

02.58.25

Zeitschrift für Physik, Bd. 153, S. 314—316 (1958)

C. N. E. A. Biblioteca	
ARCHIVO PUBLICACIONES	
Nº 1	AÑO 1958

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

## **Ausbeute der Kernreaktion $\text{Ni}^{60}(d, 2n)\text{Cu}^{60}$**

Von

R. RADICELLA, J. RODRIGUEZ, G. B. BARÓ und O. HITTMAIR\*

Mit 1 Figur im Text

*(Eingegangen am 6. August 1958)*

\* Jetzt Atominstitut Wien.

Es wurde der totale Wirkungsquerschnitt der Reaktion  $\text{Ni}^{60}(d, 2n)\text{Cu}^{60}$  in einem Bereich von 9,0 bis 27,4 MeV bestimmt, indem die Sättigungsaktivität des  $\text{Cu}^{60}$  mit jener von  $\text{Na}^{24}$ , das durch dieselbe Bestrahlung mit bekanntem Wirkungsquerschnitt entsteht, verglichen wurde. Das Ergebnis wird in bezug auf den Reaktionsverlauf diskutiert. Angenäherte Übereinstimmung wird bei Zugrundelegen von Deuteron-Stripping erzielt.

### 1. Einleitung

Um Einsicht in den Ablauf von Deuteronreaktionen im Kontinuumbereich zu erhalten, wurde der totale Wirkungsquerschnitt der Reaktion  $\text{Ni}^{60}(d, 2n)\text{Cu}^{60}$  in einem Energiebereich von der Reaktionschwelle (9,0 MeV) bis 27,4 MeV gemessen. Zu diesem Zwecke wurde die Sättigungsaktivität des  $\text{Cu}^{60}$  mit derjenigen des  $\text{Na}^{24}$  verglichen, das sich durch die Reaktion  $\text{Al}^{27}(d, p\alpha)\text{Na}^{24}$  in der selben Bestrahlung gebildet hatte.

Bei der Bestrahlung von Nickel mit Deuteronen bilden sich alle Kupferisotope von 58 bis 64. Mehr als 90 min nach Bestrahlungsschluß zeigen sich jedoch nur mehr die Perioden von  $\text{Cu}^{60}$ ,  $\text{Cu}^{61}$  und  $\text{Cu}^{64}$ . Bei der selben Bestrahlung bildet sich aus Aluminium  $\text{Al}^{28}$ ,  $\text{Mg}^{27}$  und  $\text{Na}^{24}$ . Der Vergleich der Sättigungsaktivitäten von  $\text{Cu}^{60}$  und  $\text{Na}^{24}$  ergibt bei bekanntem  $\sigma(d, p\alpha)$ <sup>1</sup> den Wirkungsquerschnitt  $\sigma(d, 2n)$  ( $N$  bestrahlte Kerne)

$$\frac{A(\text{Cu}^{60})/N(\text{Ni}^{60})}{A(\text{Na}^{24})/N(\text{Al}^{27})} = \frac{\sigma(d, 2n)}{\sigma(d, p\alpha)}$$

$\text{Cu}^{60}$  kann sich auch durch die Reaktion  $\text{Ni}^{61}(d, 3n)\text{Cu}^{60}$  bilden. Da aber  $\text{Ni}^{61}$  nur eine Häufigkeit von 1,25 % hat, ist der dadurch hervorgerufene Aktivitätszuwachs vernachlässigbar.

In einer früheren Arbeit<sup>2</sup> wurde die Theorie dieser  $(d, 2n)$ -Reaktionen im Kontinuumbereich dargelegt. Von den beiden Fällen „Totalabsorption des Deuterons mit anschließender Verdampfung zweier Neutronen“ und „Deuteron-Stripping mit anschließender Neutronverdampfung“ gibt der Wirkungsquerschnitt des letzteren die beobachteten Werte einigermaßen wieder.

<sup>1</sup> BATZEL, R. E., W. W. T. CRANE u. G. D. O'KELLEY: Phys. Rev. **91**, 939 (1953).

<sup>2</sup> HITTMAIR, O.: Z. Physik **150**, 648 (1958).

## 2. Bestrahlungstechnik

In jedem Experiment wurde eine Aluminiumfolie von  $6,5 \text{ mg/cm}^2$  Dicke und eine Nickelfolie der Dicke  $18 \text{ mg/cm}^2$  zusammen bestrahlt, so daß der Deuteronenstrahl zuerst das Aluminium durchquerte. (Die Intensitätsverminderung des Strahls durch die Aluminiumfolie liegt unterhalb der Meßgenauigkeit.) Die Reinheit von Aluminium und Nickel wurde spektroskopisch überprüft. Für die Bestrahlung wurde der innere Deuteronenstrahl des Synchrozyklotrons der Comisión Nacional de la Energía Atómica in Buenos Aires verwendet. Der Strom betrug etwa  $1 \mu\text{A}$  und wurde während der jeweiligen Bestrahlungszeit (1 bis 3 min) konstant gehalten.

## 3. Chemische Trennung

Ein größeres Stück der bestrahlten Nickelfolie wurde in heißer konzentrierter Salpetersäure aufgelöst. Negative Ionen wurden entfernt und  $\text{CuS}$  in 5%iger Salzsäure in Gegenwart von  $10 \text{ mg Cu}^{++}$ ,  $10 \text{ mg Zn}^{++}$  und  $10 \text{ mg Co}^{++}$  ausgefällt. Hierauf wurde der Kupfersulfidniederschlag in  $\text{HCl}$  und  $\text{Br}_2$  aufgelöst und  $\text{Fe}(\text{HO})_3$  nach Beifügen von  $5 \text{ mg Fe}^{+++}$  ausgefällt. Hierauf wurde neuerdings  $\text{CuS}$  in 5%iger Salzsäure ausgefällt mit  $\text{Ni}$ ,  $\text{Co}$  und  $\text{Zn}$  als Rückhalteträgern.

Der chemische Reaktionsgang wurde durch Indikatoren überprüft und es wurde nachgewiesen, daß sich das Kupfer unter diesen Bedingungen quantitativ ausfällt und die erhaltenen Aktivitäten nur von den  $\text{Cu}$ -Isotopen stammten.

Die Trennung des  $\text{Na}^{24}$  ist nicht nötig (s. Abschn. 4).

## 4. Meßtechnik

Die Aktivitätsmessungen der Nukleide wurden mit Geiger-Mueller-Zählrohren mit Mica-Fenstern der Dicke  $1,9 \text{ mg/cm}^2$  durchgeführt. Die Messung der Aktivität des  $\text{Cu}$  vollzog sich am  $\text{CuS}$ -Niederschlag, der eine Fläche von  $3,8 \text{ cm}^2$  mit  $4 \text{ mg/cm}^2$  Dicke auf einem Kolloidfilter der Dicke  $5,5 \text{ mg/cm}^2$  bedeckte. Dieser war auf einen Luzitträger geklebt. Um die Aktivität einer Punktquelle ohne Träger anzunähern und anschließend Korrekturfaktoren (bezüglich der  $\beta$ -Energien) zu verwenden, wurde ein Konversionsfaktor bestimmt, der für  $\text{Cu}^{60}$   $1,04$  ergab.

Die Aktivität des  $\text{Na}^{24}$  wurde in einem Teil der bestrahlten Aluminiumfolie von  $6,5 \text{ mg/cm}^2$  Dicke und 3 bis 5 mg Gewicht gemessen. Es wurde damit nach genügend langer Zeit begonnen, um den gänzlichen Zerfall von  $\text{Al}^{28}$  und  $\text{Mg}^{27}$ , die sich während der Bestrahlung gebildet hatten, zu sichern. Während 4 bis 5 Tagen wurden täglich drei Messungen ausgeführt. Mit Extrapolation zum Bestrahlungsschluß wurde hierauf die Sättigungsaktivität festgestellt.

Die Messungen am  $\text{CuS}$ -Niederschlag erfolgten während 10 bis 11 Std am Bestrahlungstag ohne Unterbrechung, jede halbe Stunde am folgenden und alle 5 bis 6 Std während zwei weiterer Tage. In allen Versuchen zeigte die Analyse der Zerfallskurve nur die Perioden 24 min, 3,3 Std und 12,8 Std. Die Zerfallskurve von  $\text{Cu}^{60}$  wurde zum Bestrahlungsschluß extrapoliert und seine Sättigungsaktivität bestimmt. Um bezüglich der drei verschiedenen  $\beta$ -Energien in den beobachteten Aktivitäten zu korrigieren, wurden die Faktoren von ZUMWALT<sup>3</sup> benützt.

## 5. Ergebnis und Diskussion

Wenn man gemäß <sup>2</sup> den  $(d, 2n)$ -Wirkungsquerschnitt unter Zugrundelegung von Deuteron-Stripping berechnet [in Formel (10) ist bei  $2\varrho \gamma$  natürlich jeweils  $\cos \varphi$  zu ergänzen], ergibt sich die in Fig. 1

<sup>3</sup> ZUMWALT, L. R.: A. E. C. U. 567 (1950).

mit  $a$  bezeichnete Kurve. Der Kernradius von Nickel ist dabei mit  $5,1 \cdot 10^{-13}$  cm angenommen und die Konstante  $a$  in der Niveaudichte von  $\text{Cu}^{60}$ ,  $\text{Cu}^{61}$  und  $\text{Cu}^{62}$  wie üblich gleich 2 gesetzt. Wie man sieht, ergibt die Kurve angenähert die experimentellen Werte.

Die Kurve  $b$  ist das fünffach verkleinerte Ergebnis für den Wirkungsquerschnitt bei Reaktionsverlauf über Deuterontotalabsorption. Diese

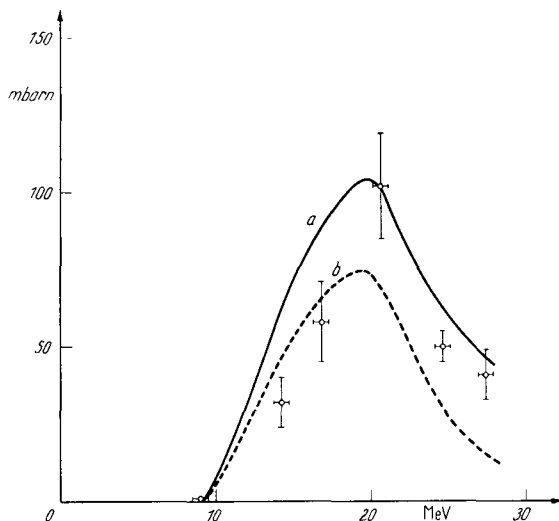


Fig. 1. Experimentelle Werte des Wirkungsquerschnitts der Reaktion  $\text{Ni}^{60}(d, 2n)\text{Cu}^{60}$ .  $a$  Theoretische Werte für Reaktionsverlauf über Deuteron-Stripping;  $b$  5fach verkleinerte Kurve für Reaktionsverlauf über Deuterontotalabsorption

Kurve weicht also nicht nur um ein Vielfaches von den beobachteten Werten ab, sondern gibt sie auch in ihrem relativen Verlauf schlecht wieder.

Es scheint also für die beobachtete Reaktion der bevorzugte Weg über Deuteron-Stripping zu führen. Schwer zu erklären ist dabei die drastische Reduktion des Wirkungsquerschnitts für Reaktionsverlauf über Deuteronabsorption. Vom Standpunkt der Zwischenkernbildung kann es sich dabei nur um eine kleine Neutron-Partikelbreite  $I_n$  gegenüber der Gesamtbreite  $I'$  in den Kernen  $\text{Cu}^{62}$  und  $\text{Cu}^{61}$  handeln, die ja auch besonders hohe Neutronbindungsenergien aufweisen. Etwas verkleinert wird dabei wohl auch die Kurve  $a$ , auf die sich dann der Rest von  $b$  überlagert\*. Korrekturen durch direkten Reaktionsverlauf [Striping mit direktem  $(p, n)$ -Austausch] dürften das Ergebnis nicht wesentlich ändern.

\* *Anmerkung bei der Korrektur:* Bei Gleichsetzung der Neutron-Verzweigungsverhältnisse von  $\text{Cu}^{61}$  und  $\text{Cu}^{62}$  ergibt die Summe der beiden Wirkungsquerschnitte die beste Anpassung bei  $G_n = 0,38$ , was der Tatsache entspricht, daß beide Isotope Positronenstrahler sind.