

Ebenenrichtung durch Quantenfluktuationen zerstört, in anderen Richtungen aber nicht. Eine Ursache könnte ein Verschwinden des Kondo-Effekts am Phasenübergangspunkt sein. Eine theoretische Beschreibung dieses Phänomens ist außerordentlich schwierig, da der Kondo-Effekt nicht mit einem lokalen Ordnungsparameter verbunden ist. Die in den letzten Jahren vorgeschlagenen Theorien für einen solchen Kondo-Phasenübergang nehmen an, dass der Kondo-Effekt auf der kompletten Fermi-Fläche gleichzeitig verschwindet [3] – damit lässt sich offenbar das anisotrope Verhalten in CeCoIn<sub>5</sub> nicht verstehen.

Bei der Interpretation des Transport-Experiments [4] ist jedoch Vorsicht geboten. Das

Wiedemann-Franz-Gesetz gilt nur bei tiefsten Temperaturen, wenn die Streuung der Quasiteilchen elastisch, d. h. energieerhaltend, ist. Möglicherweise wurde dieses Regime im Experiment noch nicht erreicht. In diesem Fall könnte inelastische Streuung von Quasiteilchen, z. B. an Spinfluktuationen, Abweichungen vom Wiedemann-Franz-Gesetz verursachen. Da die Kopplung antiferromagnetischer Spinfluktuationen an Elektronen stark impulsabhängig ist, könnte dies auch die beobachtete Richtungsabhängigkeit erklären. Eine konkrete theoretische Beschreibung dieses alternativen Szenarios existiert jedoch nicht. Auf experimenteller Seite wird es also wichtig sein, an CeCoIn<sub>5</sub> und anderen Schwerfermion-Metallen elektrischen

und thermischen Transport bis zu tiefsten Temperaturen sorgfältig zu untersuchen.

In jedem Fall zeigen die jüngsten Experimente, dass es sich lohnt, fundamental neue Konzepte bei der Beschreibung von Elementaranregungen in Metallen zu entwickeln.

Matthias Vojta

Prof. Dr. Matthias Vojta, Institut für Theoretische Physik, Universität zu Köln, Zülpicher Str. 77, 50937 Köln

- [1] G. Wiedemann und R. Franz, Ann. Phys. **89**, 497 (1853); A. Sommerfeld, Naturwissenschaften **15**, 825 (1927).
- [2] M. Vojta, Physik Journal, März 2002, S. 55
- [3] H. v. Löhneysen, A. Rosch, M. Vojta und P. Wölfle, arXiv:cond-mat/0606317 (Rev. Mod. Phys. im Druck)
- [4] M. A. Tanatar, J. Paglione, C. Petrovic und L. Taillefer, Science **316**, 1320 (2007)
- [5] J. Paglione et al., Phys. Rev. Lett. **91**, 246405 (2003); A. Bianchi et al., Phys. Rev. Lett. **91**, 257001 (2003)

## ■ Elementare Bestätigung

Die Entdeckung von superschweren Elementen in Dubna, Russland, wurde nun in zwei unabhängigen Experimenten bestätigt.

Die Existenz von superschweren Elementen wurde schon bald nach der Aufstellung des Schalenmodells für den Atomkern 1948 vorhergesagt. Ganz ähnlich der Anordnung von Atomelektronen in Schalen, die bei Schalenabschlüssen der Edelgase besonders fest gebunden sind, ordnen sich auch Protonen ( $Z$ ) und Neutronen ( $N$ ) im Atomkern in Schalen an. Die letzten bekannten Schalenabschlüsse – auch magische Zahlen genannt – sind  $Z = 82$  und  $N = 126$ .<sup>1)</sup> Erste Vorhersagen des Schalenmodells ergaben  $Z = 126$  und  $N = 184$  als nächste magische Zahlen. Spätere Rechnungen zeigten, dass für die Protonen bei 114 und 120 Unterschalen aufgefüllt sind. Da für die Lebensdauern von Kernen in diesem Bereich ähnliche Werte abgeschätzt wurden wie für Uranisotope, würde eine Insel superschwerer und langlebiger Kerne existieren, die von instabilen Kernen umgeben ist. Nach dieser Insel wird seither fieberhaft gesucht.

Trotz gering scheinender Aussichten auf Erfolg startete Yuri Ts. Oganessian mit seiner Arbeitsgrup-

pe vor etwa zehn Jahren am Flerov-Labor in Dubna die Suche nach Element 114 [1]. Ihre Idee war, sich durch die Fusion des neutronenreichen Isotops <sup>48</sup>Ca als Projektil und neutronenreicher Targets aus Aktiniden-Isotopen der magischen Neutronenzahl 184 zu nähern. Die Fusionsprodukte wurden in einem gasgefüllten Separator abgetrennt und mit einem ortsempfindlichen Siliziumdetektor nachgewiesen – eine Methode, wie sie die GSI für den Nachweis der Elemente 107 bis 112 entwickelt hat [2].

Die Dubna-Experimente verliefen höchst erfolgreich: Im Laufe von zehn Jahren wurde nicht nur Element 114 synthetisiert (mit <sup>242</sup>Pu und <sup>244</sup>Pu als Target), sondern mit Targets aus Americium-, Curium- und Californium-Isotopen auch die neuen Elemente 115, 116 und 118 [3]. Die gemessenen Alpha-Zerfallsketten endeten nach maximal sechs Alpha-Zerfällen bei spontan spaltenden Kernen. Inzwischen sind etwa hundert Zerfallsketten gemessen und acht verschiedene Reaktionen bei verschiedenen Pro-

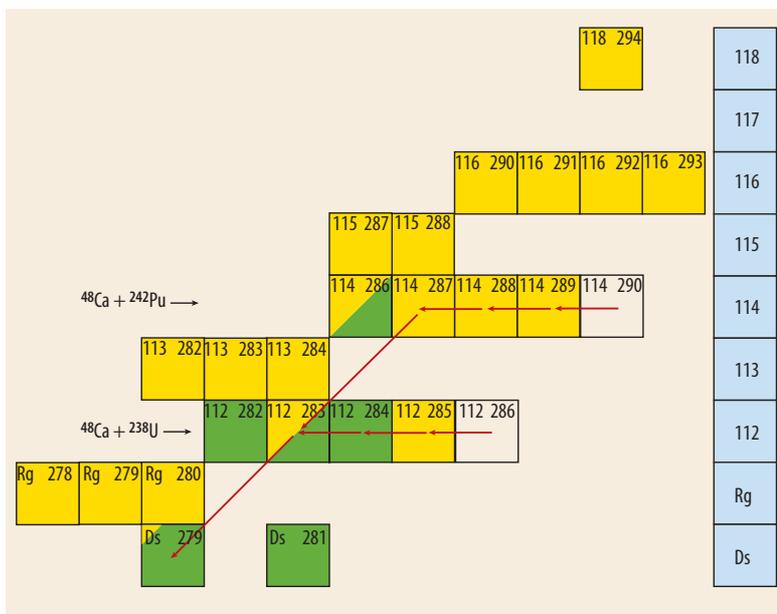
jektilenergien untersucht. Bei der Zuordnung von insgesamt 35 neuen Isotopen entstand ein in sich konsistentes und zusammenhängendes Gebiet neuer Kerne.

Da aber keines dieser Isotope vorher bekannt war, hätte es durchaus sein können, dass das ganze Gebiet neuer Kerne um ein Alphateilchen nach unten verschoben ist, bedingt durch Emission von Alphateilchen aus dem Projektilfragment schon vor der eigentlichen Fusionsreaktion. Weiterhin waren die ersten Ergebnisse zum Element 112 nicht ganz stimmig. Am schwersten wog aber, dass Experimente mit <sup>48</sup>Ca-Strahlen und Uran-Targets am Lawrence Berkeley Laboratory in Kalifornien keine Hinweise auf die Bildung von Element 112 fanden [4].

Kürzlich führte nun eine Kollaboration unter Leitung von Schweizer Kernchemikern des Paul-Scherer-Institutes in Dubna ein Experiment mit einem Pu-Target durch, um Element 114 zu erzeugen [5]. Mit 4,5 Picobarn (pb) liegt die Bildungswahrscheinlichkeit für diese Synthese höher als bei Element 112

<sup>1)</sup> Zusammen ergeben diese Kernbausteine den doppelt magischen Kern des Bleiisotops mit der Massenzahl  $Z + N = 208$ . Durch den doppelten Schalenabschluss ist <sup>208</sup>Pb zugleich der schwerste stabile Atomkern überhaupt.

Das Isotop  $^{283}112$  wurde im „Chemie-Experiment“ in Dubna nach Alpha-Zerfall von  $^{287}114$  und im „Physik-Experiment“ an der GSI direkt in der Reaktion  $^{48}\text{Ca} + ^{238}\text{U}$  gebildet.



mit einem  $^{238}\text{U}$ -Target (3,6 pb). Die Energie der  $^{48}\text{Ca}$ -Projekte wurde so gewählt, dass nach Verschmelzung und Abdampfung von drei Neutronen der Kern  $^{287}114$  entstehen sollte. Dieser zerfällt den früheren Dubna-Ergebnissen zufolge durch Alpha-Emission mit einer Halbwertszeit von 0,5 s zum  $^{283}112$ , das wiederum mit einer Halbwertszeit von 4,0 s und einer Energie der Alphateilchen von 9,54 MeV zum  $^{279}\text{Ds}$  (Darmstadtium) zerfällt. Dieser Kern zerbricht mit 90 % Wahrscheinlichkeit und einer Halbwertszeit von 0,20 s durch spontane Spaltung. Aufgrund der relativ kurzen Halbwertszeit von  $^{287}114$  lässt sich aber nur der Zerfall der langlebigeren Tochter  $^{283}112$  beobachten.

In dem recht einfachen, aber ausgeklügelten Versuchsaufbau wurden die im Target entstandenen Reaktionsprodukte in einer unter Druck stehenden Gaszelle, die mit Helium gefüllt ist, abgebremst und im Heliumstrom durch eine Kapillare bis zum Detektor transportiert. Dieser besteht aus zwei gegenüber liegenden Reihen von Silizium-Detektoren, die auf der Eintrittsseite in einem ersten Teil des Experimentes auf eine Temperatur von  $-24\text{ °C}$  und in einem zweiten Teil auf  $+35\text{ °C}$  eingestellt sind. Die Temperatur auf der Austrittsseite wird mit flüssigem Stickstoff auf  $-184\text{ °C}$  bzw.  $-180\text{ °C}$  stabilisiert. Die Detektoren einer Reihe sind auf

ihrer Oberfläche mit einer dünnen Goldschicht bedampft.

Damit das Experiment funktioniert, muss erstens die Lebensdauer der Reaktionsprodukte länger sein als die Transportzeit von etwa 2 s. Zweitens muss das zu transportierende Atom flüchtig sein, da es sonst schon in der Gaszelle oder an den Wänden der Kapillare hängen bleibt. Drittens muss es sich im gewählten Temperaturbereich auf der Detektoroberfläche niederschlagen. Sind diese Bedingungen erfüllt, ist automatisch eine chemische Vorselektion getroffen. Metalle, z. B. die Elemente aus den Gruppen 4 bis 10 des Periodensystems, zu denen auch die Elemente von 104 bis 110 gehören, könnten den Detektor nicht erreichen, da sie schon vorher an den Wänden haften blieben.

Der Goldschicht auf den Detektoren kommt eine besondere Bedeutung zu: Sollte sich Element 112 ähnlich wie Quecksilber verhalten, unter dem es in Gruppe 12 des Periodensystems steht, so sollte es wie Quecksilber mit dem Gold amalgamieren und sich bei ähnlicher Temperatur auf dem Detektor niederschlagen. Aus diesem Grund enthielt das Target etwas Neodym, aus dem durch Fusion mit Ca das alphaaktive Isotop  $^{185}\text{Hg}$  entsteht.

Bei dem Experiment wurden zwei Zerfallsketten gemessen, bestehend aus Alpha-Zerfällen mit Energien von 9,38 und 9,47 MeV, gefolgt von jeweils einer Spontanspaltung mit Halbwertszeiten von 0,41 s bzw. 0,37 s (Abb.). Innerhalb der statistischen Schwankungen und der Detektorauflösung von 120 keV stimmen diese Werte mit den früheren Ergebnissen der Messungen am gasgefüllten Separator überein.

Gemessen wurden die beiden Zerfallsketten in Detektoren bei Temperaturen von  $-28\text{ °C}$  bzw.  $-5\text{ °C}$ , also etwas unterhalb der Temperatur, bei dem sich das Quecksilber niederschlug. Aus den berechneten Adsorptions-Enthalpien schlossen die Chemiker, dass sich Element 112 im Grunde ähnlich verhält wie Quecksilber und vielleicht etwas reaktionsträger und leichter flüchtig ist. Derzeit werden Experimente mit dem schwereren  $^{244}\text{Pu}$  durchgeführt.

Positive Ergebnisse und eine weitere Bestätigung früherer Dubna-Daten erzielten auch die

KURZGEFASST

■ Negative Brechung, natürlich

Materialien mit einem negativen Brechungsindex versprechen vielfältige Anwendungen und werden daher intensiv untersucht. Deutsche Physiker haben kürzlich gezeigt, dass dieses Phänomen nicht auf künstliche Materialien beschränkt ist: Legt man das passende Magnetfeld an den metallischen Ferromagneten  $\text{La}_{2/3}\text{Ca}_{1/3}\text{MnO}_3$ , der einen kolossalen Magnetowiderstand aufweist, so kann der Brechungsindex bei Frequenzen im GHz-Bereich und bei Raumtemperatur negativ werden.

A. Pimenov et al., Phys. Rev. Lett. **98**, 197401 (2007)

■ Verschränkt über 144 Kilometer

Einer Kollaboration unter Leitung von H. Weinfurter (LMU München und MPI für Quantenoptik) sowie A. Zeilinger (U Wien) ist es gelungen, die Verschränkung von zwei Photonen über eine Entfernung von 144 km nachzuweisen. Dazu wurde ein Photon auf La Palma gemessen, das andere auf Teneriffa, wohin es durch die Atmosphäre übertragen wurde. Das Ziel dieser Experimente besteht darin, die abhörsichere Kommunikation über große Distanzen sicherzustellen, z. B. zwischen einem Satelliten und der Erde. R. Ursin et al., nature physics vom 3. Juni 2007, doi:10.1038/nphys629

Prof. Dr. Sigurd Hofmann, Gesellschaft für Schwerionenforschung, Planckstr. 1, 64220 Darmstadt

Experimentatoren der GSI, die Anfang dieses Jahres ein metallisches Uran-Target mit  $^{48}\text{Ca}$ -Projektilen bestrahlten, bei dem zwei Kerne des umstrittenen  $^{283}112$  direkt und mit physikalischen Methoden nach Abtrennung durch das Geschwindigkeitsfilter SHIP nachgewiesen wurden [6]. Der Mittelwert der am SHIP gemessenen Alphaenergie von  $^{283}112$  stimmt perfekt mit dem Dubna-Wert überein.

Die beiden erfolgreichen Experimente bestätigen eindrucksvoll die in Dubna erzielten Ergebnisse aus den Reaktionen  $^{48}\text{Ca} + ^{238}\text{U}$  und  $^{48}\text{Ca} + ^{242}\text{Pu}$ . Dass die Experimente unabhängig sind und verschiedene Techniken benutzt wurden, verleiht den Ergebnissen zusätzliches Gewicht. Die nun mögliche zweifelsfreie Zuordnung der Isotope  $^{283}112$  und  $^{279}\text{Ds}$  bestätigt indirekt auch die Resultate der übrigen sieben Reaktionen bis hinauf zum Element 118.

Die ersten Schritte auf der Insel der superschweren Elemente wurden gemacht. Doch es bleibt viel zu tun, denn zahlreiche Fragen sind noch offen: Wie groß ist die Insel? Wie ist sie strukturiert, gibt es Berge und Täler? Welche Kerne haben die längsten Lebensdauern? Sind

die Kerne kompakt oder vielleicht hohlkugeligartig? Gibt es womöglich benachbarte Inseln? Kann es schwere Elemente in der Natur geben? Welches sind die Reaktionen mit der höchsten Ausbeute? Wie sind die Elektronen angeordnet? Welche chemischen Eigenschaften besitzen die neuen Elemente? Auch wenn sich zunächst nur einzelne Atome herstellen lassen, ist doch jedes dieser Atome ein phantastisches Labor auf kleinstem Raum, das aus etwa 420 Teilchen besteht – nämlich 300 Nukleonen und 120 Elektronen. Diese wechselwirken durch elementare Kräfte miteinander, die in dieser Konfiguration extreme Werte erreichen, wie sie sonst nirgendwo im Sonnensystem zu finden sind.

Sigurd Hofmann

- [1] Yu. Ts. Oganessian et al., Phys. Rev. Lett. **83**, 3154 (1999).
- [2] S. Hofmann, Physik Journal, Mai 2005, S. 37
- [3] Yu. Ts. Oganessian et al., Phys. Rev. C **74**, 44602 (2006)
- [4] K. E. Gregorich et al., Phys. Rev. C **72**, 14605 (2005)
- [5] R. Eichler et al., Nature **447**, 72 (2007)
- [6] S. Hofmann et al., Eur. Phys. J. A **32**, 251 (2007)

## DAS GEHEIMNIS DER FLEDERMAUS

Im Gegensatz zu Vögeln mit ihren vergleichsweise starren Flügeln sind die Flugmembranen von Fledermäusen sehr beweglich. Dem Geheimnis dieser elastischen und äußerst flexiblen Flügel ist nun ein internationales Forscherteam auf den Grund gegangen. Die Windkanalversuche mit einer nur 11 g leichten

Blütenfledermaus, bei denen die Luftwirbel mit einem Laserverfahren abgebildet wurden, enthüllten eine sehr komplexe Aerodynamik mit charakteristischen Wirbelmustern und Strömungen, die es Fledermäusen erlaubt, auch schwierige Flugmanöver auszuführen.

A. Hedenström et al., Science **316**, 894 (2007)

