

sie um den konstanten Wert  $-0,054 \text{ cm}^{-1}$  verschoben werden<sup>11</sup>. Die Zuordnung  $1''-49'$  für beide Dubletts würde eine viermal so große Verschiebung erfordern, so daß die oben angegebene Zuordnung wahrscheinlicher ist. Die in <sup>9</sup> vorgeschlagene gemischte Zuordnung  $1''-49'$  und  $0''-43'$  ist deswegen ausgeschlossen, weil in diesem Fall nach der Rechnung die Dubletts mit zunehmendem  $v''$  sich nicht mehr überschneiden, sondern schnell voneinander entfernen. Die beiden schwächeren Linien beiderseits der Erregerlinie (Abb. 2) gehen von  $J'=14$  aus. Dieses Niveau wird unter der Berücksichtigung der Auswahlregel  $\Delta J = \pm 2$  von den beiden angeregten Rotationsniveaus  $J'=16$  und  $J'=12$  durch Stöße besetzt.

Es wurde auch das von der Laserlinie  $\text{Ar}^+5017 \text{ \AA}$  erregte Dublett mit dem Dublett Abstand  $4,1 \text{ cm}^{-1}$  untersucht. In derselben Weise wie oben ergab sich aus dem gemessenen Dublett Abstand die Rotationsquantenzahl

<sup>11</sup> Möglicherweise verschwindet diese Diskrepanz bei Verwendung der in Fußnote <sup>4</sup> erwähnten Molekülkonstanten von Le Roy<sup>5</sup>.

$J'=27$  für den angeregten Zustand, wobei die Erregung im R-Zweig stattfindet. Über den angeregten Schwingungszustand läßt sich nichts sicheres aussagen, da er nur  $100 \text{ cm}^{-1}$  von der Dissoziationsgrenze entfernt ist<sup>9</sup>. Für den Grundzustand gilt mit großer Wahrscheinlichkeit  $v''=0$ .

In Tab. 1 sind die neuen Zuordnungen zusammengestellt.

	Laserlinie		$J'$	Übergang
He-Ne	6328 Å	15 798,00 $\text{cm}^{-1}$	32	$3''-6' \text{ P}(33)$
$\text{Ar}^+$	5145 Å	19 429,73 $\text{cm}^{-1}$	16	$0''-43' \text{ R}(15)$
			12	$0''-43' \text{ P}(13)$
$\text{Ar}^+$	5017 Å	19 926,04 $\text{cm}^{-1}$	27	$0''-? \text{ R}(26)$

Tab. 1. Die Ergebnisse.

Die Arbeit wurde mit Mitteln der Deutschen Forschungsgemeinschaft durchgeführt. Wir danken Herrn Prof. BRAND-MÜLLER für die Bereitstellung von Institutsmitteln und Herrn Prof. MOSER für sein Interesse am Fortgang dieser Arbeit.

## Unelastische Elektronenstreuung an $^{140}\text{Ce}$ bis 3,5 MeV Anregungsenergie

R. PITTHAN

Institut für Technische Kernphysik  
der Technischen Hochschule Darmstadt

(Z. Naturforsch. **25 a**, 1358—1359 [1970]; eingegangen am 1. Juli 1970)

From electron scattering experiments (scattering angle  $141^\circ$ , primary energies 60 and 50 MeV) ground state radiation widths were determined for the levels at 1.60 ( $2^+$ ), 2.08 ( $4^+$ ), 2.46 ( $3^-$ ), 2.90, 3.12, and 3.32 MeV.

Spins and parities of the last three levels which were known as  $1^+$  or  $2^+$ , could be classified as  $2^+$ .

Ergebnisse aus Experimenten mit unelastischer Elektronenstreuung liegen bisher für leichte und mittelschwere Kerne sowie für Blei und Wismut vor. Für große Kernladungen gilt die Bornsche Näherung nicht mehr. Rechnungen mit Hilfe von DWBA (Distorted Wave Born Approximation)-Programmen, die zur Auswertung von Messungen an schweren Kernen nötig sind, stehen seit einiger Zeit allgemein zur Verfügung. Allerdings erfordern Experimente für schwere Elemente wegen der großen Niveaudichte auch bei kleinen Anregungsenergien eine hohe Energieauflösung. Eine Ausnahme bilden die Kerne mit abgeschlossenen Nukleonenschalen, bei denen die niedrig liegenden Niveaus verhältnismäßig große Energieabstände haben.

Um Erfahrungen mit Targetmaterialien und Auswertverfahren im Bereich der seltenen Erden zu ge-

winnen, ist als erstes das Cer untersucht worden, denn das Hauptisotop (88,5%)  $^{140}\text{Ce}$  hat 82 Neutronen. Die Messungen wurden am Darmstädter Linearbeschleuniger<sup>1</sup> durchgeführt. In Yale waren bereits im Zusammenhang mit der elastischen Streuung<sup>2</sup> an  $^{142}\text{Nd}$  auch die tiefsten Niveaus von  $^{142}\text{Nd}$  mit unelastischer Elektronenstreuung untersucht worden, der Preprint hierüber<sup>3</sup> enthält kein Spektrum.

Selbsttragende Cerdolien mit natürlichem Isotopengemisch dienten als Target. Abbildung 1 zeigt die bei einem Streuwinkel von  $141^\circ$  und Primärenergien von  $E_0=50$  und 60 MeV gemessenen Spektren. Wie man sieht, konnten die Zustände bei 1,60, 2,08 und 2,46 MeV sehr gut aufgelöst werden. Diejenigen bei 2,90, 3,12 und 3,32 MeV ließen sich mit dem Auswertprogramm<sup>4</sup> ebenfalls auswerten. Das  $0^+$ -Niveau bei 1,90 MeV war nicht sichtbar, auch das  $6^+$ -Niveau bei 2,11 MeV bleibt bei den hier erreichbaren Impulsübertragungen  $q < 0,6 \text{ fm}^{-1}$  unter der Nachweisgrenze. Die Abbildung zeigt deutlich, daß das Verhältnis der Linienintensitäten in beiden Spektren stark von der Multipolarität des Übergangs abhängt. Die im  $^{142}\text{Ce}$  (11,5%) bekannten Zustände, von denen Störungen möglich sind (im wesentlichen das  $2^+$ -Niveau bei 1,54 MeV und das  $3^-$ -Niveau bei 1,66 MeV), konnten beim Fit des Spektrums nicht nachgewiesen werden und wurden daher vollständig vernachlässigt; insoweit sind die Ergebnisse noch mit einer gewissen Unsicherheit behaftet. Die unelastischen Wirkungsquerschnitte wurden mit dem Duke-Code für das Tröpfchenmodell<sup>5,6</sup>,

<sup>1</sup> F. GUDDEN, G. FRICKE, H.-G. CLERC u. P. BRIX, Z. Phys. **181**, 453 [1964].

<sup>2</sup> D. W. MADSEN, L. S. CARDMAN, J. R. LEGG, E. F. GUNDELSHEIM u. C. K. BOCKELMAN, Phys. Rev. Lett. **23**, 1122 [1969].

<sup>3</sup> D. W. MADSEN, L. S. CARDMAN, J. R. LEGG, E. F. GUNDELSHEIM u. C. K. BOCKELMAN, Preprint 1969.

<sup>4</sup> O. TITZE, Laborbericht **31**, Institut für Technische Kernphysik der Technischen Hochschule Darmstadt 1967, unveröffentlicht.

<sup>5</sup> J. F. ZIEGLER, Report YALE-2726E-49.

<sup>6</sup> S. T. TUAN, L. E. WRIGHT u. D. S. ONLEY, Nucl. Instr. Meth. **60**, 70 [1968].



die der elastischen Streuung mit dem Rechenprogramm von FISCHER und RAWITSCHER<sup>7</sup> berechnet. Eine Kontrollrechnung für die elastischen Wirkungsquerschnitte mit dem Programm von BÜHRING<sup>8</sup> brachte für 50 MeV eine Übereinstimmung von besser als  $\frac{1}{2}\%$ . Die benutzten Parameter des Grundzustandes und der Übergangsladungsverteilung  $c = 5,78(3)$  und  $t = 2,30(8)$  fm stammen aus einer Messung am Myonenatom<sup>9</sup>.

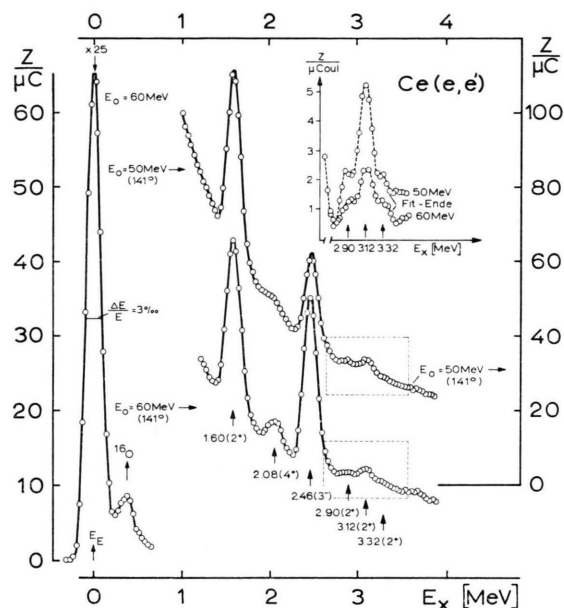


Abb. 1. Elektronenstreuung an Cerfolien von  $63 \text{ mg/cm}^2$  (50 MeV) und  $21 \text{ mg/cm}^2$  (60 MeV). Das obere (rechte Ordinate) Spektrum wurde bei 50 MeV Primärenergie, das untere (linke Ordinate) bei 60 MeV gemessen. Rechts oben ist nach Abzug des angepaßten Untergrundes der Bereich zwischen 2,7 und 3,5 MeV Anregungsenergie vergrößert herausgezeichnet. Links die elastische Linie für 60 MeV Primärenergie.

Tabelle 1 gibt in den ersten beiden Spalten die Anregungsenergien, Spins und Paritäten nach<sup>10</sup>. In Spalte 3 sind die berechneten Verhältnisse der Wirkungsquerschnitte bei 60 und 50 MeV Primärenergie angegeben. Sie ändern sich nur schwach mit den Parametern  $c$  und  $t$ . Wie Spalte 4 zeigt, können die Spins und Paritäten der Zustände bei 2,90, 3,12 und 3,32, für die BAER et al.<sup>10</sup>  $1^+$  oder  $2^+$  zulassen, weitgehend modellunabhängig zu  $2^+$  bestimmt werden.

Von den 8 bekannten Niveaus zwischen 2,35 und

2,55 MeV ist im Spektrum nur der  $3^-$ -Zustand bei 2,46 MeV eindeutig nachweisbar. Aus dem Verhältnis der Wirkungsquerschnitte bei den beiden Primärenergien und daraus, daß die Linie gegenüber der elastischen Linie nicht verbreitert war, kann der Beitrag der anderen Linien zu weniger als 10% abgeschätzt werden.

Die hier gefundene Strahlungsbreite (Tab. 1) des 1,60 MeV-Niveaus ist in Übereinstimmung mit dem Wert von OFER und SCHWARZSCHILD<sup>11</sup>, die 16 WE angeben. Für den 2,46 MeV-Übergang besteht eine Diskrepanz mit den Ergebnissen von HANSEN und NATHAN<sup>12</sup>, die aus  $(\alpha, \alpha')$ -Experimenten 93 WE fanden. Die Strahlungsbreite des  $4^+$ -Zustandes ist hier erstmals bestimmt worden.

$E_x/\text{MeV}$	$I^\pi$	$Y_{\text{Duke}}$	$Y_{\text{exp}}$	$\Gamma_\gamma^0/\text{eV}$	$\Gamma_\gamma^0/\Gamma_W$
1,60	$2^+$	0,65	$0,67 \pm 0,05$	$6,7 \cdot 10^{-3}$	$18 \pm 2$
2,08	$4^+$	2,20	$2,27 \pm 0,56$	$1,5 \cdot 10^{-8}$	$21 \pm 4$
2,46	$3^-$	1,28	$1,31 \pm 0,11$	$6,2 \cdot 10^{-6}$	$26 \pm 3$
2,90	$1^+$	0,29	—	—	—
	$2^+$	0,65	$0,58 \pm 0,19$	$9,5 \cdot 10^{-3}$	$1,3 \pm 0,5$
3,12	$1^+$	0,29	—	—	—
	$2^+$	0,65	$0,58 \pm 0,13$	$26 \cdot 10^{-3}$	$2,6 \pm 0,5$
3,32	$1^+$	0,29	—	—	—
	$2^+$	0,65	$0,73 \pm 0,28$	$19 \cdot 10^{-3}$	$1,3 \pm 0,6$

Tab. 1. Vorläufige Ergebnisse.  $Y$  ist das Verhältnis der bei 60 MeV und 50 MeV Primärenergie gemessenen differentiellen Wirkungsquerschnitte ( $\Theta = 141^\circ$ ). Spins und Paritäten  $I^\pi$  nach Ref. <sup>10</sup>.  $\Gamma_W$ : Weisskopf-Einheit (WE) nach WILKINSON<sup>13</sup>.

Die bei den vorläufigen Ergebnissen dieser Arbeit in Tab. 1 angegebenen Fehler setzen sich zusammen aus dem Fehler der Berechnung der elastischen und unelastischen Wirkungsquerschnitte (je 1%), systematischen experimentellen Fehlern der Apparatur (2%), der Unsicherheit in der Untergrundsbestimmung (2 bis 20%) und dem statistischen Fehler der Anpassung. Alle Fehler wurden linear addiert. Die Arbeit wird fortgesetzt.

Ich danke Prof. P. BRIX und Dozent Dr. H.-G. CLERC für die Anregung zu dieser Arbeit, TH. WALCHER für seine Hilfe bei den Experimenten und W. SCHÜTZ für die Berechnung des elastischen Wirkungsquerschnittes bei 50 MeV mit dem Bühring-Programm. Die Rechnungen wurden auf der IBM 7090 und dem TR 440 im Deutschen Rechenzentrum in Darmstadt und auf der IBM 7040 des Rechenzentrums der Technischen Hochschule Darmstadt durchgeführt. Die Arbeit wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Wissenschaft unterstützt.

<sup>7</sup> C. R. FISCHER u. G. H. RAWITSCHER, Phys. Rev. **135**, B 377 [1964].

<sup>8</sup> H. A. BENTZ, R. ENGFER u. W. BÜHRING, Nucl. Phys. A **101**, 527 [1967].

<sup>9</sup> A. CH. THOMPSON, Thesis 1969, Report CAR-882-24.

<sup>10</sup> H. W. BAER, J. J. REIDY u. M. L. WIEDENBECK, Nucl. Phys. A **113**, 33 [1968].

<sup>11</sup> S. OFER u. A. SCHWARZSCHILD, Phys. Rev. **116**, 725 [1959].

<sup>12</sup> O. HANSEN u. N. NATHAN, Nucl. Phys. **42**, 197 [1963].

<sup>13</sup> D. H. WILKINSON, in F. AJZENBERG-SELOVE, Nucl. Spectroscopy, New York und London 1960.