

Anregungsfunktionen für die Bildung von ^{68}Ge , ^{65}Zn und ^{22}Na bei der Deuteronenbestrahlung von Gallium und Aluminium

Von ALFREDO KARPELES*, Institut für Radiochemie am Kernforschungszentrum Karlsruhe

Mit 4 Abbildungen. (Eingegangen am 28. April 1969)

Bei der Anwendung von ^{68}Ga zu diagnostischen Zwecken benutzt man im allgemeinen zur Herstellung des radioaktiven Präparates einen ^{68}Ga -Isotopengenerator [1]. Zur Erzeugung der langlebigen Mutter ^{68}Ge (Halbwertszeit 280 d) dient u. a. die Reaktion $^{69}\text{Ga}(d, 3n)$. Um die optimalen Bestrahlungsbedingungen zu ermitteln, wurde die Anregungsfunktion für diese Reaktion bestimmt. Durch eine geeignete Versuchsführung war es außerdem möglich, die Anregungsfunktionen für die Reaktionen $^{69}\text{Ga}(d, \alpha 2n)^{65}\text{Zn}$ und $^{27}\text{Al}(d, \alpha p 2n)^{22}\text{Na}$ zu ermitteln.

Aus natürlichem Ga-Oxid (Reinheit $\geq 99,9999\%$) wurden etwa 100 μm dicke Tabletten gepreßt, die als Target dienten und deren Flächengewicht durch Wägung ermittelt. Die Targetanordnung bestand aus einer solchen Tablette, eingehüllt in dünne Al-Folie und einer Aluminium-Folie zur Flußbestimmung. Die jeweils 2stündigen Bestrahlungen erfolgten mit dem Innenstrahl des Karlsruher Isochronzyklotrons. Die geeignete Deuteronenenergie wurde durch die radiale Position des Targets ausgewählt. Nach etwa 1 Monat Abklingzeit erfolgte die Aktivitätsbestimmung des ^{68}Ge über die beim Zerfall des Tochternuklids emittierte 1,078 MeV γ -Linie. Dazu wurde die Fläche unter dem Photopeak in dem mit einer Ge-Detektor-Meßanordnung aufgenommenen Spektrum ermittelt. Die Auflösung dieser Meßanordnung war gut genug, um auch die beim Zerfall des ^{65}Zn emittierte γ -Linie mit 1,115 MeV quantitativ zu erfassen. Andere bei der Bestrahlung entstandene Radionuklide störten diese Messungen nicht, da sie entweder zu kurzlebig sind oder aber in diesem Energiebereich keine γ -Linien aufweisen. In Abb. 1 und 2 sind die aus den ermittelten Aktivitäten berechneten Wirkungsquerschnitte für die Bildung des ^{68}Ge und ^{65}Zn eingetragen.

Der Deuteronen-Strom wurde sowohl mit einem integrierenden Mikroamperemeter als auch mittels der Al-Monitor-Folie (Dicke 10–20 μm ; Reinheit $\geq 99,9990\%$) über die Reaktion $^{27}\text{Al}(d, \alpha p)^{24}\text{Na}$ ermittelt. Zur Auswertung wurde die von CHRISTALLER [2] für diese Reaktion gemessene Anregungsfunktion verwendet. Die nach beiden Verfahren erhaltenen Werte stimmen recht gut miteinander überein.

Zur Auswertung der Al-Monitor-Folien wurden mit einer NaJ(Tl)-Meßanordnung sowohl kurz nach der Bestrahlung als etwa 14 Tage danach Spektren aufgenommen. Darin wurden einerseits die 2,75 MeV γ -Linie des ^{24}Na und andererseits die 1,28 MeV Linie

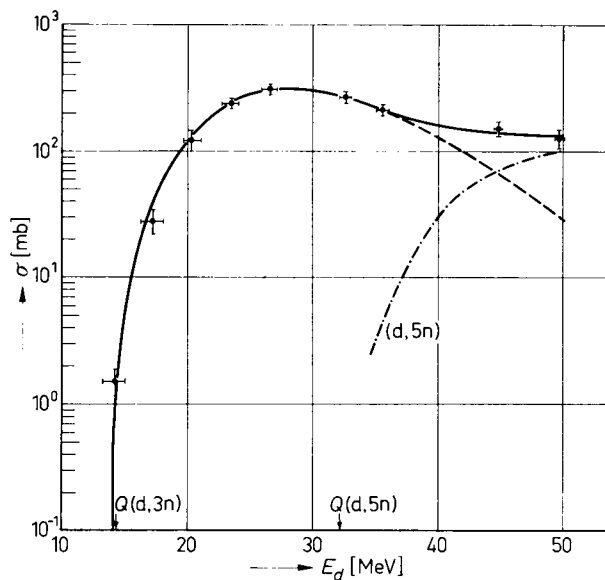


Abb. 1. Anregungsfunktion für die Bildung von ^{68}Ge bei der Deuteronenbestrahlung von natürlichem Gallium. Der nach LANGE und MÜNZEL (4) für die $(d, 3n)$ -Reaktion erwartete Kurvenverlauf (siehe Text) ist gestrichelt eingezeichnet. Die Differenz der beiden Kurven ($- \cdot -$) ist zumindest zum Teil durch die $(d, 5n)$ -Reaktion bedingt

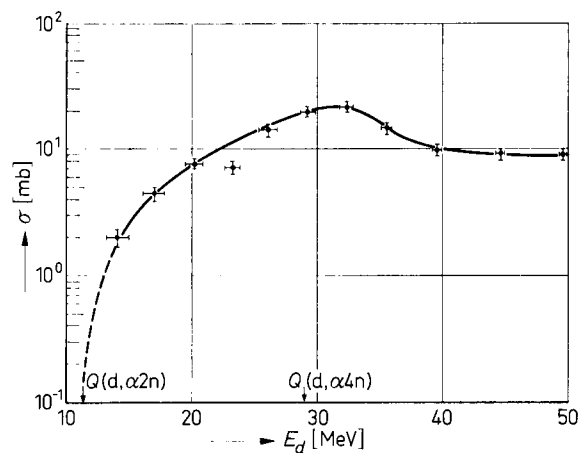


Abb. 2. Anregungsfunktion für die Bildung von ^{65}Zn bei der Deuteronenbestrahlung von natürlichem Gallium

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

1. A. KARPELES, Radiochim. Acta 12, 22 (1969).
2. G. CHRISTALLER, European Colloquium on A. V. F. Cyclotrons, Eindhoven, 1965.

des ^{22}Na quantitativ erfaßt. Die daraus für die Reaktion $^{27}\text{Al}(d, \alpha p 2n)^{22}\text{Na}$ ermittelte Anregungskurve ist in Abb. 3 dargestellt. Außerdem sind die von RING und LITZ [3] für diese Reaktion gemessenen Werte eingetragen. Unter Berücksichtigung der Fehlergrenzen kann die Übereinstimmung als gut bezeichnet werden.

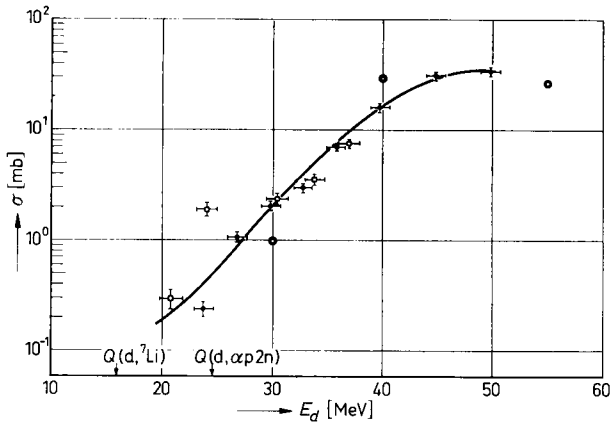


Abb. 3. Anregungsfunktion für die Bildung von ^{22}Na bei der Deuteronenbestrahlung von Aluminium. Bei den durch \bullet bzw. \square gekennzeichneten Werten waren im Target jeweils nur eine bzw. mehrere Aluminium-Folien enthalten. Außerdem sind die von RING und LITZ [3] erhaltenen Ergebnisse (\circ) eingetragen

Bei den in Abb. 1 bis 3 angegebenen Energie-Unschärfen wurde nur die endliche Dicke der als Targets verwendeten Ga-Tabletten und Al-Folien berücksichtigt. Nicht enthalten ist dagegen die mit etwa ± 100 keV vergleichsweise kleine Halbwerts-Breite der Deuteronen-Energien des Zyklotron-Innenstrahls. Bei der Abschätzung der Standardabweichung für die Wirkungsquerschnitte wurden die möglichen Fehler bei der Bestimmung der Aktivität, des Deuteronenstromes, der Halbwertszeit und der Targetdicke berücksichtigt.

Das natürliche Gallium besteht zu 60,4% aus ^{69}Ga und zu 39,6% aus ^{71}Ga . Bei niedrigen Deuteronenenergien E_d werden – wie aus den in Abb. 1 und 2 aufgeführten Q -Werten ersichtlich ist – die Nuklide ^{68}Ge und ^{65}Zn nur durch die Reaktionen $^{69}\text{Ga}(d, 3n)$ und $^{69}\text{Ga}(d, \alpha 2n)$ gebildet. Bei höheren Deuteronenenergien werden außerdem noch die Reaktionen $^{71}\text{Ga}(d, 5n)$ und $^{71}\text{Ga}(d, \alpha 4n)$ stattfinden, deren Anteil an der Gesamtbildungswahrscheinlichkeit der Nuklide ^{68}Ge und ^{65}Zn aus den bisher vorliegenden experimentellen Daten nur abgeschätzt werden kann. In Abb. 1 ist neben den experimentellen Werten und der daran visuell angepaßten Kurve die nach allgemeinen Untersuchungen von LANGE und MÜNZEL [4] erwartete Anregungsfunktion gestrichelt eingezeichnet. Man sieht, daß sich bei kleinen Deuteronenenergien $E_d < Q(d, 5n)$ die beiden Kurven in ihrer Form weitgehend decken. Allerdings wurde die gestrichelte Kurve nach oben verschoben, da der maximale Wirkungsquerschnitt tatsächlich ca. 50% über dem nach LANGE und MÜNZEL erwarteten Wert lag. Die Differenz zwischen der experimentellen und der für die $(d, 3n)$ -Reaktion

erwarteten Anregungsfunktion sollte zumindest teilweise auf die $(d, 5n)$ -Reaktion zurückzuführen sein. In Abb. 3 sind die Q -Werte für die Reaktionen $(d, \alpha p 2n)$ und $(d, ^7\text{Li})$ angeführt. Der Verlauf der Kurve zeigt deutlich, daß zumindest bei kleinen Deuteronenenergien die letztgenannte Reaktion ab-

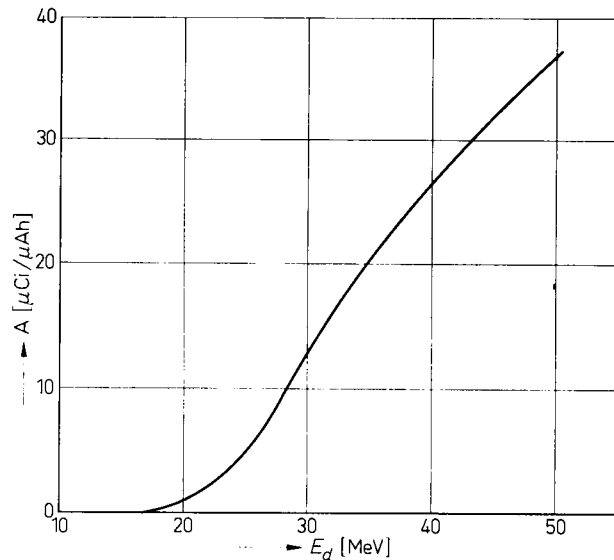


Abb. 4. Dicke-Target-Ausbeute für die Bildung von ^{68}Ge bei der Deuteronen-Bestrahlung von Ga_2O_3

laufen muß. Die Bildung solcher großer Bruchstücke bei verhältnismäßig kleinen Energien wurde bereits früher beobachtet. So fanden verschiedene Autoren [5, 6], daß bei Bestrahlungen von Aluminium mit 30 bis 40 MeV α -Teilchen u. a. ^7Be entsteht.

Um die optimalen Bestrahlungsbedingungen für die Herstellung des ^{68}Ge aus Ga_2O_3 zu ermitteln, wurde nach dem bei LANGE und MÜNZEL [4] angegebenen Verfahren die dicke Target-Ausbeute pro μAh in Abhängigkeit von der Deuteronenenergie berechnet. Die erhaltenen Ergebnisse sind in Abb. 4 zusammengestellt. Man erkennt, daß bei der uns maximal zur Verfügung stehenden Deuteronenenergie von 50 MeV insgesamt $37 \mu\text{Ci}/\mu\text{Ah}$ ^{68}Ge entsteht. Die zur Abbremsung von 50 MeV Deuteronen erforderliche Schichtdicke beträgt $1760 \text{ mg Ga}_2\text{O}_3/\text{cm}^2$. Aus der Abb. 4 ist außerdem zu ersehen, daß eine weitere Erhöhung der Deuteronenenergie noch größere Dicke-Target-Ausbeuten ergeben sollte.

Herrn Prof. Dr. W. SEELMANN-EGGEBERT danke ich für sein stetiges Interesse an dieser Arbeit und der Alexander von Humboldt-Stiftung für die finanzielle Unterstützung.

3. S. O. RING and L. M. LITZ, Physic. Rev. **97**, 427 (1955).
4. J. LANGE und H. MÜNZEL, KFK 767, Mai 1968.
5. R. H. LINDSAY and R. J. CARR, Physic. Rev. **120**, 2168 (1960).
6. N. T. POBILE, Physic. Rev. **127**, 224 (1962).