

**(n, $\gamma$ )-Studien an Yb 172 und Yb 174\***

LUDWIG WIMMER

Physik-Department, Technische Universität München  
und Forschungsanlage der Dänischen Atomenergiekommission, Riso

(Z. Naturforsch. 28 a, 226–232 [1973]; eingeg. am 23. Dezember 1972)

*(n, $\gamma$ )-studies on Yb 172 and Yb 174\**

The Yb 171 (n,  $\gamma$ )- and Yb 173 (n,  $\gamma$ )-spectra have been measured in the energy region of 50–1650 keV with a bent crystal spectrometer. The high energy accuracy of the present data permitting the application of the energy combination principle and the high resolution, sufficient for the decomposition of close lying doublets, have allowed detailed work on the level schemes of Yb 172 and Yb 174. The results confirm the existence of previously proposed levels, in particular through the observation of interband transitions between states above 1 MeV. Several additional levels were found. A  $K = 0^+$  band is proposed at 1405 keV in Yb 172. In Yb 174 a  $K = 2^{(-)}$  band is seen at 1606 keV.

**1. Einleitung**

Im Rahmen einer ausführlichen Untersuchung der Niveauschemata von Yb169<sup>1</sup> und Yb175<sup>2</sup> nach dem Einfang thermischer Neutronen, wurden auch die (n,  $\gamma$ )-Spektren der gg-Kerne Yb 172 und Yb 174 gemessen. Da das verwendete Kristallspektrometer seine größte Empfindlichkeit im Bereich von etwa 100 bis 500 keV besitzt, mißt man damit vor allem  $\gamma$ -Linien, die Übergängen zwischen den Niveaus oberhalb der Energielücke entsprechen, während die früheren Messungen des radioaktiven Zerfalls, wie auch die bisherigen (n,  $\gamma$ )-Studien in erster Linie Information über die Depopulation dieser Niveaus in die Grundzustandsbande liefern. Daher ergänzen die hier mitgeteilten Daten die bisherigen Untersuchungen.

**2. Experimentelle Methode und Meßergebnisse**

Die Messung der  $\gamma$ -Spektren erfolgte mit dem Riso-Kristallspektrometer<sup>3</sup>. Die Quellen bestanden aus angereichertem Ytterbiumoxid (vgl. Tab. 1) vom Reaktorzentrum Seibersdorf. Die Herstellung und Montage der Quellen erfolgte im wesentlichen wie von BAADER et al.<sup>4</sup> beschrieben wurde.

Das Yb 171 (n,  $\gamma$ )-Spektrum wurde im Energiebereich (1. Reflexionsordnung) von  $E = 50 - 1320$  keV gemessen, das vom Neutroneneinfang in Yb 173 für  $E = 30 - 1250$  keV. Die energieabhängigen Nachweisgrenzen für  $\gamma$ -Linien sind in Abb. 1 dargestellt.

Die gemessenen Spektren wurden mit Rechenmaschinen unter Verwendung verschiedener Programme<sup>1,5</sup>

Sonderdruckanforderungen an Dr. O. SCHULT, Physik-Department, E17, Technische Universität München, 8046 Garching.

\* Auszug aus der von der Fakultät für Allgemeine Wissenschaften der Technischen Universität München genehmigten Dissertation über „(n, $\gamma$ )-Studien an Yb 169, Yb 172 und Yb 174“. Tag der Promotion – 13. 7. 1972.

ausgewertet. Die Energieeichung erfolgte mit Hilfe der von BERGVALL<sup>6</sup> sehr genau gemessenen Röntgen-

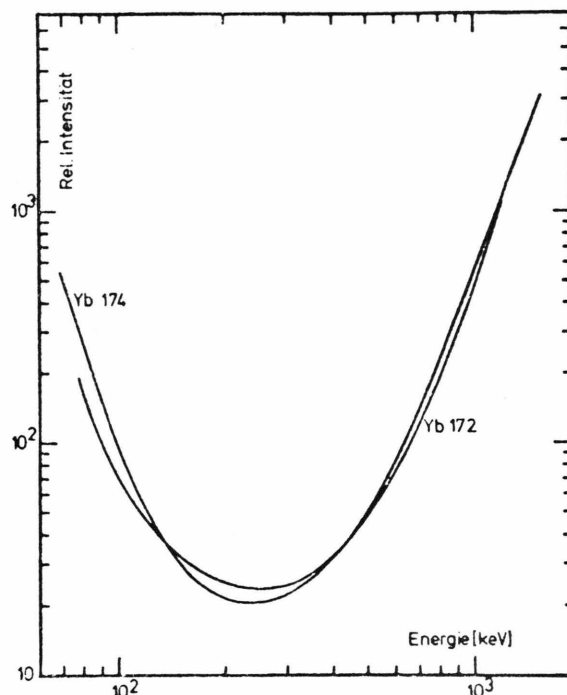


Abb. 1. Nachweisgrenzen der Messungen.

Linien. Die in Tab. 2 und 3 angegebenen relativen Energien stimmen daher bis auf einen Eichfehler von  $2 \times 10^{-5} \times E$  mit den tatsächlichen Energien (in keV) überein. Die relativen  $\gamma$ -Intensitäten wurden unter Berücksichtigung der Nachweiskurven des Spektrometers in den verschiedenen Reflexordnungen<sup>7</sup> und der berechneten  $\gamma$ -Absorption in den Quellen gewonnen. Die



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.

Tab. 1. Isotopenzusammensetzung der Yb 171 und Yb 173 Quellen.

Yb 171 Quelle	Yb 168	Yb 170	Yb 171	Yb 172	Yb 173	Yb 174	Yb 176
$p$ (Atom %)	—	0,05	98,6	0,80	0,2	0,27	0,07
$\sigma$ (barn)	3780	$\approx 92$	46	3,3	20	$\approx 55$	5,5
$\sigma \times p$ (%)	—	0,10	99,4	0,058	0,08	0,33	0,007
Yb 173 Quelle							
$p$ (Atom %)	—	—	0,05	0,2	99,1	0,7	0,06
$\sigma \times p$ (%)	—	—	0,1	—	98,0	0,19	—

Tab. 2. Liste der Yb 171 (n,  $\gamma$ ) Yb 172 Linien.

Energie (keV)	$E$ -Fehler (eV)	Auflösung (keV)	Intensität Relativ	$I$ -Fehler (%)
1154,5	600	3,7	838	27
1150,2	500	3,7	767	25
1143,2	300	2,5	1240	24
1119,59	120	1,4	3402	28
1117,60	500	1,4	1100	30
1093,84	150	1,4	2195	15
1076,29	100	1,3	3790	16
1039,29	170	2,0	1623	16
1030,0	900	5,9	826	17
1022,6	900	5,9	818	17
1003,0	800	5,8	601	30
964,17	100	1,0	1900	16
961,3	300	1,7	834	19
912,32	250	2,3	589	29
857,60	70	0,84	1956	17
715,84	250	1,5	132	26
605,7	400	2,0	87	30
602,43	60	0,68	307	17
576,34	60	0,63	222	19
565,16	60	0,60	120	19
562,65	200	1,8	56	29
560,5	400	0,89	81	43
558,87	50	0,59	272	17
535,4	300	1,6	57	31
528,27	40	0,53	310	17
523,0	600	0,78	112	20
519,47	250	1,5	70	29
490,49	40	0,46	195	17
485,50	200	1,3	82	20
476,36	50	0,43	124	18
437,83	150	0,54	38	24
436,12	60	0,54	68	18
401,59	150	0,92	50	26
399,73	50	0,45	73	18
377,502	25	0,27	194	16
291,475	9	0,096	80	15
287,139	7	0,090	579	16
287,020	30	0,090	61	31
279,726	12	0,15	88	16
278,49	120	0,22	24	23
278,07	30	0,22	32	20
264,728	15	0,13	32	19
255,05	30	0,18	15	31
250,035	15	0,12	42	17
247,735	10	0,11	59	16
208,305	15	0,082	25	23
203,434	9	0,078	39	20
181,530	4	0,062	4507	12
90,658	8	0,046	90	31
78,746	3	0,035	4547	27

Tab. 3. Liste der Yb 173 (n,  $\gamma$ ) Yb 174 Linien.

Energie (keV)	$E$ -Fehler (eV)	Auflösung (keV)	Intensität Relativ	$I$ -Fehler (%)
1633,7	1700	7,2	2600	60
1306,2	1100	5,2	4700	35
1242,01	300	2,9	9100	17
1213,1	1100	5,2	2500	35
946,1	1100	5,5	700	90
793,8	800	3,8	710	35
698,5	600	3,0	430	40
675,5	800	2,8	330	50
661,65	200	1,3	250	25
653,4	800	2,6	230	60
639,5	700	2,5	290	45
630,5	600	2,4	310	40
622,08	170	1,2	190	25
608,50	300	1,1	90	45
605,4	450	2,2	350	45
602,0	450	2,2	340	45
567,65	140	0,98	140	25
547,15	250	0,91	80	45
533,01	90	0,87	212	15
482,45	100	0,71	160	25
459,13	250	1,3	82	30
443,60	40	0,37	174	13
409,775	17	0,18	580	10
401,39	100	0,49	42	25
387,19	40	0,28	95	14
385,06	70	0,45	45	20
366,540	14	0,15	246	10
363,90	45	0,25	35	20
352,22	90	0,38	42	40
351,622	25	0,13	115	13
350,59	80	0,38	41	40
347,53	80	0,39	60	40
343,35	35	0,22	71	14
341,17	70	0,36	41	30
340,59	120	0,71	45	30
319,559	9	0,11	370	9
314,574	30	0,19	51	17
291,72	50	0,26	32	25
287,998	5	0,092	2110	9
280,00	45	0,16	42	50
272,9115	4,5	0,083	1200	9
268,93	35	0,15	21	30
253,28	35	0,20	22	30
252,181	17	0,13	57	15
248,142	15	0,13	61	14
247,59	90	0,37	23	40
245,037	6	0,067	262	10
240,298	20	0,12	39	20
233,393	9	0,060	91	12
224,344	4	0,056	380	9



dieser Banden diskutiert, für die die Kristallspektrometerdaten neue Information liefern.

Die  $K = 0^+$ -Bande bei 1042,9 keV

Die  $0^+$ -,  $2^+$ -, und  $4^+$ -Mitglieder dieser Bande mit der Konfiguration  $(5/2^- [512] - 5/2^- [512]) + (1/2^- [521] - 1/2^- [521]) + \dots$  sind zuerst von BURKE et al.<sup>8</sup> vorgeschlagen worden. Die ersten beiden Niveaus konnten bei Untersuchungen des  $\beta$ -Zerfalls des Tm172<sup>9,14</sup> bestätigt werden. In der (n,  $\gamma$ )-Reaktion werden sie vom Einfangzustand aus bevölkert<sup>12</sup>.

Die Ergebnisse der vorliegenden Messung bestätigen alle bisher beobachteten Übergänge in die Grundzustandsbande mit Ausnahme des von früheren Autoren<sup>12,13</sup> eingeordneten „1119“ keV-Übergangs, der wegen der besseren Auflösung des Kristallspektrometers als Dublett identifiziert werden konnte.

Energetisch ist als Grundzustandsübergang vom  $2^+$ -Niveau aus nur die 1117,6 keV-Linie möglich, während die intensivere 1119,59 keV-Linie erstmals an anderer Stelle eingeordnet wurde [siehe ( $K = 1^-$ )-Oktupolschwingungsbande]. BURKE et al.<sup>8</sup> finden das  $4^+$ -Niveau bei 1283 keV, O'NEILL et al.<sup>11</sup> bei 1286 keV. Nach den vorliegenden Daten scheint die 1022,6 keV-Linie den Übergang zum  $4^+$ -Niveau der Grundzustandsbande darzustellen, womit sich eine Energie von  $1282,8 \pm 0,8$  keV für das noch nicht gesicherte  $4^+$ -Niveau ergibt. Die Tatsache, daß im Vergleich zur Intensität der 1039 keV-Linie der 1117 keV-Übergang um den Faktor  $1,9 \pm 0,5$  schwächer, die 857 keV-Linie aber um den Faktor  $1,7 \pm 0,6$  stärker ist als nach Alaga für reine E2-Übergänge mit  $K = 0$  erwartet wird, deutet auf eine Bandenmischung hin.

Die ( $K = 1^-$ )-Oktupolschwingungsbande bei 1155,0 keV

O'NEILL und BURKE<sup>11</sup> führten auch eine umfangreiche Coriolismischungsrechnung zwischen allen Banden negativer Parität durch und konnten damit die experimentell gefundenen Niveaulagen der  $I^\pi = 3^-$  bis  $7^-$ -Mitglieder einer ( $K = 1^-$ )-Oktupolschwingungsbande mit der Konfiguration  $(7/2^+ [633] - 5/2^- [512])$  recht gut erklären. Die bei 1150 und 1198 keV erwarteten  $I^\pi = 1^-$  und  $2^-$ -Niveaus dieser Bande konnten jedoch mit der Reaktion ( $\text{He}^3, \alpha$ ) nicht angeregt werden.

Energiekombinationen mit den Kristallspektrometerdaten liefern in diesem Bereich Niveaus bei 1155,01 und 1221,77 keV. Die Art der Depopulation dieser Zustände durch intensive Übergänge in die Grundzustandsbande rechtfertigt die Annahme, daß es sich hier um das erwähnte  $1^-$  bzw. um das von O'NEILL bei 1222 keV angegebene  $3^-$ -Mitglied der Oktupolschwingungsbande handelt. Das gesuchte  $2^-$ -Niveau sollte nur durch einen starken Übergang zum  $2^+$ -Niveau der Grundzustands-

bande entvölkert werden. Sowohl energetisch als auch intensitätsmäßig kommt dafür nur die bereits erwähnte 1119,59 keV-Linie in Frage, so daß die Energie des  $2^-$ -Zustandes 1198,337 keV beträgt.

ALENIUS et al.<sup>12</sup> haben  $\gamma$ -Übergänge vom Compoundzustand in die beiden niedrigsten Niveaus gefunden. Über ihre mögliche Zuordnung zu einer Bande konnten sie jedoch nur Vermutungen äußern, da die „1119“ keV-Linie im Spektrum nicht aufgelöst war.

Die offensichtlich starke Störung der Niveaulagen läßt auf Beimischungen aus anderen Banden schließen. Die beobachtete Verschiebung der Niveaus mit ungeradem Spin nach unten deutet auf die Wechselwirkung mit einer höher liegenden ( $K = 0^-$ )-Konfiguration hin. Solche odd-even-shifts sind mehrfach beobachtet worden, z. B. auch beim Gd158<sup>15</sup>.

Die experimentellen Verzweigungsverhältnisse gehorchen deshalb auch nicht der Alaga-Regel für eine reine  $K = 1^-$ -Bande unter Annahme von E1-Strahlung. Während bezüglich der Depopulation des  $3^-$ -Niveaus die Diskrepanz einen Faktor 1,5 ausmacht, erreicht sie beim  $1^-$ -Term einen Faktor 12.

Die Bande bei 1404 keV

Aus hochenergetischen (n,  $\gamma$ )-Messungen<sup>12</sup> geht die Existenz zweier Niveaus bei 1405 und 1477 keV hervor. GREENWOOD et al.<sup>13</sup> fanden diese Zustände ebenfalls und ordneten sie als  $0^+$ - und  $2^+$ -Mitglieder einer ( $K = 0^+$ )-Bande zu, da die Depopulation der Terme nur zum  $2^+$ - bzw.  $0^+$ -,  $2^+$ - und  $4^+$ -Rotationsniveau der Grundzustandsbande erfolgt.

Bei der vorliegenden Messung werden erstmals Übergänge von den beiden Zuständen zu Niveaus über 1 MeV [ $(K = 0^+)$ - und  $1^-$ -Banden] beobachtet. Energetisch ist als ( $I = 0, K^\pi = 0^+, I = 2, K^\pi = 0^+$ )-Übergang anstatt der schwachen  $287,020 \pm 0,030$  keV-Linie zwar auch die Einordnung der  $287,139 \pm 0,007$  keV-Linie möglich, aber ihre im Vergleich zur 250 keV-Linie hohe Intensität macht diese Platzierung unwahrscheinlich wegen der Abwesenheit äquivalent starker E2-Übergänge vom 1476 keV-Term zu den  $0^+$ - und  $2^+$ -Niveaus der ( $K = 0^+$ )-Bande. Die Übergänge vom 1476 keV-Niveau zu den  $2^-$ - und  $3^-$ -Zuständen der ( $K = 1^-$ )-Bande und die obere Grenze für den unbeobachteten Übergang zum  $1^-$ -Term sind im Einklang mit der Alagaregel.

Die ( $K = 2^+$ )- und  $3^+$ -Banden bei 1608 und 1663 keV

Die Niveaus dieser beiden Banden mit den Konfigurationen  $(5/2^- [512] - 1/2^- [521])$  und  $(11/2^- [505] - 5/2^- [512])$ <sup>9,11</sup> sind bereits bis zum Spin  $5^+$  bekannt, da sie in der ( $^3\text{He}, \alpha$ )-Reaktion<sup>11</sup> und beim Elektroneneinfang des Lu172<sup>10</sup> populiert werden. Die dabei beobachteten Übergänge von den jeweils untersten zwei Niveaus dieser Banden zu den  $0^+$ - und  $3^+$ -Banden bei 1042 und 1172 keV werden durch die Kristallspektro-





von  $1215 \pm 1$  keV, die von ALENUS et al. angegeben, jedoch nicht ins Termschema eingeordnet wird.

Damit kann das neu gefundene  $4^-$ -Niveau als weitgehend gesichert angesehen werden. Auch die Rotationsparameter, die sich aus den drei Niveaulagen zu  $A = 10,871$  keV und  $B = -14,613$  eV ergeben, liegen in dem für diesem Kern üblichen Bereich.

#### Die Bande bei 1606 keV

Das hochenergetische (n,  $\gamma$ )-Spektrum<sup>12</sup> fordert ein Niveau bei etwa 1607 keV, welches die vorliegenden (n,  $\gamma$ )-Daten durch Übergänge in die  $2^-$ - und  $3^-$ -Niveaus der Oktupolschwingungsbande bestätigen und das deshalb  $I = 2$  oder 3 haben sollte.

Eine weitere Kombination zweier Linien, die ebenfalls die  $2^-$ - und  $3^-$ -Mitglieder der Oktupolvibrationsbande bevölkern, legt ein Niveau bei 1661,990 keV nahe, welches bisher noch nicht gefunden worden war.

Die Art der Depopulation beider Niveaus läßt vermuten, daß es sich hier um Mitglieder einer Bande handelt. Dann müssen den Niveaus die Spins 2 bzw. 3 zugeschrieben werden. Mit  $A = 9,4$  keV kann die Lage des folgenden Rotationsterms zu 1736 keV abgeschätzt werden. Man erwartet, daß dieses Niveau zu den  $3^-$ - und  $4^-$ -Mitgliedern der Oktupolschwingungsbande zerfällt. Die Linien mit 352,2 und 268,9 keV erfüllen diese Bedingung und sprechen für das gesuchte  $I = 4$  Niveau bei 1734,52 keV. Bei derselben Energie finden auch ALENUS et al.<sup>12</sup> ein Niveau, das vom  $2^-$ -,  $3^-$ -Compoundzustand aus bevölkert wird im Einklang mit dem hier zugeordneten Spin.

Tab. 4. Verzweigungsverhältnisse für Dipolübergänge zwischen der 1606 keV Bande und der Oktupolschwingungsbande.

$K_i = 2, K_f = 2$		
$I_i \rightarrow I_f$ $\bar{I}_i \rightarrow \bar{I}_f$	experimentell	theoretisch
$2 \rightarrow 2$ $2 \rightarrow 3$	$5,5 \pm 0,8$	4,3
$3 \rightarrow 2$ $3 \rightarrow 3$	$1,6 \pm 0,5$	1,3
$4 \rightarrow 3$ $4 \rightarrow 4$	$2,0 \pm 0,6$	3,5

Ein Rotationsterm mit Spin 1 konnte nicht gefunden werden in Übereinstimmung mit der Tatsache, daß nur unter Annahme von  $K = 2$  die experimentellen Verzweigungsverhältnisse mit den nach ALAGA berechneten verträglich sind (Tab. 4).

Die Depopulation der Bande legt im Hinblick auf empirisch ermittelte Hinderungsfaktoren<sup>19</sup> negative

Parität nahe, ebenso eine qualitative Betrachtung der möglichen Struktur dieser Bande. Der Grundzustand des Yb173 hat die Struktur  $5/2^-$  [512]. Nach dem Nilsson-Schema erwartet man folgende Kombinationen, die  $K = 2$  ergeben:

$$5/2^- [512] - 1/2^- [510], 5/2^- [512] - 1/2^- [521] \text{ und } 9/2^+ [624] - 5/2^- [512].$$

Die erste Möglichkeit scheidet aus, da diese Bande bereits von BURKE et al. bei einer anderen Energie gefunden wurde. Von den verbleibenden Strukturen ist die mit negativer Parität wahrscheinlicher, da die  $2^-$ -Oktupolvibration, in die die neue Bande ausschließlich zerfällt, nach BURKE einen großen Anteil derselben Zwei-Quasiteilchenkonfiguration  $9/2^+ [624] - 5/2^- [512]$  enthält.

Diese Strukturdeutung entspricht zwar dem experimentellen Befund, muß aber wie die 1661 und 1734 keV-Niveaus und die gesamte ( $K = 2$ )-Bande durch zusätzliche Informationen noch erhärtet werden.

#### Die $K = 2^+$ $\gamma$ -Schwingungsbande

In den (d, p)- und (d, d')-Reaktionen werden die Mitglieder einer ( $K = 2^+$ )  $\gamma$ -Vibrationsbande bei 1630, 1702, 1800 und 1926 keV gefunden. Bei der (n,  $\gamma$ )-Reaktion<sup>12</sup> bevölkert ein primärer Übergang ein Niveau bei 1634 keV und eine Linie von  $1634,6 \pm 1,0$  keV depopuliert dieses Niveau in den Grundzustand. Dieser Übergang ist wahrscheinlich identisch mit der komplexen Linie von  $1633,6 \pm 1,6$  keV bei der Kristallspektromettermessung. Sie kombiniert mit einer bisher nicht beobachteten 314,5 keV-Linie zu einem Niveau bei 1633,103 keV in Übereinstimmung mit dem von den obigen Autoren angegebenen  $2^+$ -Niveau.

Die genaue Lage des  $3^+$ -Niveaus läßt sich leider nicht angeben, da dieser Term sowohl durch die 385,0 als auch durch die 387,1 keV-Linie zum 1318 keV-Niveau depopuliert werden kann und der Übergang zum 76,4 keV-Zustand nicht von der 1633,7 keV-Linie vom  $2^+$ -Term zum Grundzustand getrennt werden konnte.

Für die E1-Hinderung der Übergänge in die Oktupolschwingungsbande erhält man aus dem zu 1,7 s.p.u. gemessenen  $B(E2; 0,0^+ \rightarrow 2,2^+)$ -Wert<sup>8</sup>  $H(E1)_w \approx 1,3 \cdot 10^3$ . Dieser Wert liegt mitten im Bereich der bisher bei anderen Kernen gefundenen E1-Hinderungsfaktoren für  $\Delta K = 0$ <sup>19</sup> und stützt die Einordnung der Übergänge zum 1318 keV-Niveau.\*

\* Nach Abschluß dieser Arbeit wurde uns eine weitere Untersuchung der Niveauchemata von Yb 172 und Yb 174 durch Greenwood et al.<sup>20</sup> bekannt. Die Ergebnisse beider Arbeiten stimmen bis auf die fragliche 1606 keV-Bande im Yb 174 überein. Greenwood et al. interpretieren diese Bande als  $K = 3^+$  mit den  $4^+$ - und  $5^+$ -Zuständen bei 1701 und 1819 keV. Eine solche Deutung steht nicht im Widerspruch zu unserer Messung und scheint hinsichtlich der umfangreichen Daten von Greenwood et al. sogar wahrscheinlicher.

- <sup>1</sup> L. WIMMER, Dissertation, Technische Universität München 1972.
- <sup>2</sup> D. BREITIG, Z. Naturforsch. **26a**, 371 (1971).
- <sup>3</sup> H.R. KOCH, H.A. BAADER, D. BREITIG, K. MÜHLBAUER, U. GRUBER, B.P.K. MAIER u. O.W.B. SCHULT, Neutron Capture Gamma-Ray-Spectroscopy, IAEA, Vienna, 1969, S. 65.
- <sup>4</sup> H.A. BAADER, H.R. KOCH, D. BREITIG, O.W.B. SCHULT, R.C. GREENWOOD, C.W. REICH, A. BÄCKLIN and B. FOGELBERG, Neutron Capture Gamma-Ray-Spectroscopy, IAEA, Vienna, 1969, S363.
- <sup>5</sup> K. MÜHLBAUER, Dissertation, Technische Universität München 1968.
- <sup>6</sup> P. BERGVALL, Ark. Fys. **16**, 57, (1969).
- <sup>7</sup> D. BREITIG, Dissertation, Technische Universität München 1971.
- <sup>8</sup> D.G. BURKE und B. ELBEK, Mat. Fys. Medd. Dan., Vid. Selsk. 36, No. 6 (1967).
- <sup>9</sup> O.H. OTTESON und R.G. HELMER, Phys. Rev. **164**, 1485 (1967).
- <sup>10</sup> D. SEN u. E.F. ZGANJAR, Nucl. Phys. **A148**, 634 (1970).
- <sup>11</sup> R.A. O'NEILL u. D.G. BURKE, Nucl. Phys. **A182**, 342 (1972).
- <sup>12</sup> G. ALENIUS, S.E. ARNELL, C. SCHELE u. E. WALLANDER, Priv. Mitteilung.
- <sup>13</sup> R.C. GREENWOOD, C.W. REICH u. S.M. VEGORS, jr, Phys. Lett. **213**, 33B (1970).
- <sup>14</sup> K. WIEN u. K. BLANK, Z. Phys. **216**, 1 (1968).
- <sup>15</sup> H.A. BAADER, Dissertation 1970, TU München.
- <sup>16</sup> L. FUNKE, H. GRABER, K.-H. KAUN, H. SODAN u. L. WERNER, Nucl. Phys. **61**, 465 (1965).
- <sup>17</sup> J. KANTELE, E. LIUKKONEN u. A. SARMANTO, Z. Phys. **204**, 456 (1967).
- <sup>18</sup> T. TUURNALA, V. PURSIHEIMO u. E. LIUKKONEN, Z. Phys. **247**, 436 (1971).
- <sup>19</sup> K.E.G. LÖBNER, Phys. Lett. **26B**, [1968].
- <sup>20</sup> R. C. GREENWOOD, Idaho Nuclear Corp. Report IN-1407 (1970).