

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

88-934

P4-88-934

И.Адам, Б.А.Аликов*, Х.Н.Бадалов, Я.Ваврышук,
В.Вагнер, К.Я.Громов, Т.М.Муминов*

СИСТЕМАТИКА И АНАЛИЗ СВОЙСТВ ЯДЕР
НЕЧЕТНЫХ ИЗОТОПОВ ИТТЕРБИЯ

$S A = 163-173.$

Вращательные состояния

* Научно-исследовательский институт прикладной физики
ТашГУ, Ташкент

1988

1. ВВЕДЕНИЕ

Краткий обзор основных экспериментальных работ по исследованию свойств нечетных деформированных ядер иттербия с $A = 163-173$, а также результаты наших теоретических исследований энергии и волновых функций неротационных состояний этих ядер представлены в нашей предыдущей работе ^{/1/}. Ниже в рамках неадиабатической вращательной модели (НВМ) ^{/2/} проведены расчеты энергий и анализ структуры ротационных состояний. При этом использовались два подхода: в первом — коэффициенты ослабления взаимодействия Кориолиса подбирались эмпирически, во втором — матричные элементы этого взаимодействия вычислялись по методу ^{/3/}, позволяющему учесть вибрационные компоненты в волновых функциях ядерных состояний. Так как для четно-четных остовов ядер $^{163, 165} \text{Yb}$ отсутствует необходимый для подобных расчетов набор экспериментальных данных относительно однофононных возбуждений 0^+ , 2^+ и 3^- , расчеты по методу ^{/3/} выполнены лишь для ядер иттербия с $A = 167-173$.

Расчеты структуры ротационных состояний нечетных ядер иттербия с $A = 167-173$ проводились ранее Квасилом и др. ^{/4-6/}. Основное отличие наших расчетов заключается в более корректном учете "члена отдачи" в гамильтониане нечетного деформированного ядра ^{/3/}, а также в использовании параметров деформации β_{20} и β_{40} , рассчитанных отдельно для каждого ядра ^{/1/}.

Добавим, что результаты этой работы нам необходимы для дальнейших теоретических исследований вероятностей γ -переходов и магнитных моментов в обсуждаемых ядрах.

2. ВРАЩАТЕЛЬНЫЕ СОСТОЯНИЯ ЯДЕР ИТТЕРБИЯ

В настоящее время в нечетных ядрах иттербия с $A = 163-173$ идентифицированы ротационные полосы (в крайнем случае их нижайшие состояния) одночастичных состояний отрицательной четности: $1/2^-$ [521], $1/2^-$ [510], $3/2^-$ [521], $3/2^-$ [512], $5/2^-$ [523], $5/2^-$ [512], $7/2^-$ [514], $11/2^-$ [505], и состояний положительной четности: $3/2^+$ [651], $5/2^+$ [642], $7/2^+$ [633] и $9/2^+$ [624]. Последние из-за сильного кориолисова смешивания (одночастичные состояния из сферической подоболочки $i_{13/2}$)

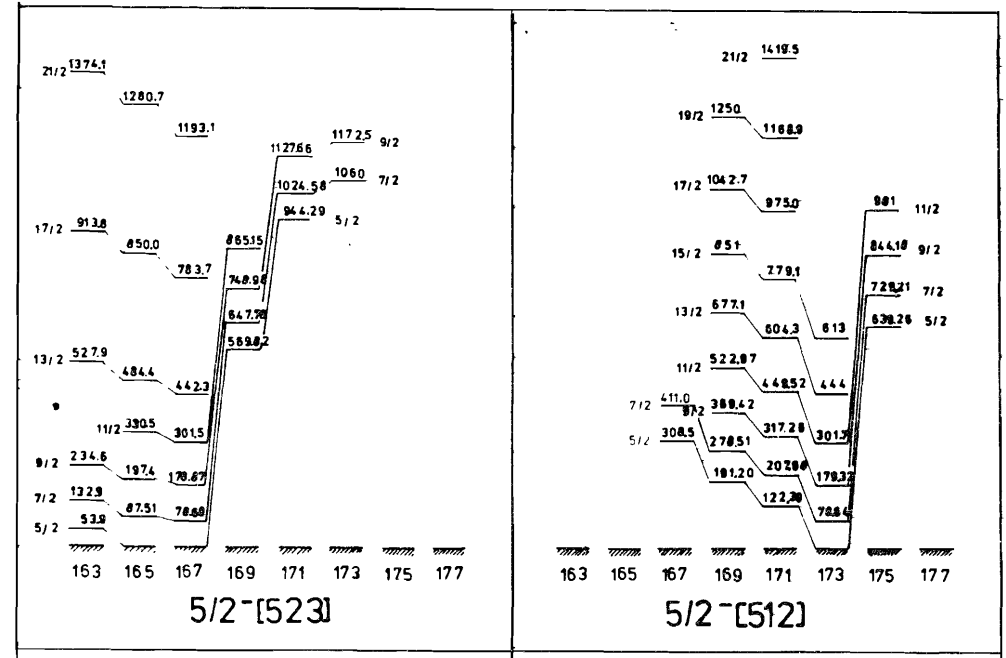
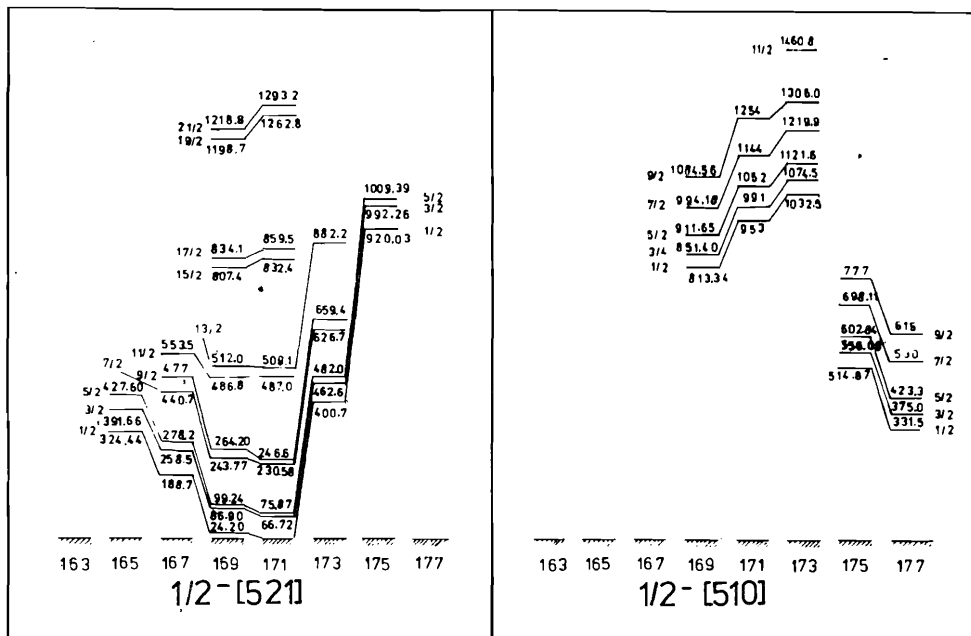


Рис.1. Систематика вращательных состояний ротационных полос $1/2^- [521]$, $1/2^- [510]$, $3/2^- [521]$ и $3/2^- [512]$ ядер иттербия.

Рис.2. Систематика вращательных состояний ротационных полос $5/2^- [523]$, $5/2^- [512]$, $7/2^- [514]$ и $11/2^- [505]$ ядер иттербия.

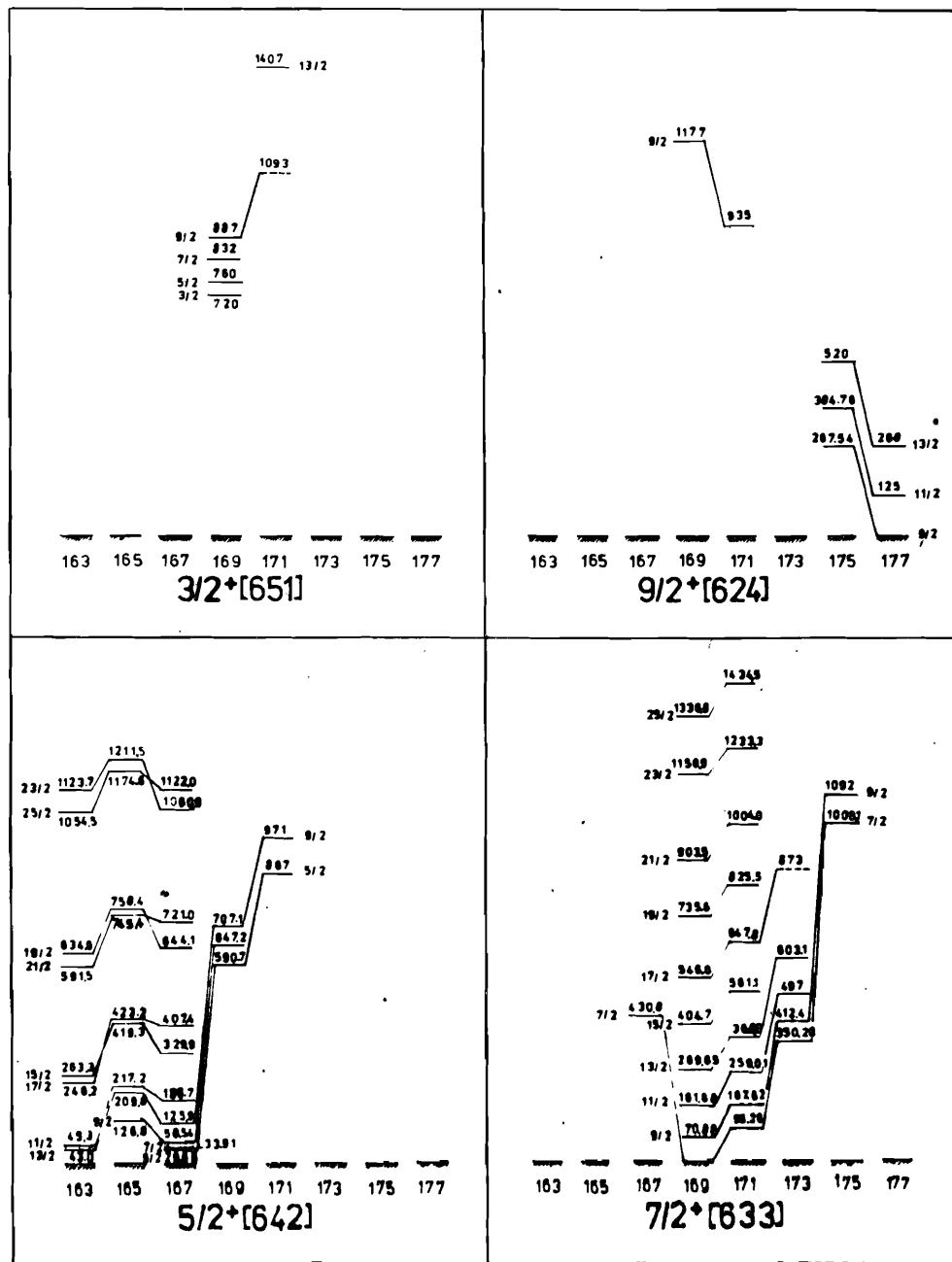


Рис. 3. Систематика вращательных состояний ротационных полос $3/2^+$ [651], $9/2^+$ [624], $5/2^+$ [642] и $7/2^+$ [633] ядер иттербия.

в ядрах $163,165\text{Yb}$ с малой деформацией образуют одну нерегулярную ротационную полосу с лидирующим компонентом $5/2^+$ [642] и с головным состоянием $9/2^+$. Наиболее многочисленные экспериментальные данные имеются для полос $5/2^-$ [523], $5/2^-$ [512], $1/2^-$ [521], $1/2^-$ [510] и $3/2^-$ [521], наблюдаемых в большинстве обсуждаемых ядер (рис. 1 и 2), и для полосы $7/2^+$ [633] в ядрах иттербия с $A = 169-173$ (рис. 3). Состояния ротационных полос $3/2^-$ [512], $7/2^-$ [514] и $9/2^+$ [624], энергии которых увеличиваются с уменьшением A , так же как и полос $11/2^-$ [505] и $3/2^+$ [651], изучены слабо. Многочисленные данные имеются также об упомянутых выше сильно смешанных низколежащих одночастичных состояниях положительной четности из сферической подоболочки $i_{13/2}$ (рис. 3).

В табл. 1 приведены параметры инерции $A = \hbar^2/2J$ некоторых из этих полос, определенные на основании энергий не более пяти их нижайших состояний, по известной ротационной формуле Бора и Моттelsonа [7]:

$$E(I) = E_0 + A[I(I+1) - K^2] + B[I(I+1) - K^2]^2 + \dots + \frac{(I+K)!}{(I-K)!} (A_{2K} + \dots), \quad (1)$$

без учета и с учетом наиболее существенных параметров B (полосы с $K \geq 5/2$) и A_{2K} (полосы с $K = 1/2$ и $3/2$). Отметим, что если в формуле (1) ограничиваемся двумя параметрами (E_0 и A), то среднее откло-

Таблица 1. Инерционные параметры A , A_{2K} и B некоторых ротационных полос ядер иттербия

K^{π} [M_{π}, A]		165Yb	167Yb	169Yb	171Yb	173Yb
$1/2^-$ [521]	A	I3(4) 14,8(I)	I3(2) 13,6(I)	II,2(2) II,5(I)	I2(I) 12,0(I)	- -
	A_{2K}	7,6(I)	9,6(I)	9,2(I)	10,2(I)	-
$1/2^-$ [510]	A	-	-	II,7(3) II,7(3)	I2,5(I) 12,5(I)	I2,0(3) II,8(I)
	A_{2K}	-	-	0,7(9)	0,0(3)	2,3(I)
$3/2^-$ [521]	A	II,7(2) II,5(2)	IO,6(7) IO,5(8)	I2,5(I) I2,5(I)	IO,3(2) IO,4(I)	IO,9(I) IO,8(I)
	A_{2K}	0,03(3)	-0,04(IO)	-0,01(I)	0,04(2)	0,01(I)
$3/2^-$ [512]	A	-	-	-	I2,9(3) I2,8(3)	I2,8(2) I2,9(I)
	A_{2K}	-	-	-	-0,01(6)	0,03(I)
$5/2^-$ [523]	A	I2,2(I) I2,6(I)	II,2(I) II,3(I)	II,1(I) II,5(3)	II,5(I) II,5(I)	I2,5(I) -
	B	-IO,5(6)	-4,6(IO)	-	-I,0(5)	-
$5/2^-$ [512]	A	-	I4,6	I2,4(I) I2,6(I)	I2,2(I) I2,3(I)	II,2(I) II,3(I)
	B	-	-	-9,6(2)	-5,6(I)	-3,0(I)
$7/2^-$ [514]	A	-	-	I3,1	I2,6	I2,6
	B	-	-	-	-	-
$7/2^+$ [633]	A	-	-	8,1(I) 7,7(I)	8,2(I) 7,9(I)	6,9(I) 6,5(I)
	B	-	-	II,8(2)	II(2)	25(4)
$11/2^-$ [505]	A	-	II,8(I) I2,1(I)	-	IO,2(I) IO,3(I)	-
	B	-	-9,5(I7)	-	-3,4(IO)	-

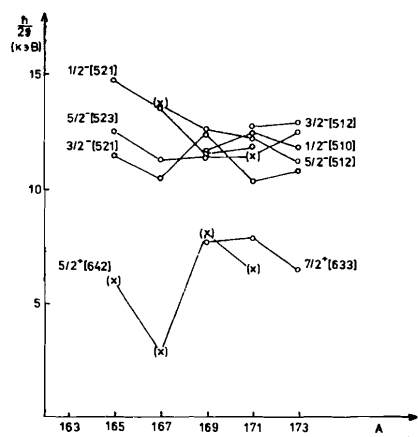


Рис.4. Параметры инерции A некоторых ротационных полос ядер иттербия: O – подгонка по формуле (1) ограничена тремя параметрами E_0 , A и A_{2K} для полос с $K = 1/2$ и $3/2$ или E_0 , A и B для полос с $K > 3/2$. x – подгонка по формуле (1) ограничена двумя параметрами E_0 и A .

нение расчетных и экспериментальных значений энергии нижайших трех-пяти уровней большинства полос с $K \neq 1/2$ равно примерно 1-3 кэВ. С ростом энергии (спина) уровней это отклонение достигает

10-30 кэВ и больше. Аналогичная ситуация наблюдается и в полосах с $K = 1/2$, где необходимо учесть как минимум три параметра: E_0 , A и A_{2K} . В тех случаях, когда экспериментальные данные позволяют учесть большее число параметров в формуле Бора-Моттельсона, согласие $E_{\text{эксп}}$ с $E_{\text{расч}}$ несколько улучшается, но не настолько, чтобы оправдать ввод этих дополнительных параметров.

Полученные значения параметра $A = \hbar^2/2J$, в случае полос отрицательной четности, имеют значительный разброс, указывающий, прежде всего, на наличие кориолисова взаимодействия между полосами с $|\Delta K| = 1$. Можно заметить при этом тенденцию к уменьшению его величины с увеличением массового числа A (рис.4) в среднем от $A \approx 13-15$ кэВ до $A \approx 10-12$ кэВ. Инерционные параметры полос положительной четности "аномально" малы ($A \approx 5-7$ кэВ).

3. "АНОМАЛЬНЫЕ" ПОЛОСЫ ПОЛОЖИТЕЛЬНОЙ ЧЕТНОСТИ В ^{163}Yb , ^{165}Yb И ^{167}Yb

В нечетно-нейтронных ядрах редкоземельной области с малой деформацией ($N \geq 89$) наблюдаются сильновозмущенные кориолисовым взаимодействием "аномальные" ротационные полосы положительной четности с нижайшим состоянием $9/2^+$. В ряде работ, например [2,7], было показано, что появление таких полос обусловлено сильным кориолисовым взаимодействием состояний из сферической подболочки $i_{13/2}$ (матричные элементы взаимодействия Кориолиса велики для больших значений J). Дополнительные искажения ротационных полос положительной четности в этих ядрах возникают из-за $\Delta N = 2$ смещи-

вания одночастичных состояний: $1/2^+[660] - 1/2^+[400]$ и $3/2^+[651] - 3/2^+[402]$. Вследствие этих эффектов ирраст-полосы положительной четности, в том числе в ядрах $^{163,165}\text{Yb}$ ($\beta_{20} \approx 0,2$), имеют явно выраженные две характерные последовательности спинов, для которых величины $1 + 1/2$ четные или нечетные числа $1/2$. С увеличением числа нейтронов в ядре увеличивается его равновесная квадрупольная деформация, кориолисово смешивание состояний подболочки $i_{13/2}$ уменьшается, вследствие чего аномальные полосы положительной четности постепенно переходят в регулярные.

В работе [1] показан резкий рост квадрупольной деформации ядер Yb , соответствующий увеличению электрического квадрупольного момента приблизительно от 5 до 7,5 б при увеличении A от 161 до 167. Учитывая это, мы провели исследования в рамках НВМ влияния квадрупольной деформации на структуру нижайших ротационных полос положительной четности в этих ядрах.

Энергии и амплитуды волновых функций вращательных состояний вычислялись прямой диагонализацией матрицы кориолисова взаимодействия в конфигурационном пространстве всех одноквазичастичных уровней из подболочки $i_{13/2}$. При этом все свободные параметры модели (кроме β_{20}) считались постоянными, соответствующими ядру ^{165}Yb . Показано, что в ядрах Yb переход от аномальной структуры ирраст-полосы положительной четности к регулярной (в смысле последовательности спинов ее состояний) предсказывается теорией при $\beta_{20} \approx 0,26$ (рис.5). В эксперименте этот эффект наблюдается при переходе от ядра ^{165}Yb ($\beta_{20} \approx 0,26$) к ядру ^{167}Yb ($\beta_{20} \approx 0,27$). Можно показать, что аналогичный переход при деформации $\beta_{20} \approx 0,26$ происходит также в других нечетно-нейтронных изотопах с $N = 89 \div 99$ и $Z = 62 \div 72$. Это видно из табл.2, где указаны спин головного состояния, параметры равновесной деформации β_{20} и β_{40} и внутренний квадрупольный момент $Q_2^{\text{теор}}$ нижайшей вращательной полосы положительной четности в ядрах рассматриваемой области. Выше ломанной жирной линии расположены ядра с аномальными полосами ($\beta_{20} \leq 0,25$), ниже – с регулярными. Заметим также, что аномальные полосы положительной четности ожидаются в нечетно-нейтронных ядрах с $N = 89$ и в ядрах с $N > 89$, когда $(N - Z) \leq 25$.

В волновой функции нижайших состояний полос положительной четности в ядрах $^{163,165,167}\text{Yb}$ выделяется лидирующий компонент $5/2^+[642]$ наряду с примесными компонентами $3/2^+[651]$, $1/2^+[660]$ и $7/2^+[633]$. При переходе от ^{163}Yb к ^{167}Yb вклад примесной конфигурации $7/2^+[633]$ заметно возрастает, а остальных – уменьшается. Это связано непосредственно со смещением уровня Ферми в сторону состояния $7/2^+[633]$.

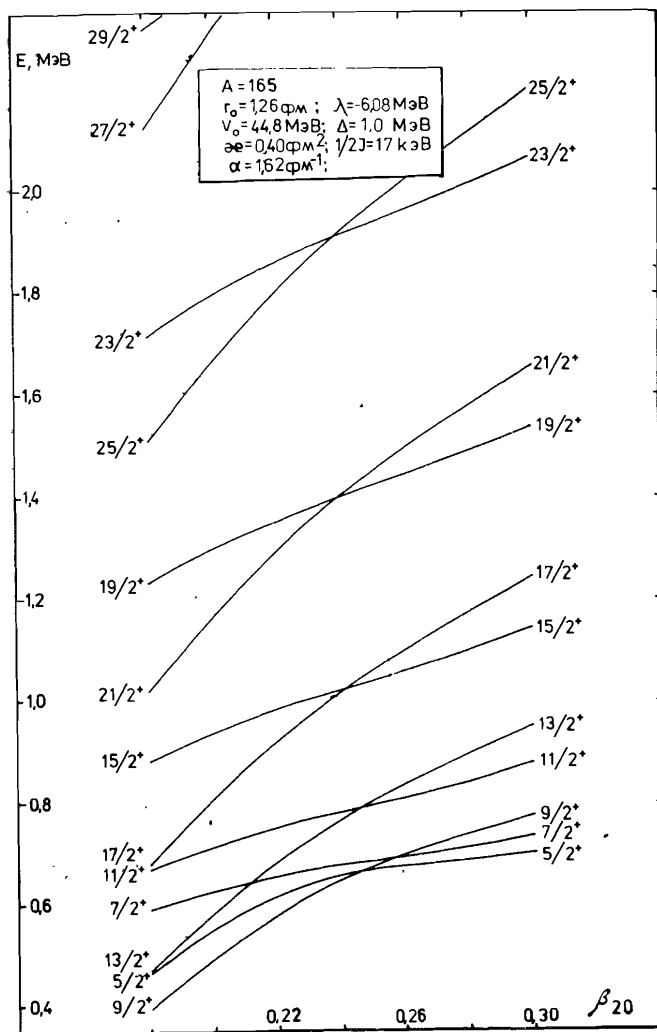


Рис. 5. Зависимость энергии уровней аномальной ирраст-полосы $i_{13/2}$ от квадрупольной деформации, рассчитанная в рамках НВМ.

Для примера в табл. 3 и 4 проводится сравнение рассчитанных и экспериментальных значений энергий, а также даны амплитуды волновых функций состояний положительной четности, наблюдаемых в ядрах ^{165}Yb и ^{167}Yb . В данных расчетах помимо состояний из подоболочки

Таблица 2. Систематика нечетно-нейтронных ядер ($N \geq 89$) с аномальной (регулярной) структурой ротационных полос положительной четности. Приведенные значения параметров деформации β_{20} и β_{40} и квадрупольного момента Q_0 рассчитаны методом оболочечной поправки Струтинского

Z	N	89	91	93	95	97	99
72	I^{π}						$7/2^+$
	β_{20}						0,276
	β_{40}						0,021
	Q_2						7,56
70	I^{π}			$9/2^+$	$9/2^+$	$5/2^+$	$7/2^+$
	β_{20}			0,237	0,264	0,273	0,290
	β_{40}			0,021	0,023	0,002	-0,006
	Q_2			5,96	6,76	6,90	7,18
68	I^{π}	$9/2^+$	$9/2^+$	$9/2^+$	$5/2^+$	$5/2^+$	$7/2^+$
	β_{20}	0,200	0,234	0,250	0,268	0,277	0,292
	β_{40}	0,033	0,034	0,022	0,029	0,010	0,001
	Q_2	4,81	5,73	6,03	6,71	6,81	7,21
66	I^{π}	$9/2^+$	$7/2^+$	$5/2^+$	$5/2^+$	$5/2^+$	$7/2^+$
	β_{20}	0,220	0,244	0,273	0,278	0,284	0,297
	β_{40}	0,036	0,049	0,052	0,037	0,018	0,011
	Q_2	5,12	5,91	6,61	6,76	6,81	7,16
64	I^{π}	$9/2^+$	$3/2^+$	$5/2^+$	$5/2^+$		
	β_{20}	0,224	0,250	0,277	0,280		
	β_{40}	0,046	0,065	0,068	0,051		
	Q_2	5,08	5,88	6,61	6,65		
62	I^{π}	$9/2^+$	$3/2^+$	$5/2^+$			
	β_{20}	0,226	0,250	0,276			
	β_{40}	0,062	0,077	0,078			
	Q_2	5,00	5,76	6,48			

$i_{13/2}$ учитывались одночастичные состояния $1/2^+[400]$ и $3/2^+[402]$. Свободными параметрами являлись: инерционный параметр $\hbar^2/2J$ и коэффициенты ослабления одночастичных матричных элементов кориолисова взаимодействия. В случае ^{167}Yb матричные элементы взаимодействия Кориолиса определялись также путем прямого вычисления в рамках квазичастично-фонновой модели $^{13/}$. Используемые параметры среднего поля приведены в работе $^{1/}$. Добавим, что в ядре ^{167}Yb состояние $7/2^+7/2[633]$ отождествлялось с наблюдаемым уровнем 430,9 кэВ, в соответствии с работами $^{8,9/}$. Положение состояния $3/2^+3/2[651]$ ($E = 570$ кэВ) подобрано так, чтобы воспроизвести энергетические расстояния нижайших состояний положительной четности.

Таблица 3. Энергии и амплитуды кориолисова смешивания ротационных полос положительной четности ядра ^{165}Yb ($A = 15$ кэВ, $\lambda = -6,154$ МэВ, $\Delta = 1,02$ МэВ)

$\Gamma^{\pi} K (\Pi \pi_2 \Lambda)$	АМПЛИТУДЫ СМЕШИВАНИЯ C_{IK}									
	теор.	13/2 ⁺ [606]	11/2 ⁺ [615]	9/2 ⁺ [624]	7/2 ⁺ [633]	5/2 ⁺ [642]	3/2 ⁺ [651]	1/2 ⁺ [660]	1/2 ⁺ [660]	1/2 ⁺ [660]
5/2 ⁺ 5/2 [642]	-	-	-	-	-	0,915	0,369	0,002	0,164	-0,001
7/2 ⁺	130	-	-	0,260	0,872	0,406	0,002	0,002	0,093	-0,001
9/2 ⁺	132,55	-	-	0,033	0,282	0,749	0,003	0,003	0,338	-0,002
11/2 ⁺	126,74	-	-	0,062	0,368	0,800	0,003	0,003	0,119	-0,001
13/2 ⁺	209,8	0,004	0,005	0,059	0,300	0,649	0,004	0,004	0,450	-0,003
15/2 ⁺	217,0	0,001	0,011	0,098	0,415	0,760	0,004	0,004	0,132	-0,001
17/2 ⁺	418,8	0,001	0,009	0,073	0,294	0,584	0,005	0,005	0,519	-0,003
19/2 ⁺	423,1	0,001	0,019	0,127	0,443	0,734	0,004	0,004	0,140	-0,001
21/2 ⁺	757,6	0,001	0,013	0,082	0,286	0,540	0,005	0,005	0,565	-0,004
3/2 ⁺ 3/2 [651] (633,2)	533	-	-	-	-	-	0,970	0,000	0,244	-0,001
5/2 ⁺ 1/2 [660] (483,7)	470	-	-	-	-	-0,362	0,573	0,001	0,736	-0,002

Таблица 4. Энергии и амплитуды кориолисова смешивания ротационных полос положительной четности ядра ^{167}Yb ($A = 14,5$ кэВ, $\lambda = -5,171$ МэВ, $\Delta = 0,98$ МэВ)

$\Gamma^{\pi} K (\Pi \pi_2 \Lambda)$	АМПЛИТУДЫ СМЕШИВАНИЯ C_{IK}									
	теор.	13/2 ⁺ [606]	11/2 ⁺ [615]	9/2 ⁺ [624]	7/2 ⁺ [633]	5/2 ⁺ [642]	3/2 ⁺ [651]	1/2 ⁺ [660]	1/2 ⁺ [660]	1/2 ⁺ [660]
5/2 ⁺ 5/2 [642]	29,66	-	-	-	-	0,960	0,272	0,004	0,061	0,001
7/2 ⁺	33,91	-	-	0,313	0,885	0,398	0,006	0,006	0,068	0,002
9/2 ⁺	56,54	-	-	0,039	0,355	0,830	0,006	0,006	0,145	0,003
11/2 ⁺	125,9	-	0,005	0,061	0,388	0,811	0,006	0,006	0,106	0,003
13/2 ⁺	185,7	0,000	0,009	0,068	0,369	0,762	0,007	0,007	0,225	0,005
15/2 ⁺	329,9	0,000	0,013	0,087	0,401	0,771	0,008	0,008	0,135	0,004
7/2 ⁺ 7/2 [633]	430,8	-	-	0,157	0,940	0,237	-0,002	-0,002	-0,064	-0,001
9/2 ⁺	534	-	-	0,087	0,857	-0,136	-0,004	-0,004	-0,257	-0,005
3/2 ⁺ 3/2 [651]	570	-	-	-	-	-	0,581	0,001	0,194	0,004
5/2 ⁺	803	-	-	-	-	-0,269	0,949	0,002	0,455	0,008

4. СТРУКТУРА ПОЛОС ПОЛОЖИТЕЛЬНОЙ ЧЕТНОСТИ В ЯДРАХ $^{169-173}\text{Yb}$

Структура ротационных полос как положительной, так и отрицательной четности в сильно деформированных ядрах $^{169,171,173}\text{Yb}$ нами исследовалась в рамках НВМ без учета и с учетом вибрационных компонентов в волновых функциях одноквазичастичных состояний^{1/}, приводящих, в частности, к перенормировке одночастичных матричных элементов взаимодействия Кориолиса. Базис одноквазичастичных состояний, учитываемых при диагонализации матрицы кориолисова взаимодействия, был выбран таким же, как и для ядер $^{163,165,167}\text{Yb}$.

В табл.5 проводится сравнение значений перенормировочных параметров $\alpha_{\text{подг}} = \langle |j_+| \rangle_{\text{подг}} / \langle |j_+| \rangle_{\text{одн}}$ некоторых одночастичных матричных элементов оператора j_+ с рассчитанными в рамках квазичастично-фононной модели ($\alpha_{\text{КФМ}} = \langle |j_+| \rangle_{\text{КФМ}} / \langle |j_+| \rangle_{\text{одн}}$) для ядер $^{167-173}\text{Yb}$. Близость значений $\alpha_{\text{подг}}$ и $\alpha_{\text{КФМ}}$ в большинстве случаев, приведенных в табл.5, позволяет утверждать, что ослабление взаимодействия Кориолиса в деформированных ядрах обусловлено, прежде всего, коллективными эффектами вибрационного типа. Отметим, что для всех рассматриваемых нами нечетных ядер иттербия необходимо усиливать одночастичный матричный элемент $\langle 521_+ | j_+ | 521_+ \rangle$ (в ядре ^{167}Yb $\alpha_{\text{подг}} \approx 2,1$). Как видно из табл.5, этот неожиданный эффект также предсказывается квазичастично-фононной моделью. Тем не менее, достигнутое нами описание энергии вращательных состояний ядер Yb в рам-

Таблица 5. Матричные элементы оператора j_+ и соответствующие факторы ослабления: $\alpha_{\text{подг}} = \langle |j_+| \rangle_{\text{подг}} / \langle |j_+| \rangle_{\text{МНК}}$; $\alpha_{\text{КФМ}} = \langle |j_+| \rangle_{\text{КФМ}} / \langle |j_+| \rangle_{\text{МНК}}$

$\Gamma^{\pi} [N_1 \Lambda]$	$\Gamma^{\pi} [N_2 \Lambda]$	^{167}Yb		^{169}Yb		^{171}Yb		^{173}Yb					
		$\alpha_{\text{КФМ}}$	$\alpha_{\text{подг}}$	$\alpha_{\text{КФМ}}$	$\alpha_{\text{подг}}$	$\alpha_{\text{КФМ}}$	$\alpha_{\text{подг}}$	$\alpha_{\text{КФМ}}$	$\alpha_{\text{подг}}$				
7/2 ⁺ [514]	-5/2 ⁺ [523]	3,494	0,51	0,83	3,633	0,57	0,47	3,717	0,28	0,44	3,715	0,35	0,55
7/2 ⁺ [503]	-5/2 ⁺ [512]	-	-	-	3,043	0,44	0,46	3,015	0,59	0,58	3,633	0,27	0,63
5/2 ⁺ [523]	-3/2 ⁺ [521]	0,801	0,69	0,83	1,012	0,42	0,78	1,013	0,22	0,22	1,098	0,54	0,59
5/2 ⁺ [512]	-3/2 ⁺ [521]	3,740	0,57	0,42	3,661	0,41	0,54	3,595	0,38	0,42	3,590	0,65	0,63
3/2 ⁺ [521]	-1/2 ⁺ [510]	-1,754	0,28	0,45	-1,788	0,20	0,78	-1,845	0,24	0,60	-1,877	0,20	0,56
1/2 ⁺ [521]	-1/2 ⁺ [521]	0,298	2,30	2,10	0,398	1,51	1,73	0,546	1,28	1,26	0,618	1,11	1,12
9/2 ⁺ [624]	-7/2 ⁺ [633]	5,594	0,55	0,83	5,569	0,87	0,75	5,550	0,74	0,68	5,525	0,54	0,62
7/2 ⁺ [633]	-5/2 ⁺ [642]	6,082	0,81	0,83	6,059	0,73	0,63	6,035	0,86	0,64	6,002	0,93	0,60
5/2 ⁺ [642]	-3/2 ⁺ [651]	6,390	0,81	0,80	6,373	0,76	0,54	6,640	0,75	0,73	6,283	0,43	0,72
3/2 ⁺ [651]	-1/2 ⁺ [660]	6,562	0,82	0,83	6,541	0,79	0,78	6,449	0,82	0,58	6,407	0,48	0,72
1/2 ⁺ [660]	-1/2 ⁺ [660]	-6,619	0,65	0,82	-6,599	0,48	0,67	-6,511	0,62	0,62	-6,480	0,63	0,72

Таблица 6. Энергии и амплитуды кориолисова смешивания ротационных полос положительной четности ядра $^{169}\text{Yb}/A = 12,8$ кэВ, $\lambda = -5,211$ МэВ, $\Delta = 0,81$ МэВ

$\Gamma^{\pi} K (N_{D_2} \Lambda)$	Энергия, кэВ		АМПЛИТУДЫ СМЕШИВАНИЯ										С _{JK}		
	эксп.	теор.	13/2 ⁺ [606]	11/2 ⁺ [615]	9/2 ⁺ [624]	7/2 ⁺ [633]	5/2 ⁺ [642]	3/2 ⁺ [651]	3/2 ⁺ [402]	1/2 ⁺ [660]	1/2 ⁺ [400]	1/2 ⁺ [660]	1/2 ⁺ [400]		
7/2 ⁺ 7/2 [633]	0	0	-	-	-	0,986	0,164	0,029	-0,001	0,005	0,000	0,005	0,000		
9/2 ⁺	70,9	70	-	-	0,132	0,961	0,235	0,056	-0,002	0,016	0,001	0,016	0,001		
11/2 ⁺	161,7	160	-	0,017	0,185	0,937	0,285	0,078	-0,003	0,018	0,001	0,018	0,001		
13/2 ⁺	269,7	269	0,001	0,029	0,223	0,909	0,327	0,114	-0,004	0,052	0,002	0,052	0,002		
15/2 ⁺	404,7	400	0,003	0,041	0,254	0,889	0,356	0,125	-0,004	0,034	0,002	0,034	0,002		
17/2 ⁺	546,7	549	0,004	0,052	0,273	0,855	0,386	0,177	-0,006	0,102	0,005	0,102	0,005		
5/2 ⁺ 5/2 [642]	580,7	592	-	-	-	-	0,767	0,579	-0,006	0,278	0,009	0,278	0,009		
7/2 ⁺	647,2	647	-	-	-	-0,142	0,732	0,636	-0,008	0,198	0,007	0,198	0,007		
9/2 ⁺	-	966	-	-	-0,118	-0,157	0,798	-0,192	-0,002	-0,535	-0,014	-0,535	-0,014		
3/2 ⁺ 3/2 [651]	720	720	-	-	-	-	-	0,973	-0,001	0,232	0,006	0,232	0,006		
5/2 ⁺	760	759	-	-	-	-	-0,630	0,594	-0,000	0,501	0,013	0,501	0,013		
7/2 ⁺	832	929	-	-	-	0,088	-0,658	0,676	0,003	0,321	0,008	0,321	0,008		
9/2 ⁺	-	639	-	-	-0,046	-0,160	0,475	0,693	-0,010	0,516	0,019	0,516	0,019		
9/2 ⁺ 9/2 [624]	1177	1177	-	-	0,983	-0,154	0,079	0,020	-0,000	-0,060	-0,001	-0,060	-0,001		
11/2 ⁺	-	1321	-	0,207	0,841	-0,259	0,353	-0,191	-0,003	-0,145	-0,002	-0,145	-0,002		

Таблица 7. Энергии и амплитуды кориолисова смешивания ротационных полос положительной четности ядра $^{171}\text{Yb}/A = 12,8$ кэВ, $\lambda = -5,908$ МэВ, $\Delta = 0,62$ МэВ

$\Gamma^{\pi} K (N_{D_2} \Lambda)$	Энергия, кэВ		АМПЛИТУДЫ СМЕШИВАНИЯ										С _{JK}		
	эксп.	теор.	13/2 ⁺ [606]	11/2 ⁺ [615]	9/2 ⁺ [624]	7/2 ⁺ [633]	5/2 ⁺ [642]	3/2 ⁺ [651]	3/2 ⁺ [402]	1/2 ⁺ [660]	1/2 ⁺ [400]	1/2 ⁺ [660]	1/2 ⁺ [400]		
7/2 ⁺ 7/2 [633]	95,3	95	-	-	-	0,989	0,143	0,025	-0,002	0,002	0,000	0,002	0,000		
9/2 ⁺	167,6	168	-	-	0,153	0,965	0,207	0,047	-0,003	0,008	0,001	0,008	0,001		
11/2 ⁺	259,0	260	-	0,015	0,212	0,940	0,257	0,068	-0,005	0,010	0,001	0,010	0,001		
13/2 ⁺	368,8	373	0,001	0,026	0,252	0,915	0,298	0,093	-0,007	0,022	0,003	0,022	0,003		
15/2 ⁺	501,1	507	0,001	0,036	0,282	0,892	0,332	0,113	-0,009	0,019	0,003	0,019	0,003		
17/2 ⁺	647,8	661	0,002	0,045	0,302	0,868	0,362	0,141	-0,011	0,042	0,006	0,042	0,006		
5/2 ⁺ 5/2 [642]	(867)	866	-	-	-	-	0,918	0,388	-0,014	0,084	0,008	0,084	0,008		
7/2 ⁺	-	913	-	-	-	-0,136	0,852	0,496	-0,020	0,069	0,010	0,069	0,010		
9/2 ⁺	(984)	986	-	-	0,562	-0,242	0,598	0,483	-0,021	0,187	0,019	0,187	0,019		
11/2 ⁺	-	1041	-	-0,071	-0,635	-0,056	0,609	0,454	-0,022	0,102	0,012	0,102	0,012		
13/2 ⁺	-	1130	-0,002	-0,069	-0,439	-0,141	0,609	0,572	-0,031	0,286	0,031	0,286	0,031		
3/2 ⁺ 3/2 [651]	-	1132	-	-	-	-	-	0,989	-0,002	0,147	0,012	0,147	0,012		
5/2 ⁺	-	1206	-	-	-	-	-0,389	0,833	-0,003	0,391	0,029	0,391	0,029		
7/2 ⁺	-	1363	-	-	-	0,051	-0,499	0,824	0,007	0,261	0,021	0,261	0,021		
9/2 ⁺	(1407)	1409	-	-	-0,024	0,093	-0,556	0,511	-0,007	0,646	0,045	0,646	0,045		
9/2 ⁺ 9/2 [624]	935,3	935	-	-	0,813	-0,011	-0,470	-0,324	0,015	-0,116	-0,012	-0,116	-0,012		
11/2 ⁺	-	1133	-	0,088	0,733	-0,314	0,426	0,405	-0,018	0,098	0,011	0,098	0,011		

ках НВМ с использованием $a_{\text{КФМ}}$ было несколько хуже, чем при использовании $a_{\text{подг}}$. На практике значения $a_{\text{КФМ}}$ принимались нами как исходные, а затем корректировались так, чтобы согласие расчета с экспериментом улучшилось.

В ядрах $^{169,171,173}\text{Yb}$ нижайшие состояния положительной четности относятся к ротационной полосе $7/2^+$ [633]. В ^{169}Yb это хорошо изученная полоса основного состояния. С увеличением числа нейтронов энергия состояния $7/2^+$ [633] постепенно возрастает и в ядре ^{173}Yb составляет 350,3 кэВ. Кроме этой полосы в ядрах $^{169,171}\text{Yb}$ идентифицированы вращательные полосы на состояниях $5/2^+$ [642], $3/2^+$ [651] и $9/2^+$ [624]. Результаты наших расчетов энергий и структуры низковозбужденных состояний указанных полос в этих ядрах (табл. 6, 7 и 13) находятся в достаточно хорошем согласии с экспериментом. Обращают на себя внимание значительные примеси конфигураций $5/2^+$ [642] и $9/2^+$ [624] в состояниях полосы $7/2^+$ [633]. При больших значениях спина они достигают 20%. Еще сложнее оказалась структура сильно смешанных кориолисовым взаимодействием состояний полос $5/2^+$ [642] и $3/2^+$ [651]. К подобному выводу ранее уже пришли авторы работ [10, 4-6/

5. РОТАЦИОННЫЕ ПОЛОСЫ ОТРИЦАТЕЛЬНОЙ ЧЕТНОСТИ

Как уже отмечалось выше, в обсуждаемых ядрах низковозбужденные вращательные уровни отрицательной четности связаны с одноквази-частичными нейтронными состояниями $3/2^-$ [521], $5/2^-$ [523], $1/2^-$ [521], $5/2^-$ [512], $1/2^-$ [510], $11/2^-$ [505] и $7/2^-$ [514]. В наших расчетах энергий вращательных состояний и амплитуд кориолисова смешивания, проведенных в рамках НВМ, помимо перечисленных состояний при диагонализации матрицы кориолисова взаимодействия учитывались дополнительно состояния $9/2^-$ [514], $7/2^-$ [514], $7/2^-$ [503], $3/2^-$ [532], $3/2^-$ [512] и $1/2^-$ [530]. Результаты расчетов вращательных спектров возбуждений в ядрах иттербия с $A = 163-173$ приведены в табл.8-13.

В ядре ^{163}Yb , как и в других нечетно-нейтронных изотонах с $N = 93$, состояние $3/2^-$ [521] является основным, а $5/2^-$ [523] — нижайшим одноквазичастичным возбуждением отрицательной четности. Другие неротационные состояния этой четности в ядре ^{163}Yb экспериментально не идентифицированы. Схема низковозбужденных состояний изучена слабо [11]. По теоретическим оценкам, нижайшие из них $1/2^-$ [521], $3/2^-$ [532] и $5/2^-$ [512] следует ожидать при энергии 0,5-0,8 МэВ. Малое энергетическое расстояние между уровнями $5/2^-$ [523] и $3/2^-$ [521] даже при относительно небольшом значении одночастичного матричного элемента $\langle 3/2^- [521] | j_+ | 5/2^- [523] \rangle \approx 0,8$ приводит к особо

Таблица 8. Энергии и амплитуды кориолисова смешивания ротационных полос ядра ^{163}Yb ($A = 16$ кэВ, $\lambda = -6,147$ МэВ, $\Delta = 1,04$ МэВ)

$I^\pi K(Nn_z \Lambda)$	Энергия, кэВ		Амплитуды смешивания C_{IK}						
	эксп.	теор.	$5/2^- [532]$	$5/2^- [512]$	$3/2^- [532]$	$3/2^- [521]$	$1/2^- [530]$	$1/2^- [521]$	
$3/2^- [521]$	0	0	-	-	0,002	0,997	0,080	-0,012	
$5/2^-$	78	69	-0,579	0,090	-0,066	0,801	0,105	-0,008	
$7/2^-$	-	160	-0,633	0,126	-0,117	0,741	0,125	-0,035	
$9/2^-$	275,9	276	-0,672	0,150	-0,151	0,690	0,146	-0,015	
$5/2^- [523]$	53,6	25	0,807	0,062	0,101	0,573	0,080	0,005	
$7/2^-$	132,9	121	0,749	0,102	0,138	0,629	0,108	-0,008	
$9/2^-$	234,6	187	0,695	0,135	0,176	0,660	0,162	0,021	
$1/2^- [521]$	-	609	-	-	-	-	0,000	1,000	
$3/2^-$	-	647	-	-	0,354	0,016	-0,065	0,932	
$5/2^-$	-	687	-0,063	-0,005	0,448	0,026	0,202	0,821	
$5/2^- [512]$	-	854	0,003	0,991	-0,001	-0,099	-0,085	0,024	
$7/2^-$	-	971	-0,003	0,979	0,036	-0,148	-0,103	-0,085	
$9/2^-$	-	1114	-0,041	0,945	0,202	-0,159	-0,196	-0,017	
			$9/2^- [624]$	$7/2^- [633]$	$5/2^- [642]$	$3/2^- [651]$	$3/2^- [402]$	$1/2^- [660]$	$1/2^- [400]$
$9/2^+$	X	X	0,017	0,194	0,721	0,567	0,003	0,347	-0,002
$13/2^+$	X+ 43,0	X+ 56	0,067	0,364	0,579	-0,252	-0,001	-0,681	0,003
$11/2^+$	X+ 45,5	X+ 68	0,032	0,262	0,782	0,542	0,003	0,160	-0,001
$17/2^+$	X+246,2	X+192	0,103	0,428	0,582	-0,188	-0,001	-0,658	0,003
$15/2^+$	X+263,3	X+204	0,054	0,306	0,748	0,558	0,003	0,178	-0,001

сильному кориолисову смешиванию их вращательных возбуждений. Это видно из табл.8, в которой показаны результаты расчетов энергий и структуры низковозбужденных уровней отрицательной четности в ядре ^{163}Yb . Предложенная в таблице группировка уровней по полосам $3/2^-$ [521] и $5/2^-$ [523] имеет лишь чисто условный характер — отражает максимальный вклад в волновую функцию определенной конфигурации. Их идентификация основана на данных работы [12/.

С увеличением числа нейтронов в ядрах ^{165}Yb и ^{167}Yb одноквазичастичное состояние $5/2^-$ [523] становится основным, $3/2^-$ [521] (как дырочное) постепенно поднимается, а $1/2^-$ [521] и $5/2^-$ [512] — опускаются. Таким образом, кориолисово смешивание полосы $3/2^-$ [521] с $5/2^-$ [523] слабеет, но возрастает с приближающимися к ней полосами $1/2^-$ [521] и $5/2^-$ [512]. Отметим здесь, что полосы $3/2^-$ [521] и $1/2^-$ [521] в ядре ^{165}Yb (табл.9) идентифицированы нами впервые. Расчеты показывают (табл.9 и 10), что это приводит к особо сложной структуре и характерному "опусканию" вращательных состояний полосы $3/2^-$ [521] по отношению к головному уровню.

Так, в ядре ^{167}Yb энергия первого вращательного уровня $5/2^-$ [521] отстоит от головного всего на 26 кэВ [8]. Результаты наших расчетов вполне подтверждают выводы этой работы, но противоречат

Таблица 9. Энергии и амплитуды кориолисова смешивания ротационных полос отрицательной четности ядра ^{165}Yb ($A = 15,2$ кэВ, $\lambda = -6,079$ МэВ, $\Delta = 1,00$ МэВ)

$\Gamma^{\pi} K (N\pi_2 \Lambda)$	Энергия, кэВ		Амплитуды смешивания C_{JK}											
	эксп.	теор.	11/2 ⁻ (608)	9/2 ⁻ (514)	7/2 ⁻ (514)	5/2 ⁻ (523)	5/2 ⁻ (523)	3/2 ⁻ (532)	3/2 ⁻ (532)	1/2 ⁻ (541)	1/2 ⁻ (541)	1/2 ⁻ (550)	1/2 ⁻ (551)	
5/2 ⁻ 5/2 (523)	0,0	0	-	-	-	0,991	0,017	0,079	0,108	0,004	0,012	0,007	0,007	
7/2 ⁻	87,81	86	-	0,006	0,006	0,974	0,041	0,119	0,166	0,006	0,022	0,007	0,007	
9/2 ⁻	187,4	186	-	0,000	0,123	0,960	0,071	0,154	0,227	0,016	0,043	0,028	0,028	
11/2 ⁻	330,5	332	0,000	0,001	0,152	0,928	0,100	0,179	0,273	0,011	0,063	0,008	0,008	
13/2 ⁻	484,4	480	0,000	0,001	0,173	0,889	0,132	0,210	0,336	0,033	0,087	0,050	0,050	
15/2 ⁻	-	682	0,000	0,001	0,183	0,868	0,158	0,221	0,385	0,015	0,087	0,008	0,008	
17/2 ⁻	850,0	837	0,000	0,002	0,202	0,823	0,181	0,264	0,396	0,054	0,136	0,078	0,078	
3/2 ⁻ 3/2 (521)	130,69	121	-	-	-	-	-	0,000	0,997	-0,004	0,060	-0,036	-0,036	
5/2 ⁻	174,23	176	-	-	-	-0,108	0,232	-0,007	0,882	0,002	0,091	-0,030	-0,030	
7/2 ⁻	264,84	263	-	-	-0,012	-0,171	0,313	-0,023	0,822	-0,013	0,121	-0,061	-0,061	
9/2 ⁻	368,3	362	-	-0,000	-0,028	-0,237	0,388	-0,032	0,808	0,008	0,139	-0,033	-0,033	
11/2 ⁻	-	482	-0,000	-0,000	-0,040	0,292	0,388	-0,032	0,860	0,028	0,186	-0,117	-0,117	
13/2 ⁻	658,3	643	-0,000	-0,000	-0,061	0,348	0,412	-0,048	0,818	0,008	0,171	-0,034	-0,034	
15/2 ⁻	-	846	-0,000	-0,001	-0,073	0,388	0,407	-0,109	0,796	-0,046	0,200	-0,148	-0,148	
17/2 ⁻	1020,9	1033	-0,000	-0,001	-0,098	-0,430	0,432	-0,107	0,789	0,008	0,192	-0,039	-0,039	
1/2 ⁻ 1/2 (521)	324,44	326	-	-	-	-	-	-	-	-0,001	0,018	1,000	1,000	
3/2 ⁻	391,66	391	-	-	-	-	-	0,046	0,040	0,006	-0,032	0,998	0,998	
5/2 ⁻	427,80	428	-	-	-	-0,018	0,034	0,072	0,018	0,004	0,037	0,996	0,996	
7/2 ⁻	-	577	-	-	0,008	-0,028	0,348	0,090	-0,029	0,017	-0,088	0,930	0,930	
9/2 ⁻ 6/2 (512)	600,8	601	-	-	-	0,009	0,972	0,000	-0,232	-0,001	-0,030	-0,028	-0,028	
7/2 ⁻	837	837	-	-	0,031	0,022	0,883	-0,028	-0,321	-0,000	-0,031	-0,337	-0,337	

Таблица 10. Энергии и амплитуды кориолисова смешивания ротационных полос отрицательной четности ядра ^{167}Yb ($A = 13$ кэВ, $\lambda = -5,211$ МэВ, $\Delta = 0,97$ МэВ)

$\Gamma^{\pi} K (N\pi_2 \Lambda)$	Энергия, кэВ		Амплитуды смешивания C_{JK}											
	эксп.	теор.	11/2 ⁻ (608)	9/2 ⁻ (514)	7/2 ⁻ (514)	5/2 ⁻ (523)	5/2 ⁻ (523)	3/2 ⁻ (532)	3/2 ⁻ (532)	1/2 ⁻ (541)	1/2 ⁻ (541)	1/2 ⁻ (550)	1/2 ⁻ (551)	
5/2 ⁻ 5/2 (523)	0,0	0	-	-	-	0,996	0,001	-0,078	-0,058	-0,003	0,002	0,000	0,000	
7/2 ⁻	78,86	78	-	0,082	0,082	0,986	0,017	-0,118	-0,083	-0,008	0,004	0,000	0,000	
9/2 ⁻	178,87	180	-	0,001	0,136	0,973	0,036	-0,150	-0,101	-0,010	0,006	-0,000	-0,000	
11/2 ⁻	301,5	304	0,001	0,002	0,172	0,960	0,087	-0,181	-0,112	-0,012	0,008	0,000	0,000	
13/2 ⁻	442,3	442	0,002	0,003	0,203	0,946	0,080	-0,209	-0,118	-0,018	0,009	-0,001	-0,001	
15/2 ⁻	-	623	0,003	0,004	0,231	0,937	0,104	-0,234	-0,118	-0,017	0,011	0,000	0,000	
17/2 ⁻	783,5	813	0,004	0,005	0,255	0,928	0,127	-0,257	-0,117	-0,019	0,012	-0,002	-0,002	
1/2 ⁻ 1/2 (521)	188,7	189	-	-	-	-	-	-	-	0,005	1,000	-0,017	-0,017	
3/2 ⁻	268,5	266	-	-	-	-	-	-0,004	0,118	-0,004	0,992	0,035	0,035	
5/2 ⁻	278,2	273	-	-	-	-0,002	0,106	-0,812	0,011	0,015	0,983	-0,051	-0,051	
7/2 ⁻	440,7	430	-	-	-0,076	0,047	-0,324	0,013	0,422	0,028	0,836	0,055	0,055	
9/2 ⁻	477,5	468	-	0,000	0,010	-0,011	0,081	-0,014	-0,001	0,024	0,986	-0,084	-0,084	
3/2 ⁻ 3/2 (521)	213,2	215	-	-	-	-	-	-0,000	0,992	0,045	-0,117	-0,010	-0,010	
5/2 ⁻	239,2	241	-	-	-	0,038	0,889	-0,037	0,716	0,052	-0,083	-0,003	-0,003	
7/2 ⁻	317,5	304	-	-	0,111	0,031	0,898	-0,066	0,700	0,087	-0,067	-0,013	-0,013	
9/2 ⁻	419,8	401	-	0,001	0,180	0,017	0,892	-0,087	0,697	0,088	-0,040	-0,009	-0,009	
11/2 ⁻	583,4	526	0,004	0,002	0,172	-0,003	0,886	-0,076	0,693	0,098	-0,073	-0,019	-0,019	
5/2 ⁻ 5/2 (512)	308,5	314	-	-	-	-0,043	0,715	-0,032	-0,691	-0,055	-0,068	0,011	0,011	
7/2 ⁻	411,0	411	-	-	0,126	-0,077	0,803	-0,040	-0,581	-0,066	0,540	0,045	0,045	
9/2 ⁻	-	541	-	0,002	0,208	-0,132	0,866	-0,040	-0,696	-0,036	-0,035	0,016	0,016	
7/2 ⁻ 7/2 (514)	812	812	-	-	0,878	-0,080	-0,182	0,048	0,033	0,003	0,003	0,000	0,000	
9/2 ⁻	743	743	-	0,011	0,886	-0,108	-0,281	0,090	0,064	0,008	0,003	-0,000	-0,000	
11/2 ⁻ 11/2 (505)	871,6	871	0,886	0,097	0,004	-0,002	-0,002	-0,002	-0,002	-0,001	0,001	0,000	0,000	
13/2 ⁻	728,3	728	0,990	0,141	0,008	-0,004	-0,003	0,002	-0,007	-0,001	0,000	0,000	0,000	
15/2 ⁻	600,9	608	0,884	0,177	0,008	-0,008	-0,004	0,003	-0,004	-0,002	0,002	0,000	0,000	

Таблица 11. Энергии и амплитуды кориолисова смешивания ротационных полос отрицательной четности ядра ^{169}Yb ($A = 13$ кэВ, $\lambda = -5,212$ МэВ, $\Delta = 0,81$ МэВ)

$\Gamma^{\pi} K [N_{\pi} \Lambda]$	Энергия, кэВ эксп.	теор.	Амплитуды смешивания										
			7/2 $^+$ [514]	7/2 $^+$ [503]	5/2 $^+$ [523]	5/2 $^+$ [512]	3/2 $^+$ [521]	3/2 $^+$ [512]	1/2 $^+$ [521]	1/2 $^+$ [510]			
1/2 $^-$ 1/2 $^+$ [521]	24,2	24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,000	-0,018
3/2 $^-$	66,9	87	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,998	0,038
5/2 $^-$	99,2	101	-	-	0,008	0,009	0,005	-0,041	-0,036	-0,060	-0,053	0,995	-0,053
7/2 $^-$	243,8	248	0,001	-0,006	0,017	-0,012	-0,055	-0,027	-0,084	-0,084	0,990	0,076	0,076
9/2 $^-$	264,3	272	0,003	0,002	0,029	0,033	-0,071	0,025	-0,101	0,984	-0,085	0,971	-0,085
11/2 $^-$	486,9	503	-0,002	-0,008	0,035	-0,100	-0,083	-0,124	-0,069	0,971	0,113	0,966	0,113
13/2 $^-$	512,0	539	0,010	0,006	0,057	0,068	-0,102	0,058	-0,138	0,966	-0,113	-0,002	-0,113
5/2 $^-$ 5/2 $^+$ [512]	191,2	192	-	-	0,005	0,997	0,001	0,061	-0,007	-0,010	-0,005	-0,005	-0,005
7/2 $^-$	278,5	277	0,030	0,040	0,016	0,990	-0,011	0,125	-0,014	0,015	-0,005	-0,005	-0,005
9/2 $^-$	369,4	367	0,045	0,060	0,026	0,962	0,001	0,166	-0,012	-0,042	-0,006	-0,006	-0,006
11/2 $^-$	523,0	521	0,059	0,076	0,051	0,967	-0,015	0,198	-0,036	0,109	-0,002	-0,002	-0,002
13/2 $^-$	677,1	686	0,071	0,091	0,056	0,956	0,000	0,240	-0,011	-0,094	-0,008	-0,008	-0,008
5/2 $^-$ 5/2 $^+$ [523]	569,8	571	-	-	0,984	-0,018	-0,076	-	-	-	-	-	-
7/2 $^-$	647,8	646	0,121	0,001	0,958	-0,046	-0,114	0,218	-0,032	-0,016	-0,010	-0,010	-0,010
9/2 $^-$	749,0	749	0,164	-0,002	0,932	-0,082	-0,141	0,261	-0,034	-0,052	-0,021	-0,021	-0,021
11/2 $^-$	865,2	873	0,190	-0,007	0,909	-0,121	-0,170	0,287	-0,043	-0,032	-0,046	-0,046	-0,046
13/2 $^-$	-	1026	0,208	-0,014	0,885	-0,159	-0,184	0,302	-0,033	-0,100	-0,021	-0,021	-0,021
3/2 $^-$ 3/2 $^+$ [521]	659,6	659	-	-	-	-	-0,004	0,992	-0,001	0,013	-0,001	-0,001	-0,001
5/2 $^-$	722,1	719	-	-	-0,158	-0,079	0,007	0,963	0,006	-0,016	-0,121	-0,121	-0,121
7/2 $^-$	807,8	806	-0,075	-0,010	-0,219	-0,116	0,012	0,935	0,013	0,050	-0,153	-0,153	-0,153
9/2 $^-$	919,7	911	-0,122	-0,018	-0,261	-0,146	0,029	0,894	0,023	-0,039	-0,167	-0,167	-0,167
11/2 $^-$	1061,1	1059	-0,177	-0,027	-0,284	-0,169	0,022	0,872	0,001	0,098	-0,184	-0,184	-0,184
13/2 $^-$	-	1200	-0,198	-0,035	-0,309	-0,194	0,048	0,825	0,043	-0,062	-0,180	-0,180	-0,180
1/2 $^-$ 1/2 $^+$ [510]	813,3	813	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3/2 $^-$	851,4	851	-	-	-0,010	-0,007	-0,013	0,061	0,011	-0,037	0,996	0,996	0,996
5/2 $^-$	911,7	928	-	-	-0,014	-0,013	-0,001	0,150	0,031	-0,066	0,984	0,984	0,984
7/2 $^-$	994,2	1014	0,035	-0,004	-0,035	-0,019	-0,029	0,154	0,008	0,075	0,980	0,980	0,980
9/2 $^-$	1084,6	1151	0,056	-0,006	-0,033	-0,027	0,003	0,184	0,056	-0,066	0,971	0,971	0,971
11/2 $^-$	-	1286	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Продолжение таблицы 11

7/2 $^-$ 7/2 $^+$ [514]	960,4	961	0,989	-0,004	-0,133	-0,032	0,024	0,038	0,006	0,006	-0,022	-0,022	-0,022
9/2 $^-$	1078,1	1087	0,977	-0,009	-0,166	-0,049	0,046	0,055	0,013	0,001	-0,052	-0,052	-0,052
11/2 $^-$	-	1242	0,962	-0,016	-0,228	-0,065	0,066	0,082	0,013	0,027	-0,081	-0,081	-0,081
7/2 $^-$ 7/2 $^+$ [503]	(1450)	1450	0,002	0,999	-0,004	-0,041	-0,002	0,003	0,004	0,001	0,000	0,000	0,000
9/2 $^-$	(1555)	1572	0,004	0,998	-0,002	-0,063	0,028	0,008	0,006	0,003	0,001	0,001	0,001
11/2 $^-$	-	1721	0,007	0,996	-0,002	-0,081	0,033	0,014	0,009	0,004	0,001	0,001	0,001

Таблица 12. Энергии и амплитуды кориолисова смешивания ротационных полос отрицательной четности ядра ^{171}Yb ($A = 12,8$ кэВ, $\lambda = -5,908$ МэВ, $\Delta = 0,62$ МэВ)

$\Gamma^{\pi} K [N_{\pi} \Lambda]$	Энергия, кэВ эксп.	теор.	Амплитуды смешивания										
			7/2 $^+$ [514]	7/2 $^+$ [503]	5/2 $^+$ [523]	5/2 $^+$ [512]	3/2 $^+$ [521]	3/2 $^+$ [512]	1/2 $^+$ [521]	1/2 $^+$ [510]			
1/2 $^-$ 1/2 $^+$ [521]	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3/2 $^-$	66,7	66	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5/2 $^-$	75,9	77	-	-	0,003	0,006	0,022	-0,004	-0,042	0,998	-0,024	-0,024	-0,024
7/2 $^-$	230,6	231	0,000	0,006	-0,004	0,030	0,038	-0,002	-0,059	0,997	0,033	0,033	0,033
9/2 $^-$	246,6	250	0,001	0,001	0,010	0,019	0,038	-0,072	0,095	-0,039	-0,039	-0,039	-0,039
11/2 $^-$	487,3	492	0,002	0,000	0,016	0,003	0,045	-0,091	0,992	0,049	-0,049	-0,049	-0,049
13/2 $^-$	509,1	521	0,004	0,004	0,019	0,035	0,054	0,003	-0,100	0,990	-0,054	-0,054	-0,054
5/2 $^-$ 5/2 $^+$ [512]	122,4	122	-	-	0,000	0,999	-0,001	0,039	-0,007	-0,006	-0,001	-0,001	-0,001
7/2 $^-$	208,0	207	0,027	0,047	0,002	0,997	-0,001	0,060	-0,011	0,004	-0,001	-0,001	-0,001
9/2 $^-$	317,3	316	0,041	0,071	0,004	0,993	-0,002	0,079	-0,012	-0,020	-0,004	-0,004	-0,004
11/2 $^-$	449,5	449	0,053	0,091	0,006	0,990	-0,001	0,097	-0,017	-0,001	-0,004	-0,004	-0,004
13/2 $^-$	604,3	607	0,063	0,109	0,008	0,984	-0,003	0,114	-0,016	-0,038	-0,003	-0,003	-0,003
15/2 $^-$	779,1	788	0,073	0,126	0,012	0,980	-0,001	0,131	-0,022	-0,009	-0,007	-0,007	-0,007
17/2 $^-$	975,0	995	0,082	0,142	0,014	0,973	-0,004	0,147	-0,018	-0,060	-0,004	-0,004	-0,004
7/2 $^-$ 7/2 $^+$ [514]	834,9	836	0,987	-0,003	0,160	-0,027	0,013	0,001	-0,003	-0,002	-0,000	-0,000	-0,000
9/2 $^-$	948,1	945	0,970	-0,006	0,239	-0,041	0,025	0,003	-0,006	-0,004	0,000	0,000	0,000
11/2 $^-$	-	1078	0,949	-0,010	0,307	-0,052	0,039	0,006	-0,009	-0,008	-0,002	-0,002	-0,002
3/2 $^-$ 3/2 $^+$ [521]	902,0	902	-	-	-	-	-	0,001	0,994	-0,001	0,008	0,008	0,008
5/2 $^-$	955,3	963	-	-	-0,367	-0,035	-0,020	0,912	0,006	0,000	-0,166	-0,166	-0,166
7/2 $^-$	(1079)	1052	-	-	-0,010	-0,051	-0,042	0,837	0,010	0,027	-0,166	-0,166	-0,166
9/2 $^-$	-	1163	0,154	-0,017	-0,636	-0,060	-0,072	0,712	0,022	0,001	-0,221	-0,221	-0,221

Продолжение таблицы 12

5/2 ⁻ 5/2 (523)	944,3 (1025)	944	-	-	0,928	-0,015	0,054	0,363	-0,017	-0,005	-0,054
7/2 ⁻	1028	1028	-0,139	-0,003	0,843	-0,028	0,077	0,504	-0,025	0,004	-0,086
9/2 ⁻	1136	1136	-0,185	-0,009	0,723	-0,046	0,087	0,636	-0,026	-0,018	-0,148
11/2 ⁻	1269	1269	0,233	-0,014	0,679	-0,057	0,104	0,663	-0,035	0,014	-0,147
1/2 ⁺ 1/2 (510)	963	963	-	-	-	-	-	-	-	0,008	1,000
3/2 ⁺	991	999	-	-	-	-	0,000	0,099	0,009	-0,015	0,995
5/2 ⁺	1052	1054	-	-	-0,011	-0,006	0,002	0,173	0,011	0,025	0,984
7/2 ⁺	1144	1161	0,002	-0,002	-0,011	-0,009	-0,000	0,186	0,023	-0,027	0,982
9/2 ⁺	1254	1260	0,007	-0,007	-0,034	-0,018	0,002	0,261	0,018	0,039	0,963
7/2 ⁺ 7/2 (503)	1377,5	1378	0,002	0,999	-0,002	-0,048	-0,000	0,007	0,002	0,000	0,001
9/2 ⁺	-	1497	0,003	0,996	-0,004	-0,072	-0,000	0,014	0,004	0,000	0,001

Таблица 13. Энергии и амплитуды кориолисова смешивания ротационных полос ядра ¹⁷⁸Ув (A = 12 кэВ, λ = 5,516 МэВ, Δ = 0,60 МэВ - положительная четность; A = 12 кэВ, λ = 5,718 МэВ, Δ = 0,45 МэВ - отрицательная четность)

J ^π K(Nπ) Λ	А м п л и т у д ы с м е ш и в а н и я С _{JK}											
	Энергия, кэВ	9/2 ⁺ (505)	7/2 ⁺ (514)	7/2 ⁺ (503)	5/2 ⁺ (523)	5/2 ⁺ (512)	3/2 ⁺ (521)	3/2 ⁺ (512)	1/2 ⁺ (521)	1/2 ⁺ (510)	3/2 ⁺ (521)	1/2 ⁺ (510)
5/2 ⁻ 5/2 (512)	0,0	0	-	-	0,040	0,001	0,999	0,042	0,006	-0,001	-0,000	
7/2 ⁻	78,6	78	0,028	-	0,003	0,003	0,997	0,064	0,009	-0,001	-0,001	
9/2 ⁻	179,3	179	0,042	0,060	0,005	0,994	0,084	0,012	0,002	-0,002	-0,001	
11/2 ⁻	301,7	303	0,054	0,078	0,008	0,990	0,103	0,015	0,003	-0,003	-0,002	
13/2 ⁻	444	449	0,066	0,093	0,012	0,986	0,121	0,017	0,004	-0,004	-0,003	
15/2 ⁻	613	617	0,076	0,108	0,016	0,981	0,138	0,019	-0,005	-0,005	-0,004	
1/2 ⁻ 1/2 (521)	400,7	403	-	-	-	-	-	-	1,000	0,000	-0,012	
3/2 ⁻	482,6	483	-	-	-	-	-0,004	-0,017	1,000	0,000	0,024	
5/2 ⁻	482,0	481	-	-	0,000	0,000	0,001	-0,005	0,999	0,000	-0,035	
7/2 ⁻	626,7	622	0,005	0,000	0,001	0,002	-0,009	-0,037	0,998	0,000	0,048	
9/2 ⁻	659,4	654	0,002	0,000	0,002	0,003	-0,007	-0,045	0,997	0,000	-0,057	
11/2 ⁻	-	875	-0,001	-0,041	0,001	-0,005	-0,013	-0,057	0,995	0,000	0,073	
13/2 ⁻	882,2	921	0,000	0,006	0,001	0,004	-0,008	-0,063	0,995	0,000	-0,079	
7/2 ⁺ 7/2 (514)	636,0	638	-	0,995	-0,002	0,092	0,000	-0,002	-0,002	-0,005	-0,000	
9/2 ⁺	749,1	741	0,020	0,990	-0,004	0,136	-0,042	0,000	-0,005	-0,002	-0,000	
11/2 ⁺	-	866	0,030	0,982	-0,007	0,173	-0,055	-0,000	-0,010	0,041	0,003	

Продолжение таблицы 13

1/2 ⁻ 1/2 (510)	1032,5	1032	-	-	-	-	-	-	-	0,012	1,000
3/2 ⁻	1074,5	1075	-	-	-	-	-0,050	0,025	-0,024	-0,001	0,998
5/2 ⁻	1121,6	1122	-	-	0,012	0,003	0,074	0,034	0,035	0,000	0,996
7/2 ⁻	1219,9	1223	-0,002	0,005	0,024	0,007	-0,104	0,058	-0,047	0,001	0,991
9/2 ⁻	1308,0	1308	-0,005	0,008	0,040	0,010	-0,113	0,051	0,058	0,000	0,990
11/2 ⁻	1460,8	1467	-0,008	0,021	0,058	0,014	-0,143	0,090	-0,069	0,000	0,981
5/2 ⁻ 5/2 (523)	-	975	-	-	-	0,998	-0,003	0,055	-0,028	-0,001	-0,007
7/2 ⁻	1060	1061	-	-0,092	-0,001	0,991	-0,005	0,085	-0,043	-0,001	-0,013
9/2 ⁻	1172,5	1171	-0,003	-0,136	-0,003	0,982	-0,008	0,112	-0,057	-0,005	-0,024
3/2 ⁻ 3/2 (521)	1232,5	1230	-	-	-	-	0,999	0,002	0,002	0,002	0,050
5/2 ⁻	1287,5	1293	-	-	-0,054	0,041	0,995	0,008	0,008	0,008	0,074
7/2 ⁻	1362,4	1363	-	0,006	0,035	-0,062	0,988	0,020	0,004	0,004	0,105
9/2 ⁻	1460,8	1468	0,001	0,011	0,066	-0,107	0,981	0,026	0,015	0,015	0,114
3/2 ⁻ 3/2 (512)	1340,9	1344	-	-	-	-	-0,001	1,000	0,017	0,017	-0,025
5/2 ⁻	1408,1	1408	-	-	-	0,028	-0,006	0,999	0,025	0,025	-0,035
7/2 ⁻	1460,8	1460	0,002	0,002	0,002	0,044	-0,009	0,996	0,040	0,040	-0,059
7/2 ⁺ 7/2 (503)	1360,3	361	-	-	-	0,986	0,167	0,025	-0,002	0,003	0,000
9/2 ⁺	412,4	414	-	0,203	0,948	0,235	0,047	-0,004	-0,004	0,011	0,001
11/2 ⁺	487	487	0,025	0,272	0,917	0,284	0,087	-0,006	-0,006	0,012	0,001
13/2 ⁺	603,1	600	0,041	0,314	0,866	0,324	0,092	-0,009	-0,009	0,029	0,003
15/2 ⁺	-	724	0,065	0,343	0,861	0,354	0,108	-0,011	-0,011	0,023	0,003
17/2 ⁺	(875)	867	0,087	0,360	0,834	0,384	0,138	-0,014	-0,014	0,037	0,006

предположениям Квасила^{/5/}, согласно которым уровень с энергией 213,2 кэВ следует интерпретировать как головной уровень полосы $5/2^- [512]$, а уровни 411 ($7/2^-$) и 553 кэВ ($9/2^-$) отнести к полосе $7/2^- [514]$. Необходимо отметить в связи с этим, что состояние 179,7 кэВ ($3/2^-$), введенное в работе^{/13/} и разряжаемое одним слабым γ -переходом на основное состояние, по-видимому, не существует.

Структура обсуждаемых полос отрицательной четности в ядрах $^{169,171,173}\text{Yb}$ становится явно другой. При переходе от ядра ^{167}Yb к ^{169}Yb происходит существенное изменение в спектре одноквазичастичных возбуждений: состояния $1/2^- [521]$ и $5/2^- [512]$ продолжают опускаться, а $3/2^- [521]$ и $5/2^- [523]$ резко уходят вверх ($E \geq 0,6$ МэВ), приближаясь к состояниям $7/2^- [514]$ и $1/2^- [510]$. Естественно, меняется не только схема кориолисова смешивания состояний, но и квазичастично-фононного взаимодействия^{/1/}. Расчеты показывают (табл.11, 12 и 13, см. также работы^{/4-6,14/}), что это приводит прежде всего к более простой (почти чистой) структуре полос $1/2^- [521]$ и $5/2^- [512]$ и к существенному перераспределению примесных компонентов в состояниях полос $3/2^- [521]$ и $5/2^- [523]$, вклады которых при $I^\pi \geq 11/2$ продолжают превышать 20%. Рассмотрим это более подробно.

Уже в работе Канестрома и Туома^{/14/} было показано, что в ядре ^{169}Yb $|\Delta K| = 1$ смешивание не является главным для полосы $1/2^- [521]$ и что примесь состояния $1/2^- [510]$ значительно больше примеси $3/2^- [521]$. Аналогичный результат получен в наших расчетах (табл.11). Так же, как и в^{/14/}, состояния полосы $5/2^- [512]$ имеют заметную примесь лишь конфигурации $3/2^- [521]$ ($\approx 1\%$), а полосы $5/2^- [523]$ — $3/2^- [532]$ и $3/2^- [521]$ ($\approx 4\%$). Амплитуда примесной конфигурации $5/2^- [512]$ в состоянии $5/2^- [523]$ в представленных нами расчетах составляет всего 0,015, но если учесть 8-процентную примесь этой конфигурации за счет К-смешивания (см.табл.6 в^{/1/}), то ее полная амплитуда составит 0,27. В работе^{/4/} К-смешивание этих состояний не учитывалось. Уровни полосы $3/2^- [521]$ также не содержат значительных примесей. Например, в состоянии с $I^\pi 9/2^-$ примесь конфигураций $5/2^- [523]$ не превышает 7%, $5/2^- [512]$ — 2,5%, $1/2^- [510]$ — 3%. Структура низкоспиновых состояний ^{169}Yb рассмотрена подробно также в работе^{/18/}.

Полоса $1/2^- [521]$ в ^{171}Yb является полосой основного состояния. Ее уровни характеризуются почти чистой структурой — примесные конфигурации не превышают 1%. Состояния полосы $5/2^- [512]$ также почти чистые (табл.12). Последние выводы хорошо подтверждают исследование реакции передач нуклона^{/15/} и согласуются с расчетами других авторов (см., например,^{/16/}). К очередной полосе $7/2^- [514]$ уже заметно примешивается полоса $5/2^- [523]$. Значительно сильнее возмущена

кориолисовым взаимодействием полоса $3/2^- [521]$, в уровни которой (с $I^\pi \leq 9/2^-$) дают заметные вклады конфигурации $5/2^- [523]$ ($15 \div 35\%$), $1/2^- [530]$ ($1 \div 4\%$) и $1/2^- [510]$ ($\approx 2\%$). Волновые функции состояний полосы $5/2^- [523]$ содержат значительные компоненты примесей $3/2^- [521]$ (до 35%). Полоса $1/2^- [510]$ слабо возмущена кориолисовым взаимодействием.

Ротационная полоса основного состояния $5/2^- [512]$ в ^{173}Yb исключительно слабо смешана кориолисовым взаимодействием с другими состояниями отрицательной четности. Максимальный компонент от конфигурации $3/2^- [521]$ не превышает 1% при спине $15/2^-$. То же относится и к другим низковозбужденным состояниям ротационных полос: $1/2^- [521]$, $5/2^- [523]$ и $3/2^- [521]$, в этом ядре (табл.13). Несколько большая примесь (до 3%) компонента $5/2^- [523]$ появляется в уровнях ротационной полосы $7/2^- [514]$.

В ядрах Yb с $A = 169, 171$ и 173 при энергии возбуждения $E \geq 0,6$ МэВ наблюдаются уровни отрицательной четности, которые можно отнести к ротационным полосам $3/2^- [512]$, $11/2^- [505]$, $7/2^- [503]$ и др. Представленные нами результаты расчетов для некоторых из этих полос, по всей видимости, менее надежные, чем для низколежащих и обсужденных нами выше. В большинстве случаев число надежно идентифицированных на этих состояниях вращательных возбуждений невелико. Кроме того, в настоящее время точность описания неротационных возбуждений, лежащих выше 1 МэВ, оставляет желать лучшего^{/1/}.

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Расчеты энергий и структуры вращательных состояний нечетных ядер иттербия в широкой массовой области $A = 163-173$ показали, что неадиабатическая вращательная модель вполне применима для описания этого типа возбуждений до $E \approx 1$ МэВ. Учет квазичастично-фононного взаимодействия при расчете матричных элементов кориолисова взаимодействия в главном приводит к тем же результатам, что и в случае "ослабления" одночастичных матричных элементов, осуществляемого простой подгонкой под эксперимент. Тем не менее, в результате наших расчетов выявились нетривиальные случаи, требующие дальнейшего исследования — случаи, когда приходится даже увеличивать теоретические значения одночастичных матричных элементов, причем этот факт однозначно предсказывает модель, учитывающая взаимодействие квазичастиц с фононами. Как будет показано нами в работе^{/17/}, при расчетах вероятностей электромагнитных переходов с учетом рассчитанных в данной работе амплитуд кориолисова смешивания использование в соответ-

ствующих случаях "усиленных" по сравнению с одночастичными значениями матричных элементов оператора \hat{j}_+ также дает результаты, лучше согласующиеся с экспериментом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Адам И. и др. — ОИЯИ, Р4-88-933, Дубна, 1988.
2. Базнат М.И. и др. — ЭЧАЯ, 1973, т.4, вып. 4, с. 941.
3. Шаронов И.А. и др. — Булг. ж. физ., 1986, 13, с. 318.
4. Kvasil J. et al. — Czech. J. Phys., 1981, B31, p. 1376.
5. Kvasil J. et al. — Czech. J. Phys., 1983, B33, p. 626.
6. Krasikova T.I. et al. — Czech. J. Phys., 1986, B36, p. 581.
7. Бор О., Моттelson Б. — Структура ат. ядра. М.: Мир, 1977.
8. Вывов Ц. и др. — ОИЯИ, Р6-9369, Дубна, 1975.
9. Gromov K.Ya. et al. — Z. Phys., 1976, A277, p. 395.
10. Selin E. et al. — phys. scr., 1970, 2, p. 181.
11. Адам И. и др. — ОИЯИ, Р6-80-346, Дубна, 1980.
12. Richter L. — Z. Phys., 1979, A290, p. 213.
13. Абдуразаков А.А. и др. — Изв. АН СССР, сер. физ., 1971, 35, с. 698.
14. Kanestrom I., Tjom P.O. — Nucl. Phys., 1969, A138, p. 177.
15. Shirley V.S. — NDS, 1984, 43, p. 127.
16. Артомонова К.П. и др. — Изв. АН СССР, сер. физ., 1977, 41, с. 1190.
17. Адам И. и др. — ОИЯИ, Р4-88-935, Дубна, 1988.
18. Бонч-Осмоловская Н.А. и др. — Изв. АН СССР, сер. физ., 1988, 52, с.53.

Рукопись поступила в издательский отдел
30 декабря 1988 года.

Адам И. и др.

P4-88-934

Систематика и анализ свойств ядер нечетных изотопов
иттербия с $A = 163-173$. Вращательные состояния

В рамках неадиабатической вращательной модели и модифицированной вращательной модели, учитывающей взаимодействие отдачи и квазичастично-фононное взаимодействие, рассчитаны энергии и структура ротационных состояний нечетных ядер иттербия с массовыми числами $A = 163-173$. Изучено влияние квазичастично-фононного взаимодействия на матричные элементы кориолисова взаимодействия. Результаты расчетов сравниваются с экспериментальными данными.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1988

Перевод О.С.Виноградовой

Adam I. et al.

P4-88-934

Systematics and Analysis of Properties of Ytterbium
Odd Nuclei with $A = 163-173$. Properties
of Rotational States

The energies and structure of rotational states in odd ytterbium nuclei with $A = 163-173$ mass number are calculated in the framework of nonadiabatic rotational model and a modified rotational model taking into account the recoil term and quasiparticle-phonon interaction. The effect of quasiparticle-phonon interaction on matrix elements of Coriolis interaction is studied. The calculation results are compared with the experimental data.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Problems, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1988