

Bislang galt der Kern ^{64}Ge als bedeutender Wartepunkt in der Spätphase der Röntgenausbrüche [1]. Dies wurde zum einen mit der langen β -Halbwertszeit von 64 Sekunden begründet und zum anderen mit der Tatsache, dass ^{65}As das zusätzliche Proton nicht binden kann und nur eine Resonanz mit ungenau bekannter Protonenseparationsenergie ist. Das führt dazu, dass bei den hohen Temperaturen in Röntgenausbrüchen ein eingefangenes Proton sofort wieder entfernt wird, bevor ^{65}As ein weiteres Proton einfangen kann, um den Prozess fortzusetzen. Eine hochpräzise Massenmessung von ^{65}As hat diese Annahme nun widerlegt [2]. Das Nuklid erwies sich zwar als „leicht ungebunden“, die ermittelte Protonenseparationsenergie von $-90(85)$ keV erlaubt dem Kern aber selbst bei den hohen Temperaturen in Röntgenausbrüchen noch eine ausreichend lange Lebensdauer, so dass er ein weiteres Proton einfangen kann. ^{64}Ge ist also kein unüberwindbares Hindernis für den Materiefluss im rp-Prozess. Simulationen von Röntgenausbrüchen mit ^{64}Ge -Protoneneinfangraten ergeben die beobachteten Röntgen-Emissionskurven [2]. Dies zeigt, dass der vermeintliche ^{64}Ge -Wartepunkt effizient durch Protoneneinfang mit anschließenden weiteren Protoneneinfängen und β -Zerfällen überwunden wird.

Die Messkampagne unter Beteiligung von Wissenschaftlern des Heidelberger MPI für Kernphysik und der GSI Darmstadt, die neben ^{65}As auch die Massen anderer protonenreicher Kerne mit hoher Präzision bestimmt hat, war das erste derartige Experiment am neuen Speicherring der Schwerionenforschungsanlage in Lanzhou, China. Der Versuchsaufbau bestand aus einem ^{78}Kr -Projektilstrahl mit hoher Intensität und einem Berylliumtarget, ein hocheffizienter Separator filterte die für die Messung relevanten Nuklide aus den vielen entstandenen Fragmenten im Flug heraus und injizierte sie in den Experimentier-Speicherring CSRe. Für die Massenmessung lässt sich ausnutzen, dass die Umlaufzeit der

dort gespeicherten Ionen proportional zum Masse-Ladung-Verhältnis m/q ist. Um die kleinen Differenzen in der Umlaufgeschwindigkeit der Fragmente auszugleichen, laufen die Messungen im so genannten isochronen Ionen-optischen Modus. In diesem kreisen schnellere Ionen auf entsprechend längeren Bahnen. Damit gelang es, die Massen, wie in diesem Experiment der Kerne ^{63}Ge , ^{65}As , ^{67}Se und ^{71}Kr , trotz der kurzen Halbwertszeit mit einer relativen Genauigkeit von 10^{-6} zu messen.

Die Anlage in Lanzhou hat eine sehr große Ähnlichkeit mit derjenigen der GSI in Darmstadt, wo die Massenmessungen von exotischen Kernen an Speicherringen zuerst entwickelt worden sind [3, 4]. In der Tat haben GSI-Wissenschaftler über viele Jahre aktiv am Aufbau der Forschungsstätten in Lanzhou mitgewirkt. Der CSRe ist jedoch keinesfalls nur eine Blaupause des Experimentier-Speicherrings ESR in Darmstadt, sondern die chinesischen Kollegen haben sich im Design und in der Datenanalyse einige Verbesserungen einfallen lassen. So haben sie die Flugzeitdetektoren weiterentwickelt, diese erreichen eine sehr gute Zeitauflösung und Beobachtungseffizienz und können sehr hohe Ereignisraten aufzeichnen. Die Datenaufnahme erfolgt zeitkorreliert, um mögliche Änderungen der experimentellen Bedingungen korrigieren zu können.

Da die Isochronie in einem Speicherring nur über einen begrenzten Geschwindigkeitsbereich gilt, ist für Präzisionsmessungen eine zusätzliche Geschwindigkeitsbestimmung nötig [5]. Deshalb ist geplant, in der geraden Sektion des CSRe zwei Flugzeitdetektoren für eine In-Ring-Geschwindigkeitsmessung zu installieren. Die Erfahrungen damit sollen schließlich in das Massenmessungs-Experiment ILIMA an der künftigen FAIR-Anlage in Darmstadt einfließen.

Auch hier arbeiten Chinesen und Deutsche mit vielen internationalen Kollegen eng zusammen, um nach der Fertigstellung erstmals die Massen extrem neutronenreicher Kerne präzise zu bestimmen. Diese sind für das Verständnis des r-Prozesses nötig – der astrophysikalischen Nukleosynthese von Elementen wie Gold und Uran. Damit lassen sich dann auch die Vorgänge in Supernova-Explosionen präziser berechnen.

Gabriel Martínez-Pinedo und
Karlheinz Langanke

- [1] H. Schatz et al., Phys. Rep. 294, 167 (1998)
- [2] X. L. Tu et al., Phys. Rev. Lett. 106, 112501 (2011)
- [3] B. Franzke, H. Geissel und G. Münzenberg, Mass Spectrometry Reviews 27, 428 (2008)
- [4] K. Blaum und H. Schatz, Physik Journal, Februar 2006, S. 35
- [5] H. Geissel, R. Knöbel, Yu. A. Litvinov et al., Hyperfine Interactions 173, 49 (2006)

Dr. Gabriel Martínez-Pinedo, Prof. Dr. Karlheinz Langanke, GSI Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung, Planckstr. 1, 64291 Darmstadt

KURZGEFASST

■ Schwere Antimaterie

Durch Kollisionen von relativistischen Ionen lassen sich in Teilchenbeschleunigern Temperaturen und Dichten erzielen, wie sie kurz nach dem Urknall herrschten. Hier wie dort entstehen dabei neben Teilchen auch Antiteilchen. Am Relativistic Heavy Ion Collider (RHIC) ist es der STAR-Kollaboration nun erstmals gelungen, Anti-Helium-4 zu erzeugen. Diese schwersten bislang nachgewiesenen Antikerne bestehen aus zwei Antiprotonen und zwei Antineutronen. In den Reaktionsprodukten von einer Milliarde Gold-Gold-Kollisionen konnten die beteiligten Physiker gerade einmal 18 Antikerne nachweisen.

STAR Collaboration, Nature 473, 353 (2011)

■ Das kleinste Oder

Aus nur drei Eisen-Atomen besteht das Herz eines Oder-Gatters, das Physiker an der Universität Hamburg auf einer Kupferoberfläche gebaut haben. Angesteuert wird das Gatter über zwei Kobaltinseln, deren magnetisches Moment sich entsprechend der Zustände 0 und 1 ausrichten lässt. Von jeder Insel aus führt eine Kette aus Eisenatomen zur anderen hin. Wo sich die Ketten treffen, sitzt ein zusätzliches Eisenatom, dessen magnetisches Moment sich mit der spinsensitiven Nadel eines Rastertunnelmikroskops auslesen lässt. Da die einzelnen Spins antiferromagnetisch koppeln, führt nur eine 0 an beiden Co-Inseln zu einer 0 am Ausgang. A. A. Khajetoorians et al., Science DOI: 10.1126/science.1201725 (2011)