

Aus der Comisión Nacional de la Energía Atómica, Buenos Aires (Argentinien)

Die Ausbeute der Kernreaktion $\text{Al}^{27}(d, 2p)\text{Mg}^{27}$

Von

R. RADICELLA, J. RODRIGUEZ, G. B. BARÓ und O. HITTAIR

Mit 1 Figur im Text

(Eingegangen am 10. Oktober 1957)

Es wurde der totale Wirkungsquerschnitt der Reaktion $\text{Al}^{27}(d, 2p)\text{Mg}$ bestimmt, indem ihre Sättigungsaktivität mit jener der gleichzeitig verlaufenden Reaktion $\text{Al}^{27}(d, p\alpha)\text{Na}^{24}$ verglichen wurde, deren Wirkungsquerschnitt bekannt ist [1]. Die höchste verwendete Deuteronenergie betrug 28 MeV. Nach Beschreibung der Bestrahlungs- und Meßtechnik wird das erhaltene Ergebnis in bezug auf den Reaktionsweg diskutiert. Von den vorhandenen Möglichkeiten scheint Totalabsorption des Deuterons mit nachfolgender Protonenverdampfung die bevorzugte zu sein.

1. Einleitung

Von allen radioaktiven Isotopen, die sich aus Al^{27} durch Bestrahlung mit Deuteronen bilden, haben nur Na^{24} , Mg^{27} und Al^{28} eine längere Halbwertszeit als 1 min. Die Reaktionen, die zu diesen Isotopen führen, sind $(d, p\alpha)$, $(d, 2p)$ und (d, p) .

Die Analyse der β -Zerfallskurve des mit Deuteronen bestrahlten Aluminiums zeigt nur die entsprechenden drei Perioden und gestattet es daher, die Aktivität der drei Isotope bei Bestrahlungsschluß zu ermitteln, ohne daß es notwendig wäre eine chemische Trennung durchzuführen.

Der Wirkungsquerschnitt der Reaktion $\text{Al}^{27}(d, p\alpha)\text{Na}^{24}$ wurde von BATZEL u. Mitarb. [1] als Funktion der Bestrahlungsenergie ermittelt. Es ist daher möglich, durch Vergleich der Sättigungsaktivität des Na^{24} mit der des Mg^{27} den Wirkungsquerschnitt für die Bildung des letzteren zu bestimmen.

$$\frac{A_s(\text{Mg}^{27})}{A_s(\text{Na}^{24})} = \frac{\sigma(d, 2p)}{\sigma(d, p\alpha)} \quad (1)$$

2. Technik der Bestrahlung

Für jede Bestrahlung wurde eine Aluminiumfolie der Dicke 6,5 mg/cm² in eine andere ebensolche Aluminiumfolie eingehüllt, um den Verlust durch den Rückstoß der geformten Kerne auszugleichen. Die Reinheit des Aluminiums wurde spektroskopisch überprüft, um vor Magnesiumverunreinigungen sicher zu sein.

Hierauf wurde durch den Deuteronenstrahl im Inneren des Synchrozyklotrons der Comisión Nacional de la Energía Atómica in Buenos Aires bestrahlt.

3. Technik der Messung

Die Messungen der β -Aktivität der bestrahlten Proben wurden mit Geiger-Müller-Zählrohren mit Mica-Fenster der Dicke $1,9 \text{ mg/cm}^2$ durchgeführt. Die gemessene Probe war ein Teil der bestrahlten Folie von einer Größenordnung kleiner als $0,01 \text{ mg}$, wodurch eine „Punktquelle“ erhalten wurde.

Die Messungen wurden am Tage der Bestrahlung während 5 oder 6 Std durchgehend ausgeführt und in den folgenden 2 oder 3 Tagen alle 5 Std. In manchen Fällen wurde durchgehend während 60 Std nach der Bestrahlung gemessen mit Hilfe eines Integrators mit logarithmischem Verstärker [2] und Registrierer.

In allen Experimenten zeigte die Analyse der Zerfallskurve nur die drei vorhergesehenen Perioden. Die Zerfallskurven des Mg^{27} und Na^{24} wurden zum Bestrahlungsschluß extrapoliert, woraus sich die entsprechende Aktivität der beiden Nukleide in der bestrahlten Probe ergab. Für beide wurde hierauf die Sättigungsaktivität berechnet.

Um schließlich das Aktivitätsverhältnis bezüglich der verschiedenen β -Energien zu korrigieren, wurden die Faktoren von ZUMWALDT [3] benützt.

Wie jedoch wegen der Bestrahlungsenergien für die betrachteten Nukleide zu erwarten war, ergab das Produkt der Korrekturfaktoren einen Wert, der praktisch gleich 1 war. Es konnten also die Sättigungsaktivitäten direkt verglichen werden.

4. Ergebnisse

Mittels der bekannten Wirkungsquerschnitte für die Reaktion $\text{Al}^{27}(d, p\alpha)\text{Na}^{24}$ konnte nach (1) der Wirkungsquerschnitt für die Reaktion $\text{Al}^{27}(d, 2p)\text{Mg}^{27}$ bestimmt werden. Die Ergebnisse sind in

Tabelle 1 gegeben. Für jede Deuteronenergie wurden im Durchschnitt fünf Bestimmungen durchgeführt.

Als Fehler wurden die mittleren Abweichungen vom Mittelwert angegeben. Man sieht, daß die Werte, die den Energien 17,6 und 20,2 MeV entsprechen, einen viel größeren Fehler enthalten als

die anderen. Der Grund hierfür ist die Schwierigkeit, bei jedem Experiment die Bestrahlungsbedingungen exakt zu wiederholen, was bei diesen Energien besonders deutlich wird, da die Erregungsfunktion der Reaktion $\text{Al}^{27}(d, p\alpha)\text{Na}^{24}$ hier eine besonders ausgeprägte Steigung aufweist.

Tabelle 1

Energie der Deuteronen (MeV)	Wirkungsquerschnitt (mbarn)
28 \pm 0,5	12,5 \pm 0,2
26 \pm 0,5	15,9 \pm 0,2
20,2 \pm 0,5	26,6 \pm 1,8
17,6 \pm 0,5	22,4 \pm 1,5
15 \pm 0,5	14,7 \pm 0,5
10 \pm 1	Schwelle

5. Diskussion

Wie bereits in einer früheren Arbeit [4] festgestellt wurde, können Reaktionen der Art $(d, 2p)$ praktisch auf zwei verschiedene Weisen vor sich gehen: entweder wird das ganze Deuteron absorbiert, worauf der so gebildete Zwischenkern zwei Protonen verdampft (Wirkungsquerschnitt σ_I), oder es erfolgt Stripping. Die Stripping-Reaktion kann zur Bildung eines Zwischenkerns und anschließender Protonverdampfung führen (Wirkungsquerschnitt σ_{II}).

Die angenäherte Berechnung dieser Teilwirkungsquerschnitte kann gemäß den Formeln in [4] erfolgen, wenn man bei den jeweiligen Trennungsenergien dem Coulomb-Effekt für die verdampften Protonen Rechnung trägt, den Umstand berücksichtigt, daß sich bei Stripping das Proton des Deuterons dem Kern nur bis auf den Deuterondurchmesser d annähern muß und in die Verdampfungsintensitäten einen Konkurrenzfaktor einführt, der die relative Wahrscheinlichkeit für Protonemission angibt. Dieser Faktor ist größenordnungsmäßig durch

$$G_p \cong \frac{e^{-(B_p + S_p)/\vartheta}}{\sum e^{-(B_i + S_i)/\vartheta}} \quad (2)$$

gegeben, wo B_i die effektive Coulomb-Barriere für Protonen bzw. α -Teilchen bedeutet und B_n natürlich gleich Null ist. ϑ bezeichnet die Temperatur der maximalen Emissionsenergie ε :

$$\vartheta = \sqrt[3]{\varepsilon/a}, \quad (3)$$

wo die Konstante a durch die Niveaudichte des emittierenden Kerns bestimmt wird.

$$w(E) = c e^{2\sqrt{a}E}. \quad (4)$$

Vergleicht man den Wirkungsquerschnitt σ_{II} , der sich auf Deuteron-Stripping mit anschließender Protonverdampfung bezieht, mit den gemessenen Werten, so sieht man, daß schon dieser Wirkungsquerschnitt allein für die Energien 26 und 28 MeV der Deuteronen viel zu große

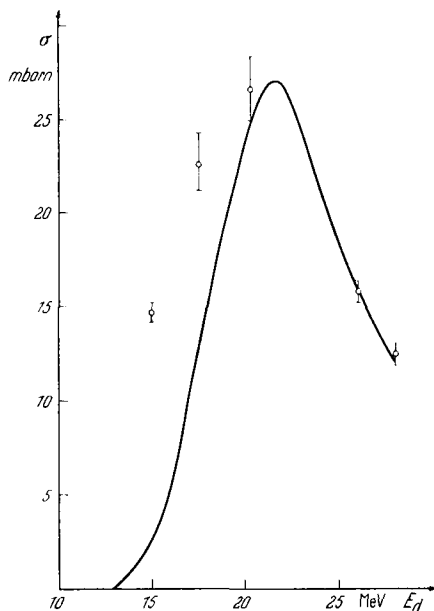


Fig. 1. Experimentelle Werte des Wirkungsquerschnitts der Reaktion $\text{Al}^{27}(d, 2p)\text{Mg}^{27}$ und theoretische Kurve für σ_I

Werte ergibt (etwa das Doppelte der gemessenen). Es erweist sich als unmöglich, bei Einbeziehung von σ_{II} das Abnehmen des gemessenen Wirkungsquerschnitts auf die angegebenen Werte zu erklären.

Es muß also der Wirkungsquerschnitt σ_I für Totalabsorption des Deuterons mit anschließender Verdampfung zweier Protonen angenähert den Gesamtwirkungsquerschnitt beschreiben. Mit der Konstantenwahl $a = 1,68$ in der Niveaudichte w (4) von Al^{28} und $a = 27$ in jener von Si^{29} erhält man die in Fig. 1 angegebene Kurve.

Ohne sich auf die quantitative Annäherung in diesem für die Kontinuumtheorie und das Verdampfungsmodell nicht sehr günstigen Fall zu sehr zu stützen, muß man aus dem verhältnismäßig raschen Abfall der gemessenen Werte den Schluß ziehen, daß sich die $(d, 2p)$ -Reaktion vorwiegend über Totalabsorption des Deuterons vollzieht. Nur bei diesem Reaktionsweg bleibt nämlich dem Endkern im Mittel genügend Anregungsenergie übrig, daß er durch Neutronemission die $(d, 2p)$ -Ausbeute entsprechend verringern kann.

Literatur

- [1] BATZEL, R. E., W. W. T. CRANE and G. D. O'KELLEY: Phys. Rev. **91**, 939 (1953). — [2] FRÄNZ, K.: Publ. Com. Nac. Energ. Atómica, Ser. Física **1**, No. 6 (1955). — [3] ZUMWALT, L. R.: A. E. C. U.-567, 1950. — [4] HITTMAIR, O.: Z. Physik (im Druck).