

KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE

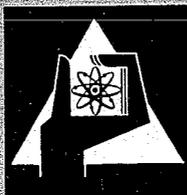
August 1966

KFK 489

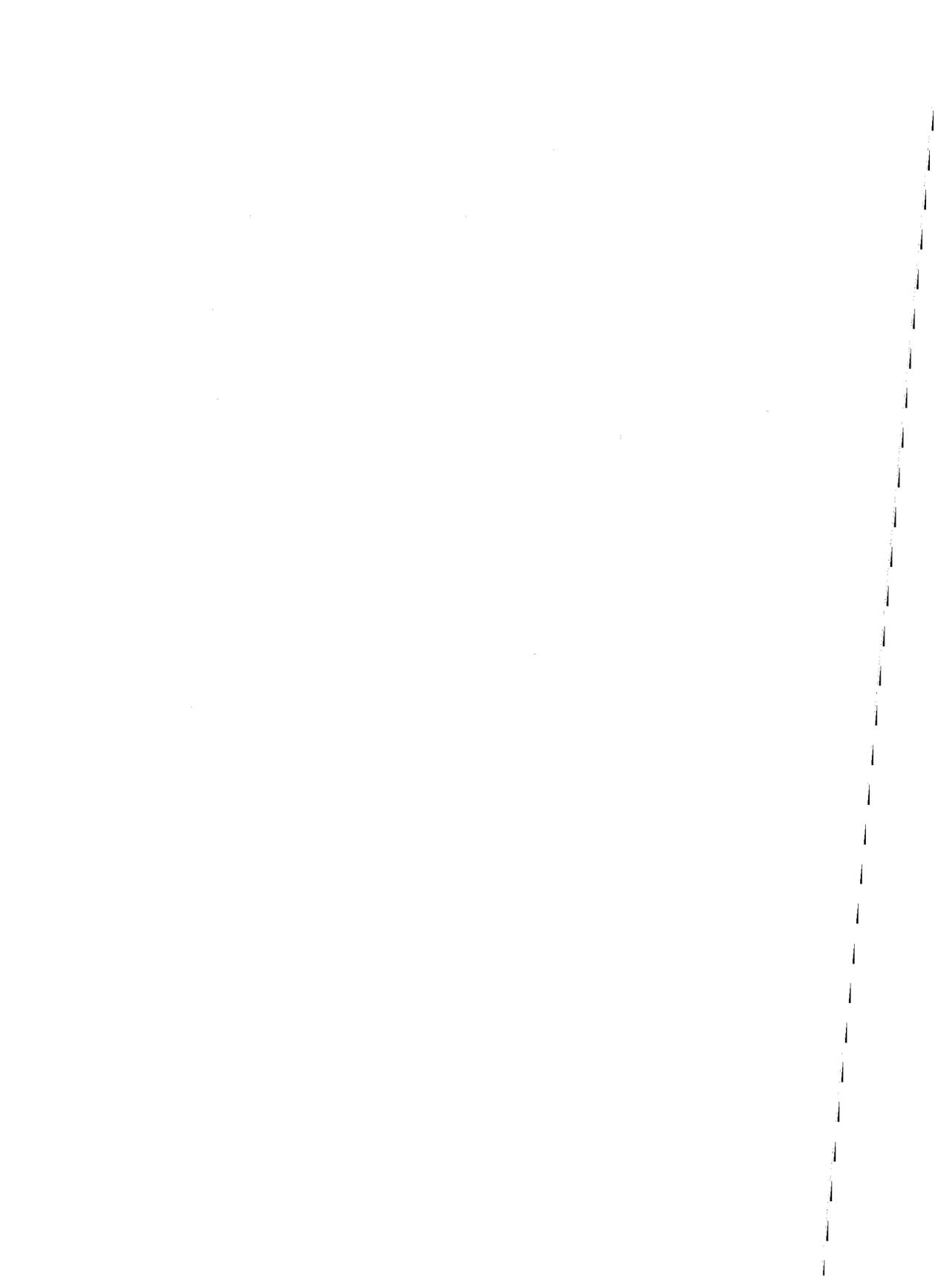
Institut für Angewandte Kernphysik

Untersuchung der Gammaübergänge im U^{235} mit hoher Auflösung

F. Horsch



GESELLSCHAFT FÜR KERNFORSCHUNG M. I.
KARLSRUHE



Untersuchung der Gammaübergänge im U^{235} mit hoher Auflösung

F. HORSCH

Institut für Angewandte Kernphysik, Kernforschungszentrum Karlsruhe

Eingegangen am 16. März 1966

Mit Hilfe eines $4\text{ cm}^2 \times 0,5\text{ cm}$ Ge(Li)-Zählers wurden Präzisionsmessungen des Gammaskpektrums beim Zerfall von Pu^{239} durchgeführt. Die Messungen zeigen, daß Ge(Li)-Zähler auch für sehr geringe Aktivitäten mit Erfolg eingesetzt werden können. Es wurden Gammalinien mit absoluten Intensitäten bis zu $10^{-5}\%$ nachgewiesen. Das gute Auflösungsvermögen ermöglichte gegenüber einer früheren Arbeit des Autors¹ die Beobachtung von 21 neuen Übergängen in dem Tochterkern U^{235} . Die Messungen bestätigen die Existenz folgender Bandenköpfe: 0 keV, $\frac{7}{2}^-$ [743]; $\leq 0,08$ keV, $\frac{1}{2}^+$ [631]; 129 keV, $\frac{5}{2}^+$ [633]; 333 keV, $\frac{5}{2}^+$ [622]; 394 keV, $\frac{3}{2}^+$ [631]; 647 keV, $(\frac{1}{2}^-)$; 768 keV, β -Vibration zu $\frac{1}{2}^+$ [631].

1. Einführung

Die vorliegenden Untersuchungen schließen unmittelbar an eine kürzlich erschienene Arbeit¹ des Autors an. Eine dort als wesentlich empfundene Schwäche war die für NaJ(Tl)-Detektoren typische schlechte Energieauflösung. Es erschien daher wünschenswert, einen der in jüngerer Zeit entwickelten² Ge(Li)-Halbleiterzähler zur Untersuchung des Gammaskpektrums einzusetzen.

Die Niveaus des U^{235} werden über den Alphazerfall des Pu^{239} mit einer Halbwertszeit von³ 24413y gespeist. Der Alphazerfall erfolgt überwiegend zu den untersten Niveaus des U^{235} bis 51,5 keV, während die darüber liegenden Niveaus nur äußerst schwach gespeist werden, und zwar mit etwa 10^{-3} bis $10^{-4}\%$. Da die Übergänge zwischen diesen Niveaus zum Teil noch merklich konvertiert sind, beträgt die Intensität der beim Zerfall des Pu^{239} auftretenden Gammalinien in ihrer Mehrzahl nur etwa 10^{-3} bis $10^{-5}\%$. Die wichtigste Voraussetzung für das Gelingen des Experimentes war daher ein extrem niedriger Gammauntergrund.

¹ HORSCH, F.: Z. Physik **183**, 352 (1965).

² Zum Beispiel EWAN, G. T.: AECL-1960 (1964).

³ LANDOLT-BÖRNSTEIN: Zahlenwerte und Funktionen aus Naturwissenschaft und Technik, Neue Ser., Gruppe 1 (ed. K. H. HELLWEGE). Berlin-Göttingen-Heidelberg: Springer 1961.

Nach Erscheinen der zitierten Arbeit¹ sind zwei neuere Untersuchungen bekannt geworden, die hier besondere Erwähnung verdienen. LEDERER⁴ fand in Elektron-Alpha- und Gamma-Alpha-Koinzidenzen Anzeichen für eine β -Vibration bei 780 ± 20 keV zum $[631]_{\frac{1}{2}}^{+}$ -Einteilchenzustand und für ein weiteres Niveau bei 650 ± 20 keV, dem er den Spin $\frac{1}{2}$ und negative Parität zuordnete. TRET'IAKOV et al.⁵ konnten in Konversionselektronenuntersuchungen eine Rotationsbande aufbauend auf dem Niveau¹ bei 394 keV nachweisen und interpretierten diese als $[631]_{\frac{3}{2}}^{+}$ -Bande.

2. Experimenteller Aufbau

In der dicken Abschirmung eines Strahlrohrexperimentes am FR 2 wurde während einer Reaktorpause ein Ge(Li)-Detektor mit 22,5 mm \varnothing und 5 mm Feldzone installiert. Der Detektor wurde bei 77 °K und 600 V Vorspannung betrieben. Seine Auflösung betrug einschließlich der Beiträge vom Verstärker bei einer durchschnittlichen Zählrate von 1500 c/sec 4,4 keV für die 129,3 keV-Linie.

Zur Messung des Gammaskpektrums oberhalb 350 keV wurde ein Cd-Absorber von 1 mm Dicke zwischen Quelle und Detektor gestellt, um das Spektrum zu härten und die Totzeit zu verringern.

Die Daten wurden in einem 1024 Kanal-Impulshöhenanalysator gespeichert. Als Quelle diente wiederum die bei früheren Untersuchungen¹ benützte Probe mit 1 mg Plutonium. In den zwischen den beiden Messungen liegenden zwei Jahren hatten sich jedoch merkliche Aktivitäten der Tochterkerne Am²⁴¹ und U²³⁷ des Pu²⁴¹ aufbauen können, was in den nunmehr stärker hervortretenden Linien bei 59,6 keV, 164,0 keV, 207,9 keV und 267,4 keV zum Ausdruck kommt.

3. Experimentelle Ergebnisse

3.1. Gammaenergien und -intensitäten. Fehlergrenzen. Die Gammapektren über die Energiebereiche 0–460 keV und 350–820 keV sind in den Fig. 1 und 2 wiedergegeben. Die Kanalbreiten betragen 0,694 keV/K bzw. 0,925 keV/K. Alle Energiewerte in den Abbildungen sind in keV angegeben.

Die Gammaenergien basieren auf folgenden Eichwerten: $(59,568 \pm 0,017)$ keV³ Am²⁴¹, $(511,006 \pm 0,002)$ keV⁶ Na²² und $(661,595 \pm 0,076)$ keV⁷ Cs¹³⁷. Die in Tabelle 1 angegebenen Fehlergrenzen ent-

⁴ LEDERER, C. M.: Ph. D. Thesis, University of California 1963.

⁵ TRET'IAKOV, E. F., i L. N. KONDRAT'EV: ITEF-280/(1964).

⁶ COHEN, E. R., and J. W. M. DU MOND: Rev. Mod. Phys. 37, 537 (1965).

⁷ GRAHAM, R. L., G. T. EWAN, and J. S. GEIGER: Nuclear Instr. and Meth. 9, 245 (1960).

halten im wesentlichen Unsicherheiten in der Bestimmung der Lage einer Linie. Die Unsicherheiten der Eichwerte waren demgegenüber vernachlässigbar.

Die Intensitäten wurden durch Auszählen der Photo-Linien bestimmt, wobei der Comptonuntergrund durch eine unter den Linien über das ganze Spektrum verlaufende glatte Kurve angenähert wurde. Die in Tabelle 1 angegebenen Werte sind die auf Absorption, Photobruch und Ansprechwahrscheinlichkeit korrigierten Größen. Zur Korrektur auf Photobruch und Ansprechwahrscheinlichkeit wurden die von WAINIO⁸ berechneten Werte auf die Dicke des hier verwendeten Halbleiterdetektors interpoliert.

Die relativen Intensitäten in Tabelle 1 sind auf einen willkürlichen Wert von 100 für die 129,3 keV-Linie normiert. Zum Vergleich sind die Werte von FORSYTH et al.⁹ im Energiebereich von 297,8 keV bis 451,9 keV ebenfalls wiedergegeben. Die gute Übereinstimmung ist bemerkenswert.

Die Fehler beruhen im wesentlichen auf Unsicherheiten in der Höhe des Comptonuntergrundes.

Die absoluten Intensitäten beziehen sich auf einen Wert¹ von $(2,96 \pm 0,38) \cdot 10^{-3} \%$ für die Summe der Intensitäten der 333,2 keV-, 376,3 keV- und 414,2 keV-Linien. Sie stimmen fast alle gut mit den alten Werten¹ überein. Aus der Reihe fallen die Intensitätswerte für die 224,9 keV-, 241 keV und die 297,8 keV-Linie. Der alte Wert für die 224,9 keV-Linie beruhte auf dem Gamma-Koinzidenzspektrum zur 4922 keV-Alpha-Linie. Eine mögliche Erklärung für die höhere Intensität der nunmehr dem Gesamt-Gammaspektrum entnommenen 224,9 keV-Linie könnte ein irgendwo anders im Zerfallsschema auftretender zweiter Übergang bei etwa derselben Energie geben. Die damals zu großen Werte der 241,2 keV- und 297,8 keV-Linien waren aus dem Gesamt-Gammaspektrum abgeleitet worden und dürften auf das schlechte Auflösungsvermögen und die dadurch bedingte schwierige Abtrennung von benachbarten Linien zurückzuführen sein.

3.2. *Reduzierte Übergangswahrscheinlichkeiten.* In Tabelle 3 sind die nach der ungestörten Alaga-Regel¹⁰ berechneten theoretischen und die experimentellen reduzierten Übergangswahrscheinlichkeiten einander gegenübergestellt.

4. Diskussion

4.1. *Das Niveauschema des U^{235} .* Das in Fig. 3 wiedergegebene Niveauschema vermag alle gemessenen Gammalinien zu deuten. Es ent-

⁸ WAINIO, K. M.: Thesis, University of Michigan 1965.

⁹ FORSYTH, R. S., and N. RONQVIST: AE 202 (1965).

¹⁰ ALAGA, G., K. ALDER, A. BOHR, and B. R. MOTTELSON: Kgl. Danske Videnskabs Selskab, Mat.-fys. Medd. 29, No. 9 (1955).

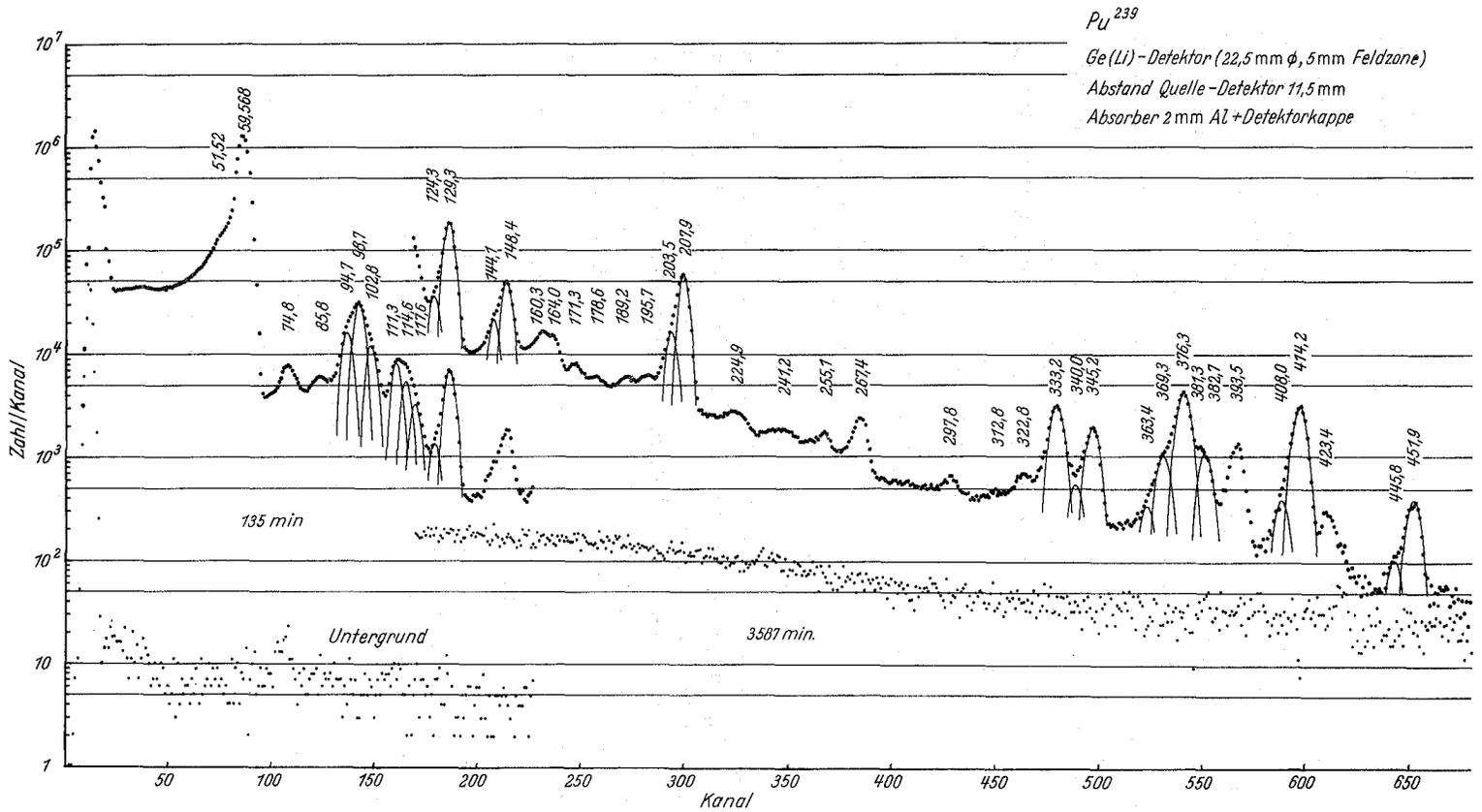


Fig. 1. Gamaspektrum im Energiebereich 0 bis 460 keV

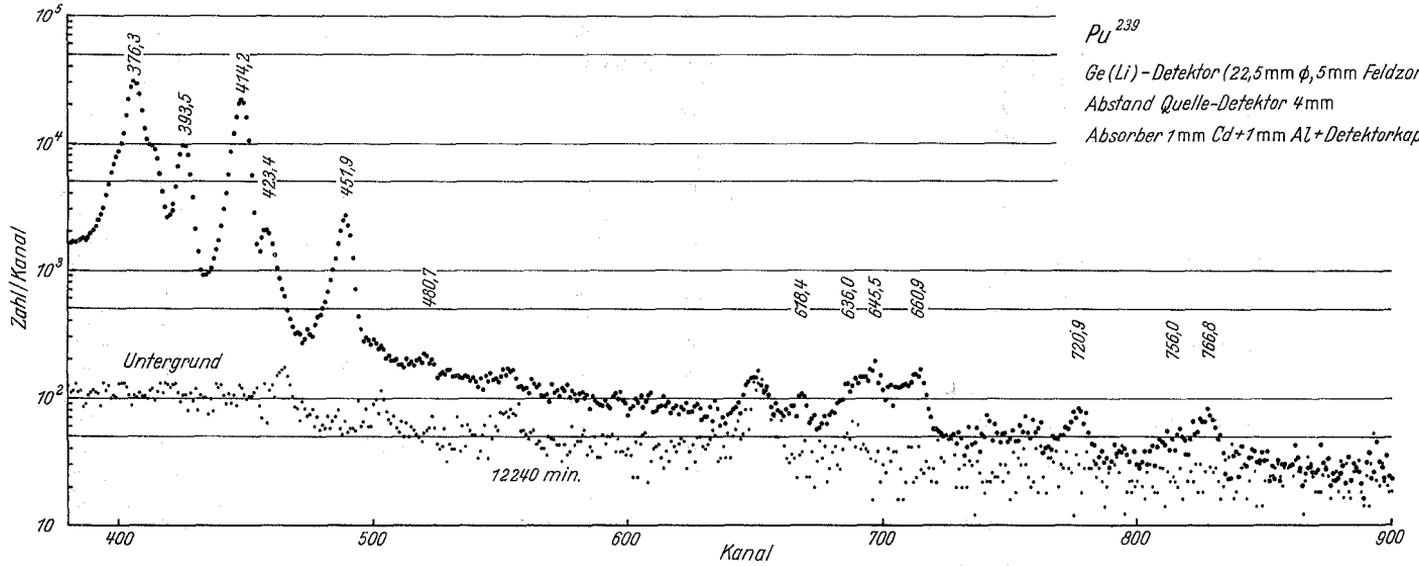


Fig. 2. Gammaspektrum im Energiebereich 350 bis 820 keV

Tabelle 1. *Gammalinien beim Zerfall von Pu²³⁹*

<i>E</i> (keV)		Relative Intensität der unkonvertierten Strahlung	Fehler der relativen Intensität (%)	Werte von FORSYTH et al. ⁹	Absolute Intensität der unkonvertierten Strahlung (10 ⁻⁴ %)	Werte der früheren Arbeit ¹ (10 ⁻⁴ %)	Werte von LEDERER ⁴ (10 ⁻⁴ %)
51,52 ± 0,05 ^a		≤ 11 700			≤ 5800		
59,568 ± 0,017 ^b	Am ²⁴¹	48 400	15				
94,7 ± 0,6	+ UK _{α2} ^c	200	20		87 ± 22	} 216 ± 18	
98,7 ± 0,5	+ UK _{α1} + Pu ²⁴¹	412	20		179 ± 44		
102,8 ± 0,8	+ U ²³⁷	149	25		65 ± 19		
111,3 ± 0,8	UK _{β1}	97	20		42 ± 11		
114,6 ± 0,8	UK _{β2}	60	25		26 ± 8		
117,6 ± 1,1		32	30		14 ± 5	7,5 ± 2,5	
124,3 ± 1,5		≤ 8,8			≤ 4,5	} 57 ± 5	
129,3 ± 0,3		100	10		43 ± 8		
144,1 ± 0,8		6,5	25		2,8 ± 0,8	2,3 ± 1,5	
148,4 ± 0,5	Pu ²⁴¹	28,8	15				
160,3 ± 1,1		8,7	50		3,8 ± 2,0	5,0 ± 0,8	
164,0 ± 0,8	U ²³⁷	9,0	50				
171,3 ± 0,5		2,6	35		1,1 ± 0,5		
178,6 ± 0,8		1,1	50		0,48 ± 0,25	1,1 ± 0,5	
189,2 ± 1,6		2,7	40		1,2 ± 0,5	1,0 ± 0,5	
195,7 ± 0,8		4,0	60		1,7 ± 1,1	} 13 ± 2	
203,5 ± 0,8		16,2	20		7,0 ± 1,8		
207,9 ± 0,5	U ²³⁷	79	20				
224,9 ± 1,5		2,0	50		1,1 ± 0,5	≤ 0,12	
241,2 ± 2,0		1,7	50		0,74 ± 0,39	2,6 ± 0,6	
255,1 ± 0,5		1,4	40		0,61 ± 0,26	1,5 ± 0,7	
267,4 ± 0,5	U ²³⁷	4,9	20				

297,8 ± 0,8		0,71	30	0,75	0,31 ± 0,11	1,6 ± 0,3	
312,8 ± 1,5		0,54	60	0,5	0,23 ± 0,15		
322,8 ± 0,8	+ U ²³⁷	1,59	60	2	0,69 ± 0,6	9,1 ± 1,8	
333,2 ± 0,5		14,8	20	10	6,4 ± 1,2		
340,0 ± 2,0		≤ 1,1			≤ 0,55		
345,2 ± 0,5		8,9	20	10	3,9 ± 0,7		
363,4 ± 2,0		0,57	60		0,25 ± 0,16		
369,3 ± 1,5		5,0	30		2,2 ± 0,8		
376,3 ± 0,5		28,4	20	38,75	12,3 ± 2,2		13 ± 3
381,3 ± 1,5		6,1	30				
382,7 ± 1,5							
393,5 ± 0,8			8,3	20	8,75		3,6 ± 0,7
408,0 ± 1,5		1,8	50		0,78 ± 0,41		
414,2 ± 0,5		25,0	20	25	10,9 ± 1,9	7,5 ± 1,5	
423,4 ± 0,8		1,6	20	2	0,69 ± 0,18		
445,8 ± 0,8		0,35	30		0,15 ± 0,05		
451,9 ± 0,5		3,2	20	3,25	1,4 ± 0,25		
480,7 ± 2,0		0,16	90		0,07 ± 0,06		
618,4 ± 1,0	Am ²⁴¹	0,20	90			0,8 ± 0,3	
636,0 ± 3,0		0,46	90		0,2 ± 0,18		
645,5 ± 3,0		0,83	70		0,36 ± 0,26		
660,9 ± 2,0	Am ²⁴¹	0,85	70				
720,9 ± 2,0	Am ²⁴¹	0,40	90				
756,0 ± 3,0		0,24	90		0,1 ± 0,09	0,18 ± 0,07	
766,8 ± 3,0		0,52	90		0,23 ± 0,21		

a) Nach TRET'IAKOV et al.⁵.

b) Nach LANDOLT-BÖRNSTEIN³.

c) Übergänge, die nicht zum Zerfall des Pu²³⁹ gehören, sind durch Angabe des betreffenden Mutterkerns kenntlich gemacht. Das +-Zeichen bedeutet, daß die betreffende Linie teils zum Pu²³⁹-Zerfall teils zum Zerfall des nach dem +-Zeichen angegebenen Kerns gehört.

hält 26 angeregte Zustände und 50 Gammaübergänge. Dabei konnten die Gammalinien bei 195,7 keV, 312,8 keV, 369,3 keV, 445,8 keV, 480,7 keV, 636,0 keV, 645,5 keV, 756,0 keV und 766,8 keV hier zum ersten Mal nachgewiesen werden.

Fünf Nilsson-Zustände und eine β -Vibration scheinen gesichert. Die Rotationskonstanten der entsprechenden Rotationsbanden sind in Tabelle 2 zusammengestellt. Bis auf geringfügige Energieverschiebungen

Tabelle 2. Rotationskonstanten der Banden im U^{235}

Innere Konfiguration	$\hbar^2/2\theta$ (keV)	$E^{(2)}$ (keV)	Entkopplungsparameter (keV)
$[743] \frac{7}{2}^-$	5,15		
$[631] \frac{1}{2}^+$	6,003		- 1,622
$[633] \frac{5}{2}^+$	6,073	0,0029	
$[622] \frac{5}{2}^+$	5,194	0,0014	
$[631] \frac{3}{2}^+$	6,82	0,005	

entspricht die Termfolge bis 533,4 keV dem gesamten Niveauschema der ersten Arbeit¹. Die früheren Interpretationen im Bereich bis 369,3 keV werden durch die neuen Ergebnisse bestätigt. Das dort noch unsichere $11/2^+$ -Niveau bei 289,6 keV darf jetzt als gesichert betrachtet werden. Dafür spricht das Verhältnis der reduzierten Übergangswahrscheinlichkeiten der 189,2 keV- und 241,2 keV-Linien (s. Tabelle 3).

4.2. Die Rotationsbande auf dem Einzelteilchenniveau bei 393,5 keV. Die gemessenen Gammaenergien und -intensitäten (s. Tabelle 1 und 3) stützen die Interpretation⁵ des 393,5 keV-Niveaus als $[631] \frac{3}{2}^+$ -Nilsson-Zustand. Für diese Deutung spricht auch die Termfolge der in eine Rotationsbande mit $K = \frac{3}{2}$ und $\hbar^2/2\theta = 6,82$ keV zusammenfaßbaren Niveaus bei 427,3 keV, 474,3 keV, 533,4 keV und 607,2 keV. Es konnten fast alle möglichen $M1$ -Übergänge dieser Niveaus zu Mitgliedern der Rotationsbande auf dem $[631] \frac{1}{2}^+$ -Einzelteilchenzustand nachgewiesen werden. Diese Übergänge sind nicht behindert im Sinne der asymptotischen Quantenzahlen.

4.3. Das Niveau bei 647,2 keV. Aus den Messungen von LEDERER geht hervor, daß sich dieses Niveau durch $E1$ -Übergänge abregt. Zusammen mit der aus den hier beschriebenen Messungen gewonnenen Information, daß es sich über die 645,5 keV- und 636,0 keV-Linien zu den Niveaus $[631] \frac{1}{2}^+$ und $\frac{3}{2}^+$ abregt, legt diese Tatsache den Schluß nahe, daß das

Tabelle 3. Experimentelle und theoretische Werte der reduzierten Übergangswahrscheinlichkeit

Energie des Ausgangsniveaus (keV)	Reduzierte Übergangswahrscheinlichkeit	Theorie	Experiment
171,3	$B(E1; \frac{7}{2}^+ \rightarrow \frac{9}{2}^-) / B(E1; \frac{7}{2}^+ \rightarrow \frac{7}{2}^-)$	3,50/1,0	$\cong 13,2/1,0$
224,9	$B(E1; \frac{9}{2}^+ \rightarrow \frac{11}{2}^-) / B(E1; \frac{9}{2}^+ \rightarrow \frac{9}{2}^-) / B(E1; \frac{9}{2}^+ \rightarrow \frac{7}{2}^-)$	2,03/1,0/0,069	$\cong 38,2/1,0/(0,88 \pm 0,63)$
289,6	$B(E1; \frac{11}{2}^+ \rightarrow \frac{13}{2}^-) / B(E1; \frac{11}{2}^+ \rightarrow \frac{11}{2}^-) / B(E1; \frac{11}{2}^+ \rightarrow \frac{9}{2}^-)$	1,53/1,0/0,12	$\cong 85,0/1,0/(0,29 \pm 0,19)$
333,2	$B(M1; \frac{5}{2}^+ \rightarrow \frac{7}{2}^+) / B(M1; \frac{5}{2}^+ \rightarrow \frac{5}{2}^+)$	0,40/1,0	$\cong 2,9/1,0$
369,3	$B(E1; \frac{7}{2}^+ \rightarrow \frac{9}{2}^-) / B(E1; \frac{7}{2}^+ \rightarrow \frac{7}{2}^-)$	3,50/1,0	^a
415,5	$B(E1; \frac{9}{2}^+ \rightarrow \frac{11}{2}^-) / B(E1; \frac{9}{2}^+ \rightarrow \frac{9}{2}^-)$	2,03/1,0	$\cong 0,06/1,0$
393,5	$B(M1; \frac{3}{2}^+ \rightarrow \frac{5}{2}^+) / B(M1; \frac{3}{2}^+ \rightarrow \frac{3}{2}^+) / B(M1; \frac{3}{2}^+ \rightarrow \frac{1}{2}^+)$	0,25/1,0/1,25	$\cong 0,38/1,0^b / (1,22 \pm 0,44)^b$
427,3	$B(M1; \frac{5}{2}^+ \rightarrow \frac{7}{2}^+) / B(M1; \frac{5}{2}^+ \rightarrow \frac{5}{2}^+) / B(M1; \frac{5}{2}^+ \rightarrow \frac{3}{2}^+)$	0,31/1,0/0,87	$(0,48 \pm 0,14) / 1,0 / (0,6 \pm 0,17)$
474,3	$B(M1; \frac{7}{2}^+ \rightarrow \frac{9}{2}^+) / B(M1; \frac{7}{2}^+ \rightarrow \frac{7}{2}^+) / B(M1; \frac{7}{2}^+ \rightarrow \frac{5}{2}^+)$	0,47/1,33/1,0	$\cong 2,85 / \cong 8,93 / 1,0$
533,4	$B(M1; \frac{9}{2}^+ \rightarrow \frac{11}{2}^+) / B(M1; \frac{9}{2}^+ \rightarrow \frac{9}{2}^+) / B(M1; \frac{9}{2}^+ \rightarrow \frac{7}{2}^+)$	0,56/1,46/1,0	$\cong 20,8 / \cong 5,1 / 1,0$

a) Die entsprechenden Intensitäten sind verfälscht durch Übergänge ähnlicher Energie an anderer Stelle im Termschema (s. Fig. 3).

b) Die zur Berechnung herangezogenen Intensitäten beinhalten noch unbestimmte Beiträge von Übergängen mit 382,7 keV und 393,5 keV an anderer Stelle im Termschema.

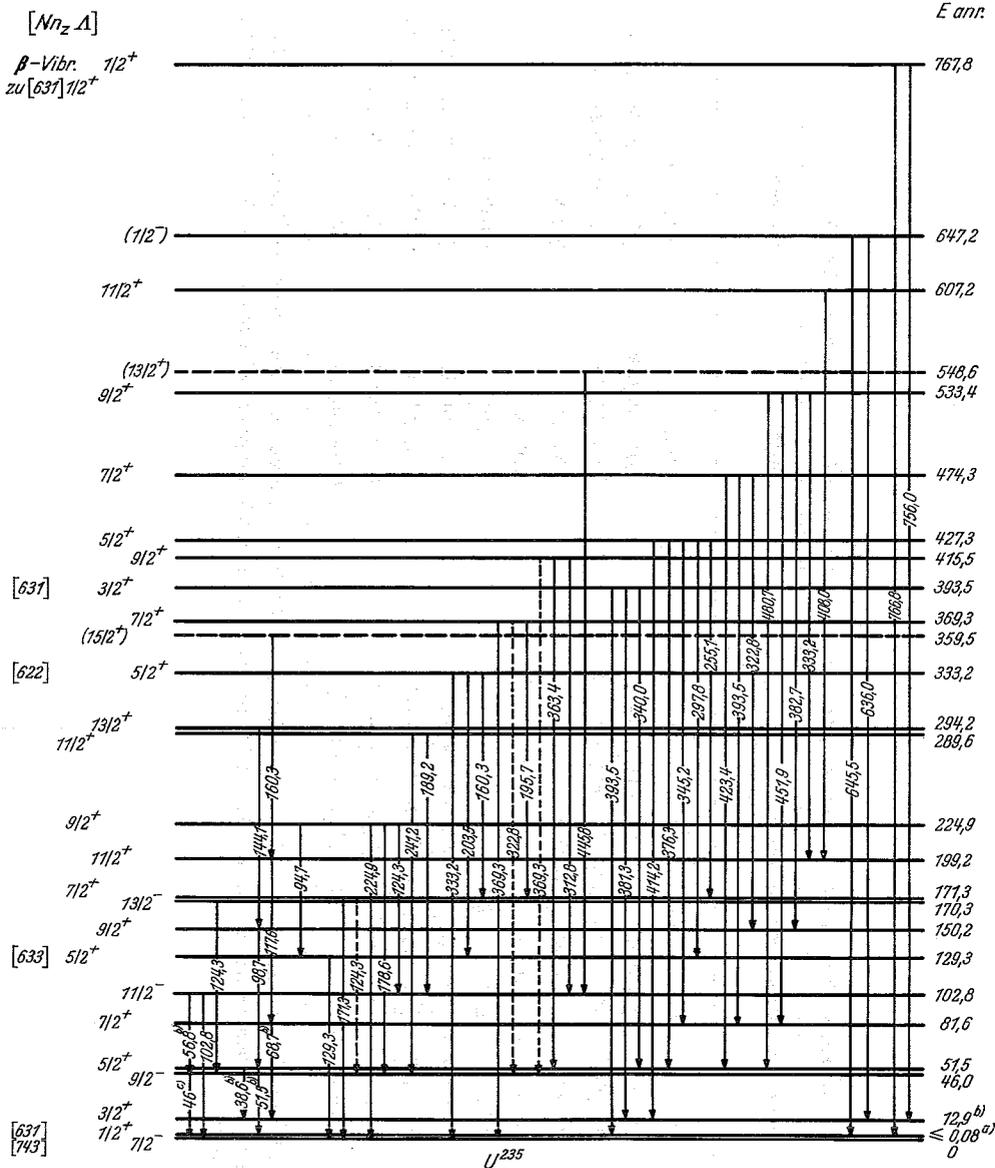


Fig. 3. Niveauschema des U^{235} unter Berücksichtigung der Ergebnisse der vorliegenden Untersuchungen. a Nach MICHEL et al.¹¹, b nach TRET'IAKOV et al.⁵, c nach NEWTON¹²

¹¹ MICHEL, M. C., F. ASARO, and I. PERLMAN: Bull. Am. Phys. Soc. 2, No. 2, 394 (1957).

¹² NEWTON, J. O.: Nuclear Phys. 3, 345 (1957).

647,2 keV-Niveau die Quantenzahlen $\frac{1}{2}^-$ oder $\frac{3}{2}^-$ hat. Ein solches Niveau kann hier nicht im Rahmen des Nilssonmodells gedeutet werden. Vermutlich handelt es sich um den niedrigsten Oktupolschwingungszustand¹³ mit $\nu=0$ zum $[631] \frac{1}{2}^+$ -Einzteilchenniveau, der die Quantenzahlen $\frac{1}{2}^-$ haben sollte. Diese Interpretation stände im Einklang mit der energetischen Lage von Oktupolzuständen in benachbarten Kernen⁴. Die Werte für die Intensitäten der beiden Übergänge in Tabelle 1 sind zu ungenau, um daraus mit Hilfe der reduzierten Übergangswahrscheinlichkeiten eine eindeutige Aussage gewinnen zu können.

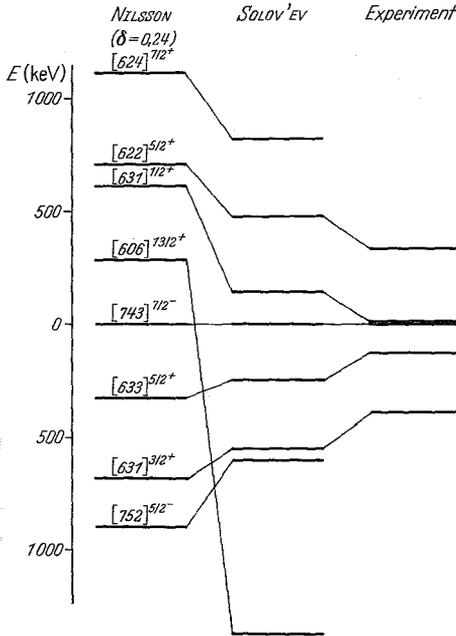


Fig. 4. Vergleich der Einzelteilchenzustände wie sie vom Nilssonmodell und vom Supraflüssigkeitsmodell¹ vorausgesagt werden mit den experimentellen Ergebnissen

4.4. Das Niveau bei 767,8 keV. Der hochenergetische Teil des Gammapektrums (Fig. 2) zeigt zwei Gammalinien bei 766,8 keV und 756,0 keV. Sie werden als Übergänge von dem 767,8 keV-Niveau zum $[631] \frac{1}{2}^+$ - und $\frac{3}{2}^+$ -Niveau interpretiert. Dieses Ergebnis steht im Einklang mit der Deutung von LEDERER, der diesem Niveau auf Grund von Elektron-Alpha-Koinzidenzmessungen die Quantenzahlen $\frac{1}{2}^+$ (β -Vibration zu $[631] \frac{1}{2}^+$) zuordnete. Die energetische Lage dieses Schwingungszustandes

¹³ ALDER, K., A. BOHR, T. HUUS, B. MOTTelson, and A. WINThER: Rev. Mod. Phys. 28, 432 (1956).

paßt gut in die Systematik⁴ von Anregungszuständen ähnlichen Charakters in benachbarten schweren Kernen.

4.5. *Vergleich der theoretischen Voraussagen mit den experimentellen Ergebnissen.* Fig. 4 zeigt das Diagramm aus der früheren Arbeit¹, das nunmehr um das Einzelteilchenniveau $[631] \frac{3}{2}^+$ erweitert worden ist. Der experimentelle Wert für dieses Niveau unterstreicht die in der früheren Arbeit gefundene Tendenz zu einer noch höheren Niveaudichte als nach dem Supraflüssigkeitsmodell vorausgesagt. In jüngster Zeit konnte diese Tatsache auch in anderen deformierten Kernen bestätigt werden (s. z. B. ^{14,15}).

¹⁴ MICHAELIS, W.: Z. Physik **186**, 42 (1965) und Z. Physik **194**, 395 (1966).

¹⁵ MARKUS, G., W. MICHAELIS, H. SCHMIDT, and C. WEITKAMP: Internat. Conf. on the Study of Nuclear Structure with Neutrons (Antwerp, 1965), Paper No. 52 und Z. Physik (1966) (erscheint demnächst).