

Die Winkelverteilung der  $\alpha$ -Teilchen  
aus der Reaktion  $^{64}\text{Zn}(n,\alpha_0)^{61}\text{Ni}$   
mit 14,9 MeV-Neutronen

K. SCHENK und G. STAUDT

Physikalisches Institut der Universität Tübingen

(Z. Naturforsch. **24 a**, 2019—2020 [1969]; eingeg. am 16. Oktober 1969)

Die  $n\alpha$ -Reaktion, ausgelöst durch ca. 14 MeV-Neutronen, verläuft im Gebiet mittelschwerer Kerne im wesentlichen als Compound-Prozeß; man erhält Verdampfungsspektren und Winkelverteilungen, die um  $90^\circ$  symmetrisch sind <sup>1, 2</sup>.

Winkelverteilungen für einzelne Übergänge zu niedrig liegenden Restkernniveaus wurden bei mittelschweren Kernen bisher nicht untersucht. Im folgenden wird über eine Messung der Winkelverteilung der Reaktion  $^{64}\text{Zn}(n,\alpha_0)^{61}\text{Ni}$  berichtet. Den Versuchsaufbau zeigt Abb. 1. Die Neutronen wurden an einem Van de Graaff-Generator mit Hilfe der  $^3\text{H}(d,n)^4\text{He}$ -Reaktion erzeugt.

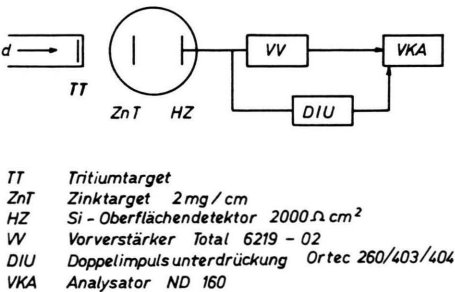


Abb. 1. Versuchsaufbau.

Die Neutronenquellstärke betrug etwa  $10^9 \text{ s}^{-1}$ . Das freitragende Zn-Target und der Halbleiter-Detektor waren in einer Aluminiumkammer unter  $0^\circ$  zur Deuteronenrichtung untergebracht. Target und Detektor hatten einen effektiven Durchmesser von 8 mm. Der Abstand Neutronenquelle-Detektor war fest eingestellt (72 mm), der Abstand Target-Detektor konnte über 25 mm hinweg verändert werden.

Die Impulse wurden über einen Vorverstärker einem Vielkanalanalysator zugeführt, eine Seitenzweigeinheit sorgte für eine Doppelimpulsunterdrückung. Als Neutronenmonitor diente ein Long counter. Zur Kontrolle wurden außerdem die vom Halbleiterzähler registrierten  $n\alpha_0$ -Übergänge von  $^{28}\text{Si}$  ( $Q = -2,66 \text{ MeV}$ ) und  $^{29}\text{Si}$  ( $Q = -0,04 \text{ MeV}$ ) mit ausgewertet. Eine Absolutmessung des Neutronenflusses erfolgte mit einem Zählerteleskop und einem  $^4\text{He}$ -Gastarget <sup>3</sup>. Es wurden die Ereignisse aus der elastischen  $n\text{-}^4\text{He}$ -Streuung gemessen und der differentielle Wirkungsquerschnitt für diesen Prozeß aus den Streuphasen von HOOP und BAR-SCHALL <sup>4</sup> berechnet.

Sonderdruckanforderungen an Dr. G. STAUDT, Physikalisches Institut der Universität Tübingen, D-7400 Tübingen, Gmelinstraße 6.

<sup>1</sup> M. BORMANN u. H. NEUERT, Fortschr. Phys. **11**, 277 [1963].  
<sup>2</sup> N. CINDRO, Rev. Mod. Phys. **38**, 391 [1966].

Es wurden nun für 8 verschiedene Abstände Zn-Target-Detektor im Bereich zwischen  $d = 4 \text{ mm}$  und  $d = 28 \text{ mm}$  die Energiespektren gemessen. Abbildung 2 zeigt das aus der Addition der Einzelspektren gewonnene Gesamtspektrum. Der Untergrund ist abgezogen; er wurde aus Messungen ohne Zn-Target gewonnen. Der  $Q$ -Wert für den  $^{64}\text{Zn}(n,\alpha_0)^{61}\text{Ni}$ -Prozeß beträgt  $+3,783 \text{ MeV}$ ; es sind alle Ereignisse mit  $Q > +1 \text{ MeV}$  aufgetragen. Der Restkern  $^{61}\text{Ni}$  besitzt dicht über dem Grundzustand einige tiefliegende Niveaus, die im vorliegenden Experiment nicht aufgelöst werden konnten (Tab. 1). Der in Abb. 2 markierte Bereich, der für die

$E/\text{MeV}$	$l$	$J^\pi$
0	1	$3/2^-$
0,07	3	$5/2^-$
0,29	1	$1/2^-$
0,65	1	$1/2^-$

Tab. 1. Die unteren Niveaus in  $^{61}\text{Ni}$ .

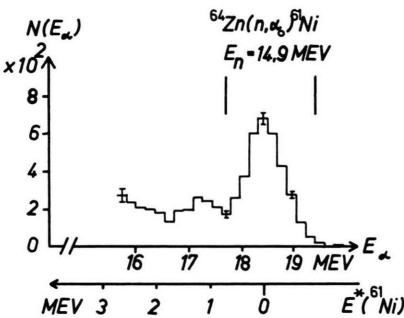


Abb. 2. Energiespektrum der  $\alpha$ -Teilchen aus der Reaktion  $^{64}\text{Zn}(n,\alpha)^{61}\text{Ni}$  mit  $Q > +1 \text{ MeV}$ .

Winkelverteilung ausgewertet wurde, enthält somit neben dem  $n\alpha_0$ -Übergang auch Anteile aus Übergängen zu den benachbarten Niveaus. In diesem Bereich wurden insgesamt 3500 echte Ereignisse gegenüber 650 Untergrundereignissen registriert.

Aus den Ereigniszahlen, die bei den 8 verschiedenen Abständen  $d$  zwischen Target und Detektor registriert wurden, läßt sich nach einem erstmals von CUZZOCREA et al. <sup>5</sup> angegebenen Verfahren die Winkelverteilung in Vorwärtsrichtung berechnen: man unterteilt dazu den größten vorkommenden Reaktionswinkel in gleichgroße Intervalle  $\Delta\theta$  und berechnet für jeden Abstand  $d$  die Raumwinkelgewichte  $\Omega_{d,k}$  für die  $k$  Winkelintervalle  $\Delta\theta_k$ . Die beobachtete Teilchenzahl beim Abstand  $d$  (normiert auf konstante Neutronenzahl) läßt sich dann schreiben

$$Y_d \sim \sum \Omega_{d,k} \cdot (\overline{d\sigma}/d\Omega)|_{\Delta\theta_k}$$

Dabei ist  $(\overline{d\sigma}/d\Omega)|_{\Delta\theta_k}$  der über das  $k$ -te Winkelintervall gemittelte differentielle Wirkungsquerschnitt. Aus

<sup>3</sup> M. BRENDLE, M. MÖRIKE, G. STAUDT u. G. STEIDLE, Z. Naturforsch. **23 a**, 1229 [1968].  
<sup>4</sup> B. HOOP u. H. H. BAR-SCHALL, Nucl. Phys. **83**, 65 [1966].  
<sup>5</sup> P. CUZZOCREA, S. NOTARRIGO u. A. RUBBINO, Nucl. Phys. **55**, 364 [1964].



Dieses Werk wurde im Jahr 2013 vom Verlag Zeitschrift für Naturforschung in Zusammenarbeit mit der Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften e.V. digitalisiert und unter folgender Lizenz veröffentlicht: Creative Commons Namensnennung-Keine Bearbeitung 3.0 Deutschland Lizenz.

Zum 01.01.2015 ist eine Anpassung der Lizenzbedingungen (Entfall der Creative Commons Lizenzbedingung „Keine Bearbeitung“) beabsichtigt, um eine Nachnutzung auch im Rahmen zukünftiger wissenschaftlicher Nutzungsformen zu ermöglichen.

This work has been digitalized and published in 2013 by Verlag Zeitschrift für Naturforschung in cooperation with the Max Planck Society for the Advancement of Science under a Creative Commons Attribution-NoDerivs 3.0 Germany License.

On 01.01.2015 it is planned to change the License Conditions (the removal of the Creative Commons License condition "no derivative works"). This is to allow reuse in the area of future scientific usage.

	$r_{0c}$ fm	$V$ MeV	$r_0$ fm	$a$ fm	$W$ MeV	$W'$ MeV	$r_0'$ fm	$a'$ fm	$V_s$ MeV	$W_s$ MeV	Zitat
$n$	1,32	43	1,32	0,66	0	7,2	1,32	0,48	0	0	HODGSON <sup>9</sup>
	1,25	44,5	1,25	0,65	0	23	1,25	0,70	5,5	0	ROSEN <sup>10</sup>
$\alpha$	1,4	183,7	1,4	0,564	26,6	0	1,4	0,564	0	0	BOCK <sup>11</sup>

Tab. 2. Optische Potentiale für n- und  $\alpha$ -Streuung.

Es wurden die Bezeichnungen wie bei BASSEL, DRISKO und SATCHLER<sup>8</sup> verwendet.

den Messungen bei den 8 Abständen ergibt sich damit ein Gleichungssystem von 8 Gleichungen. Aus der Umkehrung dieses Systems lassen sich dann die gesuchten  $(d\sigma/d\Omega)|_{\Delta\theta_k}$  bestimmen.

Die Raumwinkelgewichte können bei der verwendeten Geometrie und bei Annahme parallelen Neutroneneinfalls analytisch berechnet werden<sup>5</sup>. Bei der vorliegenden Auswertung wurde auf diese Annahme verzichtet und eine flächenhafte Neutronenquelle zugrunde gelegt. Die Berechnung der Gewichte  $\Omega_{d,k}$  erfolgte dann mit einem Monte-Carlo-Verfahren. Gegenüber dem analytisch berechenbaren Fall ergeben sich merkbare Abweichungen nur bei größeren Winkeln.

Das Ergebnis dieser Messungen in Vorwärtsrichtung ( $0^\circ - 60^\circ$ ) ist zusammen mit zwei davon unabhängigen Messungen unter  $90^\circ$  und  $180^\circ$  in Abb. 3 aufgetragen. Die beobachtete Winkelverteilung hat ein ausgeprägtes Maximum in Vorwärtsrichtung und besitzt somit keine Ähnlichkeit mit der Winkelverteilung aus dem Verdampfungsspektrum des  $^{64}\text{Zn}(n,\alpha)^{61}\text{Ni}$ -Prozesses<sup>6,7</sup>. Die Form der Verteilung ist charakteristisch für einen direkten Prozeß.

Es wurde deshalb eine DWBA-Rechnung mit dem Programm JULIE von BASSEL, DRISKO und SATCHLER<sup>8</sup> unter Zugrundelegung eines pick-up-Mechanismus durchgeführt. Die verwendeten Optischen Potentiale sind in Tab. 2 zusammengestellt. Das Ergebnis der Rechnung ist für den Grundzustandsübergang in Abb. 3 mit eingezeichnet. Eine weitere Rechnung unter Berücksichtigung der drei benachbarten Übergänge lieferte eine Winkelverteilung von ähnlicher Form. Als Spektroskopische Faktoren wurden dabei die Werte aus den Neutron-Transfer-Reaktionen  $^{62}\text{Ni}(d,t)^{61}\text{Ni}$  und  $^{62}\text{Ni}(p,d)^{61}\text{Ni}$  verwendet<sup>12,13</sup>. Die Spektroskopischen Faktoren sollten vergleichbar sein, da sich  $^{64}\text{Zn}$  und  $^{62}\text{Ni}$  nur durch das bei der  $(n,\alpha)$ -Reaktion zusätzlich transferierte Protonenpaar über der abgeschlossenen f 7/2-Schale unterscheiden.

Aus dem Vergleich von Messung und Rechnung (Abb. 3) folgt, daß die gemessene Winkelverteilung mit der aus der DWBA-Theorie gewonnenen verträglich ist. Diese Aussage ist in Übereinstimmung mit dem Ergebnis einer Messung von SPIRA und ROBSON<sup>14</sup>. Diese Autoren untersuchten die Grundzustandsüber-

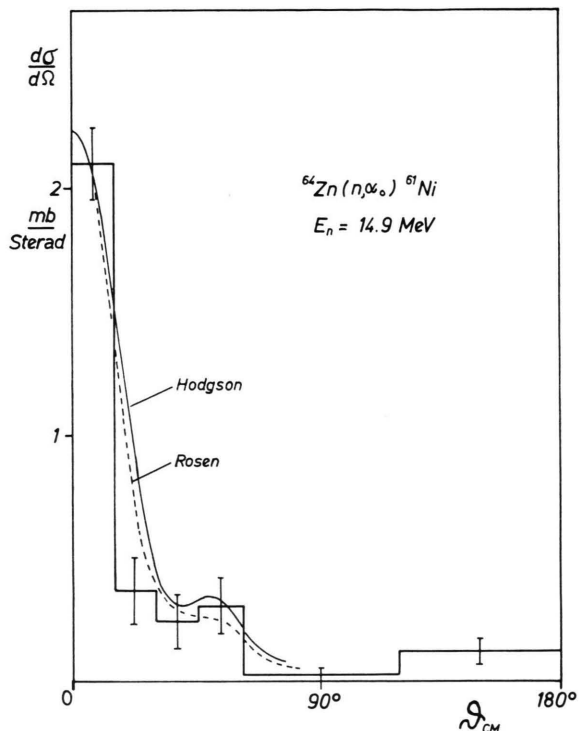


Abb. 3. Winkelverteilung der  $\alpha$ -Teilchen aus dem Übergang  $^{64}\text{Zn}(n,\alpha_0)^{61}\text{Ni}$ . Die Kurven wurden mit einer DWBA-Rechnung gewonnen.

gänge von  $n\alpha$ -Reaktionen im Massenbereich von  $A=47$  bis  $A=64$  in Vorwärtsrichtung. Sie fanden eine Abhängigkeit des differentiellen Wirkungsquerschnittes unter  $0^\circ$  von der Massenzahl, die sich nicht mit der Hauser-Feshbach-Theorie, wohl aber mit einem pick-up-Modell beschreiben läßt.

Herrn Prof. Dr. H. KRÜGER danken wir für die Förderung dieser Arbeit, Herrn Dr. R. SANTO, Heidelberg, für die Hilfe bei der DWBA-Rechnung. Die Untersuchung wurde vom Bundesministerium für wissenschaftliche Forschung finanziell unterstützt.

<sup>6</sup> M. IRFAN u. W. JACK, Proc. Phys. Soc. London **81**, 808 [1963].

<sup>7</sup> M. BORMANN, F. DREYER, U. SEEBECK u. W. VOIGTS, Z. Naturforsch. **21a**, 988 [1966].

<sup>8</sup> R. H. BASSEL, R. M. DRISKO u. G. R. SATCHLER, ORNL-3240.

<sup>9</sup> D. WILMORE u. P. E. HODGSON, Nucl. Phys. **55**, 676 [1964].

<sup>10</sup> L. ROSEN, Proc. of the Antwerp Conf. 1965, p. 379.

<sup>11</sup> R. BOCK, P. DAVID, H. H. DUHM, H. HEFELE, U. LYNEN u. R. STOCK, Nucl. Phys. A **92**, 539 [1967].

<sup>12</sup> R. H. FULMER u. W. W. DAHEINICK, Phys. Rev. **139**, B 579 [1965].

<sup>13</sup> R. SHERR, B. F. BAYMAN, E. ROST, M. E. RICKEY u. C. G. HOOT, Phys. Rev. **139**, B 1272 [1965].

<sup>14</sup> C. SPIRA u. J. M. ROBSON, Nucl. Phys. A **127**, 81 [1969].