

Messungen von Winkelverteilungen der Reaktion $N^{14}(d, \alpha)C^{12}$

H. EURINGER, H. NEUERT und H. SCHÖLERMANN

Physikalisches Staatsinstitut der Universität Hamburg, I. Institut für Experimentalphysik

(Z. Naturforsch. 21 a, 977—979 [1966]; eingegangen am 7. März 1966)

Professor Dr. W. GENTNER zum 60. Geburtstag gewidmet

Winkelverteilungen der Reaktion $N^{14}(d, \alpha)C^{12}$ wurden im Energiebereich 0,5 bis 2,2 MeV bei neun verschiedenen Deuteronenenergien gemessen. Die gewonnenen Meßwerte wurden durch LEGENDRE-Polynome approximiert. Die Analyse weist auf die Existenz von mindestens 3 Niveaus hin.

Die Reaktion $N^{14}(d, \alpha)C^{12}$ ist in den letzten Jahren wiederholt Gegenstand der Messungen verschiedener Autoren gewesen. Im Vordergrund der Untersuchungen stand die Frage, ob die Reaktion bei niedrigen Deuteronenenergien über einen direkten Prozeß verläuft oder ob ein Compound-Mechanismus vorliegt.

Messungen von Hu¹ bei 11 MeV Deuteronenenergie und von GIBSON und THOMAS² bei 8 MeV haben gezeigt, daß in diesem Energiebereich die Winkelverteilungen eine Struktur haben, die auf einen starken Beitrag direkter Wechselwirkungsprozesse hindeutet. Hingegen zeigen die Arbeiten von BOOTH et al.³ und von JONES et al.⁴ und von ISHIMATSU⁵, daß im Energiebereich unter 3 MeV der Prozeß dem Anschein nach über einen Compound-Mechanismus verläuft.

Messungen

Die Messungen im Energiebereich der Deuteronen bis 1,3 MeV wurden am 1,5-MeV-VAN DE GRAAFF-Generator des hiesigen Institutes durchgeführt. Zum Nachweis der α -Teilchen dienten Tl-aktivierte CsJ-Kristalle von 1 mm Dicke mit nachgeschalteten Multipliern vom Typ Valvo 50 AVP. Die Trennung der α -Teilchen vom Protonenuntergrund erfolgte über Pulse-Shape-Diskriminierung im CsJ.

Als Target wurde eine 59,4 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ dicke Melaminschicht ($C_3N_6H_6$) benutzt, die auf eine 1 μ Nickelfolie aufgedampft war. Zwischen Target und Zähler wurden Raumwinkelfilter nach CONRAD⁶ gebracht. Diese Filter wirken wie ein Blendensystem, das für verschiedene Bereiche des ausgedehnten Targetbrennflecks immer einen nach Richtung und Größe gleichen Raumwinkel

für die emittierten Teilchen ausblendet. Die Winkelverteilungskammer gestattete Messungen unter 5 verschiedenen Winkeln.

Die Messungen im Energiebereich von 1,3 MeV bis 2,2 MeV wurden am 3,5-MeV-Generator in Hamburg-Bahrenfeld vorgenommen. Zur Registrierung der auftretenden α -Teilchen wurde die Kernfotoplatte-Methode benutzt. Diese Methode hat neben guter Energieauflösung und Teilchendiskriminierung noch den Vorteil, daß unter allen Winkeln gleichzeitig gemessen wird. Zeitliche Schwankungen des Deuteronenstrahls oder Veränderung des Targets während des Beschusses machen sich im differentiellen Wirkungsquerschnitt nicht bemerkbar. Als Targetsubstanz wurde wiederum Melamin benutzt. Zum Nachweis der α -Teilchen dienten 45 \times 35 mm große Fotoplatten (Ilford K 1). Die Dicke der Emulsion betrug 100 μ .

Ergebnisse

Die Abb. 1 zeigt die gemessenen Winkelverteilungen im Schwerpunktssystem. Die Meßpunkte sind mit ihren statistischen Fehlern eingezeichnet. Die Winkelverteilungen sind im gesamten Energiebereich asymmetrisch mit einer Bevorzugung der Vorwärtsrichtung. Im unteren Energiebereich haben die Verteilungen ein Minimum bei etwa 120°. Bei Energien oberhalb 1,5 MeV Deuteronenenergie verschiebt sich das Minimum zu kleineren Winkeln und liegt bei 2,2 MeV bei etwa 80°.

Die Winkelverteilungen wurden in der Form $W(\vartheta) = 1 + A_1 P_1 + A_2 P_2 + A_3 P_3 \dots$ durch eine Entwicklung nach LEGENDRE-Polynomen approximiert, und zwar wurde nacheinander eine Angleichung durch eine Polynomentwicklung zweiten bis maximal

¹ C. HU, J. Phys. Soc. Japan **15**, 1741 [1960].

² W. M. GIBSON u. E. E. THOMAS, Proc. Roy. Soc. London A **210**, 543 [1951].

³ D. L. BOOTH, F. V. PRICE, D. ROAF u. G. L. SALOMON, Proc. Phys. Soc. London **71**, 325 [1958].

⁴ K. W. JONES, W. WATERS u. W. ROUT, Nucl. Phys. **26**, 203 [1961].

⁵ T. ISHIMATSU, J. Phys. Soc. Japan **16**, 1529 [1961].

⁶ B. CONRAD, Nucl. Instr. & Methods **14**, (No. 1) 41 [1961].



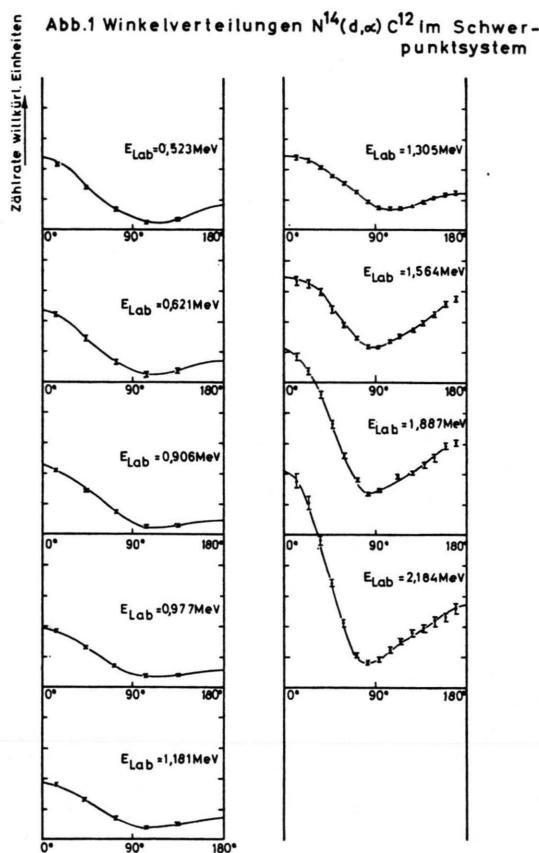


Abb. 1. Winkelverteilungen $N^{14}(d, \alpha) C^{12}$ im Schwerpunktssystem.

fünften Grades vorgenommen. Es zeigte sich, daß im Energiebereich bis etwa 1,5 MeV bereits eine Entwicklung bis zum zweiten Grade eine gute Approximation ergab. Im Bereich oberhalb von 1,5 MeV mußte eine Approximation bis zum dritten Polynomgrad vorgenommen werden. Die nachfolgende Tabelle gibt eine Zusammenstellung der Entwicklungskoeffizienten mit ihren Fehlern an.

E_{Lab} MeV	A_1	A_2	A_3
0,523	$0,996 \pm 0,016$	$1,128 \pm 0,017$	—
0,621	$1,095 \pm 0,010$	$1,038 \pm 0,011$	—
0,906	$1,153 \pm 0,009$	$0,837 \pm 0,011$	—
0,998	$0,879 \pm 0,008$	$0,652 \pm 0,010$	—
1,181	$0,739 \pm 0,012$	$0,717 \pm 0,014$	—
1,305	$0,525 \pm 0,01$	$0,544 \pm 0,02$	—
1,564	$0,210 \pm 0,06$	$0,709 \pm 0,02$	$0,006 \pm 0,02$
1,887	$0,455 \pm 0,08$	$0,839 \pm 0,03$	$0,162 \pm 0,03$
2,184	$0,661 \pm 0,11$	$1,231 \pm 0,06$	$0,432 \pm 0,04$

Tab. 1. Entwicklungskoeffizienten der Winkelverteilungen.

⁷ D. M. STANOJEVIĆ, N. R. BEROVIĆ u. F. M. BORELI, Nucl. Phys. 61, 235 [1965].

Diskussion

Die gute Approximation der gemessenen Winkelverteilungen durch LEGENDRE-Polynome niedrigen Grades weist auf einen Reaktionsmechanismus hin, bei dem der hoch angeregte Compoundkern O^{16} gebildet wird.

Die Asymmetrie der Winkelverteilungen läßt sich im Prinzip durch Interferenzen verschiedener, sich überlagernder Niveaus im Zwischenkern erklären (s. STANOJEVIĆ et al.⁷). Allerdings lassen die bisherigen Messungen — es fehlen vor allen Dingen sehr genaue Messungen der Anregungsfunktion — noch keine exakte Berechnung des Problems zu, da über die Lage und Breite der im Compoundkern gebildeten Niveaus kaum Aussagen zu machen sind. Erschwerend kommt hinzu, daß wegen der Größe des Kanalspins im Eingangskanal, S ist ≤ 2 , die einzelnen Niveaus jeweils mit mehreren Bahndrehimpulsen gebildet werden können, was zur Unübersichtlichkeit des Problems beiträgt. Dennoch kann man über Spin und Parität der im Compoundkern gebildeten Niveaus, setzt man einen Formalismus voraus, wie er von DEVONS und GOLDFARB⁸ entwickelt worden ist, einige Aussagen machen.

Zunächst einmal folgt aus dem Satz von der Erhaltung der Parität und der Erhaltung des Drehimpulses eine wichtige Einschränkung der möglichen Niveaus.

Sei l_1 der Bahndrehimpuls im Eingangskanal, l_2 der im Ausgangskanal und sei mit π die Parität der einzelnen Reaktionspartner gemeint, dann gilt:

$$\pi_d \cdot \pi_{N^{14}} (-1)^{l_1} = \pi_{O^{16}} = \pi_a \cdot \pi_{C^{12}} (-1)^{l_2}$$

wegen $\pi_d = \pi_{N^{14}} = \pi_a = \pi_{C^{12}} = +$
folgt:

Niveaus, die mit geraden Bahndrehimpulsen gebildet werden, zerfallen auch mit geraden Bahndrehimpulsen und haben gerade Parität.

Da nun der Spin des α -Teilchens sowie der Spin des Grundzustandes des C^{12} Null ist, folgt:

Der Spin des Compoundkernniveaus ist gleich dem Bahndrehimpuls des Ausgangskanals.

Gemäß obigen Aussagen können nur Niveaus der Art $0^+, 2^+, 4^+, 6^+, \dots$ und $1^-, 3^-, 5^-, \dots$ auftreten.

Nun schränkt weiter die rasche Abnahme der Wechselwirkungswahrscheinlichkeit der Reaktionspartner mit der Bahndrehimpuls-Quantenzahl im

⁸ S. DEVONS u. L. GOLDFARB, Handbuch der Physik, Kernreaktionen III, Springer-Verlag, Berlin 1957.

Eingangskanal die Größe der möglichen Spinquantenzahlen im Compoundkern ein. Eine Berechnung der Eindringwahrscheinlichkeit ergab, daß für Einschüßenergien unterhalb 2,5 MeV Teilchen mit einem Bahndrehimpuls > 2 im Eingangskanal außerordentlich unwahrscheinlich sind.

Für den Ausgangskanal gibt es wegen des hohen Q -Wertes der Reaktion keine solche starke Einschränkung.

Betrachten wir in diesem Zusammenhang noch einmal die möglichen Spinquantenzahlen im Compoundkern, so folgt mit der Beschränkung des Bahndrehimpulses auf Werte ≤ 2 und weil der Kanalspin ≤ 2 ist, daß die Spinquantenzahlen der gebildeten Niveaus unter diesen Voraussetzungen maximal den Wert 4 annehmen können. Es bleiben als wahrscheinliche Werte nur noch die Niveaus 0^+ , 2^+ , 4^+ und 1^- , 3^- nach. Setzen wir jetzt einen reinen Compoundmechanismus ohne Beimischung von direkten Prozessen voraus, so folgt aus der Asymmetrie der Winkelverteilungen, daß wir Interferenzen von Niveaus unterschiedlicher Parität haben.

Unter der vereinfachenden Annahme, daß sich jeweils nur zwei benachbarte Niveaus überlagern und Interferenzanteile bilden, läßt sich die Two-Level-Formel von DEVONS und GOLDFARB zu Aussagen heranziehen.

Betrachten wir zunächst den Verlauf der Entwicklungskoeffizienten im Energiebereich unterhalb 1,4 MeV, s. Abb. 2. Hier ist als einziger ungerader Koeffizient A_1 vorhanden.

Eine Berechnung der Z-Koeffizienten der Two-Level-Formel für alle wahrscheinlichen Bahndrehimpuls- und Kanalspin-Quantenzahlen ergibt, daß nur Interferenzen der Niveaus 0^+ und 1^- das Auftreten des Entwicklungskoeffizienten A_1 bei gleichzeitiger Abwesenheit von höheren, ungeraden Entwicklungskoeffizienten erklären können.

Im Bereich oberhalb 1,4 MeV erscheint der Entwicklungskoeffizient A_3 . Der Koeffizient A_1 bleibt auch in diesem Bereich $\neq 0$ und nimmt nach Durchlaufen eines Minimums mit wachsender Energie wieder stark zu. Das Erscheinen von A_3 läßt sich nun nicht mehr durch Interferenzen der Niveaus 0^+ und 1^- allein erklären. Wir müssen im höheren Energiebereich mit einem weiteren Niveau rechnen, dessen Interferenz mit dem Niveau 0^+ oder 1^- den Verlauf der Koeffizienten A_1 und A_3 bedingt. Eine Berechnung der Z-Koeffizienten zeigt, daß lediglich Interferenzen zwischen 1^- und 2^+ in Übereinstimmung mit den Meßergebnissen sind. Man wird also im Energiebereich oberhalb 1,5 MeV Einschüßenergie der Deuteronen, das entspricht einer Anregungsenergie von etwa 22 MeV im Compoundkern, noch ein Niveau 2^+ annehmen müssen, so daß insgesamt eine Niveaufolge $0^+ 1^- 2^+$ für den Compoundkern zu vermuten ist. Über die genaue Lage sowie über die Breiten der Niveaus lassen sich aus diesen Messungen keine Aussagen machen.

Der Deutschen Forschungsgemeinschaft und dem Bundesministerium für wissenschaftliche Forschung sind wir für die Unterstützung dieser Untersuchungen zu Dank verpflichtet.

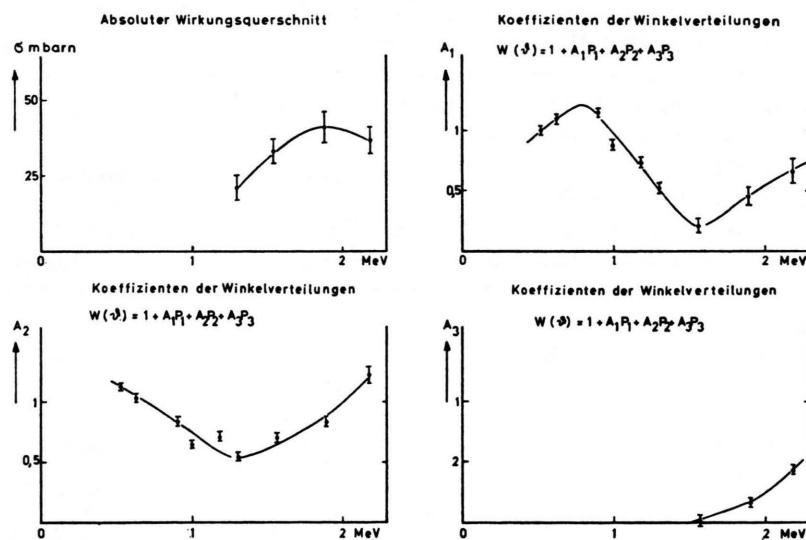


Abb. 2.