

Depo. de Radioisótopos
Av. del Libertador 8250
BUENOS AIRES, ARGENTINA

Anregungsfunktionen für die Bildung von ^{68}Ge , ^{65}Zn und ^{22}Na bei der Bestrahlung von Zink und Aluminium mit α -Teilchen

Von ALFREDO KARPELES* Institut für Radiochemie, Kernforschungszentrum Karlsruhe

Mit 4 Abbildungen. (Eingegangen am 27. März 1969)

In den letzten Jahren hat das langlebige ^{68}Ge (Halbwertszeit 280 Tage) erheblich an Bedeutung gewonnen, da das Folgeprodukt ^{68}Ga (Halbwertszeit 68 min) in der Nuclearmedizin z. B. zur Krebsdiagnose benutzt wird [1]. Es wurde deshalb die Anregungsfunktion für die Bildung des ^{68}Ge bei der Bestrahlung von natürlichem Zink mit α -Teilchen untersucht, um die optimalen Bestrahlungsbedingungen und die Dicke-Target-Ausbeute zu ermitteln. Durch geeignete Versuchsführung war es weiterhin möglich, gleichzeitig die Anregungsfunktionen für die Bildung von ^{65}Zn aus natürlichem Zink und ^{22}Na aus ^{27}Al zu bestimmen.

Die Targetanordnung bestand aus 6–12 dünnen Zink-Folien (Reinheit $\geq 99,99\%$, Dicke 20–90 μm) und Aluminium-Folien (Reinheit $\geq 99,999\%$, Dicke 10 bis 20 μm) zur Energiereduktion.

Die Bestrahlungen erfolgten mit dem Innenstrahl des Karlsruher Isochronzyklotron. Die Bestrahlungsenergie wurde durch Einstellung der radialen Position des Targets ausgewählt. Der Teilchenfluß wurde mit einem integrierenden Mikroamperemeter ermittelt.

Nach etwa 1 Monat Abklingzeit wurde die Aktivität des ^{68}Ge über die beim Zerfall des Tochternuklids emittierte 1,078 MeV γ -Linie bestimmt. Dazu wurden mit einer Ge/Li-Halbleiter-Detektor-Meßanordnung Spektren aufgenommen und jeweils die Fläche unter dem Photopeak der γ -Linie ermittelt. Die Auflösung

dieser Meßanordnung (0,7% bei 1 MeV) reichte aus, um auch die 1,115 MeV γ -Linie des ^{65}Zn quantitativ zu erfassen. Andere bei der Bestrahlung entstehende Radionuklide störten diese Messungen nicht, da sie entweder kurzlebig sind oder in diesem Bereich keine γ -Linien aufweisen. Auch von den Aluminium-Folien wurden γ -Spektren aufgenommen, und zwar kurz nach der Bestrahlung und etwa 14 Tage später. Dadurch war es möglich, die 2,75 MeV bzw. 1,28 MeV γ -Linie des ^{24}Na bzw. ^{22}Na quantitativ zu erfassen.

In Abb. 1–3 sind die aus den ermittelten Aktivitäten berechneten Wirkungsquerschnitte für die Bildung des ^{68}Ge , ^{65}Zn und ^{22}Na eingetragen. Nicht aufgeführt sind dagegen die für ^{24}Na gefundenen Wirkungsquerschnitte, da diese sehr gut mit den von LINDSAY und CARR [2] sowie von PORILE [3] erhaltenen Werten übereinstimmen.

Bei der Abschätzung der Energie-Unschärfe wurde nur die endliche Dicke der als Target verwendeten Zink- und Aluminium-Folien berücksichtigt. Die ver-

* Heimatadresse: Departamento de Producción, Comisión Nacional de Energía Atómica, Buenos Aires, Argentina.

1. A. KARPELES, Radiochim. Acta **12**, 22 (1969).
2. R. H. LINDSAY and R. J. CARR, Physic. Rev. **118**, 1293 (1960).
3. N. T. PORILE, Physic. Rev. **127**, 224 (1962).

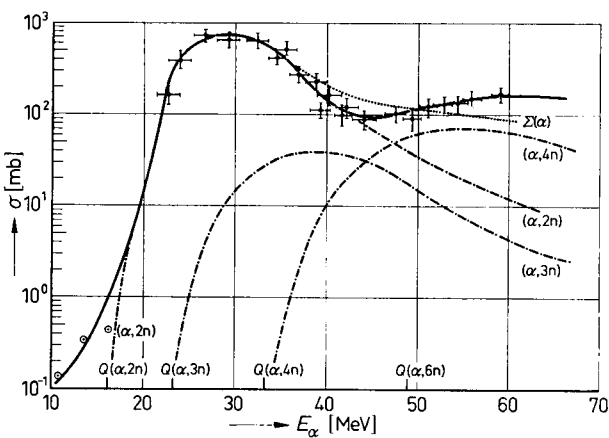


Abb. 1. Anregungsfunktion für Bildung von ^{68}Ge bei Bestrahlung von natürlichem Zink mit α -Teilchen. Die durchgezogene Linie wurde visuell den experimentellen Punkten angepaßt. (○) Werte von PORILE [3]. Die punktierte Kurve ist die Summe der strichpunktirt gezeichneten Anregungsfunktionen für die Teilreaktionen nach LANGE und MÜNZEL [4]

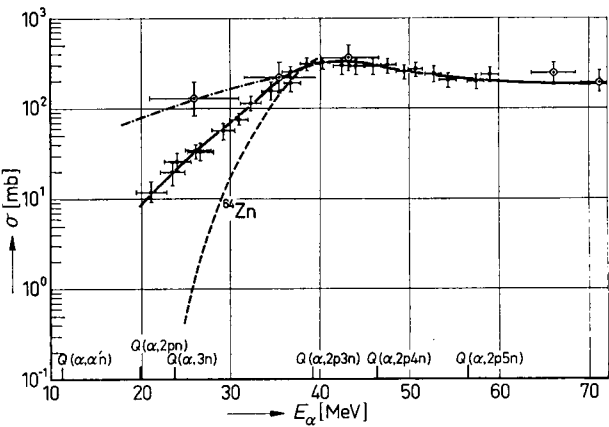


Abb. 2. Anregungskurve für die Bildung von ^{65}Zn bei der Bestrahlung von natürlichem Zink mit α -Teilchen (—). Die bei Verwendung dicker Targetanordnungen erhaltenen Wirkungsquerschnitte sind durch ○ gekennzeichnet. Die nach PORILE [5] für die Reaktion $^{64}\text{Zn}(\alpha, 2p)^{65}\text{Zn}$ bei Bestrahlung von natürlichem Zink zu erwartende Anregungsfunktion ist gestrichelt eingezeichnet

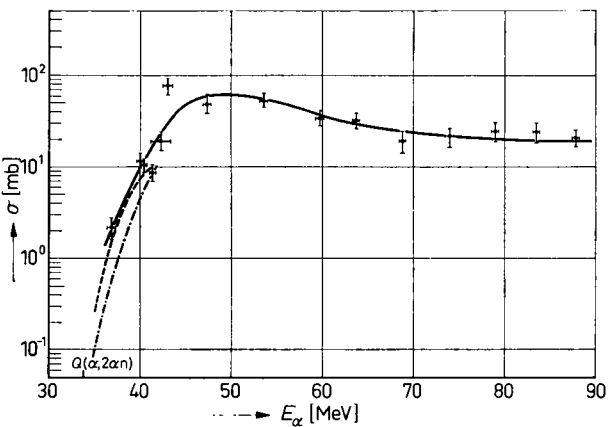


Abb. 3. Anregungsfunktion für die Bildung von ^{22}Na bei der Bestrahlung von Aluminium mit α -Teilchen. Die von LINDSAY und CARR [2] (---) sowie von PORILE [3] (---) bestimmten Anregungsfunktionen sind eingezeichnet

gleichsweisse kleine Halbwertsbreite der Energieverteilung der α -Teilchen im Innenstrahl des Zyklotrons sowie deren Verbreiterung durch die Abbremsung der Teilchen in der Targetanordnung wurden dagegen vernachlässigt.

Bei der Abschätzung der Standard-Abweichung für die Wirkungsquerschnitte wurden die möglichen Fehler bei der Bestimmung der Aktivität, des Strahlstroms der Halbwertszeit und der Targetdicke berücksichtigt. Im natürlichen Zink sind 5 stabile Isotope enthalten, deren Häufigkeiten in Tab. 1 aufgeführt sind. Mit steigender Projektilenergie werden entsprechend der ebenfalls in Tab. 1 genannten Q -Werte zunächst (α, γ) -

Tabelle 1			
Isotop	Häufigkeit (%)	Bildungsreaktion für ^{68}Ge	Q -Wert (MeV)
^{64}Zn	48,89	(α, γ)	+ 2,6
^{66}Zn	27,81	$(\alpha, 2n)$	− 16,0
^{67}Zn	4,11	$(\alpha, 3n)$	− 23,5
^{68}Zn	18,57	$(\alpha, 4n)$	− 33,7
^{70}Zn	0,62	$(\alpha, 6n)$	− 49,4

Reaktionen und dann auch (α, xn) -Reaktionen stattfinden. So ist der Anstieg der Anregungsfunktion für die Bildung des ^{68}Ge bei Projektilenergien über 44 MeV im wesentlichen auf die einsetzende $(\alpha, 4n)$ -Reaktion zurückzuführen. In Abb. 1 sind außerdem die nach den Untersuchungen von LANGE und MÜNZEL [4] für die einzelnen Reaktionen erwarteten Anregungsfunktionen eingezeichnet. Wie man sieht, stimmt die Summe der Einzelwirkungsquerschnitte recht gut mit den experimentell gefundenen Gesamtquerschnitten überein. Die Abweichungen bei höheren Projektilenergien sind teilweise auf Direktreaktionen zurückzuführen.

In gleicher Weise werden auch mehrere Reaktionsarten zur Bildung des ^{65}Zn beitragen. In Abb. 2 ist außer der in dieser Arbeit gefundenen Anregungsfunktion auch die Anregungsfunktion für die Reaktion $^{64}\text{Zn}(\alpha, 2p)$ eingetragen. Um die Werte miteinander vergleichen zu können, wurden die von PORILE [5] ermittelten Wirkungsquerschnitte mit dem Faktor 0,489, d. h. der Isotopenhäufigkeit des ^{64}Zn , multipliziert. Man sieht, daß bei kleineren Projektilenergien zumindestens eine weitere Reaktion zur Bildung des ^{65}Zn beiträgt. Wahrscheinlich handelt es sich dabei um die Reaktionen $(\alpha, \alpha' n)$ und $(\alpha, 3n)$, welche aufgrund der Q -Werte (s. Abb. 2) bei diesen Energien bereits stattfinden können. Bei der letzten Reaktion würde ^{65}Zn aus ^{65}Ge durch zwei aufeinander folgende β -Zerfälle entstehen.

In Abb. 2 sind außerdem die unter Verwendung einer Targetanordnung aus zwölf je 94 μm dicken Zink-Folien erhaltenen Wirkungsquerschnitte eingetragen. Der bei $E_\alpha = 26$ MeV erhaltene Wirkungsquerschnitt ist relativ hoch verglichen mit den entsprechenden Werten aus Experimenten mit relativ dünnen Target-

4. J. LANGE und H. MÜNZEL, KFK 767, Mai 1968.
5. N. T. PORILE, Physic. Rev. 115, 939 (1959).

anordnungen. Dies ist wahrscheinlich auf Sekundärreaktionen, wie $^{61}\text{Zn}(n, \gamma)^{60}\text{Zn}$ zurückzuführen. Auch bei der Bildung des ^{22}Na werden mehrere Kernreaktionen, wie $(\alpha, 2\alpha n)$, $(\alpha, ^8\text{Be} n)$ oder $(\alpha, ^9\text{Be})$, beteiligt sein. Anhand der bisher vorliegenden experimentellen Daten ist jedoch nicht zu entscheiden, wie groß der Anteil dieser einzelnen Reaktionen insgesamt sein wird.

Ausgehend von der Anregungsfunktion für ^{68}Ge wurde nach dem von LANGE und MÜNZEL [4] angegebenen

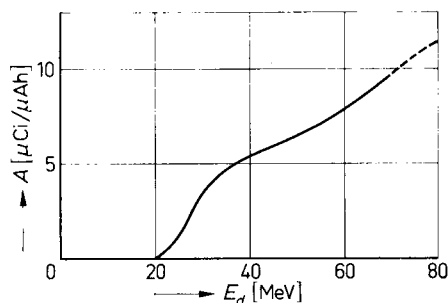


Abb. 4. Dicke-Target-Ausbeute für die Bildung von ^{68}Ge bei der Bestrahlung von natürlichem Zink mit α -Teilchen

Verfahren die Dicke-Target-Ausbeute berechnet. Die erhaltenen Ergebnisse sind in Abb. 4 wiedergegeben. Extrapoliert man auf eine α -Teilchen-Energie von 100 MeV, d. h. die mit dem Karlsruher Isochronzyklotron erreichbare Energie, so ergibt sich eine Dicke-Target-Ausbeute von etwa $14 \mu\text{Ci}/\mu\text{A h}$. Die Dicke-Target-Ausbeute bei der Bestrahlung von Gallium mit 50 MeV Deuteronen beträgt dagegen $37 \mu\text{Ci}/\mu\text{A h}$ [6].

Da die Ausbeute bei der chemischen Abtrennung der Aktivität aus einem Galliumoxid- oder Zink-Target etwa gleich hoch ist, zeigt dieser Vergleich, daß man zur Erzeugung des ^{68}Ge die Bestrahlung des Galliums mit Deuteronen vorziehen sollte.

Herrn Prof. Dr. W. SEELMANN-EGGEBERT danke ich für sein stetes Interesse an dieser Arbeit, Herrn Dr. H. MÜNZEL für die anregenden Diskussionen und der „Alexander von Humboldt-Stiftung“ für die finanzielle Unterstützung.

6. A. KARPELES, Radiochim. Acta (im Druck).