

Auf dem Weg zur Insel der Stabilität

Am GSI Helmholtzzentrum in Darmstadt wurde die Entdeckung des Elements 117 bestätigt.

Prof. Dr. Volker Metzger, II. Physikalisches Institut, Justus-Liebig-Universität Gießen, Heinrich-Buff-Ring 16, 35392 Gießen

Wo endet das Periodensystem der chemischen Elemente? Wie viele Protonen und Neutronen können Atomkerne enthalten, ohne völlig instabil zu werden? Dafür ist entscheidend, dass die Stabilität von Atomkernen bestimmt ist durch das Wechselspiel zwischen der Coulomb-Abstoßung unter den Protonen und der attraktiven starken Wechselwirkung zwischen allen Nukleonen. Wegen der langen Reichweite der Coulomb-Kraft wechselwirken alle Protonen mit allen anderen Protonen im Atomkern; die Abstoßung wächst daher quadratisch mit der Kernladungszahl Z , während die Kernkraft kurzreichweitig ist, sodass ein Nukleon nur mit seinen nächsten Nachbarn wechselwirkt; daher nimmt die Attraktion nur linear mit der Nukleonenzahl A zu. Mit wachsenden Z und A gewinnt daher die Coulomb-Abstoßung die Oberhand, und die Atomkerne werden völlig instabil. Das Modell eines geladenen Flüssigkeitstropfens beschreibt gut das Wechselspiel

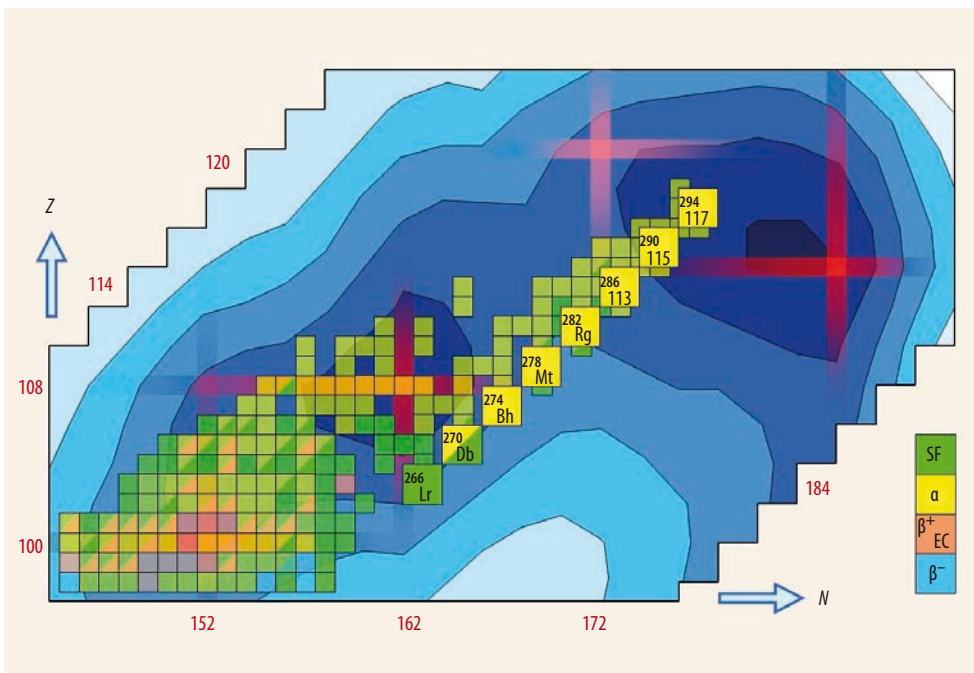
zwischen repulsiver Coulomb-Kraft und attraktiver Kernkraft.

Atomkerne sind jedoch ebenso wie Atome quantenmechanische Systeme, die aufgrund von Schalenabschlüssen bei bestimmten „magischen“ Kernladungs- und Neutronenzahlen N besonders stabil sind im Vergleich zu den Nachbarkernen. Dies lässt sich durch Schalenkorrekturen zum Tropfenmodell des Kerns erfassen. Atomkerne, die nach dem Tropfenmodell instabil sind – die Grenze hierfür liegt etwa bei $Z = 104$ – und eine endliche Lebensdauer nur aufgrund von Schaleneffekten erhalten, heißen superschwere Kerne. Während Modellrechnungen unterschiedliche magische Protonenzahlen bei $Z = 114$ bzw. 120 oder sogar 126 vorhersagen, stimmen die meisten Rechnungen hinsichtlich einer magischen Neutronenzahl von 184 überein (Abb.) [1].

Die theoretisch vorausgesagte Existenz von superschweren Kernen war eine wesentliche Motivation dafür, in den 1970er-Jahren

den UNILAC-Beschleuniger an der Gesellschaft für Schwerionenforschung (GSI) in Darmstadt zu bauen. Der um Peter Armbruster, Sigurd Hofmann und Gottfried Münzenberg am SHIP-Separator an der GSI arbeitenden internationalen Arbeitsgruppe gelang es dann auch, erstmals die Elemente 107 bis 112 in Schwerionen-Fusionsreaktionen zu synthetisieren [2]. Für das Element 113 gibt es experimentelle Hinweise seitens einer japanischen Gruppe [3], aber auch von einer in Dubna arbeitenden russisch-amerikanischen Forschergruppe [4], die ebenfalls die Elemente 114 und 116 synthetisieren konnte. Die gleiche russisch-amerikanische Gruppe hat auch erste Ergebnisse für die Elemente 115 und 117 veröffentlicht [5, 6], die jetzt in zwei Experimenten an der GSI bestätigt wurden [7, 8]. Eine Bestätigung durch ein unabhängiges Experiment ist erforderlich, damit die gemeinsame IUPAP-IUPAC-Kommission das Element anerkennt und den beteiligten Forschergruppen das Recht zuspricht, für das neue Element einen Namen vorzuschlagen.

Die aktuellen Experimente an der GSI wurden an dem gasgefüllten Separator TASCA (Trans-Actinide Separator and Chemistry Apparatus) durchgeführt, der es erlaubt, die superschweren Atomkerne von den um ca. zwölf Größenordnungen häufigeren anderen Reaktionsprodukten und dem noch viel intensiveren Primärstrahl zu trennen. Der Nachweis der Elemente 115 und 117 war durch wesentliche methodische Verbesserungen möglich. Während bislang die kurzlebigen superschweren Kerne allein über Ketten von sukzessiven α -Zerfällen identifiziert wurden, gelang es in dem Experiment für $Z = 115$ unter Leitung von Dirk Rudolph (Lund) erstmals bei so schweren Kernen, auch die charakteristische Röntgenstrahlung in Koinzidenz zu messen [7]. Dies erlaubt eine direkte Zuordnung der Kernladungszahl für das super-



Dieser Ausschnitt aus der Nuklidkarte zeigt die erwarteten magischen Protonen- (Z) und Neutronenzahlen (N) im Bereich der Insel der Stabilität. Die dunkelblaue Region deutet den Bereich größter berechneter Schalenstabilisierungsenergien an, die

mit jeder Konturlinie in Schritten von 1 MeV zu anderen Nukliden hin abnehmen. Die an der GSI nachgewiesene α -Zerfallskette des Elements 117 geht vom Nuklid $^{294}\text{117}$ über sieben α -Zerfälle zum Nuklid ^{266}Lr , das über Spontanspaltung zerfällt.

schwere Element und ist ein besonderer methodischer Fortschritt, weil sich dann der superschwere Ausgangskern bestimmen lässt, ohne dass die Zerfallskette in einem bekannten Nuklid enden muss.

Im jüngsten Experiment zu Element $Z = 117$ unter Leitung von Christoph Düllmann (Uni Mainz/Helmholtz-Institut Mainz/GSI) erfolgte die Elementzuordnung zwar wieder über (nur zwei) Ketten von sieben α -Zerfällen und einer abschließenden Spontanspaltung (Abb.) [8]. Das Besondere daran aber war der Nachweis von α -Zerfällen, die über eine Stunde nach Produktion des superschweren Elements stattfanden. Dieser Nachweis und die Zuordnung zu einem superschweren Atomkern ist ein ebenso entscheidender methodischer Durchbruch, weil man für die doppelt-magischen superschweren Kerne mit magischer Protonen- wie Neutronenzahl in der „Insel der Stabilität“ vergleichsweise lange Lebensdauern erwartet. Eine weitere Besonderheit des Experiments war die Herstellung des Targets aus lediglich 13 Milligramm des Isotops ^{249}Bk ($Z = 97$), das eine Halbwertszeit von nur 330 Tagen hat und speziell für dieses Experiment über 18 Monate im hohen Neutronenfluss eines Reaktors am Oak Ridge National Laboratory erbrütet worden war.

Wie nun gelang der Nachweis und diese Zuordnung der α -Zerfälle? Zunächst wurden die Fusionsprodukte aus der Reaktion $^{48}\text{Ca} + ^{249}\text{Bk}$ in einem doppelseitigen Silizium-Streifendetektor gestoppt, der von weiteren Detektoren umschlossen war. Um α -Zerfallsketten zu identifizieren, wurden Orts- und Zeitkorrelationen zwischen dem Implantationssignal des Fusionsprodukts und den nachfolgenden α -Zerfällen bzw. Spontanspaltung gemessen. Signale wurden dabei nur dann einer Zerfallskette zugeordnet, wenn sie im gleichen Pixel auftraten. Die hohe Zahl von fast 7000 Pixeln im Stoppdetektor erlaubte es, zufällige Koinzidenzen zu unterdrücken. So reduzierte sich die Zählrate pro Pixel für α -Teilchen im relevanten

Energiebereich von 6 bis 12 MeV so weit, dass trotz Zeitabständen von bis zu über einer Stunde die gemessenen Korrelationen zwischen Implantations-, α - und Spontanspaltungssignalen einer Zerfallskette nur mit einer Wahrscheinlichkeit von $5 \cdot 10^{-15}$ rein zufällig wären. Des Weiteren ließ sich durch Registrierung der Pulssignale über ein Intervall von 50 μs ausschließen, dass sich Energiesignale von 6 bis 12 MeV durch die zufällige Überlagerung zweier kleinerer Signale (pile-up) ergeben.

Mit dem TASCA-Separator und dem beschriebenen Detektorsystem ist die an der GSI arbeitende internationale Kollaboration bestens gerüstet, weiter in den Bereich langlebiger superschwerer Elemente vorzustoßen. Bisher scheint ja, wie die Abb. zeigt, nur die Küste der Insel der Stabilität erreicht zu sein. Mit diesem eigentlichen Ziel vor Augen wird ein dedizierter supraleitender Linearbeschleuniger für die Experimente mit superschweren Elementen geplant, der im Zusammenwirken von Helmholtz-Institut Mainz, Universität Frankfurt und GSI entwickelt wird.

Volker Metag

- [1] U. Mosel und W. Greiner, *Z. Phys.* **222**, 261 (1969); A. Sobiczewski und K. Pomorski, *Prog. Part. Nucl. Phys.* **58**, 292 (2007) und darin zitierte Arbeiten
- [2] S. Hofmann, *Physik Journal*, Mai 2005, S. 37
- [3] K. Morita et al., *J. Phys. Soc. Jap.* **81**, 103201 (2012)
- [4] Yu. Ts. Oganessian, *J. Phys. G: Nucl. Part. Phys.* **34**, R165 (2007)
- [5] Yu. Ts. Oganessian et al., *Phys. Rev. C* **69**, 021601 (2004)
- [6] Yu. Ts. Oganessian et al., *Phys. Rev. Lett.* **104**, 142502 (2010)
- [7] D. Rudolph et al., *Phys. Rev. Lett.* **111**, 112502 (2013)
- [8] J. Khuyagbaatar et al., *Phys. Rev. Lett.* **112**, 172501 (2014)