

■ Schwergewichte in der Falle

Erstmals ließ sich die Masse superschwerer Isotope direkt in einer Penning-Falle messen.

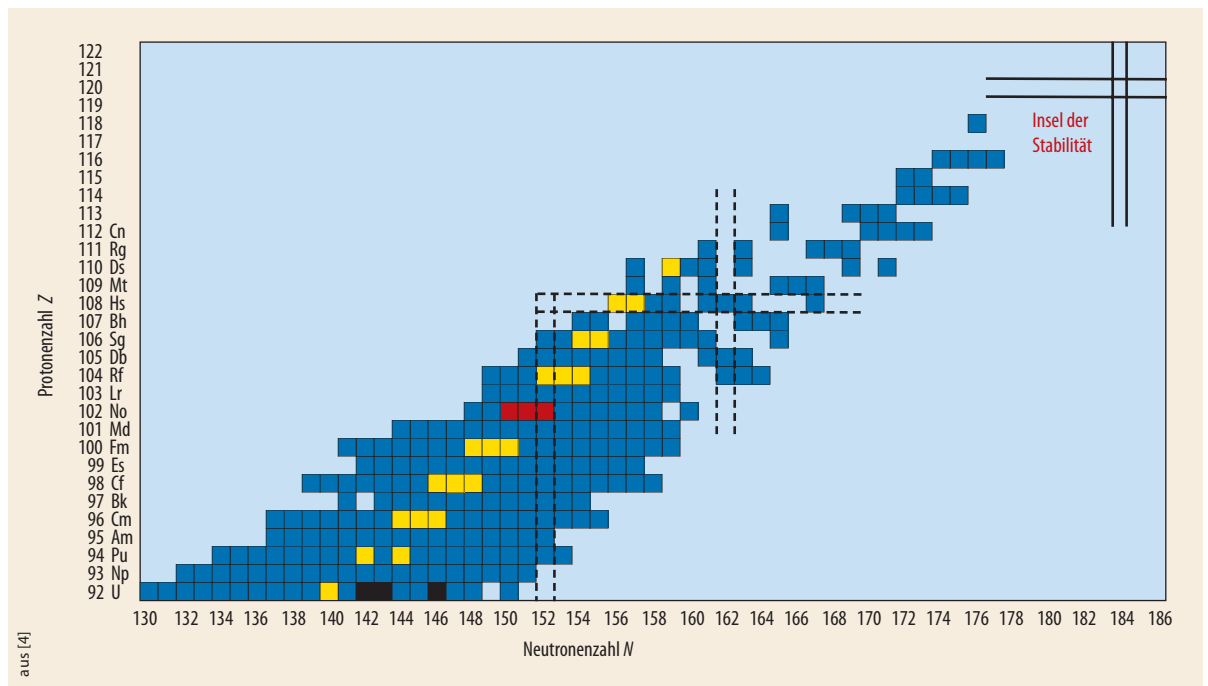
Welche Struktur haben Atomkerne und wo sind ihre Stabilitätsgrenzen? Wie lassen sich diese Eigenschaften ausgehend von der starken Wechselwirkung verstehen und vorhersagen? Dies sind zentrale Fragen der Kernphysik. Bisher wurden etwa 3000 verschiedene Isotope von 118 Elementen entdeckt, die natürlich vorkommen oder sich im Labor erzeugen lassen. Besonders stabile Kerne finden sich bei den bekannten magischen Neutronen- und Protonenzahlen $N, Z = 2, 8, 20, 28, 50, \dots$. Diese Kerne zeichnen sich durch abgeschlossene Schalen mit voll besetzten Einteilchenorbitalen aus. Selbst für stabile Kerne lässt sich bisher nicht vollständig erklären, wie die Wechselwirkung zwischen Neutronen und Protonen zur Ausbildung dieser Schalenabschlüsse führt. Besonders spannend wird es an der Grenze der Neutronenstabilität, wo die starke Kraft gerade noch ausreicht, um Neutronen und Protonen zusammenzuhalten. Hier treten neue, unerwartet magische Kerne, wie z. B. das

schwerste Sauerstoff-Isotop ^{24}O ($N = 16$) auf [1].

Basierend auf theoretischen Vorhersagen der Schalenstruktur der Elemente erwartet man eine „Insel der Stabilität“ in der Gegend von Element 120 bei der Neutronenzahl 184. Die Suche nach diesen superschweren Elementen [2] führt von Uran, dem letzten natürlich vorkommenden Element 92, über Nobelium (Element 102) bis zum schwersten bisher entdeckten Element 118 durch das fast unbekannte Gebiet der Transurane (Abb.). Die Kernbindung, die durch die Masse der Isotope gegeben ist, ist ein wichtiger Indikator für die Stabilität. Somit kommt der Bestimmung der Masse eine entscheidende Rolle zu.

Die bisherigen Einblicke in diese Grenzgebiete stammen überwiegend aus Kernreaktionen und Zerfallsprodukten. Allerdings beinhalten diese indirekten Methoden signifikante Unsicherheiten. Einen neuen Zugang über direkte Messungen der Masse liefern seit einiger Zeit Fallenexperimente, insbesondere solche mit Ionenfal-

len. Mithilfe elektromagnetischer Felder lassen sich Isotope als geladene Teilchen in einer Penning-Falle speichern. Aus der Teilchenbewegung kann man auf die Masse und damit auf die Bindungsenergie des Kerns schließen. Diese Methode zur Messung der Masse wurde ursprünglich für stabile Teilchen entwickelt: 1989 erhielten Hans Dehmelt und Wolfgang Paul für die Entwicklung und Anwendung der Ionenfallen den Physik-Nobelpreis. In den letzten Jahren ist es gelungen, diese Methode auch an Beschleunigerforschungszentren mit kurzlebigen Isotopen einzusetzen [3]. Die Massenunsicherheit bei den Experimenten in der Penning-Falle ist proportional zur Speicherzeit in der Falle und enthält eine statistische Komponente. Beides ist eine große Herausforderung für sehr kurzlebige Isotope mit Halbwertszeiten von 10 bis 100 ms, die sich oftmals nur in sehr geringen Mengen, manchmal mit nur einigen Atomen pro Sekunde, erzeugen lassen.



Die Nuklidkarte zwischen Uran und dem noch unbenannten Element 118 zeigt die bekannten Nuklide in blau, die nun gewonnenen Nobelium-Isotope [4] in rot

und Nuklide, die über Alphazerfall mit diesen verbunden sind, in gelb. Die gestrichelten Linien markieren Abschlüsse von Unterschalen in der Kernstruktur,

die durchgezogenen Linien zeigen die vorhergesagte Insel der Stabilität bei der Protonenzahl 120 und der Neutronenzahl 184 an.

Um das Gebiet der Transurane und die superschweren Elemente zu erkunden, ist man nach wie vor entscheidend darauf angewiesen, Zerfallsketten zu messen, um damit auf die Eigenschaften der Isotope entlang des Zerfallspfad zu schließen. Die Messung dieser Zerfallsketten, bei denen auch neue Isotope entstehen können, gestaltet sich sehr langwierig, da oft nur einige wenige Ereignisse in wochen- oder monatelangen Messreihen auftreten. Darüber hinaus sind die Zerfallsketten nicht immer klar identifizierbar, und die direkte Datenerhebung entlang des Zerfallspfad ist sehr begrenzt. Daher ist es ein entscheidender Durchbruch, die Masse direkt zu bestimmen.

Dies ist nun dem SHIPTRAP-Team am Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung in Darmstadt zum ersten Mal gelungen: Die Wissenschaftler konnten die Massen der drei Nobelium-Isotope ^{252}No , ^{253}No und ^{254}No im Grundzustand mit einer relativen

Genauigkeit von 0,05 ppm (parts per million) messen [4]. Die Isotope erzeugten sie am „Separator for Heavy Ion reaction Products“ (SHIP), wo bereits die Elemente 107 bis 112 entdeckt wurden. Anschließend wurden die Isotope massenselektiert, gestoppt und in die Ionenfalle geladen. Die große Schwierigkeit bestand darin, diese superschweren Elemente mit einer möglichst hohen Effizienz in die Falle zu transferieren, da im Durchschnitt weniger als ein Nobelium-Isotop pro Sekunde zur Verfügung stand. Das SHIPTRAP-Team konnte hierbei einen Rekord aufstellen: So ist ^{252}No das Nuklid mit der niedrigsten Erzeugungsrate, dessen Masse direkt in einer Penning-Falle bestimmt wurde.

Diese Bestleistung in der Empfindlichkeit eröffnet neue Möglichkeiten, das Gebiet der Transurane zu erforschen. Die SHIPTRAP-Messungen erzielten eine Verbesserung der Massenbestimmung in der Zerfallskette um bis zu eine

Größenordnung. Dies erlaubt es erstmals, Bindungsenergien solcher Schwergewichte direkt mit theoretischen Vorhersagen zu vergleichen. Das nächste Ziel wird sein, die direkte Messung auf weitere superschwere Elemente anzuwenden. So haben die Wissenschaftler nun das langlebige Rutherfordium-Isotop mit der Ordnungszahl 104 im Visier. Auf der Reise zur Insel der Stabilität wird in Zukunft kein Weg an direkten Messungen der Massen mit Penning-Fallen vorbeiführen.

Jens Dilling und Achim Schwenk

Prof. Dr. Jens Dilling, University of British Columbia und TRIUMF, 4004 Westbrook Mall, Vancouver, BC V6T 2A3, Kanada; Prof. Dr. Achim Schwenk, TRIUMF, 4004 Westbrook Mall, Vancouver, BC V6T 2A3, Kanada, und Institut für Kernphysik und ExtreMe Matter Institute, Technische Universität Darmstadt, Schlossgartenstr. 2, 64289 Darmstadt

- [1] R. Janssens, *Nature* **459**, 1069 (2009) und J. Jolie und P. Reiter, *Physik Journal*, Juli 2009, S. 21
- [2] S. Hofmann und G. Münzenberg, *Rev. Mod. Phys.* **72**, 733 (2000), K. Morita et al., *J. Phys. Soc. Jpn* **73**, 2593 (2004) und Y. Oganessian, *J. Phys. G* **34**, R165 (2007); vgl. S. Hofmann, *Physik Journal*, Mai 2005, S. 37
- [3] K. Blaum, *Phys. Rep.* **425**, 1 (2006)
- [4] M. Block et al., *Nature* **463**, 785 (2010)

Neugierig?



Sachbücher von WILEY-VCH

CHRISTIAN SYNWOLDT

Alles über Strom

So funktioniert Alltags Elektronik

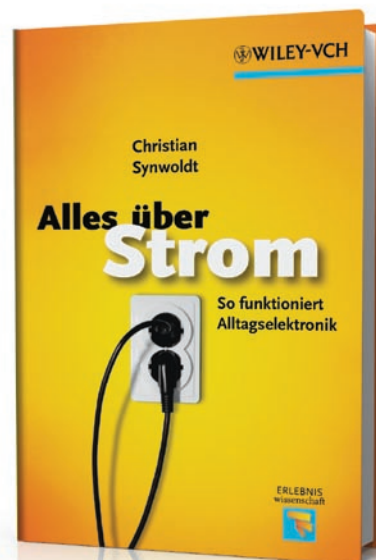
ISBN: 978-3527-32373-9

September 2009 250 S. mit 112 Abb.

Gebunden € 24,90

Synwoldt nimmt seine Leser mit auf eine äußerst unterhaltsame Reise in die Innenwelten der Geräte und Anwendungen, ohne die modernes Leben nicht mehr vorstellbar ist. Dabei begegnet man Beethoven und dem Radio ebenso wie den neuesten Klingeltönen, surft auf der Welle von Protokollen und Diensten durchs Internet und erfährt, wie die Bilder der letzten Tatort-Folge ihren Weg in unser Wohnzimmer fanden. Und wenn der Krimi schlecht war, weiß man nach der Lektüre dieses Buches, wie die Technik funktioniert, mit deren Hilfe man seine Kritik an den Sender übermittelt – egal ob man das per E-Mail, Festnetztelefon oder Handy tut.

In seinem auch für Techniker leicht verständlichen Buch lüftet Christian Synwoldt die Geheimnisse der „Technologie des Alltags“.



529640908_bt

WILEY-VCH

Wiley-VCH • Tel. +49 (0) 62 01-606-400 • Fax +49 (0) 62 01-606-184 • E-Mail: service@wiley-vch.de

www.wiley-vch.de/sachbuch