

# Untersuchungen zum Niveauschema von $^{152}\text{Eu}$ mit Konversionselektronen nach Neutroneneinfang \*

WALTHER KAISER

Physik-Department der Technischen Hochschule München

(Z. Naturforsch. **25 a**, 602–607 [1970]; eingegangen am 5. März 1970)

*Studies of the level scheme of  $^{152}\text{Eu}$  by neutron capture conversion electrons*

With the beta-spectrometer at the research reactor near Munich the conversion-electron spectrum of  $^{152}\text{Eu}$  from slow neutron capture has been measured. In the range between 0 and 350 keV approximately 500 lines were found. For the low-energy-states a level scheme is proposed and compared with earlier level schemes of  $^{152}\text{Eu}$ . New transitions for the 9.3 h-isomer were found.

## 1. Einleitung

Der Kern  $^{152}\text{Eu}$  hat als isobare Nachbarn  $^{152}\text{Sm}$  und  $^{152}\text{Gd}$ . Während  $^{152}\text{Sm}$  deformiert ist, hat  $^{152}\text{Gd}$  vorwiegend sphärische Gestalt. Der uu-Kern  $^{152}\text{Eu}$  liegt somit im Übergangsgebiet zwischen deformierten und sphärischen Kernen und ist von besonderem Interesse, da er möglicherweise zu den Nukliden gehört, die bei niederen Anregungsenergien sowohl deformierte als auch sphärische Zustände besitzen. So hat PEKER <sup>1, 2</sup> die Hypothese aufgestellt, daß der 12,4 a-Grundzustand von  $^{152}\text{Eu}$  deformiert ist und deshalb mit größerer Wahrscheinlichkeit nach  $^{152}\text{Sm}$  zerfällt, während der angeregte 9,3 h-Zustand sphärisch ist und darum bevorzugt nach  $^{152}\text{Gd}$  zerfällt.

Der instabile Kern  $^{152}\text{Eu}$  wird durch radioaktiven Zerfall nicht erreicht. Durch den hohen Einfangquerschnitt für thermische Neutronen ist der Einfang eines Neutrons in den stabilen Kern  $^{151}\text{Eu}$  günstig zur Population angeregter Zustände von  $^{152}\text{Eu}$ .

In früheren Arbeiten wurden nach der Szintillationsmethode einzelne Linien des  $\gamma$ -Spektrums nach Neutroneneinfang gemessen <sup>3–7</sup>. Mit einem Kristallspektrometer wurde das  $\gamma$ -Spektrum bis 225 keV aufgenommen <sup>8, 9</sup> und die absoluten Intensitäten einiger Linien bestimmt <sup>10</sup>. Mit der Untersuchung von isomeren Zuständen <sup>11–14</sup> begann der Aufbau eines Niveauschemas. Ebenfalls wurde das Konversionselektronenspektrum <sup>15, 16</sup> und einige Koinzidenzspektren von Konversionselektronen untersucht und ein erweitertes Niveauschema vorgestellt <sup>17</sup>. Ein von diesem Schema abweichendes Niveauschema wurde auf Grund der Messungen von SCHULT <sup>9</sup> und bisher unveröffentlichter hochenergetischer Gammadaten von SHERA <sup>18</sup> aufgestellt <sup>19</sup>.

Die bisherigen Messungen haben gezeigt, daß das Neutroneneinfangspektrum von  $^{152}\text{Eu}$  überaus komplex ist. Voraussetzung für die Aufstellung eines Niveauschemas ist darum die Spektroskopie mit der

Sonderdruckanforderungen an Dr. T. v. EGIDY, Physik-Department, Techn. Hochschule München, D-8000 München 2, Arcisstraße 21.

\* Auszug aus der von der Fakultät für Allgemeine Wissenschaften der Technischen Hochschule München genehmigten Dissertation über „Das Konversionselektronenspektrum von  $^{152}\text{Eu}$  nach Neutroneneinfang. Ein 10-fach-Zählrohr für ein Betaspektrometer.“ Tag der Promotion: 19. 12. 1969.

<sup>1</sup> L. K. PEKER, Sov. Phys. JETP **6**, 226 [1958].

<sup>2</sup> L. K. PEKER, Bull. Acad. Sci. USSR, Phys. Ser. **31**, 21 [1961].

<sup>3</sup> J. E. DRAPER, Phys. Rev. **114**, 268 [1959].

<sup>4</sup> J. E. DRAPER u. A. A. FLEISCHER, Nucl. Phys. **13**, 53 [1959].

<sup>5</sup> E. T. PATRONIS JR. u. H. MARSHAK, Phys. Rev. **115**, 1287 [1959].

<sup>6</sup> V. V. SKLYAREVSKII, E. P. STEPANOV u. B. A. OBINYAKOV, J. Nucl. Energy **9**, 69 [1959].

<sup>7</sup> R. C. GREENWOOD u. J. H. REED, IIT research Institute, Chicago, Ill., IITRI-1193-53 [1965].

<sup>8</sup> O. SCHULT, Z. Physik **158**, 444 [1960].

<sup>9</sup> O. W. B. SCHULT, Z. Naturforsch. **16 a**, 927 [1961].

<sup>10</sup> H. A. NEUMANN, Z. Naturforsch. **21 a**, 1328 [1966].

<sup>11</sup> P. KIRKBY u. T. M. KAVANAGH, Nucl. Phys. **49**, 300 [1963].

<sup>12</sup> A. M. BERESTOVOL, D. M. KAMINKER u. I. A. KONDUROV, Sov. Phys. JETP **18**, 613 [1964].

<sup>13</sup> A. M. BERESTOVOL, I. A. KONDUROV u. YU. E. LOGINOV, Bull. Acad. Sci. USSR, Phys. Ser. **28**, 1593 [1964].

<sup>14</sup> K. TAKAHASHI, M. McKEOWN u. G. SCHARFF-GOLDHABER, Phys. Rev. **137**, B 763 [1965].

<sup>15</sup> V. A. BONDARENKO, P. T. PROKOFJEV u. L. I. SIMONOVA, Sov. J. Nucl. Phys. **5**, 662 [1967].

<sup>16</sup> P. T. PROKOFJEV, M. K. BALODIS, YA. YA. BERSIN, V. A. BONDARENKO, N. D. KRAMER, E. YA. LURE, G. L. REZVAYA u. L. I. SIMONOVA, Atlas der Spektren von Konversionselektronen, die nach dem Einfang thermischer Neutronen von Kernen mit  $A=143-197$  ausgesandt werden, und Niveauschemata, Akad. Wiss. Lett. SSR, Riga 1967.

<sup>17</sup> A. V. BOROVNIKOV, V. S. GROZDEV u. G. D. PORSEV, Sov. J. Nucl. Phys. **7**, 694 [1968].

<sup>18</sup> E. B. SHERA u. D. W. HAFEMEISTER, veröffentlicht in Nucl. Data A **5**, 149 [1968].

<sup>19</sup> L. V. GROZHEV, G. A. BARTHOLOMEW u. a., Nucl. Data A **5**, 1 [1968].



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.

höchsten möglichen Auflösung. Aus diesem Grund wurde der niederenergetische Teil des  $^{151}\text{Eu}(n, e^-)$ -Spektrums mit der besten erreichbaren Auflösung gemessen.

Kürzlich wurden auch von anderen Gruppen sehr genaue gammaspektroskopische Messungen vorgenommen<sup>20, 21</sup>. Mit den früher veröffentlichten Daten und einem geringen Teil der Information aus den Konversionselektronen-Messungen und den niederenergetischen  $\gamma$ -Daten<sup>20</sup> lassen sich die bisherigen Niveauschema-Vorschläge überprüfen. Es zeigt sich, daß einige Abänderungen notwendig sind, die in der vorliegenden Arbeit untersucht werden.

Eine vollständige Auswertung der übrigen spektroskopischen Information soll im Rahmen einer kooperativen Arbeit erfolgen, wobei auch auf weitere Daten [hochenergetische  $(n, \gamma)$ ,  $(d, p)$ ,  $(d, t)$  und soweit möglich  $(\gamma, \gamma)$ ] zurückgegriffen werden soll. Diese Arbeit wird auch die Tabelle der Konversionselektronenlinien enthalten.

## 2. Messungen

Die Messungen wurden am Betaspektrometer des Forschungsreaktors München durchgeführt<sup>22, 23</sup>. Der thermische Neutronenfluß am Targetort betrug nach der Erhöhung der Reaktorleistung auf 4 MW etwa  $6,4 \times 10^{12}$  n/cm<sup>2</sup> s. Die Neutronenrate wurde mit einer Glasszintillator (Typ NE 902 Nuclear Enterprises Ltd., Edinburgh, G.B.)-Photovervielfacher-Anordnung registriert. Bisher wurde als Neutronendetektor ein  $\text{BF}_3$ -Zählrohr verwendet, dessen Lebensdauer beschränkt ist. Die mit der neuen Anordnung gemessene Zählrate ist um den Faktor 10 größer und erlaubt daher eine größere Genauigkeit. Als Elektronendetektor diente ein Methan-Durchflußzählrohr, das mit einem  $50 \mu\text{g}/\text{cm}^2$  dünnen Formwar-Fenster Elektronen ab 8 keV nachweist<sup>24</sup>. Der Spalt vor dem Zählrohr war  $1,5 \times 15 \text{ mm}^2$  groß. Bei der Targetherstellung wurde angereichertes Europiumoxyd (Hersteller: Union Carbide Nuclear Company, Oak Ridge, Tennessee, USA) reduziert und auf  $0,2 \text{ mg}/\text{cm}^2$  dicke Aluminiumfolie aufgedampft<sup>25</sup>. Das Targetmaterial bestand aus 96,83%  $^{151}\text{Eu}$  und 3,17%  $^{152}\text{Eu}$ . Der Anteil anderer Elemente war jeweils kleiner als 0,2%.

Das Konversionselektronenspektrum wurde mehrmals im Bereich zwischen 0 und 720 keV aufgenommen. Zur Messung der niederen Elektronenenergien wurde an das Target eine Spannung von 12 kV gelegt. Die erzielte Auflösung ist in Abb. 1 für verschiedene Targets in Abhängigkeit von der Elektronenenergie dargestellt.

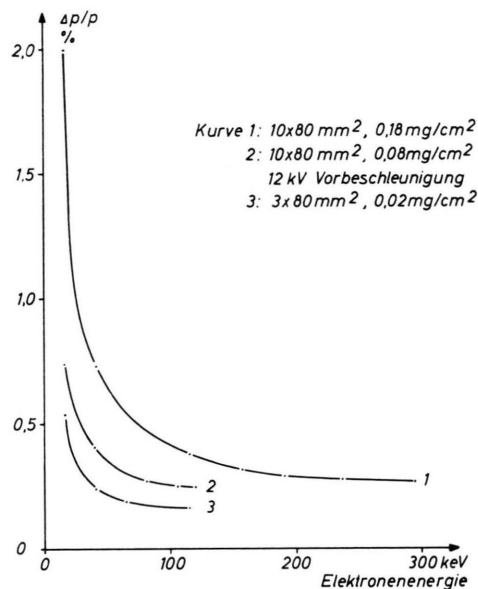


Abb. 1. Erreichte Auflösung mit verschiedenen Targets.

## 3. Meßergebnisse

Einen Ausschnitt aus dem gemessenen Konversionselektronenspektrum zeigt Abb. 2. Mit einem früher beschriebenen Rechenmaschinen-Programm<sup>26, 27</sup> wurden die Linienlagen und Intensitäten der Konversionselektronenlinien berechnet. Für die Energieeichung wurden 13 intensive Konversionselektronenlinien, deren  $\gamma$ -Energien von MÜHLBAUER<sup>20</sup> gemessen wurden, unter Benutzung der Elektronenbindungsenergien von HAGSTRÖM u. a.<sup>28</sup> verwendet. Die Intensitätseichung wurde mit der 121,8 keV-Zerfallslinie in  $^{152}\text{Sm}$ , deren E2-Multipolordnung und Intensität (14 pro 100 Zerfälle des 9,3 h-Niveaus) bekannt ist<sup>29</sup>, durchgeführt.

<sup>20</sup> K. MÜHLBAUER, Dissertation, TH München 1969. — H. R. KOCH, H. A. BAADER, D. BREITIG, K. MÜHLBAUER, U. GRUBER, B. P. K. MAIER u. O. W. B. SCHULT, in: "Neutron Capture Gamma-Ray Spectroscopy", IAEA, Wien 1969, S. 65.

<sup>21</sup> E. B. SHERA, Los Alamos, persönliche Mitteilung 1969.

<sup>22</sup> T. v. EGIDY, Ann. Physik **9**, 221 [1962].

<sup>23</sup> T. v. EGIDY, Habilitationsschrift, TH München 1968.

<sup>24</sup> T. v. EGIDY, E. BIEBER u. TH. W. ELZE, Z. Physik **195**, 489 [1966].

<sup>25</sup> R. MAIER, Diplomarbeit, TH München 1966.

<sup>26</sup> TH. W. ELZE, Z. Physik **194**, 280 [1966].

<sup>27</sup> T. v. EGIDY u. TH. W. ELZE, FRM-Bericht Nr. 79, TH München 1966.

<sup>28</sup> S. HAGSTRÖM, C. NORDLING, K. SIEGBAHN, in: K. SIEGBAHN, Alpha-, Beta- and Gamma-Ray Spectroscopy, Amsterdam 1965.

<sup>29</sup> Nuclear Data Sheets 5-6-45 [1964].

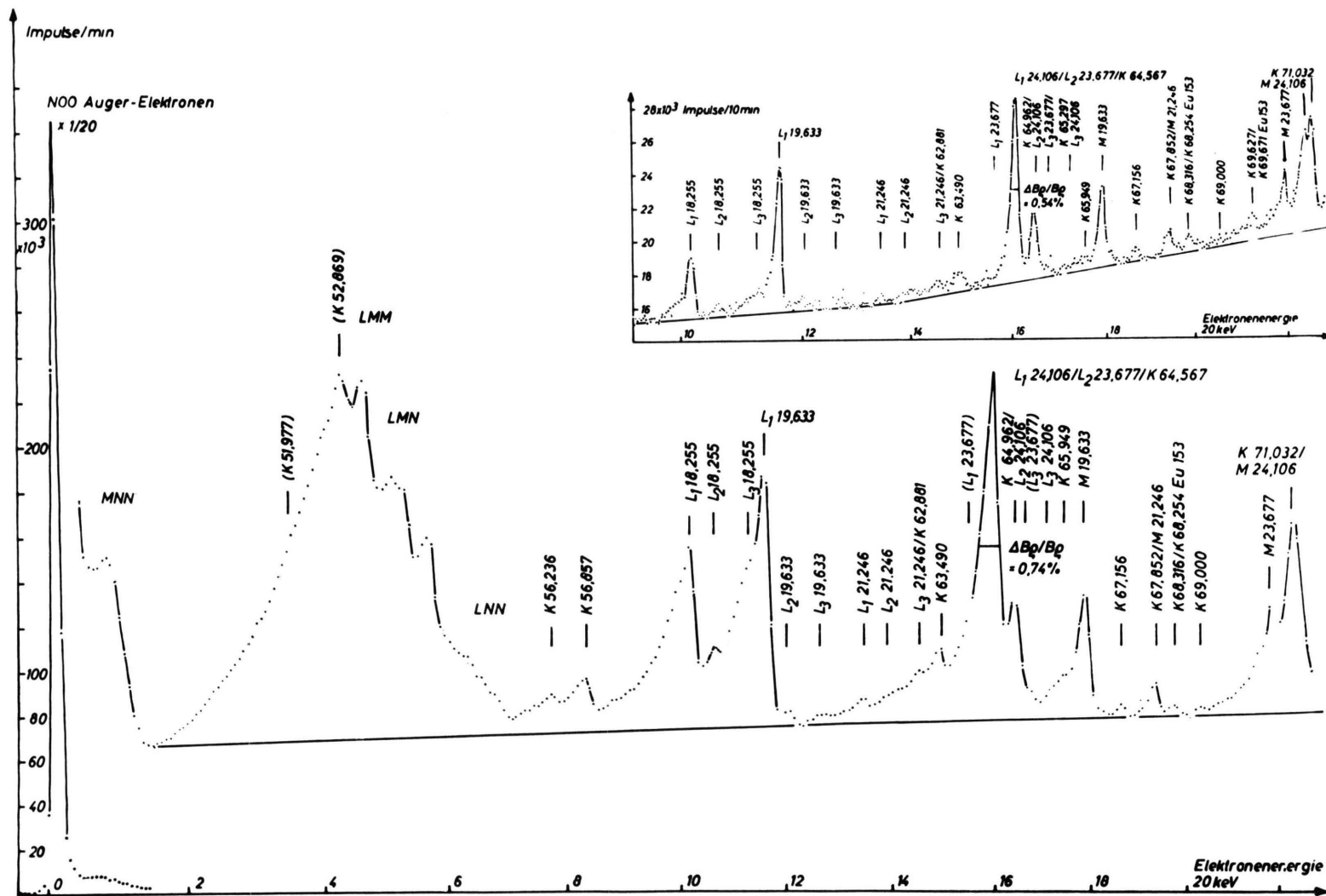


Abb. 2. Ausschnitt aus dem Konversionselektronenspektrum von  $^{152}\text{Eu}$  nach Neutroneneinfang; oben: Target  $0,02 \text{ mg/cm}^2$ , unten: Target  $0,08 \text{ mg/cm}^2$ , 12 kV Vorbeschleunigung.

### Vergleich mit anderen Messungen

Die früher gemessenen Multipolordnungen von Übergängen in  $^{152}\text{Eu}$  sind in Tab. 1 zusammengestellt und werden mit den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit verglichen. In vielen Fällen besteht Übereinstimmung. Die Energie des zuerst von TAKAHASHI u. a.<sup>14</sup> gefundenen 18,25 keV-Übergangs wird in der vorliegenden Arbeit um den Faktor 10 genauer angegeben. Im Gegensatz zu BONDARENKO u. a.<sup>15</sup> wurde kein M2-Anteil beim 89,8505 keV-Übergang gefunden.

In der Arbeit von BOROVIKOV<sup>17</sup> wird die Multipolordnung von 11 Übergängen aufgeführt, von denen 3 den vorliegenden Ergebnissen widersprechen. Die Bestimmung der von diesen Autoren angegebenen Multipolordnungen stützt sich auf die Konversionselektronenintensitäten von BONDARENKO u. a. und die  $\gamma$ -Intensitätsangaben von SCHULT<sup>9</sup>, die nur grobe Anhaltspunkte darstellen. Die eigentliche Messung der Intensitäten der  $\gamma$ -Linien in  $^{152}\text{Eu}$  wurde von MÜHLBAUER<sup>20</sup> vorgenommen, so daß erst jetzt sinnvolle Angaben der Multipolordnung möglich sind. Es muß ferner berücksichtigt werden, daß einige Linien, die bisher als Einzellinien angesehen wurden, nach den neuen Messungen eine komplexe Struktur aufweisen.

### 4. Niveauschema

Die neuesten Arbeiten über das Niveauschema von  $^{152}\text{Eu}$  sind von BOROVIKOV u. a.<sup>17</sup> und GROSHEV, BARTHOLOMEW u. a.<sup>19</sup> veröffentlicht worden.

BOROVIKOV u. a. haben die Kristallspektrometer- $\gamma$ -Daten von SCHULT<sup>9</sup>, die Untersuchungen über den Zerfall des isomeren 96 min-Zustandes von TAKAHASHI u. a.<sup>14</sup>, die Konversionselektronen-Messungen von BONDARENKO u. a.<sup>15</sup> und PROKOFJEV u. a.<sup>16</sup> und ihre eigenen Koinzidenzspektren von Konversionselektronen verwendet. In dem Niveauschema-Vorschlag endet die Kaskade mit den Übergängen 73,4290 keV und 77,2615 keV und dem Crossover-Übergang 150,680 keV auf dem isomeren 9,3 h-Zustand. Dessen Lage ist bezüglich des Grundzustandes durch den 199,201 keV-Übergang und durch die Kombination der Übergänge 46,1517 keV und 109,349 keV, 102,626 keV und 52,871 keV festgelegt. Weitere Argumente für diese Zuordnung waren die Koinzidenzen der Linien 40,6–46,1–109,4–89,9 keV und 40,6–46,1–73,4–77,26 keV. Außerdem stimmt das Intensitätsverhältnis der 77,3 keV- und 89,9 keV-Übergänge mit dem Verhältnis der Aktivierungsquerschnitte für den 9,3 h-Zustand und den Grundzustand ungefähr überein. MÜHLBAUER hat mit den genauen  $\gamma$ -Energien nachgeprüft, daß die Kombinationsbedingung zwar für die Übergänge 46,2 keV und 109,3 keV, 102,6 keV und 52,9 keV, aber nicht für den 199,2 keV-Übergang erfüllt ist. Nach den Messungen von MÜHLBAUER haben sich andere  $\gamma$ -Intensitäten und auch ein anderes Intensitätsverhältnis der 77,3 keV- und 89,9 keV-Übergänge ergeben. Somit sind wesentliche Argumente für die Lage des 9,3 h-Zustandes durch die neuen  $\gamma$ -Daten hinfällig geworden.

$\gamma$ -Energie (keV) <sup>20</sup>	TAKAHASHI u. a. <sup>14</sup>	BONDARENKO u. a. <sup>15</sup>	BOROVIKOV u. a. <sup>17</sup>	eigene Messung
18,255 *	M1 + 0,1% E2			M1 + (0,19 ± 0,10) % E2
19,663 *				M1 + <0,1% E2
24,106 *				M1 + (0,5 ± 0,5) % E2
39,75 <sup>14</sup>				
40,6218	E3	E1	E1	
46,1504			E1	M1, E2
52,8693			E1, M1	E1, M1 + E2
73,4280		M1 + 7% E2	M1	M1 + <10% E2
77,2583	E1	M1 + 3% E2	M1	M1 + (1,0 ± 0,5) % E2
89,8492		E1 + 2% M2	E1	E1 + <0,2% M2
102,6292			E1, E2, E3, M1	E1, M1, E2
106,3339		(M2)		E1, M1 + E2
109,3490 **		(M2)	M2	E1, M1, E2
143,2204			E1	E1
150,6883			E2	M1, E2
199,1795 **			M1	(E2)

\* Übergangsenergie aus der Konversionselektronen-Messung.    \*\* Komplexe Linie<sup>20</sup>.

Tab. 1. Vergleich der in früheren Arbeiten gemessenen Multipolordnungen von Übergängen in  $^{152}\text{Eu}$ .

GROSHEV, BARTHOLOMEW u. a. haben ebenfalls die Kristallspektrometer- $\gamma$ -Daten von SCHULT, Untersuchungen des Zerfalls des isomeren 96 min-Zustandes von KIRKBY u. a.<sup>11</sup>, hochenergetische  $\gamma$ -Daten von SHERA u. a.<sup>18</sup> und andere Daten benutzt. Das Niveauschema enthält alle Niveaus, die durch die hochenergetischen Übergänge nahegelegt werden. Von 145 niederenergetischen  $\gamma$ -Linien zwischen 30 und 225 keV wurden 9 Linien eingeordnet. Die Zahl der zufälligen Kombinationen dürfte ziemlich hoch sein, da mit zwei Ausnahmen jeweils nur eine Linie ein Niveau verläßt. Mit folgenden  $\gamma$ -Energien<sup>20</sup> wurden die wichtigsten Kombinationen nachgeprüft:

32,6341 <sup>3</sup>	206,4617 <sup>20</sup>
71,0323 <sup>5</sup>	283,818 <sup>7</sup>
77,2583 <sup>6</sup>	(Energien in keV)
168,7608 <sup>12</sup>	

Die Nachprüfung zeigt folgende Unstimmigkeiten: die Energiedifferenz der Linien mit 283,8 keV und 206,382 keV stimmt mit der 77,2583 keV-Linie nicht überein. Der Abstand der Niveaus mit 77,2 keV und 114,8 keV müßte durch die Energien der Linien mit 71,0323 keV und 32,6341 keV einerseits, und 206,4617 keV und 168,7608 keV andererseits gegeben sein. Diese Energiedifferenzen stimmen aber ebenfalls nicht überein. Infolgedessen ist die Kombinationsbedingung für fünf niederenergetische Linien nicht erfüllt. Die in dem Niveauschema enthaltenen Linien mit 841,4 keV und 963,8 keV sind Zerfallslinien<sup>29</sup> von <sup>152</sup>Sm.

Das für die niederenergetischen Zustände von <sup>152</sup>Eu vorgeschlagene Niveauschema zeigt Abb. 3. Es wurde aufgestellt mit Hilfe der Untersuchungen von TAKAHASHI u. a., der Koinzidenzmessungen von Konversionselektronen von BOROVNIKOV u. a.<sup>17</sup>, der Messungen des hochenergetischen Teiles des  $\gamma$ -Spektrums von SHERA u. a.<sup>18</sup>, der Kristallspektrometer- $\gamma$ -Daten von MÜHLBAUER und der eigenen Konversionselektronen-Messungen.

Die Argumente für die Aufstellung der Niveaus und für die Bestimmung von Spin und Parität werden im folgenden gegeben. Spin und Parität des Ausgangskerns <sup>151</sup>Eu wird in <sup>30</sup> mit  $5/2^{+}$  angegeben. Deshalb befindet sich der nach dem Einfang eines thermischen Neutrons gebildete Kern in einem Zustand mit den Spinwerten 2 und 3 und wahrscheinlich positiver Parität. Der Spin 3 überwiegt nach den Messungen von STOLOVY<sup>31</sup>. Für die durch hochenergetische Dipol-Übergänge vom Einfangszustand bevölkerten Niveaus werden aus diesem Grund bevorzugt die Spins und Paritäten  $1^{\pm}$ ,  $2^{\pm}$ ,  $3^{\pm}$ ,  $4^{\pm}$  erwartet.

**Grundzustand:** Spin und Parität des 12,4 a-Grundzustandes wird mit  $3^{-}$  angegeben<sup>32, 33</sup>.

**77,2583 keV:** hochenergetische Übergänge zu Niveaus bei 77,2 keV und 148,8 keV, Koinzidenz der 77,2615 keV- und 73,4290 keV-Übergänge<sup>17</sup> und die Erfüllung der Kombinationsbedingung rechtfertigen Niveaus bei 77,2583 keV und 150,6870 keV. Spin und Parität beider Niveaus werden später mit dem 150,6870 keV-Niveau behandelt.

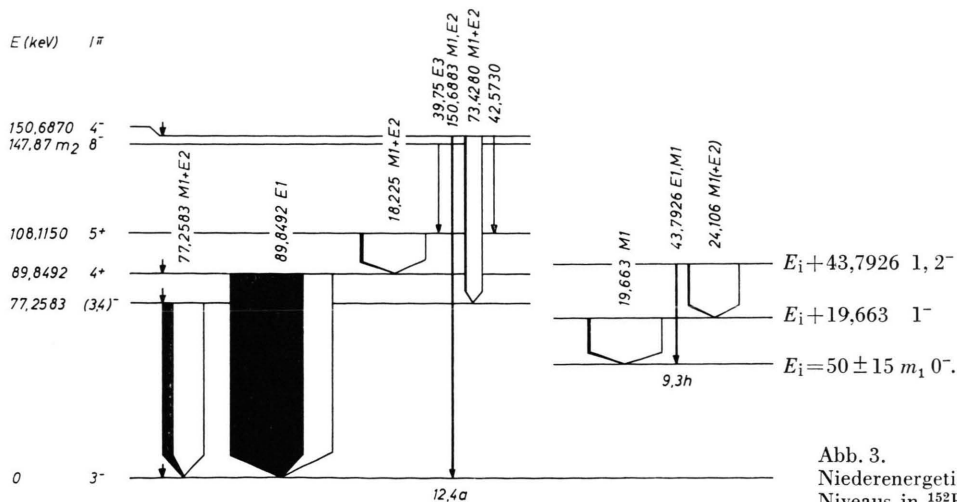


Abb. 3.  
Niederenergetische  
Niveaus in <sup>152</sup>Eu.

<sup>30</sup> Nuclear Data Sheets 5-5-1 [1963].

<sup>31</sup> A. STOLOVY, Phys. Rev. **134**, B 68 [1964].

<sup>32</sup> M. ABRAHAM, R. KEDZIE u. C. D. JEFFRIES, Phys. Rev. **108**, 58 [1957].



89,8492 keV: das am längsten bekannte Niveau ist durch einen hochenergetischen Übergang nach einem 88,6 keV-Niveau bestätigt. Mit einer Gesamtintensität von 44,7% führt von diesem ein E1-Übergang zum Grundzustand. Positive Parität ist deshalb sicher, der Spin 4 wird von TAKAHASHI u. a. als wahrscheinlich angesehen.

108,1150 keV: durch Koinzidenzmessungen des 18,25 keV- mit dem 89,83 keV-Übergang von TAKAHASHI u. a. und Kombinationen von niederenergetischen Übergängen ist das Niveau gesichert. Spin und Parität werden von TAKAHASHI u. a. wegen des 18,25 keV-M1 + E2-Übergangs mit  $5^+$  bezeichnet. Hätte das Niveau die Signierung  $4^+$ , dann würde ein E1-Übergang zum Grundzustand erwartet. Dieser wurde nicht beobachtet.

147,87 keV: auf Grund von Koinzidenzmessungen wurde dieses isomere Niveau von TAKAHASHI u. a. angegeben und mit  $8^-$  bezeichnet, da ein E3-Übergang zu dem  $5^+$ -Niveau führt.

150,6870 keV: die Begründung für das Niveau ist bei dem 77,2583 keV-Niveau gegeben worden. Ein Übergang zum Grundzustand mit  $3^-$ , dessen Multipolordnung M1 oder E2 ist, und ein Übergang nach dem  $5^+$ -Niveau verlangen die Spinwerte 4 oder 5. Negative Parität erfordern die Übergänge mit 77,2583 keV und 73,4280 keV, die beide M1 + E2-Mischungen sind, und der Übergang zum Grundzustand. Wegen der Bevölkerung aus dem Einfangzustand ist aber nur der Wert  $4^-$  zu erwarten. Für das 77,2583 keV-Niveau ergibt sich somit die Signierung  $(3,4)^-$ .

#### *Isomerer Zustand und darauf aufbauende Niveaus*

Das Niveauschema enthält keine Aussagen über den Zerfall zu dem isomeren 9,3 h-Zustand, der  $(50 \pm 15)$  keV über dem Grundzustand liegen soll<sup>33</sup>.

Spin und Parität wird mit  $0^-$  angegeben<sup>34</sup>. Es ist sehr wahrscheinlich, daß die intensiven Übergänge mit 19,663 keV und 24,106 keV zu dem 9,3 h-Zustand führen, da die Intensitätsbilanz für den Grundzustand bereits ausgeglichen ist. Die Gesamtintensität der Übergänge zu dem Grundzustand beträgt  $(60 \pm 10)\%$ . Aus dem totalen und dem 9,3 h-Einfangquerschnitt<sup>35</sup> ergibt sich eine Population von 65% für den 12,4 a-Anteil. Die 19,663 keV-Linie kann mit einer Intensität von 33,4 pro 100 Einfänge nur auf das isomere Niveau gesetzt werden. Setzt man den 24,106 keV-Übergang auf die 19,663 keV-Linie, so existiert innerhalb des doppelten Fehlers ein 43,7926 keV-Crossover-Übergang<sup>20</sup>. Damit ergeben sich über dem isomeren Niveau mit der Energie  $E_i$  die beiden Niveaus  $(E_i + 19,663)$  keV und  $(E_i + 43,7926)$  keV. Wegen des M1-Charakters der 19,663 keV- und der 24,106 keV-Linien ergibt sich für das  $(E_i + 19,663)$  keV-Niveau Spin und Parität  $1^-$  und für das  $(E_i + 43,7926)$  keV-Niveau  $1, 2^-$ . Die Spinwerte zeigen die Schwierigkeit, diese Niveaus in das übrige Niveauschema, in welchem nur Spins größer als 3 auftreten, einzuordnen. Eine Erweiterung des Niveauschemas soll in der bereits erwähnten gemeinsamen Veröffentlichung diskutiert werden.

Herrn Professor Dr. H. MAIER-LEIBNITZ und Herrn Dr. H. VONACH bin ich für die Überlassung und Förderung dieser Arbeit zu Dank verpflichtet. — Herrn Dr. T. v. EGIDY und Herrn Dr. O. W. B. SCHULT danke ich herzlich für jederzeit gewährte Unterstützung und weiterführende Diskussionen. — Herrn Dr. K. MÜHLBAUER und meinem Kollegen W. MAMPE möchte ich für stete Hilfsbereitschaft und freundschaftliche Zusammenarbeit danken. — Dank schulde ich der Betriebsleitung und den Betriebsangehörigen des Forschungsreaktors München und dem Leibniz-Rechenzentrum der Bayerischen Akademie der Wissenschaften für das freundliche Entgegenkommen während der Messungen und für die Gewährung von Rechenzeit.

<sup>33</sup> L. GRODZINS u. A. W. SUNYAR, Phys. Rev. Letters **2**, 307 [1959].

<sup>34</sup> S. ANDRÉ, P. LIAUD, F. PERALES u. S. Y. VAN DER WERF, Phys. Letters **30 B**, 160 [1969].

<sup>35</sup> BNL 325, Sec. Ed., Suppl. II C; Neutron Cross Sections 1966.