Zeitschrift: Helvetica Physica Acta

Band: 26 (1953)

Heft: V

Artikel: Totale Wirkungsquerschnitte der Elemente N, Na, Al und Si für

Neutronen von 1,9-3,8 MeV

Autor: Meier, R. / Ricamo, R. / Scherrer, P. DOI: https://doi.org/10.5169/seals-112423

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 29.11.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Totale Wirkungsquerschnitte der Elemente N, Na, Al und Si für Neutronen von 1,9—3,8 MeV

von R. Meier, R. Ricamo, P. Scherrer und W. Züntí Physikalisches Institut der ETH., Zürich.

(11. VI. 53.)

Summary: Total neutron cross sections of the elements N, Na, Al, and Si have been measured by means of transmission experiments in the range 1,9 to 3,8 MeV. Monoenergetic neutrons are obtained from the D—D reaction in a thin heavy-ice target with a spread in energy between 20 und 50 KeV. Many new excited levels of N¹⁵, Na²⁴, Al²⁸ and Si²⁹ are found. A level in N¹⁵, excited with 2,25 MeV neutrons, has been analysed and is proposed to be a J=1/2, odd parity state.

1. Einleitung.

Der totale Wirkungsquerschnitt von Sauerstoff wurde in einer früheren Arbeit von RICAMO und ZÜNTI¹) aus einer Differenzmessung zwischen BeO und Be gewonnen. Die Verwendung dieses Metalls als chemisches Bindemittel für den Sauerstoff war damals nicht zum vornherein gegeben. So sind ähnliche Transmissionsexperimente mit SiO₂ von Freier et al.²) gemacht worden. Ein Element ist um so besser geeignet, je mehr Sauerstoff es zu binden vermag und je glatter und strukturloser der Verlauf seines Wirkungsquerschnittes im untersuchten Energieintervall ist.

Die zweite, kernphysikalische Bedingung liess sich an Hand der tabellierten Daten nicht entscheiden, so dass sich eigene Versuche aufdrängten. Die Ergebnisse zeigten in Al und Si eine dichte Folge von Resonanzen. Dagegen verlief der Wirkungsquerschnitt von Be genügend glatt; dieses Metall eignet sich daher am besten. Die Transmissionsexperimente an Al und Si wurden später weitergeführt, obwohl eine Analyse nach der Kerndispersionstheorie aussichtslos ist, weil keine isolierten Resonanzen mehr auftreten. Aus der Lage der Maxima können indessen die hochangeregten Energieniveaux des Zwischenkernes festgestellt werden. Es schien uns von Interesse, den Verlauf der Wirkungsquerschnitte möglichst fein aufzulösen, um damit die Systematik der Kernspektren³) zu bereichern und zu verbessern.

Ein anderer Teil der Messungen umfasst den totalen Wirkungsquerschnitt von Stickstoff. In einer früheren Arbeit von Bollmann und ZÜNTI⁴) wurden in demselben Energieintervall die Reaktionen N¹⁴ (n, α) und N¹⁴ (n, p) untersucht. Messungen der N¹⁴ (n, α , p)-Reaktionen von Stetter und Bothe⁵), der B¹¹(α , n)-Reaktion von Maurer⁶), Fünfer⁷) und Walker⁸), und der C¹⁴(p, n)-Reaktion von Shoupp, Jennings und Sun⁹) geben ebenfalls Aufschluss über den Zwischenkern N¹⁵.

Als Absorber verwenden wir sowohl flüssigen Stickstoff als auch NaN₃. Aus diesem Grunde wurde auch Na in die Messungen aufgenommen. Seinem Verhalten nach gehört es zu den mittelschweren Kernen, wie Al und Si.

2. Apparatur und Messmethode.

Apparatur und Messmethode sind in einer früheren Arbeit¹) ausführlich beschrieben worden. Hier sollen nur einige seither vorgenommene Änderungen erwähnt werden.

Grösste Aufmerksamkeit haben wir weiterhin dem Auflösungsvermögen der Neutronenergie geschenkt. Durch Verbesserung des Deuteronenspektrums und der geometrischen Verhältnisse konnte in zwei Schritten nochmals eine leichte Steigerung erzielt werden.

Durch den Einbau einer Hochfrequenz-Ionenquelle*) in die Beschleunigungsanlage (Tensator) erreichten wir einen nahezu monochromatischen Deuteronenstrahl. Seine Energieunschärfe wird nun lediglich von den Spannungsschwankungen des Beschleunigers verursacht, die zirka 5KV betragen. In der früheren, Oliphantschen Ionenquelle konnte eine Breite von 15KV nur dank eines Blendensystems nach magnetischer Ablenkung um 45° erreicht werden. Von einer beträchtlichen Intensitätseinbusse abgesehen, war dabei vor allem die Bildung von sekundären Neutronenquellen an beschossenen Blenden schädlich.

Seit der Verwendung der neuen Ionenquelle kann der Ionenstrahl auf wenige $\rm mm^2$ fokussiert werden; daher war eine Verbesserung der Geometrie des Neutronenstreuexperimentes möglich. Eine Grenze wird durch die Belastbarkeit der Target und die erwünschte Neutronenintensität gegeben. Bei $10~\rm Watt/cm^2$ fällt im Laufe einer Stunde die Neutronenausbeute einer dünnen, mit flüssiger Luft gekühlten D₂O-Eistarget von $40~\rm KV$ Dicke auf die Hälfte ab. Diese Belastung wird bei $15~\mu$ A Deuteronenstrom und einer Targetfläche von $1~\rm cm^2$ erreicht. Um diese Fläche gleichmässig zu bedecken, wird der Strahl etwas defokussiert und mittels eines magnetischen Wechselfeldes von $50~\rm Hz$ leicht hin- und hergeschwenkt. Der Detektor wurde der ver-

^{*)} Eine Beschreibung dieser Ionenquelle wird demnächst in der HPA erscheinen.

kleinerten Neutronenquelle angepasst. Der kreiszylindrische Anthracenkristall hat nun 1 cm² Querschnitt und eine Länge von 3 cm.

Dem totalen Wirkungsquerschnitt σ_t liegt als eigentliche Messgrösse der Transmissionskoeffizient T zugrunde. Der Zusammenhang

$$T = e^{-\sigma_t nt}$$

n Zahl der Kerne pro cm³

t Länge des Absorbers

ist gültig für "gute Geometrie".

Bedeuten n_0 , n_1 , resp. n_2 die auf den Monitor normierten Stosszahlen im Detektor ohne, mit unbekanntem resp. mit bekanntem Absorber, so gilt:

$$T=1-(1-R)\,rac{n_0-n_1}{n_0-n_2}$$
 .

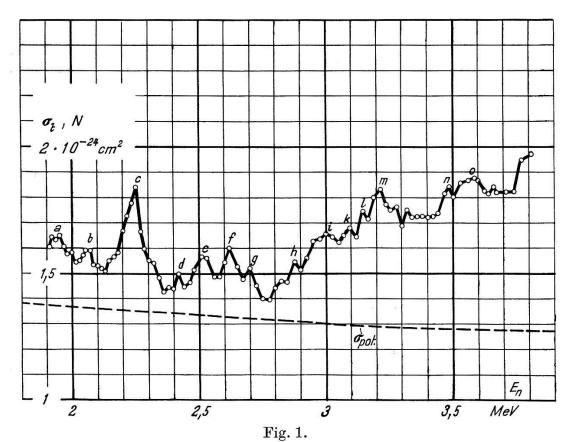
R ist die Transmission des bekannten, starken Absorbers ($R \ll 1$) Jeder Transmissionswert basiert somit auf 3 Stosszahlen n_0 , n_1 und n_2 , die zeitlich nacheinander in einer 2–3 min dauernden Sequenz (1 0 2 1) bestimmt wurden. Zur Beschleunigung der Messungen beschränkten wir uns darauf, jeden dritten bis fünften Punkt absolut zu messen. In den Zwischenpunkten bestimmten wir lediglich n_1 , die Stosszahl mit unbekanntem Absorber, zweimal, während n_0 und n_2 durch graphische Interpolation gefunden wurden. Diese 2 Kurven n_0 und n_2 in Funktion der Energie sind ja unabhängig vom Absorber, sie sind lediglich leicht mit der Targetdicke und der Einstellung der Hochspannungsanlage verknüpft, verlaufen aber jedenfalls glatt.

3. Ergebnisse.

Von jedem der untersuchten Elemente geben wir hier den Verlauf seines Wirkungsquerschnittes, eine Tabelle mit den Niveaux des hochangeregten Zwischenkernes und Dimensionsangaben über die benutzten Streukörper an. Eine Kurve für den Wirkungsquerschnitt besteht aus zirka 100 Messpunkten, die im Mittel 20 KeV auseinander liegen. Die ausgezogene Kurve verbindet die Mittelwerte der an diesen Punkten gemessenen WQ; unsichere Niveaux sind in den Tabellen eingeklammert. Die Fehlergrenzen der Energie betragen bis zu 3 MeV weniger als 30 KeV, oberhalb weniger als 50 KeV. Über die Fehler im WQ lassen sich keine genauen Angaben machen, da ein Grossteil der Resonanzen schmaler sind als die Breite unseres Neutronenspektrums. Für den mittleren Verlauf kann ein Wert von $\pm 3\%$ angenommen werden.

a) Stickstoff (Fig. 1).

Die Messungen an Stickstoff wurden zunächst mit Streukörpern aus Melamin (Bruttoformel $\rm C_3H_6N_6$) begonnen. Die Ergebnisse waren ungenau, da der Stickstoff am Totalwirkungsquerschnitt der Verbindung nur zu 35% beteiligt ist. Höheren Stickstoffgehalt weisen die Azide der leichten Alkalimetalle auf, ihre Behandlung bietet aber



Totaler Wirkungsquerschnitt für Stickstoff.

Tabelle 1.

Energieniveaux in N¹⁵, aus dem totalen Wirkungsquerschnitt von Stickstoff für schnelle Neutronen bestimmt.

Res.	$E_n \; \mathrm{MeV}$	E* MeV	Res.	$E_n \; \mathrm{MeV}$	E* MeV
a	1,93	10,834 + 1,80	h	2,88	10,834 + 2,69
b	2,06	1,92	i	3,00	2,80
\mathbf{c}	2,25	2,10	k	3,10	2,89
\mathbf{d}	2,42	2,26	1	3,15	2,94
\mathbf{e}	2,51	2,34	m	3,22	3,00
${f f}$	2,62	2,44	n	3,48	3,25
\mathbf{g}	2,70	2,52	О	3,57	3,33

gewisse Gefahren. Wir haben die Messungen mit reinem NaN₃ ausgeführt, dessen Wirkungsquerschnitt im Mittel zu 65% durch den Stickstoff bestimmt wird. Mit 75% wäre Lithium noch günstiger, auch der Verlauf mit der Energie ist glatter¹⁰), die Verbindung stand uns aber nicht zur Verfügung. Die Daten des NaN₃ Streukörpers sind unter Na angegeben (Tab. 2).

In einem zweiten, unabhängigen Experiment haben wir auch flüssigen Stickstoff verwendet. Ein Metall-Dewargefäss aus 0,2 mm Messing- und Neusilberrohren diente als Behälter. Das erhöht angebrachte Vorratsgefäss reichte für eine Messdauer von mehr als

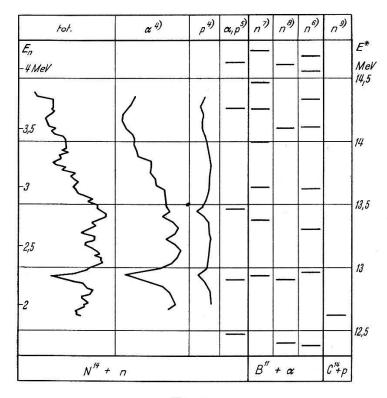


Fig. 2. Vergleich der Termschemata von N^{15} nach eigenen Messungen und anderen Autoren⁴⁻⁹).

5 min aus. Die Säule des flüssigen Stickstoffs hatte eine Länge von 222 mm. Bei einer Dichte von 0,808 g/cm³ am Siedepunkt entspricht dies 0,771 · 10²⁴ Kernen/cm². Die Reinheit der Substanz wird von den Herstellern mit 99,9% angegeben. Die Transmission des leeren Gefässes war grösser als 99%.

Der angegebene Verlauf des Wirkungsquerschnittes (Fig. 1) ist ein Mittelwert über die in den zwei unabhängigen Experimenten gefundenen Werte. Im Detailverlauf fanden wir sehr gute Übereinstimmung, dagegen wichen die Resultate oberhalb 3,3 MeV absolut bis zu max. 5% vom angegebenen Mittelwert ab. In Fig. 2 werden die

Termschemata aller veröffentlichten Messungen, die auf hochangeregte Zustände des N¹⁵-Kernes zwischen 12,5 und 14,5 MeV führen, gegenübergestellt. Alle Messungen wurden auf die neuesten Q-Werte bezogen¹¹)¹²). Das Niveau von 12,93 MeV, das mit 2,25 MeV Neutronen angeregt wird, tritt bei sämtlichen Autoren klar hervor. (Eine Analyse dieses Niveaus wird in der Diskussion am Schluss der Arbeit durchgeführt.) Im übrigen Gebiet ist das experimentelle Material, welches zum Vergleich mit unseren Resultaten zur Verfügung steht, ungenügend.

b) Natrium (Fig. 3).

Zur Herstellung der Streukörper wurde das Natriummetall unter Vakuum bei einer Temperatur von 100°C in ein Stahlrohr von 0,1 mm Wandstärke gegossen und luftdicht verschlossen. Das pulverförmige Natriumazid NaN₃ wurde in eine dünnwandige Aluminiumhülse eingefüllt.

Im vorliegenden Intervall existieren bisher keine anderen zusammenhängenden Messungen.

Tabelle 2.

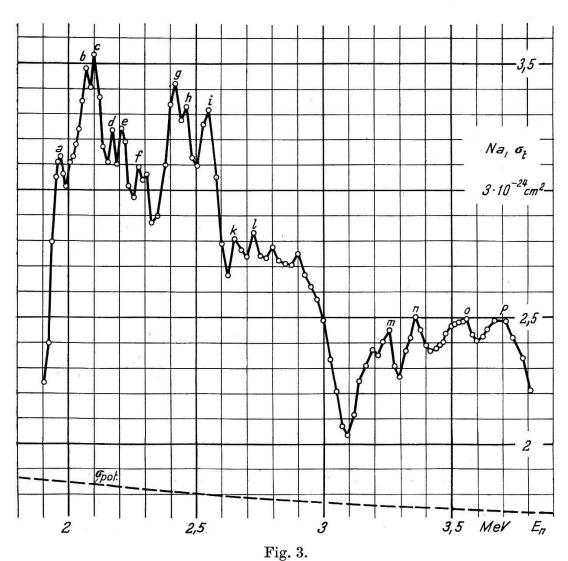
Daten der zu den Transmissionsmessungen von Natrium und Natriumazid verwendeten Streukörper.

Streuer		t mm	g/cm ²	$10^{24} \text{ Kerne/cm}^2$	
Na 1		117	10,63	0,279	
	1+2	195	18,14	0,475	
NaN ₃	1	90	10,7	0,099 Na	
3				0,297 N	
	1+2	155	17,45	0,162 Na	
				0,485 N	

c) Aluminium (Fig. 4).

Der Streukörper wurde aus kommerziellem Aluminium von 99,9 % Reinheit gedreht. Die Messungen wurden mit einem 70 mm langen Stück, einer Flächendichte von $18,95 \,\mathrm{g/cm^2}$ entsprechend einer Kernzahl/cm² von $0,424 \cdot 10^{24}$ ausgeführt.

Im Verlauf des Wirkungsquerschnittes folgt auf mehrere scharfe Spitzen in der Umgebung von 2 MeV eine breite Resonanz bei 2,6 MeV, die schon von verschiedenen Autoren angegeben worden ist¹³) ¹⁴) ¹⁵). Mit unserem verbesserten Auflösungsvermögen lässt sich diese aber nochmals in zwei deutlich getrennte Maxima zer-



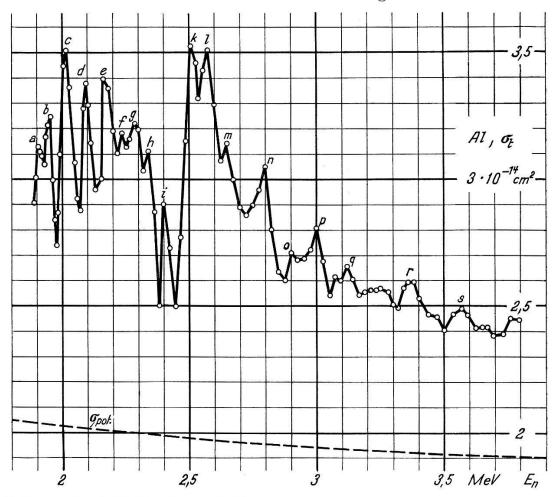
Totaler Wirkungsquerschnitt für Natrium.

Tabelle 3.

Energieniveaux von Na²⁴, aus dem totalen Wirkungsquerschnitt von Natrium für schnelle Neutronen bestimmt.

Res.	$E_n \; \mathrm{MeV}$	E* MeV	Res.	$E_n \; \mathrm{MeV}$	E* MeV
a	1,97	6,96+1,89	i	2,55	6,96+2,45
(b)	(2,07)	1,98	k	2,65	2,54
\mathbf{c}	2,10	2,01	1	2,73	2,62
\mathbf{d}	2,17	2,08	m	3,26	3,12
\mathbf{e}	2,21	2,12	n	3,36	3,22
${f f}$	2,29	2,19	О	3,54	3,39
\mathbf{g}	2,42	2,32	p	3,68	3,53
(h)	(2,46)	2,36			

legen. Ein zweites, von Allen¹⁴) bei 2,9 MeV angegebenes Niveau von 200 KeV Breite konnten wir nicht bestätigen.



Ordinateneinheit 10^{-24} cm² statt 10^{-14} .

Fig. 4.
Totaler Wirkungsquerschnitt für Aluminium.

Tabelle 4.

Energieniveaux von Al²⁷, aus dem totalen Wirkungsquerschnitt von Aluminium für schnelle Neutronen bestimmt.

Res.	$E_n \mathrm{MeV}$	E* MeV	Res.	$E_n \mathrm{MeV}$	E^* MeV
a	1,90	7,722 + 1,83	k	2,51	7,722 + 2,41
b	1,95	1,88	1	2,57	2,48
\mathbf{c}	2,015	1,94	m	2,65	2,56
\mathbf{d}	2,095	2,02	n	2,80	2,70
\mathbf{e}	2,17	2,09	o	2.90	2,80
${f f}$	2,23	2,15	p	3,00	2,89
\mathbf{g}	2,29	2,21	${f q}$	3,12	3,01
\mathbf{h}	2,34	2,26	\mathbf{r}	3,37	3,25
i	2,40	2,31	s	3,57	3,44

d) Silizium (Fig. 5).

Vier Streukörper verschiedener Länge wurden aus einem genügend homogenen Siliziumstück gebohrt*).

Tabelle 5.

Daten der zu den Transmissionsmessungen in Silizium benützten Streukörper.

Streuer	t mm	g/cm^2	$10^{24} \mathrm{Kerne/cm^2}$
1	89,3	20,82	0,447
2	70,4	16,25	0,349
1 + 3	139,2	32,27	0,695
1 + 4	117,3	27,27	0,586

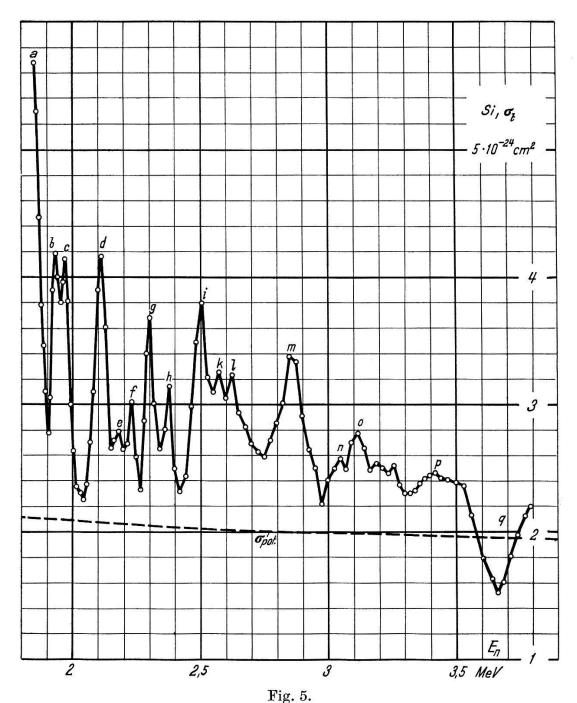
Die Reinheit des Materials**) betrug 99,1%. An Beimischungen konnten 0,3% Fe + 0,55% Al und Cr analysiert werden. Für diese Verunreinigungen wurden keine Korrekturen angebracht. Über Silizium liegen im gleichen Energieintervall Messungen der Minnesota-Gruppe²) vor. Sie zeigen infolge des Spektrums von 200 KeV nur einen glatten Verlauf. Dieselbe Gruppe hat im Intervall 0,6—1,9 MeV Messungen mit Li-p-Neutronen durchgeführt, welche an unser Energiegebiet grenzen.

Tabelle 6. Energieniveaux von Si²⁸, aus dem totalen Wirkungsquerschnitt von Silizium für schnelle Neutronen bestimmt.

Res.	$E_n \; \mathrm{MeV}$	E* MeV	Res.	E_n MeV	E* MeV
a	≤ 1,84	8,472 + 1,78	i	2,50	8,472 + 2,42
\mathbf{b}	1,93	1,87	k	2,57	2,48
\mathbf{c}	1,97	1,90	. 1	2,62	2,53
\mathbf{d}	2,11	2,04	m	2,86	2,76
\mathbf{e}	2,18	2,10	n	3,05	2,95
${f f}$	2,23	2,15	o	3,12	3,01
\mathbf{g}	2,30	$2,\!22$	\mathbf{p}	3,41	3,29
\mathbf{h}	2,38	2,30	\mathbf{q}	(3,7)	(3,55)

^{*)} Der Firma Lonza danken wir für die Überlassung von reinem Si.

^{**)} Wir danken Herrn Pochon für die quantitativen Analysen, die er für uns vorgenommen hat.



Totaler Wirkungsquerschnitt für Silizium.

4. Diskussion der Ergebnisse.

a) Potentialstreuung.

Bei allen untersuchten Elementen schwankt der totale WQ ungemein stark. Die Dichte der Resonanzstellen ist so gross, dass eine Analyse nach der Dispersionstheorie aussichtslos erscheint. Hingegen könnte man hoffen, dass an einigen Orten Lücken in der Verteilung der Niveaux auftreten, so dass man Aufschlüsse über die

Potentialstreuung erhielte. Wir haben deshalb versuchsweise in den Fig. 1, 3, 4, 5 den Verlauf der Potentialstreuung eingetragen, der sich theoretisch bei Annahme eines Kernradius von $1.5 \cdot 10^{-13} \cdot A^{1/3}$ cm ergibt. Beim Silizium scheint diese Wahl gerechtfertigt zu sein, ebenso beim Stickstoff im tiefen Energiegebiet. Das bei Silizium um $E_n = 3.7$ MeV auftretende Minimum wäre dann als Interferenzerscheinung zwischen Resonanz und Potentialstreuung für S- oder P-Wellen zu deuten.

Abweichungen in Richtung höheren Querschnittes, wie bei Al und Na, lassen sich einerseits auf das Fehlen dieser Lücken infolge grosser Niveaudichte zurückführen. Andererseits wirken auch ein grösserer Kernradius oder vielleicht das Auftreten von zusätzlichen Reaktionen, insbesondere inelastische Streuung, in dieser Richtung. Die letzte Annahme könnte insbesondere herangezogen werden zur Erklärung des Anstiegs des totalen WQ von N bei 2,7 MeV, denn erst oberhalb von 2,5 MeV ist inelastische Streuung in das erste angeregte Niveau von N¹⁴ bei 2,31 MeV möglich.

b) Analyse der 2,25 MeV-Resonanz von Stickstoff.

Unter den über 50 aus den totalen WQ bestimmten Niveaux der 4 untersuchten Elemente hat einzig jenes von 12,93 MeV in N¹⁵ einen halbwegs isolierten Charakter.

Wir haben eine theoretische Analyse dieses von 2,25 MeV-Neutronen angeregten Niveaus durchgeführt, mit dem Zweck, den totalen Drehimpuls J und die Parität π des angeregten Zustandes im Zwischenkern N¹⁵ bei 12,93 MeV zu bestimmen.

Unter der Annahme, dass es sich um ein einfaches, isoliertes Niveau handle, wurden die Rechnungen nach der allgemeinen Theorie von Blatt und Weisskopf¹⁶) (S. 438, 10. 32) durchgeführt. Die Formel für σ_{el} enthält Terme vom Typus

$$\left|\frac{i\,\varGamma_{l,\,J}}{(E-E_r)+i\,\varGamma/2}+A_l\right|^2=|\overline{w}-\overline{u}_l|^2.$$

Setzen wir den Resonanzterm gleich \overline{w} , den Potentialterm gleich $-\overline{u}_l$, so lässt sich eine numerische Behandlung am einfachsten durchführen, wenn wir diese Grössen als Vektoren in einer komplexen Zahlenebene darstellen (Fig. 6). Darin beginnt \overline{u}_l im Nullpunkt und endet auf einem Kreis vom Radius 1 mit dem Zentrum x=1, y=0. Der Winkel δ_l zwischen \overline{u}_l und der negativen, imaginären Achse gibt die Phase der l-Potentialstreuung an. Analog beginnt der Vektor \overline{w} im Nullpunkt und endet auf dem Kreis C_w vom Radius $\varrho = \Gamma_{l,J}/\Gamma$ mit dem Zentrum in $x = \Gamma_{l,J}/\Gamma$, y = 0.

Wird die Neutronenenergie E_n in der Umgebung der Resonanz variiert, so bleibt \overline{u}_l nahezu konstant, während sich \overline{w} auf dem Kreis C_w stark verschiebt. Maximal- und Minimalwerte von $\overline{w} - \overline{u}_l$ werden angenommen, wenn die Verbindungslinie der Endpunkte von \overline{w} und \overline{u} durch das Zentrum des Kreises C_w geht. In Fig. 6 ist der Fall von $\overline{w} - \overline{u}_l = \max$. für das Verhältnis $\Gamma_{l,J}/\Gamma = 0.8$ dargestellt. Für Phasen

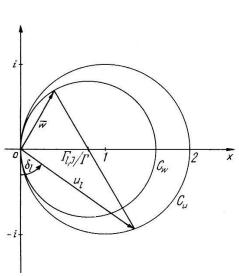
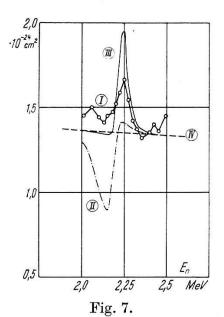


Fig. 6.

Darstellung des Resonanz- und des Potentialstreuungsterms als Vektoren \overline{w} und \overline{u} in der komplexen Zahlenebene.



Resonanzstelle im elastischen Wirkungsquerschnitt von Stickstoff bei $E_n=2,25~{
m MeV}.$

I gemessener Verlauf von σ_{el} .

II berechneter Verlauf für ein 3/2+-Niveau.

III berechneter Verlauf für ein 1/2--Niveau.

IV ungestörte Potentialstreuung.

 δ_l von ungefähr 90° wird das Minimum von $\overline{w} - \overline{u}_l$ für Neutronen. deren Energie E_n nahe der Resonanzenergie E_r liegt, angenommen, Der Verlauf des Wirkungsquerschnittes zeigt dann eine charakteristische Depression. Dieser Interferenzeffekt kann bei unserer Energie nur für l=0-Wellen eintreten. Ein analoges typisches Beispiel liegt im Falle des O¹6 bei 2,73 MeV vor¹).

In der Berechnung von σ_{el} treten weiterhin die totale Breite Γ und jene für elastische Streuung Γ_{el} auf. Bezeichnet man mit $\Gamma_{\text{Reakt.}}$ die Breite für (n, p)- und (n, α)-Reaktionen, so gilt unter der Annahme, dass keine weiteren Prozesse existieren:

$$\Gamma = \Gamma_{el} + \Gamma_{\text{Reakt.}}$$

Die benötigten Reaktionsquerschnitte entnehmen wir früheren Messungen⁴) und können damit das Verhältnis Γ_{el}/Γ zu 0,63 abschätzen.

Für ein Niveau (J, π) lässt sich Γ_{el} nach Bahndrehimpulsen l zerlegen. Zum Beispiel hat man für $1/2^+$ oder $3/2^+$ -Niveaux $\Gamma_{el} = \Gamma_0 + \Gamma_2$. Wir benötigen aber nur die Verhältnisse der Γ zur totalen Breite: Γ_0/Γ ; Γ_2/Γ , die sich nach Blatt und Weisskopf¹⁶) (S. 361, VIII, 5. 8) unter Annahme konstanter reduzierter Breiten berechnen lassen.

$$\begin{split} &\frac{\varGamma_0}{\varGamma} = \frac{\varGamma_{el}}{\varGamma} \, \frac{\varGamma_0}{\varGamma_0 + \varGamma_2} \cong \frac{\varGamma_{el}}{\varGamma} \, \frac{v_0}{v_0 + v_2} = 0,565 \\ &\frac{\varGamma_2}{\varGamma} = \frac{\varGamma_{el}}{\varGamma} \, \frac{\varGamma_2}{\varGamma_0 + \varGamma_2} \cong \frac{\varGamma_{el}}{\varGamma} \, \frac{v_2}{v_0 + v_2} = 0,065 \; . \end{split}$$

Für den Kernradius haben wir dabei $R=3.62\cdot 10^{-13}$ cm, entsprechend $r_0=1.5\cdot 10^{-13}$ cm, eingesetzt. Die Phasen der Potentialstreuung für l=0,1,2 berechnen sich zu resp.

$$\delta_{\mathbf{0}} = -$$
 1,142 $\delta_{\mathbf{1}} = -$ 0,46 $\delta_{\mathbf{2}} = -$ 0,04 .

Bei bekannten Phasen und Breiten $\Gamma_{l,J}$ lässt sich sodann σ_{el} in Funktion der Neutronenenergie angeben.

In Fig. 7 stellt Kurve I den gemessenen Verlauf von σ_{el} dar. Kurve IV gibt die berechnete Potentialstreuung wieder. Kurve II ist für ein $3/2^+$ -Niveau gerechnet. Davon unterscheidet sich ein $1/2^+$ -Zustand nur in der Tiefe der Depression, der qualitative Verlauf stimmt mit II überein. Schliesslich stellt Kurve III den für ein $1/2^-$ -Niveau berechneten Wirkungsquerschnitt dar. In Tabelle 7 sind die Maximalwerte des elastischen WQ für verschiedene Annahmen über den Zustand des Niveaus mit dem experimentell gefunden Wert verglichen.

Tabelle 7.

Niveau von 12,93 MeV in N¹5. Experimenteller Maximalwert des elastischen Wirkungsquerschnitts in $10^{-24}~\rm cm^2$ und theoretische Werte für $\Gamma_{el}/\Gamma=0,63$, bei verschiedenen Annahmen über den totalen Drehimpuls J und die Parität π .

J	1/2+	3/2+	1/2-	3/2-	5/2+	exp.
$\sigma_{el.}^{ m max.}$	1,37	1,41	1,95	2,79	3,37	1,66

Die Fälle gerader Parität und kleinen Gesamtdrehimpulses, $1/2^+$ und $3/2^+$ (Fig. 7, Kurve II), lassen sich auf Grund des Verlaufes $\sigma(E)$ ausschliessen, alle anderen ergeben Übereinstimmung in der Form, liefern aber am Maximum zu hohe Werte.

Ein Teil der Differenz kann dem endlichen Auflösungsvermögen der Apparatur zugeschrieben werden, ein anderer den verwendeten Reaktionsquerschnitten $\sigma(n, \alpha)$ und $\sigma(n, p)$, deren Absolutwerte

nicht sehr genau bekannt sind. Immerhin ist die Abhängigkeit der Maximalwerte von diesen Faktoren nicht gross; nimmt man also an, dass die verwendete Theorie den vorliegenden Fall richtig zu beschreiben vermag, so kommt nur ein 1/2--Niveau in Frage.

Es wäre interessant, durch Untersuchung der Winkelverteilung der Reaktionsprodukte der Reaktionen $N^{14}(n,n)$, $N^{14}(n,p)$, $N^{14}(n,\alpha)$, $C^{14}(p,n)$ oder $B^{11}(\alpha,n)$ Spin und Parität des Niveaus zu bestätigen.

Herrn Prof. E. Bleuler möchten wir für anregende Diskussionen danken.

Literatur.

- 1) R. RICAMO und W. ZÜNTI, HPA. 24, 419 (1951).
- 2) G. Freier, M. Fulk, E. E. Lampi und J. H. Williams, Phys. Rev. 78, 508 (1950).
- 3) D. E. Alburger und E. M. Hafner, Rev. Mod. Phys. 22, 373 (1950).
- 4) W. BOLLMANN und W. ZÜNTI, HPA. 24, 517 (1951).
- 5) W. STETTER und W. BOTHE, Z. Naturforsch. 6a, 61 (1951).
- 6) W. Maurer, Z. Physik 107, 721 (1937).
- 7) E. FÜNFER, Ann. Physik 32, 313 (1938).
- 8) R. L. Walker, Phys. Rev. 76, 244 (1949).
- 9) W. E. Shoupp, B. Jennings und K. H. Sun, Phys. Rev. 75, 1 (1949).
- 10) C. K. Bockelman, D. W. Miller, R. K. Adair und H. H. Barshall, Phys. Rev. 84, 69 (1951).
- 11) F. AJZENBERG und T. LAURITSEN, Rev. Mod. Phys. 24, 321 (1952).
- ¹²) C. W. Li, Phys. Rev. **88**, 1038 (1952).
- ¹³) M. R. McPhail, Phys. Rev. **57**, 669 (1940).
- ¹⁴) K. W. Allen, W. E. Burcham und D. H. Wilkinson, Proc. Roy. Soc. 192,114 (1947).
- ¹⁵) G. H. STAFFORD, Proc. Phys. Soc. **64**, 388 (1951).
- ¹⁶) J. M. Blatt, V. F. Weisskopf (1952), J. Wiley & Sons, New York.