

**KERNFORSCHUNGSZENTRUM
KARLSRUHE**

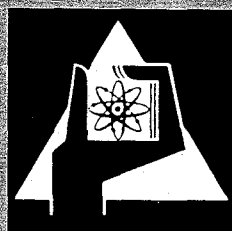
November 1970

KFK 1248

Institut für Angewandte Kernphysik

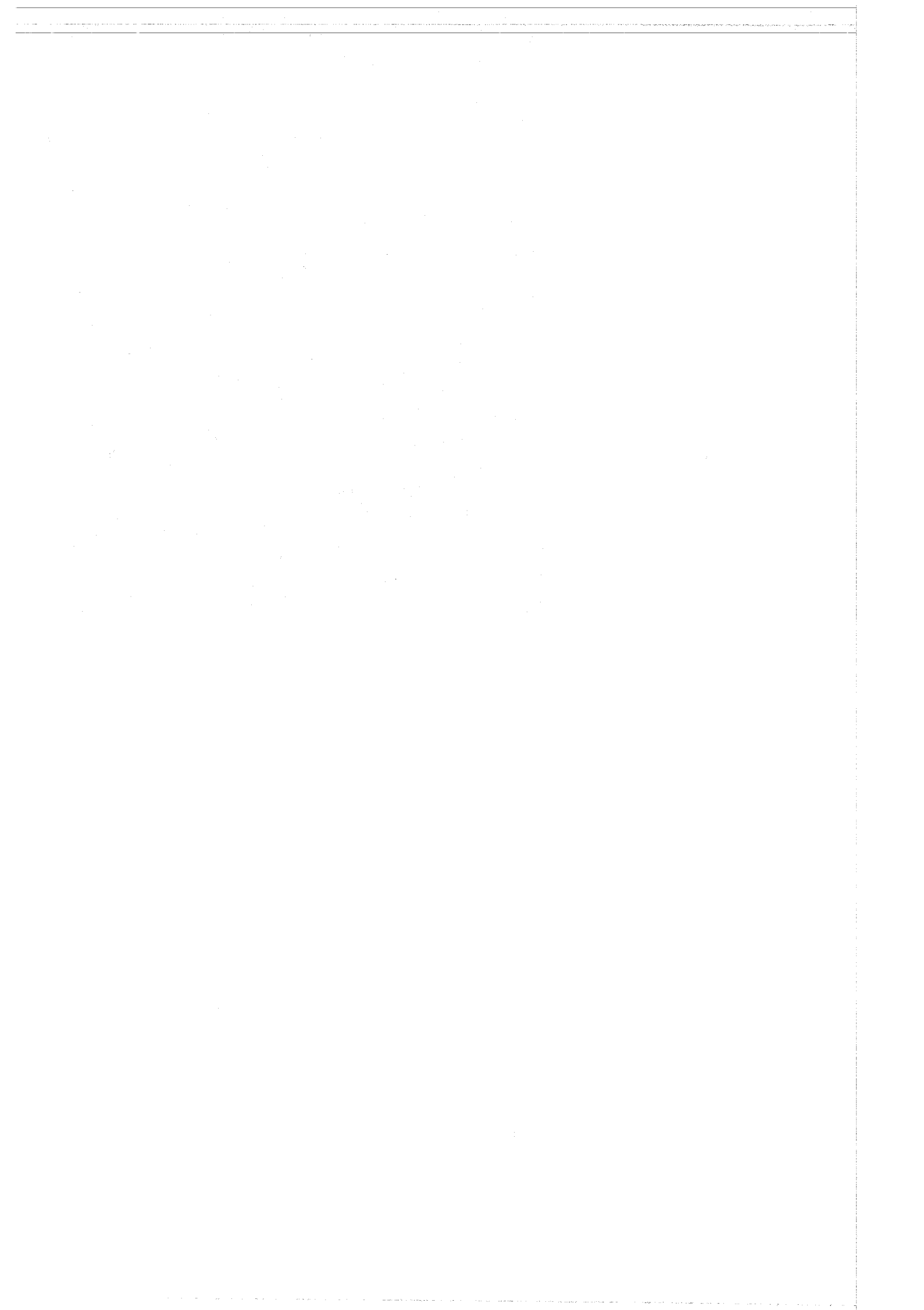
Theoretische Niveaustuktur und absolute Übergangswahrscheinlichkeiten
in deformierten Kernen ungerader Massenzahl

F. Weller, G. Markus



GESELLSCHAFT FÜR KERNFORSCHUNG M. B. H.

KARLSRUHE



KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE

November 1970

K F K 1248

Institut für Angewandte Kernphysik

Theoretische Niveaustuktur und absolute Übergangswahrscheinlichkeiten in deformierten Kernen ungerader Massenzahl

F. Weller und G. Markus *

* Gegenwärtige Anschrift:
Bundesministerium für Bildung und Wissenschaft, Bonn am Rhein

Gesellschaft für Kernforschung m.b.H., Karlsruhe

Kurzfassung

Die folgenden Berechnungen beruhen auf dem kollektiven Modell und erweitern die üblichen Coriolis-Mischungsrechnungen durch Einschluß der Rotations-Vibrations-Wechselwirkung und der Quasiteilchen-Phonon Wechselwirkung. Der Erfolg der Methode hängt von einer sorgfältigen Behandlung der Paarkorrelationen ab, die einen entscheidenden Einfluß haben.

Die theoretische Niveaustuktur der folgenden Kerne wird berechnet:

$^{163}_{\text{Dy}}$, $^{165}_{\text{Er}}$, $^{165}_{\text{Dy}}$, $^{167}_{\text{Yb}}$, $^{167}_{\text{Er}}$, $^{169}_{\text{Yb}}$, $^{171}_{\text{Yb}}$,
 $^{173}_{\text{Yb}}$, $^{161}_{\text{Tb}}$, $^{167}_{\text{Tm}}$, $^{169}_{\text{Tm}}$, $^{171}_{\text{Tm}}$, $^{173}_{\text{Lu}}$, $^{175}_{\text{Lu}}$.

Erlaubte und K-verbotene Gammaübergangswahrscheinlichkeiten werden berechnet und mit den experimentellen Werten verglichen. Während die E1-Übergänge etwa eine Größenordnung zu schnell sind, ist die Übereinstimmung für M1 in den meisten Fällen gut.

Abstract

The method of the following calculations is based on the collective model and extends the usual Coriolis coupling band mixing calculations by the inclusion of rotation-vibration interaction and quasiparticle-phonon interaction. The success of the method depends on a careful treatment of the pairing correlations which have a striking influence.

The theoretical level structure of the following nuclei is calculated:

$^{163}_{\text{Dy}}$, $^{165}_{\text{Er}}$, $^{165}_{\text{Dy}}$, $^{167}_{\text{Yb}}$, $^{167}_{\text{Er}}$, $^{169}_{\text{Yb}}$, $^{171}_{\text{Yb}}$,
 $^{173}_{\text{Yb}}$, $^{161}_{\text{Tb}}$, $^{167}_{\text{Tm}}$, $^{169}_{\text{Tm}}$, $^{171}_{\text{Tm}}$, $^{173}_{\text{Lu}}$, $^{175}_{\text{Lu}}$.

Allowed and K-forbidden gamma-ray transitions in these nuclei are calculated and compared with the experimental values. In most cases the agreement for M1 is good, while the E1 transitions are about an order of magnitude too fast.

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Einleitung und Diskussion	1
Tab. 1.1 Theoretische Niveaustuktur in ^{165}Dy	3
Tab. 1.2 Theoretische Niveaustuktur in ^{163}Dy	4
Tab. 1.3 Theoretische Niveaustuktur in ^{165}Er	6
Tab. 1.4 Theoretische Niveaustuktur in ^{167}Er	8
Tab. 1.5 Theoretische Niveaustuktur in ^{167}Yb	9
Tab. 1.6 Theoretische Niveaustuktur in ^{169}Yb	10
Tab. 1.7 Theoretische Niveaustuktur in ^{171}Yb	11
Tab. 1.8 Theoretische Niveaustuktur in ^{173}Yb	12
Tab. 1.9 Theoretische Niveaustuktur in ^{161}Tb	13
Tab. 1.10 Theoretische Niveaustuktur in ^{167}Tm	14
Tab. 1.11 Theoretische Niveaustuktur in ^{169}Tm	15
Tab. 1.12 Theoretische Niveaustuktur in ^{171}Tm	16
Tab. 1.13 Theoretische Niveaustuktur in ^{175}Lu	17
Tab. 1.14 Theoretische Niveaustuktur in ^{173}Lu	18
Tab. 2 Vergleich mit den experimentellen Werten bei K-verbotenen Übergängen	19
Tab. 3 Vergleich mit den experimentellen Werten bei erlaubten Übergängen	20
Literaturverzeichnis	23

Einleitung und Diskussion

Die Rechnungen, die zu den vorliegenden Ergebnissen führen, beruhen auf der Annahme eines im Grundzustand axialsymmetrisch deformierten Kerns, der kollektive Rotationen um eine Achse senkrecht zur Symmetrieachse und harmonische Schwingungen um die axialsymmetrische Gleichgewichtslage ausführen kann. Der entsprechende kollektive Hamiltonoperator H_C wird zur Beschreibung eines Kerns ungerader Massenzahl durch einen Einquasiteilchenhamiltonoperator H_P ergänzt. Anregungen mehrerer Quasiteilchen werden also nicht berücksichtigt. Dazu kommt noch der Hamiltonoperator H' , der die Wechselwirkung zwischen diesen Bewegungsformen beschreibt, so daß

$$H = H_C + H_P + H' = H_0 + H' .$$

Dabei enthält H' die Operatoren der Corioliswechselwirkung, der Quasiteilchen-Phonon Wechselwirkung und der Rotations-Vibrations-Wechselwirkung (Faessler (1964), (1966 a)). Die Basisfunktionen sind als Eigenfunktionen des Hamiltonoperators H_0 Produkte der Funktionen, die den Rotationszuständen, den β - und γ -Schwingungen und den Einquasiteilchenzuständen entsprechen.

Es zeigte sich, daß es zur Berechnung der Quasiteilchen-Phonon Wechselwirkung notwendig ist, die Paarkorrelationen zu berücksichtigen. Der Grund dafür ist die Vertauschbarkeit dieser Operatoren mit dem Zeitumkehroperator, als deren Folge die Matrixelemente der Quasiteilchen-Phonon Wechselwirkung zwischen Einteilchenfunktionen in vielen Fällen durch die Paarkorrelationen beträchtlich reduziert werden. Dies ist besonders für Teilchen-Lochzustände der Fall, die annähernd symmetrisch zur Fermikante liegen. Für Operatoren, die mit dem Zeitumkehroperator vertauschen, kann dann die Wechselwirkung verschwindend klein werden, während sie für Operatoren, die mit dem Zeitumkehroperator antivertauschen (Corioliskopplung) nur bis etwa 25 % reduziert wird.

Von den in H' enthaltenen Operatoren erwies sich neben der Corioliskopplung die Wechselwirkung zwischen Quasiteilchen und Quadrupolphononen als besonders wichtig, da deren Matrixelemente etwa 5 - 10 mal größer als die der Corioliskopplung und etwa 25 - 50 mal größer als die der Vibrations-Rotationswechselwirkung sind. Von den Operatoren $a_2'(I_+^2 + I_-^2)$

und $a'_2(j_+^2 + j_-^2)$ der Vibrations-Rotationswechselwirkung hat der zweite von Null verschiedene Matrixelemente zwischen denselben Funktionen mit $\Delta\Omega = \pm 2$, $\Delta K = 0$ wie der Operator $a'_2 r^2(Y_{22} + Y_{2-2})$ der Quasiteilchen-Phonon Wechselwirkung, so daß seine Matrixelemente vernachlässigt werden können. Dies gilt jedoch nicht für den ersten Term, der die γ -Schwingungsbanden mit ihren eigenen Quasiteilchenbanden mischt und dessen Wirkung in geraden Kernen wohlbekannt ist.

Während von den in die Rechnung eingehenden Parametern der Parameter des Trägheitsmomentes ξ und die Schwingungsenergien E_β und E_γ über den kollektiven Teil des Hamiltonoperators hereinkommen, sind die Paarkraftkonstante G und die für die BCS-Rechnung und die Quasiteilchenenergien benötigten Einteilchenenergien ξ , mit dem Quasiteilchenhamiltonoperator verknüpft. Die Parameter des Einteilchenpotentials (Nilssonparameter) und die Deformation nehmen wir als gegeben hin.

Der Parameter ξ wird an einer der tiefliegenden Rotationsbanden angepaßt. Die Schwingungsenergien E_β und E_γ werden unter Berücksichtigung des Blockingeffektes dem entsprechenden geraden Kern entnommen. Die Paarkraftkonstante G wird aus der "odd-even mass difference" bestimmt. Alle Einteilchenfunktionen sind für die Deformation des Grundzustandes berechnet. Zur Durchführung der BCS-Rechnung wurden die in der Literatur (Soloviev (1965)) verfügbaren empirischen Sätze von Einteilchenenergien verwendet. Ausführliche Formeln für Matrixelemente und Übergangswahrscheinlichkeiten (Weller (1971)) und die Resultate von Untersuchungen an einigen Kernen (Michaelis, Weller et al. (1969), (1970)) sind an anderer Stelle veröffentlicht.

Bei der Berechnung der absoluten Übergangswahrscheinlichkeiten ergab sich bei den K-verbotenen Übergängen eine gute Übereinstimmung für $M1$, während die $E1$ -Übergänge etwa eine Größenordnung zu schnell sind. Dies kann an der Vernachlässigung des Einflusses der Dipolschwingung, aber nicht an der Vernachlässigung der Oktupolschwingungen liegen, da diese die $E1$ Übergangswahrscheinlichkeiten im allgemeinen erhöhen. Vielmehr scheint der Einfluß der Oktupolschwingungen auf K-verbotenen $E1$ Übergangswahrscheinlichkeiten vernachlässigbar zu sein. Daß dies bei erlaubten $E1$ -Übergängen und speziell solchen mit $\Delta K = 0$ nicht der Fall ist, beweisen einige der erlaubten $E1$ Übergänge, die sich in unserer Rechnung als viel zu langsam ergeben haben und damit auf den Oktupoleinfluß hinweisen.

Tabelle 1.1

Theoretische Niveaustuktur in $^{165}_{66}\text{Dy}_{99}$

I π	Energie (keV)		S T R U K T U R							
	exp.	theor.								
7/2 +	0	0	633 \uparrow	93%;	633 \uparrow + Q ₂₀	4%;	642 \uparrow	2,5%		
1/2 -	108	100	521 \downarrow	92%;	521 \downarrow + Q ₂₀	2%;	521 \uparrow + Q ₂₋₂	4 %;	523 \downarrow + Q ₂₋₂	2%
3/2 -	158.6	153	521 \downarrow	91%;	521 \downarrow + Q ₂₀	2%;	521 \uparrow + Q ₂₋₂	3 %;	512 \uparrow + Q ₂₋₂	1%;
			523 \downarrow + Q ₂₋₂	2%						
5/2 -	180.9	162	521 \downarrow	92%;	521 \downarrow + Q ₂₀	2%;	521 \uparrow + Q ₂₋₂	4 %;	523 \downarrow + Q ₂₋₂	2%
5/2 -	184	175	512 \uparrow	89%;	510 \uparrow + Q ₂₂	9%;	521 \uparrow	1 %		
7/2 -	262	250	512 \uparrow	88%;	510 \uparrow + Q ₂₂	9%;	521 \uparrow	2 %		
5/2 -	533	523	523 \downarrow	82%;	521 \downarrow + Q ₂₂	14%;	521 \uparrow	1 %;	523 \downarrow + Q ₂₀	1%
1/2 -	570	545	510 \uparrow	32%;	512 \uparrow + Q ₂₋₂	64%;	512 \downarrow + Q ₂₋₂	3.5%		
3/2 -	574	594	521 \uparrow	54%;	521 \downarrow + Q ₂₋₂	45%				
5/2 +		652	642 \uparrow	83%;	642 \uparrow + Q ₂₀	9%;	651 \uparrow	6 %		
7/2 +		692	642 \uparrow	75%;	642 \uparrow + Q ₂₀	9%;	651 \uparrow	11 %;	633 \uparrow	2%;
			651 \uparrow + Q ₂₀	2%						
3/2 +		714	651 \uparrow	9%;	633 \uparrow + Q ₂₋₂	89%;	651 \uparrow + Q ₂₀	1 %;	642 \uparrow + Q ₂₋₂	1%
11/2 +		779	624 \uparrow	1%;	633 \uparrow + Q ₂₂	95%;	642 \uparrow + Q ₂₂	4 %		
5/2 -		990	523 \downarrow	14%;	521 \downarrow + Q ₂₂	83%;	512 \downarrow	1 %		
7/2 -		1124	514 \downarrow	56%;	512 \downarrow + Q ₂₂	6%;	523 \downarrow	8 %;	521 \downarrow + Q ₂₂	26%
3/2 +		1135	651 \uparrow	74%;	633 \uparrow + Q ₂₋₂	10%;	651 \uparrow + Q ₂₀	14 %;	642 \uparrow + Q ₂₋₂	2%
3/2 -	1103	1166	521 \uparrow	43%;	521 \downarrow + Q ₂₋₂	54%;	521 \uparrow + Q ₂₀	1 %;	512 \downarrow	1%
3/2 -		1243	512 \downarrow	34%;	514 \downarrow + Q ₂₋₂	34%;	523 \downarrow + Q ₂₋₂	18 %;	510 \uparrow + Q ₂₋₂	13%
1/2 -		1293	521 \downarrow	1%;	523 \downarrow + Q ₂₋₂	98%				
1/2 +		1559			642 \uparrow + Q ₂₋₂	98%;	651 \uparrow + Q ₂₋₂	2 %		
1/2 -		1589	521 \downarrow	3%;	521 \uparrow + Q ₂₋₂	91%;	521 \downarrow + Q ₂₀	6 %		

Tabelle 1.2

Theoretische Niveaustuktur in $^{163}_{66}\text{Dy}_{97}$

I	Energie (keV)		S T R U K T U R							
	exp.	theor.								
5/2 -	0	0	523↓	91%;	523↓ + Q ₂₀	3%;	521↓ + Q ₂₂	5%		
7/2 -	73.4	74	523↓	90%;	523↓ + Q ₂₀	3%;	521↓ + Q ₂₂	5%		
9/2 -	167.4	168	523↓	88%;	523↓ + Q ₂₀	4%;	521↓ + Q ₂₂	5%;	532 ↓	2%
11/2 -	282	282	523↓	86%;	523↓ + Q ₂₀	4%;	521↓ + Q ₂₂	4%;	532	3%;
			521↑	1%						
5/2 +	251	105	642↑	74%;	642↑ + Q ₂₀	15%;	651↑ + Q ₂₀	2%;	651↑	8%
1/2 -	351	263	521↓	75%;	521↓ + Q ₂₀	3%;	523↓ + Q ₂₋₂	22%		
3/2 -	390	317	521↓	71%;	521↓ + Q ₂₀	3%;	523↓ + Q ₂₋₂	22%;	521↑	3%
5/2 -	428	340	521↓	76%;	521↓ + Q ₂₀	3%;	523↓ + Q ₂₋₂	20%		
3/2 -	422	354	521↑	92%;	521↑ + Q ₂₀	3%;	523↓ + Q ₂₋₂	1%;	521↓	3%
5/2 -	475	392	521↑	90%;	521↑ + Q ₂₀	3%;			512↑	5%
7/2 -	553	440	521↑	65%;	521↑ + Q ₂₀	3%;	523↓ + Q ₂₋₂	4%;	512↑	6%
9/2 -	644	533	521↑	82%;	521↑ + Q ₂₀	4%;			512↑	10%;
			530↑	2%						
3/2 +		490	651↑	75%;	633↑ + Q ₂₋₂	1%;	651↑ + Q ₂₀	21%;	660↑ + Q ₂₋₂	1%
7/2 +		434	633↑	87%;	633↑ + Q ₂₀	8%;	651↑	2.5%;	642↑	1%
1/2 +		729	651↓	61%;	651↓ + Q ₂₀	23%;	642↑ + Q ₂₋₂	9%;	660↑	4%;
			651↑ + Q ₂₋₂	2%						

5/2 -		665	512 ↑	83%;	512 ↑ + Q ₂₀	1%;	510 ↑ + Q ₂₂	9%;	521 ↑	5%
7/2 -	800	773	512 ↑	79%;	512 ↑ + Q ₂₀	1%;	510 ↑ + Q ₂₂	8%;	521 ↑	7%
11/2 -		605	505 ↑	86%;	505 ↑ + Q ₂₀	14%				
9/2 -		852			523 ↓ + Q ₂₂	97%;	521 ↑ + Q ₂₂	1%;	532 ↓ + Q ₂₂	1%
1/2 -		957	521 ↓	20%;	523 ↓ + Q ₂₋₂	77%;	521 ↓ + Q ₂₀	2%		
3/2 -		1049	532 ↓	66%;	532 ↓ + Q ₂₀	9%;	523 ↓ + Q ₂₋₂	8%;	521 ↑ + Q ₂₋₂	6%;
			530 ↑ + Q ₂₋₂	6%						
1/2 -		1095	510 ↑	4%;	521 ↑ + Q ₂₋₂	80%;	512 ↑ + Q ₂₋₂	15%		
1/2 -		1148	510 ↑	20%;	512 ↑ + Q ₂₋₂	60%;	521 ↑ + Q ₂₋₂	18%		
1/2 +		1036	660 ↑	25%;	642 ↑ + Q ₂₋₂	43%;	651 ↑ + Q ₂₋₂	9%;	651 ↓ + Q ₂₀	5%;
			651 ↓	11%;	660 ↑ + Q ₂₀	6%;	640 ↑	1%		
3/2 -		1217	510 ↑	1%;	521 ↓ + Q ₂₋₂	94%;	521 ↑ + Q ₂₋₂	4%		
5/2 -		1411	523 ↓	6%;	523 ↓ + Q ₂₀	75%;	521 ↓ + Q ₂₂	17%		
7/2 -		1146	512 ↑	1%;	521 ↑ + Q ₂₂	98%				
5/2 -		1297	510 ↑	5%;	521 ↓ + Q ₂₂	38%;	521 ↓ + Q ₂₋₂	19%;	512 ↑ + Q ₂₋₂	13%;
			521 ↑ + Q ₂₋₂	9%;	523 ↓ + Q ₂₀	11%				
9/2 +		1208	651 ↓	1%;	642 ↑ + Q ₂₂	83%;	651 ↑ + Q ₂₂	11%;	642 ↑ + Q ₂₋₂	2%
3/2 +		1299	660 ↑	7%;	633 ↑ + Q ₂₋₂	83%;	642 ↑ + Q ₂₋₂	5%;	660 ↑ + Q ₂₀	2%
1/2 -		1487	530 ↑	58%;	532 ↓ + Q ₂₋₂	33%;	530 ↑ + Q ₂₀	7%;	521 ↑ + Q ₂₋₂	1%
11/2 +		1414			633 ↑ + Q ₂₂	63%;	642 ↑ + Q ₂₂	27%;	651 ↑ + Q ₂₂	10%
1/2 +		1471	660 ↑	33%;	642 ↑ + Q ₂₋₂	44%;	660 ↑ + Q ₂₀	13%;	651 ↑ + Q ₂₋₂	9%;
			640 ↑	1%						

Tabelle 1.3

Theoretische Niveaustuktur in $^{165}_{68}\text{Er}_{97}$

I	Energie (keV)		S T R U K T U R									
	exp.	theor.										
5/2 -	0	0	523↓	89%;	523↓ + Q ₂₀	4%;	521↓ + Q ₂₂	5%				
7/2 -	77.2	76	523↓	88%;	523↓ + Q ₂₀	5%;	521↓ + Q ₂₂	5%;	532↓	1%		
9/2 -	178	172	523↓	86%;	523↓ + Q ₂₀	6%;	521↓ + Q ₂₂	5%;	532↓	2%		
11/2 -	297	287	523↓	83%;	523↓ + Q ₂₀	7%;	521↓ + Q ₂₀	4%;	532↓	3%;	521↑	1%
5/2 +	47.2	105	642↑	68%;	642↑ + Q ₂₀	18%;	651↑ + Q ₂₀	3%;	651↑	9%		
1/2 -	297	256	521↓	75%;	521↓ + Q ₂₀	4%;	523↓ + Q ₂₋₂	21%				
3/2 -	356	312	521↓	70%;	521↓ + Q ₂₀	4%;	523↓ + Q ₂₋₂	21%;	521↑	3%		
5/2 -	384	334	521↓	74%;	521↓ + Q ₂₀	5%;	523↓ + Q ₂₋₂	19%				
3/2 -	242.7	353	521↑	90%;	521↑ + Q ₂₀	5%;	523↓ + Q ₂₋₂	1%;	521↓	3%		
5/2 -	296	391	521↑	87%;	521↑ + Q ₂₀	5%;			512↑	5%		
3/2 +	854	455	651↑	70%;	651↑ + Q ₂₀	25%;	633↑ + Q ₂₋₂	1%;	660↑	1%		
7/2 +		490	633↑	82%;	633↑ + Q ₂₀	12%;	651↑ + Q ₂₀	1%;	651↑	4%		
1/2 +	507	650	651↓	62%;	651↓ + Q ₂₀	29%;	642↑ + Q ₂₋₂	4%;	660↑	3%		
5/2 -	608	660	512↑	82%;	512↑ + Q ₂₀	2%;	510↑ + Q ₂₂	9%;	521↑	5%		
7/2 -		775	512↑	77%;	512↑ + Q ₂₀	1%;	510↑ + Q ₂₂	9%;	521↑	7%;	521↑ + Q ₂₀	2%
11/2 -		535	505↑	80%;	505↑ + Q ₂₀	19%						
9/2 -		866			523↓ + Q ₂₂	96%;	521↑ + Q ₂₂	1%;	532↓ + Q ₂₂	1%		

1/2 -	962	521↓	17%;	523↓ + Q ₂₋₂	76%;	521↓ + Q ₂₀	5%;	521↑ + Q ₂₋₂	1%
3/2 -	976	532↓	47%;	523↓ + Q ₂₋₂	22%;	532↓ + Q ₂₀	10%;	530↑ + Q ₂₋₂	4%;
		521↓	7%;	521↓ + Q ₂₀	1%;	521↑ + Q ₂₋₂	4%		
1/2 -	1098	510↑	9%;	512↑ + Q ₂₋₂	29%;	521↑ + Q ₂₋₂	61%		
1/2 -	1144	510↑	16%;	512↑ + Q ₂₋₂	45%;	521↑ + Q ₂₋₂	36%;	530↑	2%
1/2 +	1049	660↑	37%;	642↑ + Q ₂₋₂	34%;	651↑ + Q ₂₋₂	6%;	660↑ + Q ₂₀	12%;
		651↓	5%;	651↓ + Q ₂₀	3%;	640↑	1%		
3/2 -	1227			521↓ + Q ₂₋₂	95%;	521↑ + Q ₂₋₂	4%		
5/2 -	1204	512↑	1%;	523↓ + Q ₂₀	71%;	521↓ + Q ₂₂	23%;	521↓ + Q ₂₋₂	2%
7/2 -	1159	512↑	1%;	521↑ + Q ₂₂	97%				
5/2 -	1361	523↓	6.5%;	523↓ + Q ₂₀	11%;	521↓ + Q ₂₂	55%;	521↓ + Q ₂₋₂	17%;
		510↑	1%;	512↑ + Q ₂₋₂	4%;	521↑ + Q ₂₋₂	3%		
3/2 +	1378	660↑	16%;	633↑ + Q ₂₋₂	69%;	660↑ + Q ₂₀	6%;	651↑ + Q ₂₋₂	7%
1/2 -	1447	530↑	57%;	530↑ + Q ₂₀	10%;	532↓ + Q ₂₋₂	29%;	521↓	1%;
				521↑ + Q ₂₋₂	2%				
1/2 +	1503	660↑	24%;	642↑ + Q ₂₋₂	57%;	651↑ + Q ₂₋₂	3%;	640↑	2%;
		660↑ + Q ₂₀	13%						

Tabelle 1.4

Theoretische Niveaustuktur in $^{167}_{68}\text{Er}_{99}$

I π	Energie (keV)		S T R U K T U R							
	exp.	theor.								
7/2 +	0	0	633 \uparrow	90 %;	633 \uparrow + Q ₂₀	6 %;	642 \uparrow	3 %		
1/2 -	208	192	521 \downarrow	92 %;	521 \downarrow + Q ₂₀	2 %;	521 \uparrow + Q ₂₋₂	3 %;	523 \downarrow + Q ₂₋₂	2 %
3/2 -	265	248	521 \downarrow	90 %;	521 \downarrow + Q ₂₀	2.5%;	521 \uparrow + Q ₂₋₂	2 %;	523 \downarrow + Q ₂₋₂	2 %
5/2 -	347	392	512 \uparrow	86 %;	510 \uparrow + Q ₂₂	11 %;	521 \downarrow + Q ₂₂	1 %		
5/2 -	668	647	523 \downarrow	81 %;	521 \downarrow + Q ₂₂	16 %;	523 \downarrow + Q ₂₀	2 %		
5/2 +	592	614	642 \uparrow	79 %;	642 \uparrow + Q ₂₀	12 %;	651 \uparrow	7.5%;	651 \uparrow + Q ₂₀	1.5%
3/2 -	753	816	521 \downarrow + Q ₂₋₂	61 %;	521 \uparrow	37 %				
1/2 -	763	696	512 \uparrow + Q ₂₋₂	56 %;	510 \uparrow	38 %;	512 \downarrow + Q ₂₋₂	5 %		
3/2 +	532	757	633 \uparrow + Q ₂₋₂	81 %;	651 \uparrow	15 %;	651 \uparrow + Q ₂₀	3 %		
5/2 -	1059	1128	521 \downarrow + Q ₂₂	80 %;	523 \downarrow	15 %;	512 \downarrow	2 %		
3/2 -	1086	1409	521 \uparrow	60 %;	521 \downarrow + Q ₂₋₂	37 %;	521 \uparrow + Q ₂₀	2 %		
5/2 -	1135	1474	521 \uparrow	58 %;	521 \downarrow + Q ₂₋₂	36 %;	521 \uparrow + Q ₂₀	2 %;	523 \downarrow + Q ₂₋₂	2 %
7/2 -		1112	514 \downarrow	68 %;	512 \downarrow + Q ₂₂	9 %;	521 \downarrow + Q ₂₂	21 %		
3/2 -	1384	1295	512 \downarrow	41 %;	514 \downarrow + Q ₂₋₂	38 %;	510 \uparrow + Q ₂₋₂	16 %;	523 \downarrow + Q ₂₋₂	3 %
5/2 -	1444	1360	512 \downarrow	37 %;	514 \downarrow + Q ₂₋₂	36 %;	510 \uparrow + Q ₂₋₂	14 %;	523 \downarrow + Q ₂₋₂	8 %;
			521 \downarrow + Q ₂₂	2 %;	521 \uparrow	1 %				
1/2 -		1462	523 \downarrow + Q ₂₋₂	97 %;	521 \downarrow + Q ₂₀	2 %;	521 \downarrow	1 %		
3/2 -		1504	523 \downarrow + Q ₂₋₂	92 %;	521 \downarrow + Q ₂₀	1 %;	521 \downarrow	1 %;	521 \uparrow + Q ₂₋₂	2 %;
			512 \downarrow	2 %						
1/2 -		1720	521 \downarrow + Q ₂₀	93 %;	521 \downarrow	2 %;	523 \downarrow + Q ₂₋₂	1 %;	521 \uparrow + Q ₂₋₂	4 %

I
 ∞
I

Tabelle 1.5

Theoretische Niveaustuktur in $^{167}_{70}\text{Yb}_{97}$

I	Energie (keV)		S T R U K T U R										
	exp.	theor.											
5/2 -	0	0	523↓ 91%;	523↓ + Q ₂₀ 4%;	521↓ + Q ₂₂ 4 %								
5/2 +		105	642↑ 70%;	642↑ + Q ₂₀ 17%;	651↑ + Q ₂₀ 3 %;	651↑						9%	
1/2 -	212	276	521↓ 80%;	523↓ + Q ₂₋₂ 16%;	521↓ + Q ₂₀ 4 %								
3/2 -	187	347	521↑ 57%;	523↓ + Q ₂₋₂ 7%;	521↓ + Q ₂₀ 2 %;	521↓	31%;				521↑ + Q ₂₀ 3%		
3/2 +		473	651↑ 72%;	651↑ + Q ₂₀ 24%;	660↑ + Q ₂₋₂ 1 %;	660↑						1%	
7/2 +		470	633↑ 84%;	633↑ + Q ₂₀ 10%;	651↑ + Q ₂₀ 1 %;	651↑						3%	
1/2 +		674	651↓ 65%;	651↑ + Q ₂₀ 28%;	642↑ + Q ₂₋₂ 3 %;	660↑						2%	
5/2 -		684	512↑ 84%;	512↑ + Q ₂₀ 1%;	510↑ + Q ₂₂ 8 %;	521↑						4%	
11/2 -		550	505↑ 83%;	505↑ + Q ₂₀ 17%									
9/2 -		958	512↑ 10%;	523↓ + Q ₂₂ 86%;	523↓ + Q ₂₂ 1 %								
1/2 -		1024	521↓ 13%;	523↓ + Q ₂₋₂ 82%;	521↓ + Q ₂₀ 3.5%								
3/2 -		1013	532↓ 69%;	532↓ + Q ₂₀ 13%;	530↑ + Q ₂₋₂ 5 %;	523↓ + Q ₂₋₂ 7%;				521↓	2%		
1/2 -		1192	510↑ 6%;	521↑ + Q ₂₋₂ 75%;	512↑ + Q ₂₋₂ 19 %								
1/2 -		1245	530↑ 2%;	512↑ + Q ₂₋₂ 54%;	521↑ + Q ₂₋₂ 23 %;	510↑						20%	
1/2 +		1100	660↑ 42%;	660↑ + Q ₂₀ 13%;	642↑ + Q ₂₋₂ 31 %;	651↑ + Q ₂₋₂ 6%;				651↓	4%		
3/2 -		1317		521↓ + Q ₂₋₂ 97%;	521↑ + Q ₂₋₂ 3 %								
5/2 -		1285	512↑ 1%;	523↓ + Q ₂₀ 75%;	521↓ + Q ₂₂ 20 %;	521↓ + Q ₂₋₂ 2%							
5/2 -		1418	523↓ 4%;	521↓ + Q ₂₂ 42%;	512↑ + Q ₂₋₂ 20 %;	523↓ + Q ₂₀ 8%;				521↑ + Q ₂₋₂	12%;		
			510↑ 8%										
3/2 +		1437	660↑ 20%;	633↑ + Q ₂₋₂ 63%;	660↑ + Q ₂₀ 7 %;	651↑	8%;				642↑ + Q ₂₋₂ 2%		
1/2 -		1505	570↑ 61%;	532↓ + Q ₂₋₂ 25%;	530↑ + Q ₂₀ 10 %;	521↑ + Q ₂₋₂ 2%							
1/2 +		1546	660↑ 23%;	642↑ + Q ₂₋₂ 61%;	660↑ + Q ₂₀ 11 %;	640↑						3%	

Tabelle 1.6

Theoretische Niveaustuktur in $^{169}_{70}\text{Yb}_{99}$

I π	Energie (keV)		S T R U K T U R							
	exp.	theor.								
7/2 +	0	0	633 \uparrow	89%;	633 \uparrow + Q ₂₀	9%;	642 \uparrow	1.5%		
1/2 -	24	24	521 \downarrow	93%;	521 \downarrow + Q ₂₀	4%;	523 \downarrow + Q ₂₋₂	1 %;	521 \uparrow + Q ₂₋₂	1 %
5/2 -	191	300	512 \uparrow	89%;	510 \uparrow + Q ₂₂	8.5%;	512 \uparrow + Q ₂₀	1 %		
5/2 -	570	559	523 \downarrow	86%;	521 \downarrow + Q ₂₂	8.5%;	523 \downarrow + Q ₂₀	3 %		
3/2 -	660	810	521 \uparrow	54%;	521 \downarrow + Q ₂₋₂	44%;	521 \uparrow + Q ₂₀	1.5%		
1/2 -	813	866	512 \uparrow + Q ₂₋₂	67%;	510 \uparrow	31%;	521 \downarrow + Q ₂₀	1 %;		
3/2 +	720	951	633 \uparrow + Q ₂₋₂	76%;	651 \uparrow	19%;	651 \uparrow + Q ₂₀	4 %		
5/2 -	1111	1097	521 \downarrow + Q ₂₂	88%;	523 \downarrow	8%;	521 \uparrow	1 %;	523 \downarrow + Q ₂₀	1 %
3/2 -	1231	1220	521 \downarrow + Q ₂₋₂	53%;	521 \uparrow	43%;	521 \uparrow + Q ₂₀	2.5%		
3/2 +	(1204)	1253	651 \uparrow	55%;	633 \uparrow + Q ₂₋₂	24%;	651 \uparrow + Q ₂₀	18 %;	660 \uparrow	1 %
1/2 +	(1034)	1255	660 \uparrow	67%;	660 \uparrow + Q ₂₀	23%;	642 \uparrow + Q ₂₋₂	7 %;	651 \uparrow + Q ₂₋₂	3 %
5/2 +		1220	660 \uparrow	55%;	660 + Q ₂₀	19%;	642 \uparrow + Q ₂₋₂	2 %;	651 \uparrow + Q ₂₋₂	2 %
1/2 -		1365	521 \downarrow + Q ₂₀	92%;	521 \downarrow	3.5%;	523 \downarrow + Q ₂₋₂	4 %		
7/2 -	960	1444	514 \downarrow	95%;	514 \downarrow + Q ₂₀	2%;	523 \downarrow + Q ₂₀	1 %		
1/2 -		1537	523 \downarrow + Q ₂₋₂	95%;	521 \uparrow + Q ₂₀	3%;	521 \downarrow	2 %		

Tabelle 1.7

Theoretische Niveaustuktur in $^{171}_{70}\text{Yb}_{101}$

I π	Energie (keV)		S T R U K T U R							
	exp.	theor.								
1/2 -	0	0	521 \downarrow 91 %;	521 \downarrow + Q ₂₀ 4.5%;	521 \uparrow + Q ₂₋₂ 2.5%;	523 \downarrow + Q ₂₋₂ 2%				
3/2 -	66.5	67	521 \downarrow 90.5%;	521 \downarrow + Q ₂₀ 5 %;	521 \uparrow + Q ₂₋₂ 2.5%;	523 \downarrow + Q ₂₋₂ 2%				
5/2 -	76.7	69	521 \downarrow 90 %;	521 \downarrow + Q ₂₀ 5 %;	521 \uparrow + Q ₂₋₂ 2.5%;	523 \downarrow + Q ₂₋₂ 2%				
7/2 -		222	521 \downarrow 84 %;	521 \downarrow + Q ₂₀ 5.5%;	521 \uparrow + Q ₂₋₂ 2 %;	523 \downarrow + Q ₂₋₂ 2%				
5/2 -	122	130	512 \uparrow 94 %;	510 \uparrow + Q ₂₂ 3.5%;	512 \uparrow + Q ₂₀ 2 %					
7/2 -		228	512 \uparrow 74 %;	510 \uparrow + Q ₂₂ 3 %;	512 \uparrow + Q ₂₀ 2 %;	521 \downarrow 18%				
7/2 -	838	844	514 \downarrow 73 %;	521 \downarrow + Q ₂₂ 4 %;	512 \downarrow + Q ₂₂ 4 %;	523 \downarrow 16%				
3/2 -	902	909	521 \uparrow 43 %;	521 \downarrow + Q ₂₋₂ 56 %;	521 \uparrow + Q ₂₀ 1 %					
5/2 -		982	521 \uparrow 41 %;	521 \downarrow + Q ₂₋₂ 53 %;	521 \downarrow + Q ₂₂ 1 %;	521 \uparrow + Q ₂₀ 1%;				
			523 \downarrow 2.5%							
7/2 -	1080	1086	521 \uparrow 38 %;	521 \downarrow + Q ₂₋₂ 49 %;	521 \downarrow + Q ₂₂ 3 %;	521 \uparrow + Q ₂₀ 1%;				
			523 \downarrow 5.5%							
1/2 -	945	927	510 \uparrow 27 %;	512 \uparrow + Q ₂₋₂ 70 %;	512 \downarrow + Q ₂₋₂ 3 %					
5/2 -		858	523 \downarrow 58 %;	521 \downarrow + Q ₂₂ 36 %;	521 \downarrow + Q ₂₋₂ 2 %;	521 \uparrow 2%;				
			523 \downarrow + Q ₂₀ 2%							
1/2 -		1345	521 \downarrow 4 %;	521 \downarrow + Q ₂₀ 95 %						
3/2 -		1369	512 \downarrow 49 %;	514 \downarrow + Q ₂₋₂ 32 %;	521 \downarrow + Q ₂₀ 10 %;	510 \uparrow + Q ₂₋₂ 8%				

Tabelle 1.8

Theoretische Niveaustuktur in $^{173}_{70}\text{Yb}_{103}$

I π	Energie (keV)		S t r u k t u r							
	exp.	theor.								
5/2 -	0	0	512 \uparrow	96%;	512 \uparrow + Q ₂₀	2 %;	510 \uparrow + Q ₂₂	2 %		
7/2 -	78.8	88	512 \uparrow	96%;	512 \uparrow + Q ₂₀	1.5%;	510 \uparrow + Q ₂₂	2 %		
1/2 -	398	376	521 \downarrow	90%;	521 \downarrow + Q ₂₀	4 %;	521 \uparrow + Q ₂₋₂	3 %;	523 \downarrow + Q ₂₋₂	2.5%
3/2 -	462	440	521 \downarrow	90%;	521 \downarrow + Q ₂₀	4 %;	521 \uparrow + Q ₂₋₂	3 %;	523 \downarrow + Q ₂₋₂	2.5%
5/2 -		442	521 \downarrow	90%;	521 \downarrow + Q ₂₀	4 %;	521 \uparrow + Q ₂₋₂	3 %;	523 \downarrow + Q ₂₋₂	2.5%
7/2 -	630	625	514 \downarrow	94%;	514 \downarrow + Q ₂₀	2 %;	512 \downarrow + Q ₂₂	3 %;	523 \downarrow	1 %
1/2 -	1031	1019	510 \uparrow	47%;	512 \uparrow + Q ₂₋₂	48 %;	512 \downarrow + Q ₂₋₂	4 %		
3/2 -	1073	1046	510 \uparrow	47%;	512 \uparrow + Q ₂₋₂	47 %;	512 \downarrow + Q ₂₋₂	4 %		
5/2 -	1120	1121	510 \uparrow	46%;	512 \uparrow + Q ₂₋₂	43 %;	512 \downarrow + Q ₂₋₂	3.5%;	523 \downarrow	2 %
			521 \uparrow	3%						
3/2 -	1224	1193	521 \uparrow	73%;	521 \downarrow + Q ₂₋₂	25 %;	521 \uparrow + Q ₂₀	2 %		
5/2 -		1268	521 \uparrow	52%;	521 \downarrow + Q ₂₋₂	18 %;	521 \uparrow + Q ₂₀	1 %;	523 \downarrow	7.5%;
			512 \uparrow + Q ₂₀	16%						
7/2 -	1354	1364	521 \uparrow	52%;	521 \downarrow + Q ₂₋₂	18 %;	521 \uparrow + Q ₂₀	1 %;	523 \downarrow	9.5%;
			512 \uparrow + Q ₂₀	13%						
3/2 -	1340	1306	512 \downarrow	67%;	514 \downarrow + Q ₂₋₂	23 %;	510 \uparrow + Q ₂₋₂	9 %		
5/2 -		1148	523 \downarrow	67%;	521 \downarrow + Q ₂₂	15 %;	512 \uparrow + Q ₂₀	9 %;	512 \uparrow + Q ₂₋₂	2 %;
			521 \uparrow	2%;	523 \downarrow + Q ₂₀	2 %;	510 \uparrow	2 %		
1/2 -		1759	521 \downarrow	3%;	521 \downarrow + Q ₂₀	96 %				
1/2 -		1811	510 \uparrow	40%;	512 \uparrow + Q ₂₋₂	51 %;	512 \downarrow + Q ₂₋₂	8 %		

Tabelle 1.9

Theoretische Niveaustuktur in $^{161}_{65}\text{Tb}_{96}$

I π	Energie (keV)		S T R U K T U R					
	exp.	theor.						
3/2 +	0	0	411 \uparrow 96%;	411 \downarrow + Q ₂₋₂ 4 %				
5/2 +	56.2	60	411 \uparrow 95%;	411 \downarrow + Q ₂₋₂ 4 %				
7/2 +	133.7	140	411 \uparrow 93%;	411 \downarrow + Q ₂₋₂ 4 %;	413 \downarrow 1.5%;	402 \uparrow 1%		
5/2 +	314.8	316	413 \downarrow 95%;	411 \downarrow + Q ₂₂ 1.5%;	422 \downarrow 3 %			
7/2 +	394.4	368	413 \downarrow 85%;	411 \downarrow + Q ₂₂ 1 %;	404 \downarrow 6.5%;	422 \downarrow 6%;	411 \uparrow 1 %	
1/2 +		410	411 \downarrow 73%;	411 \uparrow + Q ₂₋₂ 24 %;	413 \downarrow + Q ₂₋₂ 2 %			
3/2 +		425	411 \downarrow 75%;	411 \uparrow + Q ₂₋₂ 22 %;	413 \downarrow + Q ₂₋₂ 3 %			
5/2 +		525	411 \downarrow 72%;	411 \uparrow + Q ₂₋₂ 25 %;	413 \downarrow + Q ₂₋₂ 2 %			
7/2 -	417	417	523 \uparrow 73%;	532 \uparrow + Q ₂₀ 1.5%;	532 \uparrow 23 %;	541 \uparrow 1.5%		
9/2 -		470	523 \uparrow 59%;	532 \uparrow + Q ₂₀ 2.5%;	532 \uparrow 34 %;	541 \uparrow 3 %		
5/2 -	480	477	532 \uparrow 90%;	532 \uparrow + Q ₂₀ 7 %;	541 \uparrow 3 %			
7/2 -	585.6	560	532 \uparrow 63%;	532 \uparrow + Q ₂₀ 5.5%;	523 \uparrow 26 %;	541 \uparrow 5 %		
7/2 +		622	404 \downarrow 85%;	404 \downarrow + Q ₂₀ 7 %;	413 \downarrow 6 %;	422 \downarrow 1 %		
3/2 +		747	422 \downarrow 95%;	422 \downarrow + Q ₂₀ 4.5%				
5/2 +		786	402 \uparrow 92%;	402 \uparrow + Q ₂₀ 7.5%				
7/2 +		992	402 \uparrow 4%;	411 \uparrow + Q ₂₂ 96 %				
1/2 +		1087	411 \downarrow 14%;	411 \uparrow + Q ₂₋₂ 63 %;	413 \downarrow + Q ₂₋₂ 22 %			
3/2 -		1109	541 \downarrow 81%;	523 \uparrow + Q ₂₋₂ 7 %;	541 \uparrow + Q ₂₀ 12 %			
1/2 +		1277	411 \downarrow 12%;	413 \downarrow + Q ₂₋₂ 75 %;	411 \uparrow + Q ₂₋₂ 12 %			
3/2 -		1356	541 \uparrow 5%;	523 \uparrow + Q ₂₋₂ 84 %;	532 \uparrow + Q ₂₋₂ 10 %			

Tabelle 1.10

Theoretische Niveaustuktur in ${}^{167}_{69}\text{Tm}_{98}$

I	π	Energie (keV)		S T R U K T U R							
		exp.	theor.								
1/2	+	0	0	411↓	90%;	411↑ + Q ₂₋₂	5 %;	413↓ + Q ₂₋₂	5%		
3/2	+	10.4	1	411↓	90%;	411↑ + Q ₂₋₂	5 %;	413↓ + Q ₂₋₂	5%		
5/2	+	116.5	123	411↓	90%;	411↑ + Q ₂₋₂	5 %;	413↓ + Q ₂₋₂	5%		
7/2	+	142.3	127	411↓	90%;	411↑ + Q ₂₋₂	5 %;	413↓ + Q ₂₋₂	5%		
7/2	+	179.4	176	404↓	89%;	404↓ + Q ₂₀	5 %;	402↓ + Q ₂₂	4%;	413↓	1%
7/2	-	293	283	523↑	98%;	532↑	0.9%				
9/2	-		370	523↑	96%;	532↑	2 %;	514↑	1%		
5/2	+		481	413↓	52%;	411↓ + Q ₂₂	43 %;	411↓ + Q ₂₋₂	2%;	411↑	1%
3/2	+		545	411↑	41%;	411↓ + Q ₂₋₂	59 %				
5/2	+		615	411↑	39%;	411↓ + Q ₂₋₂	55 %;	411↓ + Q ₂₂	1%;	413↓	2%
3/2	+		795	402↓	28%;	404↓ + Q ₂₋₂	81 %				
5/2	+		814	402↑	91%;	411↓ + Q ₂₋₂	2 %;	402↑ + Q ₂₀	6%		
3/2	-		988	541↑	1%;	523↑ + Q ₂₋₂	98 %				
5/2	+	1218	1221	413↓	44%;	411↓ + Q ₂₂	55 %				
3/2	+		1358	411↑	59%;	411↓ + Q ₂₋₂	41 %				
9/2	-		1434	514↑	95%;	514↑ + Q ₂₀	2 %;	523↑ + Q ₂₀	2%		
1/2	+		1539	411↓	2%;	413↓ + Q ₂₋₂	82 %;	411↑ + Q ₂₋₂	14%;	402↑ + Q ₂₋₂	1%
1/2	+		1578			402↑ + Q ₂₋₂	97 %;	413↓ + Q ₂₋₂	2%		
1/2	+		1585			411↓ + Q ₂₀	99 %				

Tabelle 1.11

Theoretische Niveaustuktur in $^{169}_{69}\text{Tm}_{100}$

I π	Energie (keV)		S T R U K T U R								
	exp.	theor.									
1/2 +	0	0	411↓ 92%;	411↑ + Q ₂₋₂ 5%;	413↓ + Q ₂₋₂ 3 %						
3/2 +	8.4	1	411↓ 92%;	411↑ + Q ₂₋₂ 5%;	413↓ + Q ₂₋₂ 3 %						
5/2 +	118.2	122	411↓ 92%;	411↑ + Q ₂₋₂ 5%;	413↓ + Q ₂₋₂ 3 %						
7/2 +	139	126	411↓ 92%;	411↑ + Q ₂₋₂ 5%;	413↓ + Q ₂₋₂ 3 %						
7/2 +	316	318	404↓ 90%;	404↓ + Q ₂₀ 5%;	402↓ + Q ₂₂ 4 %;	413↓	1%				
7/2 -	379	379	523↑ 96%;	532↑ 2%							
9/2 -	473	454	523↑ 93%;	532↑ 4%;	523↑ + Q ₂₀ 1 %;	514↑	1%				
3/2 +		546	411↑ 42%;	411↓ + Q ₂₋₂ 58%							
5/2 +		601	411↑ 37%;	411↓ + Q ₂₋₂ 50%;	411↓ + Q ₂₂ 7 %;	402↑	3%;	413↓	2%		
5/2 +		692	413↓ 21%;	411↓ + Q ₂₂ 64%;	411↓ + Q ₂₋₂ 7 %;	402↑	2%;	411↑	5%		
5/2 +		813	402↑ 88%;	402↑ + Q ₂₀ 5%;	411↓ + Q ₂₂ 3 %;	411↓ + Q ₂₋₂ 1%;	413↓	1%			
3/2 +		955	402↓ 20%;	404↓ + Q ₂₋₂ 79%							
3/2 -		1114	541↑ 1%;	523↑ + Q ₂₋₂ 98%;	532↑ + Q ₂₋₂ 1 %						
5/2 -		1444	532↑ 92%;	532↑ + Q ₂₀ 6%;	541↑	1 %					
9/2 -		1560	514↑ 90%;	523↑ + Q ₂₀ 2%;	532↑	5 %;	514↑ + Q ₂₀	1%			
3/2 +		1342	411↑ 58%;	411↓ + Q ₂₋₂ 42%							
5/2 +		1518	413↓ 72%;	411↓ + Q ₂₂ 24%;	411↓ + Q ₂₋₂ 1 %;	411↑	2%				
1/2 +		1595	411↓ + Q ₂₀ 99%								
1/2 +		1599	402↑ + Q ₂₋₂ 98%;			411↑ + Q ₂₋₂ 1.5%					

Tabelle 1.12

Theoretische Niveaustuktur in $^{171}_{69}\text{Tm}_{102}$

I π	Energie (keV)		S T R U K T U R							
	exp.	theor.								
1/2 +	0	0	411↓	95%;	411↑ + Q ₂₋₂	3%;	413↓ + Q ₂₋₂	2 %		
3/2 +	5.1	1	411↓	95%;	411↑ + Q ₂₋₂	3%;	413↓ + Q ₂₋₂	2 %		
5/2 +	116.7	118	411↓	94%;	411↑ + Q ₂₋₂	3%;	413↓ + Q ₂₋₂	2 %		
7/2 +	129.1	122	411↓	94%;	411↑ + Q ₂₋₂	3%;	413↓ + Q ₂₋₂	2 %		
7/2 +	636	630	404↓	79%;	404↓ + Q ₂₀	15%;	402↓ + Q ₂₂	4 %;	413↓	1%
7/2 -	425	425	523↑	95%;	523↑ + Q ₂₀	3%;	532↑	2 %		
9/2 -		494	523↑	91%;	523↑ + Q ₂₀	4%;	532↑	3.5%;	514↑	1%
3/2 +	688	679	411↑	36%;	411↓ + Q ₂₋₂	64%				
5/2 +	744	728	411↑	28%;	411↓ + Q ₂₋₂	48%;	411↓ + Q ₂₂	16 %;	402↑	3%;
			413↓	5%						
5/2 +		792	411↑	8%;	411↓ + Q ₂₂	59%;	411↓ + Q ₂₋₂	14 %;	413↓	18%
5/2 +	921	922	402↑	78%;	402↑ + Q ₂₀	18%;	411↓ + Q ₂₂	2 %;	411↓ + Q ₂₂	2%
1/2 +		934			411↓ + Q ₂₀	99%				
3/2 -		1280	541↑	1%;	523↑ + Q ₂₋₂	97%;	532↑ + Q ₂₋₂	1 %		
7/2 -		1359	523↑	4%;	523↑ + Q ₂₀	88%;	523↑ + Q ₂₋₂	3 %;	532↑ + Q ₂₀	4%
3/2 +		1364	402↓	36%;	404↓ + Q ₂₋₂	60%;	402↓ + Q ₂₀	3 %		
5/2 -		1384	532↑	75%;	532↑ + Q ₂₀	16%;	523↑ + Q ₂₋₂	8 %;	541↑	1%
3/2 +		1430	411↑	63%;	411↓ + Q ₂₋₂	36%				
5/2 +		1557	413↓	69%;	411↓ + Q ₂₂	22%;	411↓ + Q ₂₋₂	3 %;	411↑	5%
9/2 -		1654	514↑	79%;	514↑ + Q ₂₀	2%;	523↑ + Q ₂₀	14 %;	523↑	3%;
			532↑ + Q ₂₀	2%						

Tabelle 1.13

Theoretische Niveaustuktur in $^{175}_{71}\text{Lu}_{104}$

I π	Energie (keV)		S T R U K T U R					
	exp.	theor.						
7/2 +	0	0	404↓ 93%;	404↓ + Q ₂₀	5 %;	402↓ + Q ₂₂	1.3%	
9/2 +	113.8	113	404↓ 93%;	404↓ + Q ₂₀	4 %;	402↓ + Q ₂₂	1.3%	
11/2 +	251.5	250	404↓ 93%;	404↓ + Q ₂₀	3.5%;	402↓ + Q ₂₂	1.3%;	413↓ 1%
5/2 +	343.4	344	402↑ 94%;	402↑ + Q ₂₀	5 %			
7/2 +	432.8	432	402↑ 94%;	402↑ + Q ₂₀	4.5%;	411↑	1.3%	
1/2 +	504.7	505	411↓ 95%;	411↑ + Q ₂₋₂	3.1%;	413↓ + Q ₂₋₂	2 %	
3/2 +		916	411↑ 91%;	411↓ + Q ₂₋₂	8.4%			
5/2 +		1220	413↓ 88%;	411↓ + Q ₂₂	11 %			
3/2 +		938	402↓ 79%;	402↓ + Q ₂₀	3.5%;	404↓ + Q ₂₋₂	17 %	
5/2 +		1004	402↓ 78%;	402↓ + Q ₂₀	3 %;	404↓ + Q ₂₋₂	17 %	
1/2 -		332	541↓ 85%;	541↓ + Q ₂₀	15 %			
3/2 -		462	541↓ 85%;	541↓ + Q ₂₀	15 %			
5/2 -	345	345	541↓ 85%;	541↓ + Q ₂₀	15 %			
7/2 -		648	541↓ 84%;	541↓ + Q ₂₀	16 %			
9/2 -	396.3	396	514↑ 93%;	514↑ + Q ₂₀	1 %;	523↑	6 %	
7/2 -		18	523↑ 97%;	532↑	2.2%			
5/2 -		932	532↑ 95%;	532↑ + Q ₂₀	5 %			
5/2 -		1900	532↑ 0.5%;	514↑ + Q ₂₋₂	96 %;	523↑ + Q ₂₋₂	3 %	

Tabelle 1.14

Theoretische Niveaustuktur in ^{173}Lu
71 102

I	π	Energie (keV)		S T R U K T U R						
		exp.	theor.							
7/2 +		0	0	404↓	92 %;	404↓ + Q ₂₀	5.5%;	402↓ + Q ₂₂	1.6%	
5/2 +		357	357	402↑	93 %;	402↑ + Q ₂₀	6 %			
7/2 +			448	402↑	93 %;	402↑ + Q ₂₀	5 %;	411↑	1.5%	
1/2 +		425	424	411↓	94 %;	411↑ + Q ₂₋₂	4 %;	413↓ + Q ₂₋₂	2 %	
3/2 +			896	411↑	86 %;	411↓ + Q ₂₋₂	13 %;	402↓	1 %	
5/2 +			1191	413↓	81 %;	411↓ + Q ₂₂	18 %			
3/2 +			891	402↓	72 %;	402↓ + Q ₂₀	3.5%;	404↓ + Q ₂₋₂	23 %;	411↑ 1.5%
1/2 -			110	541↓	84 %;	541↓ + Q ₂₀	16 %			
3/2 -			240	541↓	83 %;	541↓ + Q ₂₀	17 %			
5/2 -		124	124	541↓	84 %;	541↓ + Q ₂₀	16 %			
7/2 -			426	541↓	82 %;	541↓ + Q ₂₀	18 %			
9/2 -			396	514↑	91 %;	514↑ + Q ₂₀	1 %;	523↑	7 %	
7/2 -			39	523↑	97 %;	532↑	2.2%			
5/2 -			943	532↑	94 %;	532↑ + Q ₂₀	6 %			
7/2 -			1038	532↑	91 %;	532↑ + Q ₂₀	6 %;	523↑	2.5%	
5/2 -			1753	532↑	< 0.5%;	514↑ + Q ₂₋₂	95 %;	523↑ + Q ₂₋₂	4 %	
3/2 -			1410			523↑ + Q ₂₋₂	98 %;	532↑ + Q ₂₋₂	1 %	
7/2 -			1525	523↑	1 %;	523↑ + Q ₂₀	96 %;	532↑ + Q ₂₀	2.5%	
			1435			523↑ + Q ₂₂	96 %;	532↑ + Q ₂₂	3 %	

Tabelle 2

Vergleich theoretischer γ -Halbwertszeiten mit den experimentellen Werten für K-verbotene Übergänge

Kern	Anfangs-		End-	E (keV)	ML	n	$T_{1/2\gamma}$ (sec)		δ	$f = \frac{g_R}{(g_S)_{\text{frei}}}$
	I	K					Zustand [N n _z Λ]	exp.		
$^{169}_{70}\text{Yb}$	5/2	5/2 ⁻	[512]	104	M1	1	2.9×10^{-7}	1.35×10^{-7}	0.3	$g_R = 0.28$
				92	M1	1	2.2×10^{-7}	1.1×10^{-7}		$f = 0.7$
$^{171}_{70}\text{Yb}$	5/2	5/2 ⁻	[512]	56	M1	1	2.2×10^{-6}	3.8×10^{-6}	0.3	$g_R = 0.31$
				46.5	M1	1	7.9×10^{-6}	2.7×10^{-5}		$f = 0.8$
$^{173}_{70}\text{Yb}$	3/2	1/2 ⁻	[521]	465	M1	1	1.6×10^{-9}	4.6×10^{-9}	0.3	$g_R = 0.27$ $f = 0.8$
$^{167}_{69}\text{Tm}$	7/2	7/2 ⁺	[404]	63	M1	2	$(5.2-19) \times 10^{-6}$	4.5×10^{-6}	0.28	$g_R = 0.48$
				37	M1	2	$(2.4-25) \times 10^{-5}$	9.7×10^{-6}		$f = 1$
$^{169}_{69}\text{Tm}$	7/2	7/2 ⁺	[404]	308	E2	1	6.5×10^{-6}	5.5×10^{-6}	0.28	$g_R = 0.49$ $f = 0.5$
				198	M1	2	1.9×10^{-6}	6.7×10^{-7}		
				198	E2	1	3.0×10^{-5}	2.5×10^{-6}		
				177	M1	2	3.1×10^{-6}	3.6×10^{-7}		
				177	E2	1	4.8×10^{-5}	1.5×10^{-6}		
$^{161}_{65}\text{Tb}$	7/2	7/2 ⁻	[523]	361	E1	1	1.2×10^{-9}	1.93×10^{-10}	0.3	
				284	E1	1	9.8×10^{-9}	7.8×10^{-10}		
$^{167}_{69}\text{Tm}$	7/2	7/2 ⁻	[523]	176	E1	2	6.1×10^{-6}	5.7×10^{-7}	0.28	
				150	E1	2	5.4×10^{-5}	1.5×10^{-6}		
$^{169}_{69}\text{Tm}$	7/2	7/2 ⁻	[523]	261	E1	2	2.4×10^{-6}	2.8×10^{-7}	0.28	
				241	E1	2	3.4×10^{-5}	1×10^{-6}		
$^{171}_{69}\text{Tm}$	7/2	7/2 ⁻	[523]	308	E1	2	3.6×10^{-6}	3.7×10^{-7}	0.28	
				296	E1	2	9.7×10^{-6}	9.5×10^{-7}		
$^{173}_{71}\text{Lu}$	5/2	1/2 ⁻	[541]	124	E1	2	9.2×10^{-5}	1.4×10^{-3}	0.28	
$^{175}_{71}\text{Lu}$	5/2	1/2 ⁻	[541]	345	E1	2	1.3×10^{-6}	1.2×10^{-4}	0.28	

Tabelle 3

Vergleich theoretischer γ -Halbwertszeiten $T_{1/2\gamma}$ mit experimentellen Werten bei erlaubten Übergängen

Kern	Anfangs- Zustand		End- Zustand	E (keV)	ML	$T_{1/2\gamma}$ (sec)		F_N	F_W	F			
	I	K				$\int N$	n_z				exp.	theor.	
$^{169}_{70}\text{Yb}$	5/2	5/2 ⁻	[512]	1/2	1/2 ⁻	[521]	166.5	E2	3.1×10^{-7}	6.3×10^{-7}	1.4×10^{-2}	4	0.4
$^{171}_{70}\text{Yb}$	5/2	5/2 ⁻	[512]	5/2	1/2 ⁻	[521]	46.5	E2	4.3×10^{-4}	3.2×10^{-4}	2.1×10^{-2}	9.5	1.3
$^{173}_{70}\text{Yb}$	3/2	1/2 ⁻	[521]	1/2	1/2 ⁻	[521]	66	E2	9.4×10^{-8}	2.3×10^{-8}	Rotations- übergänge	1.2×10^{-2}	4.1
$^{175}_{71}\text{Lu}$	5/2	5/2 ⁺	[402]	7/2	7/2 ⁺	[404]	343	M1	7.8×10^{-10}	3.5×10^{-10}	2.5	1.4×10^3	2.2
	5/2	5/2 ⁺	[402]	7/2	7/2 ⁺	[404]	343	E2	5.6×10^{-10}	3.1×10^{-9}	5.1×10^{-5}	0.28	0.18
	5/2	5/2 ⁺	[402]	9/2	7/2 ⁺	[404]	230		3.8×10^{-8}	2.7×10^{-8}	3.7×10^{-4}	2.5	1.4
$^{167}_{68}\text{Er}$	5/2	5/2 ⁻	[512]	7/2	7/2 ⁺	[633]	346.5	E1	$1 \times 10^{-9\text{a}}$	$0.44 \times 10^{-10\text{b}}$	52	2×10^5	22.5
$^{169}_{70}\text{Yb}$	5/2	5/2 ⁻	[512]	7/2	7/2 ⁺	[633]	191.4	E1	$2.6 \times 10^{-10\text{b}}$	$2.6 \times 10^{-10\text{b}}$	36^{b}	1.3×10^5	16
$^{161}_{65}\text{Tb}$	7/2	7/2	[523]	5/2	5/2 ⁺	[413]	102.4	E1	6.9×10^{-9}	$5.5 \times 10^{-9\text{c}}$	5.8	3.1×10^4	1.2
	5/2	5/2 ⁻	[532]	3/2	3/2 ⁺	[411]	482	E1	$2.0 \times 10^{-10\text{d}}$	1.46×10^{-11}	2.1	10^5	13.7
				5/2	3/2 ⁺	[411]	424	E1	$3.1 \times 10^{-9\text{d}}$	6.65×10^{-11}	9	10^6	46.5
				5/2	5/2 ⁺	[413]	165.3	E1	$2.4 \times 10^{-10\text{d}}$	$2.98 \times 10^{-8\text{e}}$	0.31	4.8×10^3	0.8×10^{-2}
$^{167}_{69}\text{Tm}$	7/2	7/2 ⁻	[523]	7/2	7/2 ⁺	[404]	113	E1	1.4×10^{-6}	1.2×10^{-6}	130	9.3×10^6	1.2
$^{167}_{68}\text{Er}$	1/2	1/2 ⁻	[521]	7/2	7/2 ⁺	[633]	207.8	E3	5.5	4.3	2.8	1.3×10^2	1.3
$^{165}_{68}\text{Dy}$	1/2	1/2 ⁻	[521]	7/2	7/2 ⁺	[633]	108	E3	2750	559	15	650	4.9

¹⁶⁵ ₆₆ Dy	5/2 5/2 ⁻ [512]	7/2 7/2 ⁺ [633]	184	E1	6.35x 10 ⁻¹⁰ ^{f)}	4.94 x 10 ⁻¹⁰	4.7	1.3 x 10 ⁴ ^{f)}	1.3
¹⁶⁹ ₆₉ Tm	7/2 7/2 ⁻ [523]	7/2 7/2 ⁺ [404]	63.1	E1	9.6 x 10 ⁻⁸	9.9 x 10 ⁻⁵ ^{e)}	1.6	1.1 x 10 ⁵	10 ⁻³ ^{e)}
¹⁷⁵ ₇₁ Lu	9/2 9/2 ⁻ [514]	7/2 7/2 ⁺ [404]	396	E1	6.6 x 10 ⁻⁹	8.5 x 10 ⁻¹¹	165	1.9 x 10 ⁶	77
			396	M2	4.2 x 10 ⁻⁸	4.4 x 10 ⁻⁷	0.44	0.41	0.095
		9/2 7/2 ⁺ [404]	28.3	E1	9.3 x 10 ⁻⁹	1.7 x 10 ⁻⁹	20	9.8 x 10 ⁵	5.4
			283	M2	8.2 x 10 ⁻⁷	2.6 x 10 ⁻⁶	1.1	1.5	0.31
		11/2 7/2 ⁺ [404]	145	E1	9.7 x 10 ⁻⁸	2.2 x 10 ⁻⁷	2.7	1.4 x 10 ⁶	0.45
			145	M2		1.9 x 10 ⁻⁴			

- a) L. Funke et al., Nucl. Phys. A 118 (1968) 97
- b) Als effektive Ladungen sind die Werte $(1 + Z/A^2)$ für E2 und $(1 - Z/A)$ für E1 gewählt worden. Oft wird als effektive Ladung für E1-Übergänge in Kernen mit ungerader Neutronenzahl der Wert $(-Z/A)$ genommen, für den die berechnete E1-Übergangswahrscheinlichkeit etwa um die Hälfte kleiner ist, so daß dann z.B. die Werte für FN und F bei dem 191 keV Übergang in ¹⁶⁹Yb ebenfalls halbiert werden (vgl. Löbner (1968)).
- c) Um bei ¹⁶¹Tb für das Termschema eine brauchbare Übereinstimmung zu erreichen, mußte die Coriolis-kopplung zwischen den Niveaus 5/2⁻ [532] und 7/2⁻ [523] zusätzlich zu der von der Paarkorrelation hervorgerufenen Reduktion von etwa 25 % noch um weitere 30 % reduziert werden. Dies ist in Einklang mit dem von Zylicz et al. (1966) angegebenen empirischen Coriolis-Matrixelement.
- d) S.G. Malmkog, A. Marelus und S. Wahlborn, Nucl. Phys. A 103 (1967) 481
- e) Bei den E1 $\Delta K=0$ Übergängen in ¹⁶¹₆₅Tb (165 keV) und ¹⁶⁹₆₉Tm (63 keV) tritt der Einfluß der von uns nicht berücksichtigten Oktupolschwingungen klar zutage, wie ein Vergleich mit den Rechnungen von Faessler, Udagawa und Sheline (Nucl. Phys. 85 (1966) 670) zeigt.
- f) S. Hechtel, SGAE-PH-45/1966; α_{tot} aus Rose (1958); F_w-Wert in der Definition von Wapstra (1959) ohne den in der Definition von Alder et al. (1956) auftretenden Faktor $2\lambda+1$.

Bemerkungen zu den Tabellen 2 und 3

Die in Tabellen 2 und 3 zitierten experimentellen Werte sind der Zusammenstellung von Löbner und Malmskog (1966) entnommen, falls nichts anderes angegeben ist. Die bei der Rechnung verwendeten magnetischen Konstanten aus den Arbeiten von Prior et al. (1968) und Bochnacki et al. (1965) sind in der folgenden Tabelle ebenso wie die Werte für die Deformation δ aufgeführt (für ^{167}Er wurde die Deformation $\delta = 0.3$ angenommen). Die Größen ML und n bedeuten Multipolarität und Grad der K-Verbotenheit. Die Verzögerungsfaktoren F_W und F_N sind durch $F_W = T_{1/2\gamma}(\text{exp}) / T_{1/2\gamma}(\text{Weisskopf})$, $F_N = T_{1/2\gamma}(\text{exp}) / T_{1/2\gamma}(\text{Nilsson})$ definiert. Die Größe F ist der Quotient zwischen der experimentellen γ -Halbwertszeit und der der vorliegenden Rechnung. Bei den K-verbotenen Übergängen stimmen die M1-Übergänge recht gut mit den experimentellen Werten überein, während die E1-Übergänge etwa eine Größenordnung zu schnell sind. Dies kann deshalb nicht durch eine Berücksichtigung des Einflusses der Oktupolschwingungen verbessert werden, vielmehr scheint dieser Einfluß bei K-verbotenen E1-Übergängen vernachlässigbar zu sein. An einigen Beispielen bei den erlaubten Übergängen kann man erkennen, daß aus einem F_N -Wert der Größenordnung 1 nicht notwendig auf die Reinheit der wirklichen Zustände geschlossen werden darf. Vielmehr scheint dies eine Folge der gleichzeitigen Vernachlässigung von Mischung und Paarkorrelation zu sein, die in manchen Fällen eine entgegengesetzte Wirkung auf die Übergangswahrscheinlichkeiten haben. Dies gilt besonders für E1 Übergänge mit $\Delta K = 1$, deren F_N -Werte sich bei Berücksichtigung der Paarkorrelation verschlechtern (Meiling und Stary (1966)).

Literaturverzeichnis

- Alder K., Bohr A., Huus T., Mottelson B. und Winther A. (1956),
Revs. Modern Phys. 28, 432
- Bochnacki Z. und Ogaza S. (1965), Nucl. Phys. 69, 186
- Bohr A. (1952), Mat. Fys. Medd. 26 No. 14
- Faessler A., Greiner W. und Sheline R.K. (1965), Nucl. Phys. 70, 33
- Faessler A. (1964), Nucl. Phys. 59, 177
- Faessler A. (1966 a), Nucl. Phys. 85, 679
- Faessler A., Udagawa T. und Sheline R.K. (1966 b), Nucl. Phys.
85, 670
- Funke L., Andrejtscheff W., Graber H., Hagemann U., Kaun K.-H.,
Kemnitz P., Meiling W., Sodan H., Stary F. und Winter G.
(1968), Nucl. Phys. A118, 97
- Hechtl S. (1966), SGAE - PH - 45
- Löbner K.E.G. und Malmskog S.G. (1966), Nucl. Phys. 80, 505
- Löbner K.E.G. (1968), Z. Physik 216, 372
- Malmskog S.G., Marelius A. und Wahlborn S. (1967), Nucl. Phys.
A103, 481
- Meiling W. und Stary F. (1966), ZfK - Ph A 21
- Michaelis W., Weller F., Schmidt H., Markus G. und Fanger U.
(1968), Nucl. Phys. A119, 609
- Michaelis W., Weller F., Ottmar H., Fanger U., Gaeta R. und
Schmidt H. (1970), Nucl. Phys. A143, 225
- Nilsson S.G. (1955), Mat. Fys. Medd. 29 No. 16
- Prior O., Boehm F. und Nilsson S.G. (1968), Nucl. Phys. A110, 257

- Rose M.E. (1958), Internal Conversion Coefficients
(North-Holland Publishing Company, Amsterdam)
- Soloviev V.G. (1965), Atomic Energy Review 3, 117
- Soloviev V.G., Vogel P. und Jungklausen G. (1966),
Rep. JINR E 4 - 3051
- Soloviev V.G. und Vogel P. (1967), Nucl. Phys. 92, 449
- Wapstra A.H., Nijgh G.J. und van Lieshout R. (1959), Nuclear
spectroscopy tables (North-Holland Publ.C., Amsterdam)
- Weller F. und Markus G. (1969), Contributions Int. Conf. on
properties of nuclear states (Montreal)
- Weller F. (1971), Fortschritte der Physik, wird veröffentlicht
- Zylicz J., Hansen P.G., Nielsen H.L. und Wilsky K. (1966),
Nucl. Phys. 84, 13