Greifswald, teilnehmen. Einen kritischen Blick auf das medizinische Megadatenprojekt wird Uta Wagenmann werfen. Sie ist Soziologin und beobachtet die Nationale Kohorte als medizinische Expertin des Gen-ethischen Netzwerks, eines Vereins, der sich seit vielen Jahren kritisch mit Fragen der heutigen, immer stärker gen- oder biomedizinisch ausgerichteten Gesundheitsversorgung auseinandersetzt. Wir wollen in unserer öffentlichen Leserkonferenz wichtige Fragen zu den Erfolgsaussichten und den Zielen, zur Datensicherheit und zur biopolitischen Bedeutung der Bevölkerungsstudie erörtern. F.A.Z.

Der Live-Chat „Leserkonferenz“ startet heute, am 3. Juni, um 13 Uhr auf www.faz.net/wissen.

Vorurteile lassen sich im Schlaf abbauen

Rassistische und sexistische Vorurteile können im Schlaf abgebaut werden, berichten Forscher von der Northwestern University in Evanston, Illinois, in „Science“ (doi: 10.1126/science.aaa3841). Vierzig Probanden mussten zunächst ein Porträt eines Menschen einem Begriff zuordnen, der ihrem Vorurteil entgegengesetzt war, etwa ein Frauengesicht dem Begriff „Mathematik“. Dabei erklang jeweils ein bestimmter Ton. Anschließend machten die Probanden einen neunzigminütigen Mittagsschlaf. In der Tiefschlafphase spielte man ihnen mehrfach entweder den Rassismus- oder den Sexismus-Ton vor. Nach dem Schlaf waren jene Stereotypen deutlich abgebaut, deren zugehöriger Ton während des Schlafes erklang. F.A.Z.

Zukunft für die Organtransplantation

Mehr Transparenz, eine neue Kontrollstelle: In der Transplantationsmedizin muss sich einiges ändern, fordern Experten der Leopoldina. Seite N2

Gegenwartssprache, online verzeichnet

Das „Digitale Wörterbuch der deutschen Sprache“ (DWDS) ist ein Monument der Wissenschaft. Es erklärt, wie man heute spricht. Seite N3

Banksprech toppt Orwell

Eine Analyse der Sprache der Weltbanker: Sie hat sich in eine Sphäre ökonomischer Abstraktion verabschiedet, die ohne Felder und Fabriken auskommt. Seite N4