

Konversionselektronen von ^{156}Gd nach Neutroneneinfang

K. Schreckenbach

Physik-Department der Technischen Universität München

(Z. Naturforsch. **29 a**, 17–30 [1974]; eingegangen am 1. Oktober 1973)

The Conversion Electron Spectrum of the Reaction $^{155}\text{Gd}(n,e)^{156}\text{Gd}$

The conversion electron spectrum of the reaction $^{155}\text{Gd}(n,e)^{156}\text{Gd}$ has been measured up to 8.5 MeV. The results below 4.5 MeV are presented and multipolarities are determined with these results. E0 admixtures of the $\Delta I=0$ transitions from the 0^+ β -vibrational band to the ground state band were determined with 15% accuracy. ^{156}Gd level schemes are discussed and extended by new spin and parity assignments.

1. Einleitung

Der gerade-gerade Kern ^{156}Gd liegt am Beginn eines Gebietes stark deformierter Kerne. ^{156}Gd eignet sich gut zur Überprüfung des kollektiven Modells von g-g-Kernen¹, da dieser Kern den verschiedensten Meßmethoden zugänglich ist. Das Studium von ^{156}Gd war daher in letzter Zeit Ziel zahlreicher Experimente und Berechnungen.

Angeregte Zustände von ^{156}Gd nach dem β -Zerfall von ^{156}Eu wurden von Peek² und Ewan³, nach dem Elektroneneinfang in ^{156}Tb von McMillan u. a.^{4,5}, Fujioka⁶ und Peek⁷ untersucht. (d,d')- und (p,t)-Messungen^{8–10} ergaben wertvolle Aufschlüsse über die Struktur von kollektiven Anregungszuständen. Bollinger u. a.¹¹ bestimmten aus der Messung der Resonanzeinfanggammastrahlung von Neutronen eine Reihe von Spins und Paritäten im Niveauschema von ^{156}Gd . Wegen des extrem hohen Wirkungsquerschnitts von ^{155}Gd für thermische Neutronen (61 000 barn) wurde sehr intensiv an (n, γ)- und (n,e)-Experimenten mit thermischen Neutronen gearbeitet^{12–17}. Die mit Hilfe dieser Messungen aufgestellten umfangreichen Niveauschemata erforderten neue Konversionselektronenmessungen, um Spins und Paritäten der Niveaus zu bestimmen und somit neue Aussagen über die Kernstruktur von ^{156}Gd zu erhalten.

2. Experiment und Auswertung

Die Konversionselektronenspektren der Reaktion $^{155}\text{Gd}(n,e)^{156}\text{Gd}$ wurden am Betaspektrometer^{18–20} des FRM gemessen. Die Schichtdicken der Targets

betragen 1,5 mg/cm² und 10 mg/cm² angereichertes $^{155}\text{Gd}_2\text{O}_3$ (1,1% ^{157}Gd Verunreinigung). Dazu wurde $^{155}\text{Gd}_2\text{O}_3$ auf 10×80 mm² einer 1 mg/cm² dicken Al-Folie sedimentiert, mit einer 0,2 mg/cm² dicken Al-Folie abgedeckt und daraufhin mit 3000 kg/cm² gepreßt.

Mehrere Male wurde das Konversionselektronenspektrum von 80 keV bis 2400 keV (dünnes Target) und von 900 keV bis 8500 keV (dickes Target) gemessen. Die Impulsauflösung betrug 0,25% bei 1 MeV mit dem dünnen Target und ebenfalls 0,25% bei 7 MeV mit dem dicken Target. Einen Ausschnitt aus dem Konversionselektronenspektrum zeigt Abbildung 1. Die Auswertung erfolgte mit Computerfitprogramm unter Berücksichtigung der energieabhängigen Linienform.

Die Intensitäten mußten auf den Targetabbrand während der Messungen korrigiert werden. Die numerischen Berechnungen des Targetabbrandes sind im Anhang angeführt und erfolgten am Computer.

3. Ergebnisse

Tabelle 1 zeigt das Meßergebnis bis 2,5 MeV. Die γ -Daten sind der Messung von Koch u. a. am Kristallspektrometer in Risö¹⁴, der Ge(Li)-Detektor Messung von Greenwood u. a. in Idaho¹⁴ sowie der Ge(Li)-Messung von Siddiqi u. a.¹⁵ entnommen. Im Energiebereich bis 1,3 MeV wurden die genaueren Energiewerte des Kristallspektrometers verwendet und bei höheren Energien bis 2,5 MeV die gemittelten Werte aus den Messungen von Greenwood u. a.¹⁴ und Siddiqi u. a.¹⁵. Die Energieeichung der Konversionselektronenspektren erfolgte über folgende Linien:

199,213; 296,526; 356,426; 526,919; 614,490;
841,20; 969,86; 1040,43; 1129,40 keV
Koch u. a.¹³;

Sonderdruckanforderungen an Dr. K. Schreckenbach, Physik-Department, E 18, Technische Universität München, D-8046 Garching.

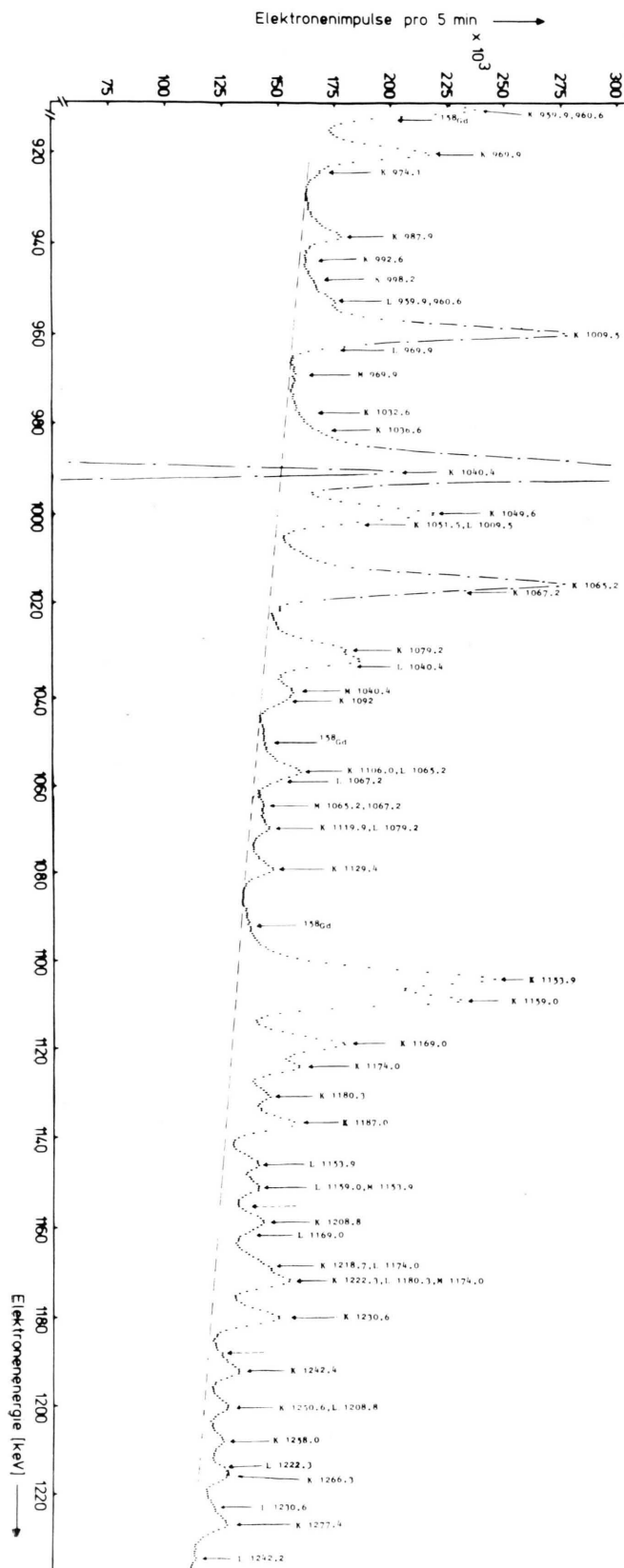


Dieses Werk wurde im Jahr 2013 vom Verlag Zeitschrift für Naturforschung in Zusammenarbeit mit der Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften e.V. digitalisiert und unter folgender Lizenz veröffentlicht: Creative Commons Namensnennung-Keine Bearbeitung 3.0 Deutschland Lizenz.

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.



1682,27 keV Greenwood u. a.¹⁴; Siddiqi u. a.¹⁵;
6033,8; 7287,7 keV Greenwood u. a.¹⁴.

Die in Tab. 1 aufgeführten Energiefehler der Elektronenlinien enthalten Fitfehler, Eichfehler und einen systematischen Fehler von $1 \cdot 10^{-4}$, welcher sich vor allem aus der Unsicherheit der Linienformparameter bei der Auswertung mit dem Computer ergibt.

Da die entsprechenden γ -Intensitäten der drei γ -Messungen keine systematischen Abweichungen voneinander aufweisen, wurden daraus die gewichtet gemittelten γ -Intensitäten verwendet. Sie sind auf eine Intensität $I_\gamma = 100$ pro 1000 Einfänge der 1159,0 keV-Linie bezogen und entsprechen nach der Kristallspektrometereichung absolut der Zahl γ -Quanten pro 1000 Neutroneneinfänge (30% Fehler). Die Intensitätseichung der Konversionselektronenmessung wurde mit Hilfe der theoretischen Konversionskoeffizienten aus Ref.²¹ und der folgenden γ -Übergänge vorgenommen:

L 88,967 (E2), $I_\gamma = 275$	K 1187.03 (E1), $I_\gamma = 66$
K 199,213 (E2), $I_\gamma = 421$	K 1230.61 (E1), $I_\gamma = 79.2$
K 296,526 (E2), $I_\gamma = 36$	K 1242.42 (E1), $I_\gamma = 41.2$
K 987.92 (E1), $I_\gamma = 28.4$	K 1266.32 (E2), $I_\gamma = 13.1$
K 1129.40 (E2), $I_\gamma = 12.7$	K 1366.48 (E1), $I_\gamma = 20.0$

Die Multipolaritäten dieser intensiven Übergänge ergeben sich eindeutig aus dem als gesichert geltenden Teil des Niveauschemas von ^{156}Ge ^{5, 6, 14, 15}. Die relativ große Zahl der Eichlinien mittelt mit großer Wahrscheinlichkeit systematische Fehler bei der Wahl des jeweiligen Spektrumsuntergrundes weg. Es wurde auf Zählrohrfensterabsorption und Targetabbbrand korrigiert. Die mittlere quadratische Abweichung vom Mittelwert dieses Eichfaktors beträgt 5% und ist geringfügig größer als der statistische Fehler (4%). Diese 5% Fehler des Eichfaktors sind in Tab. 1 in AI_e/I_e berücksichtigt. Zwischen den Messungen mit dem dünnen und dicken Target, für welche die Intensitätseichungen getrennt durchgeführt wurden, ergaben sich keine wesentlichen Diskrepanzen. Die Intensitäten der Störlinien von ^{158}Gd wurden durch den Vergleich der Intensitäten der K (181,9 keV)- und K (1438 keV) ^{158}Gd -Störlinien in der ^{156}Gd -Messung mit den (n, γ)- und (n, e)-Messungen von Baader²² bzw. von Ref. ^{23, 24} gewonnen. Der Wirkungsquerschnitt für thermische

Abb. 1. Ausschnitt aus dem Konversionselektronenspektrum von ^{156}Gd .

$E_\gamma (\Delta E_\gamma)$	$I_\gamma^{(f)}$	$\frac{\Delta I_\gamma}{I_\gamma}$	hale	E_e	ΔE_e	E_{trans}	I_e x1000	$\frac{\Delta I_e}{I_e}$	χ_{exp}^2 x1000	$\frac{\Delta \chi_{exp}^2}{\chi_{exp}^2}$	$\chi_{theor.}^2$ x1000	Multipo- larität			Kommentar
[keV]		[%]		[keV]	[keV]	[keV]		[%]		[%]	E1	E2	M1		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
88.967(2) ⁱ	275	7	L	80.9	0.3	88.6	495000	14	1800	--	52	1800	350	E2	
			M	87.2	0.3	89.1	115000	7	418	10	11.1	423	76		
111.938(2)	2.3	10	L	103.8	0.2	111.6 ^s	(820)	20	(357)	22	27.2	634	180	M1, E2	Dublett mit K(155.1)
			M	110.4	0.2	112.3	150	40	65	40	5.8	148	39		-a
155.165(2)	1.22	7	K	105.06	0.15	155.30 ^s	(750)	15	(615)	17	76	335	498	M1, E2	Dublett mit L(111.9)
199.213(2) ^{e, i}	421	10	K	148.96	0.04	199.20	66300	7	158	--	39	158	250	E2	
			L	191.38	0.04		22400	10	53	--	5.5	53	35.4		
			M	197.56	0.04		5130	10	12	14	1.20	12.3	7.7		+K(248.3), +L(205.5)
			N	199.02	0.05		1140	15	2.7	18					
205.438(2)	2.1	10	K	155.25	0.16	205.49	106	35	50	35	36.0	144	229	E1	
248.334(3)	0.97	20	K	197.56	0.04	247.80 ^s	66300	7	-		21.0	80	140		+M(199.2), +L(205.5)
			L	240.16	0.13		40	50	41	50	3.10	23.0	19.2		
262.578(3)	4.1	10	K	212.36	0.04	262.60	275	10	67	14	19.0	69	118	E2	
			L	254.47	0.05		76	10	19	14	2.64	18.1	16.6		+K(304.6), $I_\beta = 0.24$
			M	261.30	0.17		15	20	3.7	22	0.57	4.12	3.61		
296.526(3) ^{e, i}	36	10	K	246.27	0.04	296.51	1590	10	45	14	14.0	48.0	85	E2	
			L	288.40	0.06		495	10	14	14	1.92	11.5	12.0		+a
			M	294.66	0.05		113	10	3.1	14	0.42	2.6	2.6		-a
348.702(7) ^k	0.31	10	K	298.71	0.24	348.95	20	25	65	25	9.3	31.0	56	M1	
350.454(5)	5.9	10	K	300.17	0.05	350.41	341	7	58	12	9.2	29.7	55	M1	
			L ₁	342.05	0.05	350.43	48	10	8.1	14	1.1	3.4	7.1		
356.426(5) ^e	9.6	10	K	306.16	0.05	356.40	269	6	28	12	8.9	28.3	52	E2	
			L	347.97	0.10		60	8	6.3	13	1.20	6.0	6.3		+K(398.4)
380.381(8) ^k	0.40	10	} K	330.48	0.12	380.72	26	25	33	30	7.5	24.3	46.0	{ M1, E2	d
381.134(8) ^k	0.40	10												{ M1, E2	d
398.353(11) ^k	0.41	10	K	347.97	0.10	398.21 ^s	<10		<24		6.6	20.7	39.5	E1, E2	-L(356.4)
407.225(8)	1.27	5	K	356.68	0.15	406.92	17	20	13.4	20	6.5	19.6	37.0	E2	
			L	401.09	0.14		6.3	20	5.0	20	0.87	3.87	5.2		+K(451.5)
422.381(12)	0.59	7	K	371.97	0.42	422.21	7.4	25	12.5	26	6.1	18.0	34.5	E2, E1	
			L	414.59	0.17		3.8	40			0.80	3.32	4.90		+K(464.8)
426.214(26) ^k	0.13	15	} K	376.22	0.28	426.46	6.2	25	14.4	30	5.9	17.5	33.5	{ (M1)	d
427.222(15) ^k	0.30	8												{ (E1)	d
445.494(9)	1.09	5	K	395.14	0.17	445.88	4.8	15	4.4	17	5.3	15.4	29.4	E1	
451.482(18) ^k	0.38	7	K	401.09	0.14	452.09 ^s	<2.6		<6.9		5.1	15.0	29.0	E1	-L(407.2)

Tab. 1. Konversionselektronen von ¹⁵⁶Gd im Energiebereich von 80 keV bis 2,4 MeV.

noch Tabelle 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
454.467(25) ^k	0.32	8	K	403.87	0.19	454.11	4.4	25	13.8	26	5.1	14.5	28.5	E2	
456.585(17) ^k	0.53	8	K	406.31	0.16	456.55	18.0	17	34	19	5.0	14.1	28.0	M1	
458.237(16) ^k	0.60	7	K				<5.0		<8.3		5.0	14.1	27.5	E1	
459.832(10) ^k	2.07	10	K	409.66	0.15	459.90	7.6	25	3.7	27	4.87	14.1	27.1	E1	
460.810(24) ^k	0.33	10	K	410.45	0.19	460.59	8.3	25	25	27	4.83	14.0	27.0	M1 (+E2)	
464.785(24) ^k	0.28	10	K	414.59	0.17	464.83	1.9	70	6.8	70	4.78	13.5	26.5	(E1)	-L(422.4)
470.142(36) ^k	0.26	15	K	419.89	0.22	470.13	6.0	50	23	50	4.70	13.3	26.0	M1, E2	+L(427.2)
472.700(10) ^k	3.3	5	K	422.30	0.08	472.54	17.0	10	5.2	12	4.57	13.2	25.2	E1	D7
			L	463.97	0.24		5.1	30	1.5	30	0.61	2.41	3.50		+K(514.1)
478.900(24) ^k	0.40	10	K	428.71	0.10	478.95	10.4	10	26	15	4.43	12.7	24.2	M1	-a
483.615(40) ^k	0.23	13	K	433.87	0.15	484.10	6.9	25	3.6	30	4.32	12.3	23.7		
484.808(17) ^k	1.7	10	L	476.71	0.08		58.0	8			0.57	2.24	3.28	E1	+K(526.9)
486.084(21) ^k	0.62	10	K	435.78	0.12	486.02	14.3	8	23	13	4.25	12.1	23.2	M1	
488.614(22) ^k	0.40	10	K	439.28	0.54	489.52	<3.0		<3.5		4.20	11.8	22.7	E1	
490.320(34) ^k	0.47	10												E1	
494.946(11) ^k	2.0	10	K	444.65	0.16	494.89	9.8	16	4.9	19	4.12	11.7	22.4	E1	
			L	487.60	0.13		10.3	13			0.55	2.09	3.11		+K(537.0), +L(406.4)
496.405(11) ^k	2.3	10	K	446.17	0.15	496.41	15.4	15	6.7	18	4.09	11.6	22.3	E1	
			L	487.60	0.13		10.3	13			0.54	2.08	3.09		+K(537.0), +L(404.0)
499.712(14) ^k	1.2	10	K	449.33	0.12	499.57	25	7	20.8	27	4.03	11.4	21.9	M1	
512.982(28) ^k	0.52	10	K	462.62	0.19	512.86	8.5	20	16.3	22	3.91	10.6	20.8	M1 (+E2)	
520.651(21) ^k	0.78	8	K				<4.0		<5.2		3.82	10.2	19.8	E1	
522.283(33) ^k	0.44	11	K	471.93	0.15	522.17	4.5	12	4.8	20	3.79	10.0	19.5	{(E1)}	c
522.940(31) ^k	0.50	10													
526.919(12) ^e	3.1	5	K	476.71	0.08	426.95	57	7	18.4	9	3.58	9.9	19.2	M1	-L(483.6, 484.8)
			L	519.15	0.20		20.0	25			0.47	1.74	2.65		+K(569.7)
532.420(13) ^k	4.2	8	K	482.15	0.08	532.39	15.3	8	3.6	12	3.50	9.7	18.7	E1	
534.320(12) ^k	5.0	8	K	484.12	0.08	534.36	15.8	14	3.2	16	3.47	9.6	18.5	E1	
537.900(23) ^k	0.80	8	K	487.60	0.13	537.84	8.6	15	10.7	17	3.40	9.3	18.0	E2	
538.245(30) ^k	0.45	10	K	507.93	0.14	538.17	6.6	20	14.7	22	3.10	8.6	16.3	M1 (+E2)	-L(404.0, 406.4)
561.069(52) ^k	0.49	16	K	511.17	0.36	561.41	4.6	12	9.4	20	3.08	8.5	16.2	E2	
567.686(13) ^k	3.7	5	K	517.49	0.08	567.73	51.6	7	13.9	9	3.04	8.3	15.9	M1 (+E2)	+K(608.7, 609.6)
			L	558.97	0.15		11.8	8	3.2	10	0.40	1.40	2.18		-L(526.9)
569.746(31) ^k	0.55	9	K	519.15	0.20	569.39 ^a	11.8	35	21.4	35	3.02	8.3	15.8	M1	
575.778(72) ^k	0.34	15	K	525.30	0.23	575.54	3.9	25	11.5	25	2.95	8.1	15.4	M1, E2	
578.938(28) ^k	0.67	8	K	529.42	0.08	579.66	16.1	7	6.4	12	2.90	7.9	15.1	{E1}	d
579.833(17) ^k	1.91	8												E2	d
585.798(72) ^k	0.42	12	K	535.90	0.17	586.14	5.0	20	11.9	20	2.85	7.7	14.6	M1, E2	
596.943(21) ^k	1.5	6	K	546.47	0.19	596.71	4.2	15	2.8	17	2.73	7.3	14.0	E1	a

noch Tabelle 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
727.163(39) ^k	4.5	11	K	677.02	0.15	727.26	35.1	6	3.66	15	1.81	4.62	8.6	M1, (E2)	E2
727.702(39) ^k	5.1	12	L	718.65	0.19		12.2	10	1.27	17	0.24	0.72	1.18	E1	E2
745.754(47) ^k	2.5	8	K	696.28	0.14	746.52	8.5	18	1.7	22	1.72	4.37	8.1	E1	+K(766.9) I _γ =1.0 d, -L(704.3)
747.536(62) ^k	2.4	8												E1	d
748.704(39) ^k	4.8	6	K	698.24	0.10	748.48	34.1	7	7.1	10	1.70	4.33	8.0	M1 (+E2)	
750.543(56) ^k	2.2	9	K	700.47	0.23	750.71	4.9	28	2.2	30	1.69	4.30	8.0	E1	
755.756(57) ^k	2.2	9	K	705.50	0.12	755.74	14.2	7	6.5	12	1.67	4.24	7.8	M1 (+E2)	-L(713.1)
761.250(47) ^k	4.3	7	K	711.46	0.17	761.70	18.5	8	2.64	13	1.65	4.17	7.7	E1	d
762.389(60) ^k	2.7	11												E2	d
778.233(44)	4.6	7	K	728.06	0.27	778.30	29.3	9	2.40	15	1.57	3.95	7.2	E2	d, -a
780.231(41)	7.6	5	K	730.51	0.35	780.75								E1	d
786.95(5)	3.1	8	K	736.42	0.16	786.66	11.2	8	3.60	12	1.54	3.87	7.1	E2	
789.64(12) ^k	1.0	20	K	739.68	0.20	789.92	2.8	50	2.8	50	1.53	3.84	7.0	E2, (E1)	-a, -L(745.7, 747.5)
796.13(11)	1.2	20	K	746.00	0.30	796.24	3.2	30	2.7	36	1.51	3.77	6.9	E2, (E1)	-L(755.8)
801.97(15) ^k	0.9	12	K	752.38	0.30	802.62 ^a	3.0	20	3.3	24	1.49	3.71	6.8	E2	-L(761.3)
811.79(5)	3.7	5	K	761.43	0.11	811.67	21.5	6	5.8	8	1.45	3.62	6.6	M1 (+E2)	
			L	803.42	0.60		1.9	30	0.51	30	0.19	0.55	0.89		
816.25(4)	6.5	5	K	765.98	0.18	816.22	6.5	30	1.0	30	1.44	3.57	6.5	E1	-a
823.27(6)	4.3	8	K	772.21	0.23	822.45 ^a	12.7	10	2.7	14	1.41	3.51	6.4	(E2)	-a, -L(780.2), D?
			L	816.02	0.12		10.9	10			0.18	0.53	0.86		-a, +K(866.5)
826.01(13)	1.3	15	K	775.46	0.20	825.70	3.8	30	2.9	35	1.40	3.48	6.3	E2	-a
841.20(3) ^a	16.6	4	K	790.84	0.17	841.08	52	7	3.13	8	1.35	3.35	6.0	E2	
			L	832.38	0.14		6.5	15	0.39	16	0.18	0.50	0.82		
849.46(11)	1.8	10	K	799.19	0.15	849.40	7.0	12	3.9	16	1.33	3.28	5.9	E2	
855.90(12) ^k	1.4	15	K				<3.0		<2.1		1.31	3.22	5.8	E1	
859.06(13)	2.2	9	K				<3.1		<1.4		1.30	3.20	5.7	E1	
866.51(12)	4.4	7	K	816.02	0.12	866.26 ^a	7.9	18	1.8	20	1.28	3.14	5.6	E1	-a, -L(823.3)
877.56(5)	8.4	5	K	827.45	0.12	877.69	26.6	7	2.71	10	1.24	3.04	5.4	E2	-a
879.58(24) ^k	1.4	20	L	871.56	0.22		11.4	10			0.16	0.45	0.74	E1, (E2)	+K(922.3), -a
896.04(22) ^k	1.3	20	K	847.20	0.14	897.44	3.7	25	0.98	30	1.20	2.92	5.2	E1	-a
898.17(13) ^k	2.5	12												E1	
901.80(19) ^k	1.3	15	K	851.47	0.21	901.71	5.2	15	4.0	22	1.18	2.88	5.1	M1, E2	-L(859.1)
912.24(40) ^k	1.7	24	K	863.22	0.28	913.46	8.5	13	2.6	35	1.16	2.81	4.96	E2	d, -a
914.77(60) ^k	1.9	32	L	905.86	0.31		3.9	13	1.1	35	0.15	0.42	0.67	E2	d
916.34(12) ^k	2.6	12	K	865.75	0.23	915.99	9.3	15	3.6	20	1.15	2.78	4.90	M1, E2	-a
922.33(8)	4.3	8	K	871.56	0.22	921.80 ^a	11.0	10	2.6	14	1.13	2.74	4.83	E2	-a, -L(879.6)
926.26(13)	4.5	9	K	876.02	0.20	926.26	11.9	13	2.6	16	1.12	2.72	4.78	E2	
932.06(14) ^k	2.2	8	K	881.97	0.32	932.21	2.0	75	0.9	75	1.11	2.69	4.71	(E1)	

noch Tabelle 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
942.53(36) ^k	1.8	22	K	893.00	0.13	943.24 ^a	9.1	10	2.4	25	1.09	2.62	4.58	(E2)	-a
944.26(29) ^k	2.0	20												(E2)	
947.04(26) ^k	2.1	20	K	896.43	0.26	946.67 ^a	7.5	11	3.6	25	1.08	2.60	4.53	M1, E2	-L(901.8)
949.17(14) ^k	3.5	12	K	900.20	0.76	950.44	2.2	30	0.63	35	1.07	2.59	4.51	E1	+K(902.6)
			L	942.76	0.71		1.2	40	0.34	45	0.14	0.38	0.61		$I_{\gamma}=45.2(7)$
959.86(9) ^k	30.4	20	K	909.78	0.13	960.02	122	6	2.70	10	1.05	2.52	4.38	E2	+K(1009.5)
960.55(12) ^k	17.4	30	L	951.73	0.13		12.6	12	0.28	15	0.13	0.37	0.59	E2	
			M	959.49	0.13		207	6			0.03	0.08	0.13		
969.86(4) ^e	35.2	5	K	919.66	0.13	969.90	90	7	2.56	9	1.03	2.47	4.28	E2	
			L	962.30	0.68		6.6	40	0.19	40	0.13	0.36	0.58		
974.07(12) ^k	3.2	10	K	923.82	0.32	974.06	6.7	15	2.10	20	1.02	2.45	4.23	E2	
979.88(18) ^k	2.0	12	K				<3.0		<1.5		1.01	2.42	4.17	E1	
983.90(26) ^k	1.8	16	K				<3.0		<1.7		1.01	2.40	4.13	E1	
987.92(5) ¹	28.4	5	K	937.69	0.14	987.93	28	8	0.99	10	1.00	2.38	4.09	E1	-L(949.2)
992.61(24) ^k	1.7	13	K	942.76	0.71	993.00 ^a	<2.0		<1.2		0.99	2.36	4.05	E1	
998.19(39) ^k	1.3	23	K	947.73	0.18	997.97	2.7	15	2.1	27	0.98	2.33	3.99	E2	-a
1009.53(6)	13.7	5	K	959.49	0.14	1009.73 ^a	203	6	14.8	8	0.96	2.27	3.89	M1, E2 +	-M(959.9, 960.6)
			L	1001.41	0.34		17	30	1.2	30	0.12	0.34	0.52	1.1-1.25%EO ⁶ +K(1051.5)	
1032.62(11)	6.6	6	K				<10		<1.5		0.92	2.17	3.69	E1	
1036.62(11)	5.5	6	K				<10		<1.8		0.91	2.16	3.65	(E1)	
1040.43(5) ^e	42.4	4	K	990.20	0.14	1040.44	475	5	11.2	7	0.90	2.14	3.62	M1, E2 +	
			L	1032.30	0.10		68	8	1.60	10	0.12	0.31	0.49	0.76-0.91 %	
			M	1038.93	0.67		11	55	0.26	55	0.02	0.07	0.10	EO ⁶	
	<1.0		K	999.38	0.09	1049.62	108	6	>108		0.90	2.12	3.63	EO	
			L	1040.30	0.30		16	9	>16		0.12	0.30	0.48		
1051.47(27) ^k	1.9	14	K	1001.41	0.34	1051.65	17	30			0.89	2.09	3.53		+L(1009.5)
1065.15(5)	83	4	K	1015.04	0.14	1065.28	177	10	2.13	11	0.07	2.04	3.42	E2	
			L	1057.25	0.14		30	9	0.36	10	0.11	0.29	0.46		+K(1106.0)
1067.19(6)	32.7	4	K	1017.13	0.16	1067.37	53	20	1.62	20	0.86	2.03	3.41	E2	
			L	1059.22	0.53		5.3	35	0.16	35	0.11	0.29	0.46		
1073.41(15)	6.0	10	K				<8.0		<1.3		0.86	2.01	3.35	E1	
1079.24(7)	18.0	4	K	1029.30	0.20	1079.54	27.4	20	1.5	20	0.85	1.99	3.32	E2	
			L	1069.70	0.15		13.2	15	0.73	15	0.11	0.27	0.45		+a
1106.00(24)	2.9	10	K	1057.25	0.14	1107.40 ⁵	6.0	50	2.1	50	0.81	1.89	3.13	E2, (E1)	-L(1065.2)
1119.94(9)	13.1	6	K	1069.73	0.15	1119.97	8.3	20	0.63	20	0.79	1.85	3.04	E1	+a, -L(1079.2)
1129.40(7) ^{e, 1}	12.7	5	K	1079.11	0.14	1129.35	20.3	10	1.60	12	0.79	1.85	3.04	E2	

noch Tabelle 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1153.88(5)	119	3	K	1103.75	0.14	1153.94	159	6	1.34	7	0.75	1.74	2.82	(E2)	D aus 60(±10) % E2 und 40% E1 +L(1159.0)
			L	1145.67	0.14		21.6	8	0.18	9	0.10	0.23	0.38		
			M	1150.93	0.15		24.1	8			0.02	0.05	0.08		
1158.98(5)	100	3	K	1108.64	0.15	1158.92	160	7	1.60	8	0.74	1.73	2.80	E2	
			L	1150.93	0.15		24.1	8	0.24	9	0.10	0.23	0.37		+M(1153.9)
1169.02(7)	28.8	6	K	1118.91	0.15	1168.91	74	7	2.57	9	0.73	1.70	2.74	M1 (+E2)	
			L	1161.97	1.25		8.4	20	0.29	20	0.10	0.23	0.37		
1173.97(7)	22.1	6	K	1123.80	0.15	1174.04	40	6	1.81	9	0.72	1.68	2.72	E2	
			L	1167.49	0.15		19.6	8			0.09	0.23	0.37		+K(1218.7)
1180.32(6)	36.5	6	K	1130.18	0.15	1180.42	22.3	8	0.61	10	0.72	1.66	2.68	E1	
			L	1171.90	0.15		51.8	6			0.09	0.23	0.36		+K(1222.3)
1187.03(10) ¹	66	4	K	1136.62	0.15	1186.86	53	6	0.80	7	0.72	1.65	2.65	E1	
1208.80(7)	13.7	6	K	1158.92	0.15	1209.16	28	6	2.04	13	0.69	1.59	2.54	E2, M1	+N(1159.0)
			L	1200.42	0.20		14.5	7			0.09	0.22	0.34		+K(1250.6)
1218.68(7)	12.5	7	K	1167.49	0.15	1217.73 ⁸	14.5	20	1.16	22	0.68	1.56	2.49	E2	D?, -L(1174.0)
			L	1209.78	0.87		2.2	65	0.18	65	0.09	0.22	0.33		-M
1222.32(7)	28.3	4	K	1171.93	0.15	1222.17	47	7	1.68	8	0.67	1.55	2.47	E2	-L(1180), -M(1174)
1230.61(6) ¹	79.2	3	K	1180.18	0.20	1230.42	50	6	0.63	7	0.67	1.53	2.43	E1	
			L	1222.52	0.20		7.2	20	0.09	20	0.09	0.21	0.32		
1242.42(6) ¹	41.2	4	K	1192.09	0.15	1242.33	23	7	0.56	8	0.66	1.51	2.38	E1	
1250.57(6)	22.8	4	K	1200.44	0.15	1250.66	10.3	20	0.45	22	0.65	1.49	2.34	E1	
1257.98(7)	9.0	7	K	1208.15	0.20	1258.39	13.3	8	1.48	11	0.64	1.47	2.31	E2	
			L	1249.10	0.35		2.0	13	0.22	15	0.08	0.20	0.31		
1266.32(7) ¹	13.1	5	K	1215.81	0.20	1266.05	18	8	1.37	10	0.63	1.45	2.27	E2	
			L	1257.86	0.26		3.1	11	0.24	12	0.08	0.20	0.30		
1277.38(6)	36.9	4	K	1227.11	0.16	1277.35	22.3	6	0.66	7	0.63	1.43	2.23	E1	
			L	1269.27	0.27		3.0	12	0.08	13	0.08	0.20	0.30		
1324.50(30) ¹	5.0	30	K	1274.15	0.39	1324.40	2.2	15	0.44	35	0.59	1.34	2.06	E1	
1334.86(20)	5.3	8	K	1284.54	0.22	1334.78	6.7	10	1.26	14	0.58	1.31	2.01	E2	
1366.48(7) ¹	20.0	4	K	1316.29	0.16	1366.53	11.2	6	0.56	7	0.55	1.25	1.91	E1	
			L	1356.91	0.50		2.3	20	0.12	30	0.07	0.17	0.26		
1373.30(20)	3.2 ^k	11	K	1323.34	0.25	1373.58	4.6	10	1.44	15	0.55	1.24	1.89	M1, E2	-M
1403.83(45) ^{1,2}	3.6	40	K	1354.44	0.25	1404.68 ⁸	5.0	10	1.39	40	0.53	1.19	1.79	(M1, E2)	-M
-	<1.0		K	1363.03	0.50	1413.27	2.4	20	>2.4		0.53	1.16	1.77	EO(+E2), (M1)	
1421.41(10)	11.9	5	K	1371.37	0.16	1421.61	12.9	6	1.08	12	0.52	1.16	1.74	E2	
			L	1412.94	0.35		1.6	15	0.13	16	0.07	0.16	0.23		
1449.78(7)	21.7	4	K	1399.52	0.16	1449.76	11.5	6	0.53	7	0.50	1.12	1.66	E1	
1480.10(20)	3.9 ^k	8	K	1430.08	0.20	1480.32	2.5	20	0.64	22	0.48	1.00	1.59	E1	-M
-	<1.0		K	1437.90	0.40	1488.14	1.9	15	>1.9		0.48	0.98	1.56	(M1), EO(+E2)	
1605.41(7)	8.2	7	K	1555.10	0.18	1605.34	9.0	7	1.10	11	0.42	0.92	1.32	M1, E2	
1627.98(20)	4.5	10	K	1577.88	0.18	1628.12	4.4	15	0.98	18	0.41	0.89	1.28	E2	
1646.20(30)	5.3	9	K	1596.24	0.18	1646.48	3.1	10	0.58	15	0.41	0.87	1.25	E1	+L(1605.4)
1682.27(12) ⁸	21.5	6	K	1632.01	0.18	1682.25	24.9	6	1.16	9	0.39	0.84	1.19	M1	+K(1723.5)
			L	1673.23	0.18		7.8	7			0.05	0.11	0.16		

noch Tabelle 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
—	<1.0		K	1665.16	0.18	1715.40	6.2	10	>6.2		0.37	0.81	1.14	E0 (+M1, E2)	
1723.5(5)	5.4	11	K	1673.23	0.18	1723.47	4.4	10	0.81	16	0.38	0.80	1.13	E2	-L(1682.3)
1732.2(3) ^m	4.2	11	K	1681.69	0.18	1731.93	4.4	8	1.07	15	0.37	0.79	1.12	M1	
1739.4(4) ^l	5.1	10	K	1688.86	0.18	1739.10	5.2	8	1.02	14	0.37	0.79	1.11	M1 (+E2)	
1756.4(4) ^l	5.2	13	K	1706.52	0.31	1756.76	3.0	12	0.58	19	0.37	0.77	1.08	E2 (E1)	
1762.5(4) ^m	5.2	12	K	1711.54	0.78	1761.78	2.4	15	0.46	20	0.36	0.77	1.07	E1	
1766.0(4) ^m	3.0	13	K	1715.54	0.41	1765.78	2.6	25	0.86	30	0.36	0.76	1.07	E2, M1	
1782.2(4) ^m	2.0	20	K	1731.40	0.35	1781.64 ^s	2.6	20	1.30	30	0.36	0.75	1.05	M1 (E2)	-a, -L(1739.4)
1818.5(3) ^m	7.4	8	K	1768.47	0.18	1818.71	6.3	7	0.85	11	0.35	0.72	1.00	M1, E2	
1826.3(3) ^m	9.5	8	K	1776.36	0.18	1826.60	12.4	6	0.91	12	0.34	0.71	0.99	M1 (+E2)	d
1828.1(3) ^l	4.2	9												(E1)	d
1845.4(2) ^l	8.4	9	K	1795.80	0.60	1846.04	2.7	20	0.32	13	0.34	0.70	0.97	E1	
1857.5(3) ^m	7.1	10	K	1807.45	0.25	1857.69	3.2	12	0.45	17	0.34	0.69	0.96	E1	+a
1873.0(3) ^l	6.1	8	K	1824.17	0.30	1874.41	2.1	12	0.34	16	0.33	0.68	0.94	E1	
1902.7(4) ^m	3.0	10	K	1852.56	0.20	1902.80	2.8	10	0.93	15	0.33	0.66	0.91	M1	
1915.5(3) ^m	3.3	10	K	1865.86	0.40	1916.10	1.5	25	0.45	27	0.32	0.65	0.89	E1 (E2)	+L(1873.0)
1922.9(4) ^m	5.8	8	K	1872.36	0.45	1922.60	1.9	15	0.33	17	0.32	0.65	0.89	E1	
1937.8(4) ^m	5.1	9	K	1887.23	0.60	1937.57	3.4	15	0.67	18	0.31	0.64	0.87	E2	
1946.1(3) ^m	4.9	10	K	1895.88	0.41	1946.12	1.7	13	0.35	18	0.31	0.63	0.86	E1	
1959.0(4) ^l	6.4	11	K	1908.43	0.25	1958.67	6.2	10	0.97	16	0.31	0.62	0.85	M1	
			L	1949.62	0.60		1.1	15	0.16	20	0.04	0.08	0.11		
1965.2(3) ^l	19.0	8	K	1914.94	0.25	1965.18	13.7	8	0.72	12	0.31	0.62	0.85	M1, E2	-L(1922.9)
			L	1956.10	0.32		2.6	15	0.15	18	0.04	0.08	0.11		
1981.6(4) ^m	4.3	11	K	1931.45	0.25	1981.69	4.2	10	0.98	16	0.30	0.61	0.83	M1	
1987.0(4) ^m	5.5	11	K	1937.06	0.25	1987.30	2.9	10	0.53	16	0.30	0.61	0.83	E2	
2017.9(3) ^l	10.7	14	K	1967.12	0.30	2017.36	8.5	10	0.79	17	0.29	0.59	0.80	M1 (E2)	
2027.1(3) ^l	5.7	9	K	1976.80	0.25	2027.04	4.7	10	0.82	14	0.29	0.58	0.79	M1	
2032.2(2) ^l	5.4	12	K	1982.13	0.30	2032.37	1.8	12	0.33	18	0.29	0.58	0.79	E1	
2047.7(4) ^m	2.2	14	K	1998.00	0.67	2048.24	0.9	25	0.41	30	0.29	0.57	0.77	E1 (E2)	
2051.2(4) ^m	3.0	10	K	2003.20	1.00	2053.44	1.8	15	0.39	20	0.29	0.57	0.77	E1	
2054.7(4) ^m	1.6	13													
2058.3(4) ^m	2.6	12	K	2007.80	2.30	2058.04	3.8	16	0.60	20	0.29	0.57	0.77	(E2)	c, -L(2017.9)
2061.5(4) ^m	3.7	11	K	2010.54	0.25	2060.78								(E2)	
2098.2(4) ^m	2.5	12	K	2048.11	0.25	2098.35	2.1	10	0.84	16	0.28	0.55	0.74	M1	
2127.8(2) ^l	8.7	7	K	2077.70	0.25	2127.94	4.6	7	0.53	10	0.27	0.53	0.71	E2	
2149.1(4) ^l	2.7	15	K	2099.49	1.12	2149.73	0.9	40	0.33	45	0.27	0.52	0.70	E1	+a

noch Tabelle 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
2152.6(4) ¹	5.9	10	K	2102.59	0.43	2152.83	1.9	15	0.32	20	0.27	0.52	0.70	E1	
2167.6(4) ^m	2.2	12	K	2117.88	0.25	2168.12 ^s	1.0	22	0.46	25	0.26	0.51	0.69	E2	-L(2127.8)
2180.6(4) ^m	3.0	12	K	2130.57	0.60	2180.81	2.3	12	0.77	18	0.26	0.51	0.68		+a
2186.8(5) ^m	3.1	12	K	2136.45	0.42	2186.69	1.7	20	0.55	25	0.26	0.50	0.67	E2, M1	
2190.5(4) ^m	3.4	11	K	2139.76	0.47	2190.00	2.1	20	0.60	25	0.26	0.50	0.67	M1, E2	
2211.6(4) ^m	8.4	9	K	2161.84	0.50	2212.08	7.2	10	0.51	16	0.26	0.49	0.66	{(E2)(M1) (E2)(FV)}	d
2214.1(4) ^m	5.7	9													d
2293.2(4) ^m	4.0	8	K	2241.50	0.50	2291.74	0.8	15	0.20	18	0.24	0.46	0.61	E1	c
2346.1(4) ^m	4.3	11	K	2296.83	0.25	2347.07	2.9	8	0.41	18	0.24	0.44	0.58	{(E2)(E1) (E2)(M1)}	
2347.6(4) ^m	2.8	12													
2356.9(4) ^m	4.3	11	K	2307.49	0.25	2357.73	2.8	15	0.65	17	0.23	0.44	0.58	M1	
2361.3(5) ^m	2.9	10	K				<1.0	<0.35			0.23	0.43	0.57	(E1)	
2363.1(5) ^m	4.2	10	K	2313.34	0.25	2363.58	2.9	15	0.69	16	0.23	0.43	0.57	M1	
2402.1(4) ^m	2.8	13	K	2352.72	0.50	2402.94 ^s	1.7	15	0.61	20	0.23	0.42	0.55		+a, +L(2361.3)
2412.5(4) ^m	4.4	8	K	2362.37	0.25	2412.61	1.7	15	0.39	20	0.23	0.42	0.55	E2	
2428.6(5) ^m	2.2	11	K	2378.64	0.40	2428.88	1.1	15	0.50	20	0.22	0.41	0.54	M1 (+E2)	

e Linie zur Energieeichung verwendet

i Linie zur Intensitätseichung verwendet

k nur die Werte der Kristallspektrometermessung¹³ verwendet

l Linie nur in der Messung von Greenwood u.a.¹³ und Siddiqi u.a.¹⁴ vorhanden

m Linie nur in der Messung von Siddiqi u.a.¹⁴ vorhanden

-L Intensität der überlagerten L-Linie wurde abgezogen

+L Intensität der überlagerten L-Linie wurde nicht abgezogen

s shift wegen Dublett

f γ -Quanten pro 1000 Neutroneneinfänge

-a überlagerte ¹⁵⁸Gd Linie wurde abgezogen

+a überlagerte ¹⁵⁸Gd Linie wurde nicht abgezogen

c Komplexe Liniengruppe

d Multipolaritäten der Linien eines nicht aufgelösten Dubletts folgen u.a. aus der Energie der Summenlinie

D der experimentielle Konversionskoeffizient weist auf ein Dublett hin

E die angegebenen Grenzwerte der EO-Beimischung gelten für M1+EO bzw. E2+EO; jeweils 15% Fehler

Für die nicht mit k, l oder m indizierten γ -Linien wurden die gewichteten Intensitätsmittelwerte aus den γ -Messungen von Koch u.a. (Kristallspektrometer)¹³, von Greenwood u.a. (Ge(Li)-Detektor)¹³ und von Siddiqi u.a. (Ge(Li)-Detektor)¹⁴ verwendet.

Bis E = 1.3 MeV sind die genaueren Kristallspektrometerenergien¹³ eingetragen, bei höheren Energien der gewichtete Mittelwert der Ge(Li)-Messungen^{13, 14}.

Tab. 2. Starke Elektronenlinien von ^{156}Gd im Bereich 2,5 MeV bis 4,5 MeV. In diesem Bereich existiert keine (n, γ) -Messung. Es wird angenommen, daß es sich nur um K-Linien handelt.

E_{trans} (keV)	E_e (keV)	ΔE_e	I_e	$\left(\frac{\Delta I_e}{I_e}\right) (\%)$	E_{trans} (keV)	E_e (keV)	ΔE_e	I_e	$\left(\frac{\Delta I_e}{I_e}\right) (\%)$
2442,4	2392,2	0,6	7,9	13	2898,0	2847,8	0,6	4,1	11
2451,2	2401,0	1,2	3,2	20	2935,9	2885,7	0,5	5,6	12
2482,2	2432,0	0,9	3,9	18	2980,0	2929,8	1,0	6,3	12
2494,8	2444,6 ^c	0,5	8,2	10	2987,2	2937,0	1,1	5,9	20
2507,5	2457,3 ^c	0,7	9,3	17	2991,6	2941,4	0,6	6,1	11
2511,8	2461,6 ^c	0,3	13,5	13	3024,0	2973,8	0,4	6,7	8
2526,5	2476,3	0,5	8,0	16	3052,4	3002,2	1,9	2,9	14
2559,8	2509,6 ^c	0,6	10,2	8	3071,7	3021,5	0,5	5,1	9
2564,1	2513,9 ^c	1,2	6,8	23	3094,9	3044,7	1,0	6,3	25
2574,3	2524,1	0,3	12,2	12	3100,5	3050,3	1,1	8,7	9
2593,1	2542,9 ^c	0,8	6,6	12	3109,8	3059,6	0,8	4,8	11
2601,3	2551,1 ^c	0,5	9,3	14	3170,2	3120,0	0,6	4,7	10
2611,7	2561,5 ^c	0,3	10,9	7	3216,1	3165,9	1,1	3,2	14
2631,3	2581,1	0,5	4,9	13	3355,1	3304,9	0,7	5,8	8
2643,4	2593,2	0,7	3,5	23	3466,7	3416,5	1,1	3,6	24
2654,6	2604,4	0,5	7,5	9	3529,4	3479,2	0,9	3,6	20
2672,9	2622,7	0,3	8,7	9	3596,3	3546,1	1,2	4,3	15
2687,6	2637,4	1,0	3,3	16	3728,6	3678,4	0,9	2,8	13
2697,8	2647,6	1,4	2,7	24	3743,6	3693,4	1,6	2,6	16
2705,8	2655,6	0,6	5,1	21	3879,9	3829,7	1,4	2,8	13
2714,7	2664,5	0,8	3,3	29	3964,4	3914,2	1,1	1,9	25
2740,5	2690,3	0,5	12,6	8	4103,9	4053,7	0,7	3,1	9
2750,1	2699,9	0,4	9,4	9	4146,2	4096,0	1,0	1,6	20
2761,3	2711,1	0,8	5,3	14	4279,9	4229,7	1,2	1,4	13
2785,8	2735,6	0,5	10,2	10	4315,7	4265,5	1,0	2,4	25
2794,5	2744,3 ^c	1,7	6,2	13	4344,3	4294,1	1,3	1,9	15
2802,3	2752,1 ^c	1,0	4,6	12	4360,4	4310,2	1,4	1,8	18
2819,7	2769,5	0,3	8,5	7	4410,8	4360,6	1,2	2,3	16
2829,9	2779,7	1,2	3,6	18	4422,1	4371,9	1,3	2,6	16
2838,9	2788,7	0,4	7,3	11	4457,4	4407,2	1,0	1,9	16
2882,1	2831,9	0,5	4,3	9	^c komplexe Liniengruppe				

Neutronen des durch den Abbrand in größeren Mengen entstehenden Isotops ^{156}Gd beträgt nur 8,7 barn, so daß Störlinien aus der Reaktion $^{156}\text{Gd}(n, e)^{157}\text{Gd}$ unterhalb der Nachweisgrenze dieser Messung liegen.

In Tab. 2 sind die gemessenen intensiveren Konversionselektronenlinien im Bereich von 2,5 MeV bis 4,5 MeV aufgeführt. Hierfür existieren noch keine γ -Daten. Die Intensitätseichung der Elektronenlinien entspricht der aus Tabelle 1. Es wird angenommen, daß es sich nur um K-Linien handelt.

4. Diskussion

Niveauschemata von ^{156}Gd wurden in letzter Zeit von Bäcklin u. a. ¹⁴, Fujioka ⁶, McMillan u. a. ⁵ und Siddiqi u. a. ¹⁵ aufgestellt. Diese Niveauschemata unterscheiden sich nur im Bereich oberhalb etwa 1500 keV, was auf die unterschiedlichen Meßmethoden der Autoren zurückzuführen ist. Die grobenteils

von Bäcklin u. a. ¹⁴ gefundenen Rotationsbanden wurden in spätere Arbeiten übernommen und vervollständigt. Tabelle 3 zeigt die Rotationsbanden, welche als gesichert gelten können.

Tab. 3. Rotationsbanden in ^{156}Gd .

$K\pi$	Benennung	Bandenkopfenergie (keV)
0^+	Grundzustandsband	0,0
2^+	γ -Vibration	1154,0
0^+	β -Vibration	1049,0
0^+	(Paar-Vibration)	1168,1
0^-	Oktupolvibration	1242,6 (1^-)
1^-	Oktupolvibration	1366,1
4^+	—	1510,6

Die durch die vorliegende Konversionselektronenmessung bestimmten Multipolaritäten ergeben keinen Widerspruch zu den Spin- und Paritätszuordnungen in diesen Rotationsbändern. Die E0-Beimischung der $\Delta I = 0$ Übergänge des 0^+ β -Vibrations-

Ausgangsniveau Energie (keV)	$I\pi$	Endniveau Energie (keV)	$I\pi$	Übergangslinie	
				Energie (keV)	Multipolarität
1049,4	0^+	0,0	0^+	1049,4	E0
1129,3	2^+	89,0	2^+	1040,4	M1, E2 + (0,76–0,91) % E0
1297,8	4^+	288,2	4^+	1009,5	M1, E2 + (1,10–1,25) % E0

Tab. 4. EO-Beimischungen der Übergänge vom 0^+ β -Vibrationsband zum Grundzustandsband in ^{156}Gd . Es sind die Grenzwerte für M1 + E0 bzw. E2 + E0 angegeben. Der Fehler beträgt jeweils 15%.

bandes zum Grundzustandsrotationsband wurden bestätigt. Quantitativ sind die gemessenen EO-Beimischungen in Tab. 4 aufgeführt.

Nach den Tabellen in Ref. ²⁵ ergibt sich das reduzierte Matrixelement $q(\text{EO})$ zwischen den $I = 2^+$ -Niveaus des 0^+ - β -Vibrationsbandes und des Grundzustandsbandes zu:

$$q(\text{EO})_{\text{exp.}} = (3,1 \pm 1,2) \cdot 10^{-1}.$$

Der theoretische Wert ist nach Ref. ²⁵ etwas größer:

$$q(\text{EO})_{\text{theor.}} = 5,5 \cdot 10^{-1}.$$

Die Elektronenintensitäten der $\Delta I = 0$ -Übergänge vom γ -Vibrationsband zum Grundzustandsband lassen nur eine kleine mögliche EO-Beimischung (E2 + E0) zu und sind auch durch die Multipolarität M1 + E2 zu erklären. Der reine EO-Übergang vom 1168,1 keV 0^+ -Niveau zum Grundzustand ist in der Konversionselektronenmessung von Bäcklin u. a. ¹⁴ andeutungsweise vorhanden, in der vorliegenden Messung jedoch nicht sichtbar. Der Nachweis wird durch die benachbarte starke 1169,0 keV E2-Linie erschwert.

Weitere mögliche EO-Beimischungen ergeben sich nach Tab. 1 für die folgenden Übergänge (Tabelle 5).

Tab. 5. Nicht eingeordnete Übergänge mit EO-Beimischung.

γ -Energie (keV)	γ -Intensität (Tab. 1)	Multipolarität
673,67	2,5	M1, E2 + (2,9–3,4) % E0
1413,27	<1	(M1); E0 (+M1, E2)
1488,14	<1	M1; E0 (+M1, E2)
1715,40	<1	E0 (+M1, E2)

Zu den drei letzteren Linien fehlen die korrespondierenden γ -Linien. Die 673,7 keV-Linie entvölkert im Niveauschema von Siddiqi u. a. ¹⁵ das 1916,22 keV (2^+)-Niveau zum 1242,69 keV (1^-)-Niveau. Die Spins und Paritäten dieser Niveaus sind durch die Multipolaritäten weiterer Übergänge gesichert. Mit der gemessenen Elektronenintensität müßte daher die 673,67 keV-Linie die Multipolarität E1 + E3 besitzen. Eine E3-Beimischung, welche eine starke

Behinderung des E1-Überganges anzeigen würde, ist jedoch wegen der vielen Entvölkerungsmöglichkeiten des 1916,22 keV-Niveaus sehr unwahrscheinlich. Es dürfte sich daher bei Siddiqi u. a. um eine zufällige Einordnung der 673,67-Linie handeln.

Fujioka veröffentlichte ein Niveauschema mit den bisher kleinsten Energiefehlern ⁶. Es wurde vor allem mit Hilfe der Konversionselektronenmessung nach dem K-Einfang von ^{156}Tb erarbeitet. Durch die vorliegende Messung wurden ca. 20 Multipolaritäten in diesem Niveauschema zusätzlich bestimmt. Daraus ergeben sich die in Tab. 6 angeführten neuen Spin- und Paritätszuordnungen.

Tab. 6. Einige Spin- und Paritätszuordnungen zum Niveauschema von Fujioka ⁶.

Niveauenergie (keV)	Fujioka	diese Messung
2174,98	(4^-)	3^+ , 4^+
1952,21	(4^-)	4^- , 5^-
1948,87	($3,2^-$)	3^-
1851,73	(3^-)	3^-

Lediglich die Multipolarität des 704,34 keV-Überganges (M1, E2) vom 1952,21 keV 4^- zum 1247,94 keV 3^+ -Niveau steht im Widerspruch zum Niveauschema.

Die Spin- und Paritätszuordnungen im Niveauschema von Siddiqi u. a. ⁵ wurden durch die vorliegende Konversionselektronenmessung bis 1700 keV bestätigt. In Tab. 7 sind nun die Ergebnisse für höherliegende Niveaus zusammengestellt.

Tab. 7. Spin- und Paritätszuordnungen zum Niveauschema von Siddiqi u. a. ¹⁵ oberhalb 1700 keV (Auswahl).

Niveauenergie (keV)	Siddiqi u. a.	diese Messung
1771,03	—	2^+ , (3^+)
1916,22	(2^+)	2^+ , 3^+
1934,43	(2^+ , 3^-)	3^-
1956,01	(1^+ , 2^+)	2^+
2054,13	—	2^+ , 3^+
2070,69	—	2^+ , 3^+ , 4^+
2189,81	—	2^+ , 3^+ , 4^+
2382,22	(3^-)	3^-
2415,75	(2^+)	2^+

Für die nicht aufgeführten Niveaus über 1700 keV konnten keine Zuordnungen getroffen werden. Zum Teil ergaben sich auch erhebliche Widersprüche, die möglicherweise auf zufällige Einordnungen der mit relativ großen Energiefehlern behafteten γ -Linien von Siddiqi u. a.¹⁵ zurückzuführen sind.

Anhang

Abbrand eines flachen Targets mit hohem Wirkungsquerschnitt für Neutronen

Die Strahlungsintensität eines Targets ist proportional zur Anzahl der in ihm eingefangenen Neutronen. In ein dickes Target, welches aus Kernen mit großem Neutronenwirkungsquerschnitt besteht, dringen Neutronen anfangs nur wenig ein, so daß vor allem die Targetoberflächen strahlen. Bei längerer Neutronenbestrahlung und einem Folgekern mit kleinem Neutronenwirkungsquerschnitt verlagert sich die Neutronenabsorption immer mehr ins Innere des Targets. Der zeitliche Abbrand folgt daher keinem Exponentialgesetz.

Im folgenden wird die Absorption von Neutronen in einem dicken, ebenen Target aus Kernen hohen Neutronenwirkungsquerschnitts bei isotroper Neutroneneinstrahlung berechnet. Da die Absorption vom Einfallswinkel α der Neutronenstrahlen abhängt, wird zuerst der differentielle Neutronenfluß $d\Phi'/d\alpha$ bezogen auf die Ebene der Targetoberfläche in Abhängigkeit vom Einfallswinkel α berechnet (Abbildung 2).

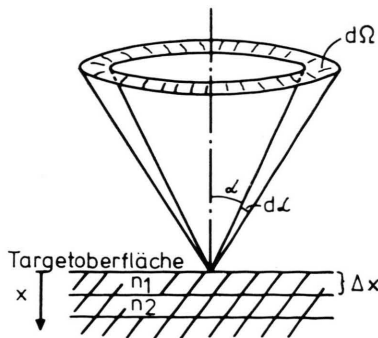


Abb. 2. Zur Berechnung des differentiellen Neutronenflusses pro Targetoberflächenelement.

Aus dem differentiellen Raumwinkel $d\Omega$ kommt ein Neutronenfluß von

$$d\Phi = (\Phi_0/4\pi) d\Omega \quad (\text{isotrope Strahlung}).$$

Aus dem Winkel α bis $\alpha + d\alpha$ kommt dann ein Fluß von:

$$\frac{d\Phi}{d\alpha} = \frac{d\Phi}{d\Omega} \cdot \frac{d\Omega}{d\alpha} = \frac{\Phi_0}{4\pi} \cdot 2\pi \sin \alpha.$$

Da diese Neutronen unter dem Winkel α auf die Targetoberfläche fallen, schwächt sich der Fluß auf die Targetoberfläche bezogen (Φ') um einen Faktor $\cos \alpha$.

Also:

$$d\Phi'/d\alpha = (\Phi_0/2) \sin \alpha \cdot \cos \alpha = \Phi_0 (\sin 2\alpha/4).$$

Durch die Neutronenbestrahlung wird die Dichte n der Atomkerne mit hohem Wirkungsquerschnitt eine Funktion von der Zeit und der Tiefe x :

$$n = n(x, t), \quad n(x, t=0) = n_0.$$

Da pro absorbiertes Neutron ein Kern mit hohem Einfangquerschnitt umgewandelt wird, gilt

$$d\Phi'(x, t)/dx = dn(x, t)/dt. \quad (*)$$

Eine analytische Lösung des Problems ist nicht möglich. Die numerische Berechnung des Abbrandes wurde mit einem Computerprogramm durchgeführt. Dazu wurde das Target in l einzelne Schichten der Dicke Δx und der Einfallswinkel α in Winkelabschnitte $\Delta\alpha$ unterteilt. Durch Summation über alle Einfallsrichtungen wird die Zahl der in der Zeit t bis $t + \Delta t$ absorbierten Neutronen sukzessiv für die einzelnen Schichten ermittelt. Nach Gl. (*) lassen sich damit in Schritten von Δt die Dichten $n_i(x_i, t)$ in den Schichten ermitteln.

Die Zahl der abgebrannten Kerne ΔN pro Zeitintervall Δt und Flächeneinheit ist proportional zur Strahlungsintensität des Targets und ergibt sich zu

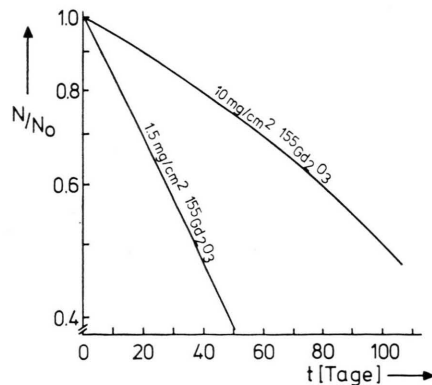


Abb. 3. Targetabbrand in Abhängigkeit von der Bestrahlungszeit. Neutronenfluß $4 \cdot 10^{12}$ n/sec $\cdot$ cm 2 .

$$\Delta N/\Delta t = -\Delta x \sum_{i=1}^l (\Delta n_i + \Delta n_{m-i})/\Delta t$$

mit $\Delta n_i = n_i(x_i, t) - n_i(x_i, t + \Delta t)$.

Der Summand Δn_{m-1} berücksichtigt die Neutronen, welche auf die rückwärtige Seite des Targets treffen.

Für das dicke Target ($10,0 \text{ mg/cm}^2 \text{ }^{155}\text{Gd}_2\text{O}_3 = 8,5 \text{ mg/cm}^2 \text{ }^{155}\text{Gd}$) ist das Ergebnis der Rechnung bei einem Fluß $\Phi_0 = 4 \cdot 10^{12} \text{ n/sec cm}^2$ in Abb. 3 dargestellt und mit dem dünnen Target verglichen.

- ¹ O. Nathan u. S. G. Nilsson in K. Siegbahn, Alpha-, Beta-, Gamma-Ray Spectroscopy, North Holland Publ. Co. Amsterdam 1965, S. 601.
- ² N. F. Peek, T. A. Jungermann u. C. G. Patten, Phys. Rev. **136**, (B) 330 [1964].
- ³ G. T. Ewan u. R. H. J. Bower, Bull. Amer. Phys. Soc. **11**, 11 [1966].
- ⁴ D. J. McMillan, J. H. Hamilton, M. Mladjenovic, J. C. Manthuruthil u. J. J. Pinajian, Z. Physik **241**, 103 [1971].
- ⁵ D. H. McMillan, J. H. Hamilton u. J. J. Pinajian, Phys. Rev. C **4**, 542 [1971].
- ⁶ M. Fujioka, Nucl. Phys. A **153**, 337 [1970].
- ⁷ N. F. Peek, Phys. Rev. C **2**, 587 [1970].
- ⁸ R. Bloch, B. Elbek u. P. O. Tjøm, Nucl. Phys. A **91**, 576 [1967].
- ⁹ D. G. Fleming, C. Günther, G. B. Hagemann, B. Herskind u. P. O. Tjøm, Phys. Rev. Lett. **27**, 1235 [1971].
- ¹⁰ Th. W. Elze, J. S. Boyno u. J. R. Huizenga, Nucl. Phys. A **187**, 473 [1972].
- ¹¹ L. M. Bollinger u. G. E. Thomas, Phys. Rev. C **2**, 1951 [1970].
- ¹² J. W. Knowles, G. Manning, G. A. Bartholomew u. P. J. Campion, Nucl. Data A **5**, 161 [1968].
- ¹³ L. V. Groshev, A. M. Demidov, V. A. Ivanov, V. N. Lutsenko u. V. I. Pelekhov, Nucl. Data A **5**, 161 und 163 [1968].
- ¹⁴ A. Bäcklin, B. Fogelberg, G. Hedin, M. Caraceno; R. C. Greenwood u. C. W. Reich; H. R. Koch, H. A. Baader u. O. W. B. Schult, in Neutron Capture Gamma Ray Spectroscopy, IAEA, Wien 1969 und private Mitteilungen.
- ¹⁵ T. A. Siddiqi, F. P. Cranston u. D. H. White, Nucl. Phys. A **179**, 609 [1972].
- ¹⁶ P. T. Prokofjev, M. K. Balodis, Ya. Ya. Bersin, V. A. Bondarenko, N. K. Kramer, E. Y. Lure, G. L. Rezvaya u. L. I. Simonova, Nucl. Data A **5**, 163 und 169 [1968].
- ¹⁷ P. Prokofjev, M. Balodis, M. Breitins, J. Berzins, V. Bondarenko, N. Kramer, A. Krumina, G. Rezvaya, and L. Simonova, Spectra of Electromagnetic Transitions and Level Schemes following Thermal Neutron Capture by Nuclides with A 143–193, Publ. House Zinatne, Riga 1973.
- ¹⁸ T. v. Egidy, Ann. Physik **7**, 221 [1962].
- ¹⁹ T. v. Egidy, E. Bieber u. Th. W. Elze, Z. Physik **195**, 489 [1966].
- ²⁰ E. Bieber, Z. Physik **189**, 217 [1966].
- ²¹ R. S. Hager u. F. C. Selzer, Nucl. Data A **4**, 1 [1968].
- ²² H. A. Baader, Dissertation am Physik-Department der Techn. Universität München 1970.
- ²³ Ya. Ya. Bersin, A. E. Krumina u. P. T. Prokofjev, Izv. Akad. Nauk. SSSR (ser. fiz.) **33**, 116 [1969].
- ²⁴ Ya. Ya. Bersin, A. E. Krumina, L. A. Neiburg u. P. T. Prokofjev, Latv. PSR. Z. A. Vestis, fiz. teh. zin. ser. **5**, 3 [1972].
- ²⁵ A. V. Aldushchenkov u. N. A. Voinova, Nucl. Data A **11**, 299 [1973].