

Herstellung einer neuen ^{79}Se -Standardprobe für die Beschleuniger-Massen-Spektrometrie (AMS)

Das langlebige Isotop ^{79}Se besitzt eine Schlüsselrolle für das Verständnis der Nukleosynthese der schweren Elemente. In Zusammenarbeit mit Wissenschaftlern des Maier-Leibnitz-Laboratoriums (MLL) der LMU und der TU München wurde an den Ionenbeschleunigern der PTB eine neue Standardprobe des Isotops ^{79}Se für die Beschleuniger-Massen-Spektrometrie (AMS) hergestellt.

Die Nukleosynthese der Elemente, die schwerer als Eisen sind, findet hauptsächlich in Roten Riesen (AGB-Sternen) statt. Sie erfolgt fast vollständig durch den s-Prozess ("slow neutron capture process" - langsamer Neutroneneinfangprozess) und den r-Prozess ("rapid neutron capture process" - schneller Neutroneneinfangprozess). Der s-Prozess lässt sich weiter unterteilen in eine "schwache" Komponente (verantwortlich für Kerne bis $A \sim 90$) und eine "Haupt-"Komponente (für $90 < A < 209$), die bei verschiedenen astrophysikalischen Szenarien bei unterschiedlichen Temperaturen und mit unterschiedlichen Neutronenexpositionen auftreten. Unter den beteiligten Kernen nehmen die langlebigen radioaktiven Isotope ^{63}Ni ($t_{1/2} = 100,1$ Jahre), ^{79}Se ($t_{1/2} \sim 295000$ Jahre), und ^{83}Kr ($t_{1/2} = 10,76$ Jahre) eine Schlüsselrolle ein, da ihre β -Zerfallsrate vergleichbar mit der Neutroneneinfangrate ist. Die sich daraus ergebende Konkurrenz führt zu Verzweigungen im Nukleosynthesepfad des s-Prozesses.

Die Häufigkeiten von Isotopen an diesen Verzweigungspunkten können entweder für die Bestimmung der Neutronendichte oder der Temperatur im Stern während des s-Prozesses verwendet werden. Die starke Temperaturabhängigkeit der β -Zerfallsrate von ^{79}Se [1] beruht auf der thermischen Besetzung tief liegender angeregter Zustände. Dadurch verringert sich die Halbwertszeit vom terrestrischen Wert von 295000 Jahren auf nur wenige Jahre bei Temperaturen des s-Prozesses von 5 MK. Aufgrund dieses Verhaltens kann ^{79}Se als s-Prozess-Thermometer verwendet werden, und die Häufigkeit des reinen s-Isotops ^{80}Kr kann für die Bestimmung der effektiven Temperatur verwendet werden. ^{63}Ni und ^{85}Kr weisen keine derartig starke Temperaturabhängigkeit auf und sind daher ideale Monitore für die Neutronendichte.

Während der letzten Jahre hat die AMS-Gruppe an der TU München das *gas-filled analysing magnet system* (GAMS) am MLL verwendet und den stellaren (n, γ) -Wirkungsquerschnitt von ^{62}Ni und ^{78}Se bei $kT = 25$ keV bestimmt. Die Messung von ^{79}Se ist auch für die Nukleartechnik von Interesse, da es sich aufgrund seiner langen Halbwertszeit in abgebrannten Kernreaktor-Brennelementen anreichert. Die große Unsicherheit seiner Halbwertszeit (derzeit favorisierter Wert: 295000 Jahre) macht eine Bestimmung der ^{79}Se -Menge über seine Radioaktivität sehr unsicher. AMS stellt eine der wenigen Möglichkeiten für die direkte Atomzählung dar. Da die Messungen jedoch immer relativ zu einer Referenz durchgeführt werden, ist die Herstellung dieser Standardproben ein kritischer Punkt.

Die früher verwendete ^{79}Se -Standardprobe wurde mit thermischen Neutronen hergestellt und besaß eine Unsicherheit von 6 %, hauptsächlich aufgrund der Unsicherheit im thermischen Neutroneneinfang-Querschnitt von $0,43 \pm 0,02$ b [2]. Eine Alternative zur Herstellung einer ^{79}Se -Standardprobe unabhängig vom thermischen Wirkungsquerschnitt ist die Reaktionskette $^{82}\text{Se}(p, \alpha)^{79}\text{As}(\beta)^{79}\text{Se}$. Diese Aktivierung wurde am Zyklotron der PTB durchgeführt. Die Probe bestand aus Al-Puder gemischt mit ^{82}Se (Anreicherung 99,93 %) in der Stöchiometrie von 8,5:1. Da bisher keine experimentellen Daten vorlagen, wurde die Probe mit Protonen der Energie $E_{c.m.} = 18,625$ MeV (siehe Abbildung 1) bestrahlt, nahe am

maximalen (theoretischen) Wirkungsquerschnitt für die $^{82}\text{Se}(p,\alpha)^{79}\text{As}$ -Reaktion im Hauser-Feshbach-Code NON-SMOKER[3].

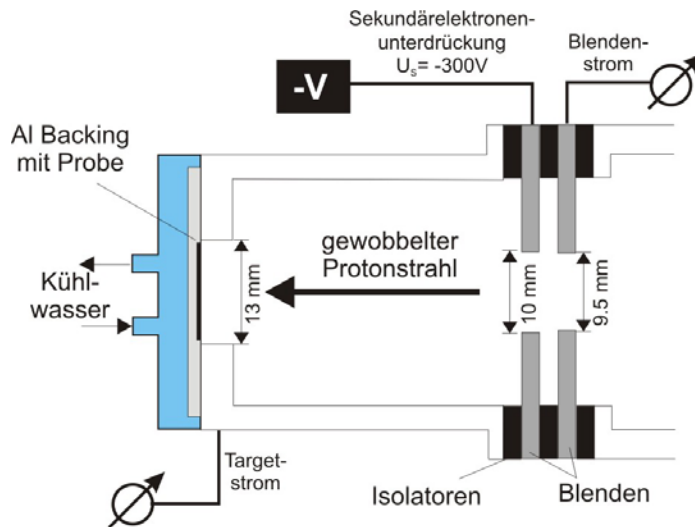


Abbildung 1: Aktivierungskammer an der PTB.

Zur Bestimmung des Wirkungsquerschnitts wurden sechs Kurzzeit-Aktivierungen zwischen 60 und 150 s durchgeführt. Der Zerfall des ^{79}As kann daraufhin mittels γ -Spektrometrie gemessen werden (siehe Abbildung 2). Die Übergänge mit 365 keV, 432 keV und 879 keV wurden für die Analyse verwendet. Die Wirkungsquerschnitte, die aus den einzelnen Übergängen bestimmt wurden, weisen eine Unsicherheit von nur jeweils ~1 % auf. Allerdings scheint es systematische Abweichungen zwischen den verschiedenen Übergängen zu geben, die bei 10 % liegen.

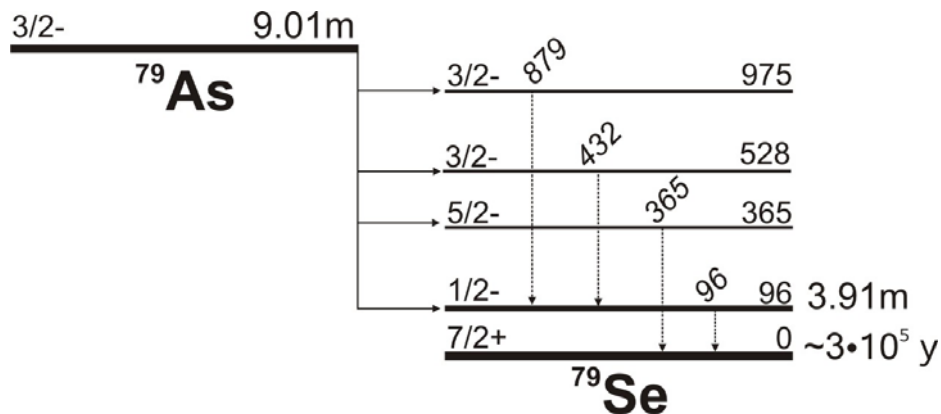


Abbildung 2: Zerfallsschema des ^{79}As

Die vorläufigen Ergebnisse (mit rein statistischen Unsicherheiten) liegen bei 9,8(1) mb, 11,7(1) mb und 10,8(1) mb für die jeweiligen Übergänge 365 keV, 432 keV und 879 keV. Ursache für diese Abweichungen könnten die Unsicherheiten in den γ -Intensitäten sein, die vor mehr als 40 Jahren mit relativen Unsicherheiten von 5 % bestimmt wurden. Als gewichteten Mittelwert erhielten wir einen vorläufigen Wirkungsquerschnitt von 10,6(7) mb. Zusammen mit einer Protonenfluenz von insgesamt $1,2 \times 10^{18}$ p führt dies zu einer Produktion von $2,3 \times 10^{12}$ Atomen ^{79}Se und einem $^{79}\text{Se}/^{82}\text{Se}$ -Verhältnis von $1,3 \times 10^{-8}$.

Literatur

- 1) K. Takahashi, K. Yokoi, At. Data Nucl. Data Tabl. 36 (1987) 375.
- 2) S.F. Mughabghab, Atlas of Neutron Resonances- Resonance Parameters and Thermal Cross Sections $Z = 1-100$, 5th Edition, Elsevier (2006), ISBN 0444 52035X.
- 3) T. Rauscher and F.-K. Thielemann, At. Data Nucl. Data Tables **75**, (2000) 1.

Ansprechpartner:

U. Giesen, Fachbereich 6.4, Arbeitsgruppe 6.41, E-Mail: ulrich.giesen@ptb.de

I. Dillmann, Physik-Department E12, TU München, E-Mail: iris.dillmann@ph.tum.de