

Д₁-13

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

6-85-569

ДАВАА
Сурэнгийн

ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ
СИЛЬНОДЕФОРМИРОВАННЫХ ЯДЕР
 ^{169}Tm И $^{167,169,171,172,173}\text{Yb}$
МЕТОДОМ ЯДЕРНОЙ ОРИЕНТАЦИИ

Специальность 01.04.16-физика атомного ядра
и элементарных частиц

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Дубна, 1985

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований.

Научный руководитель: кандидат физико-математических наук
Крацикова Т.И.

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук
Малов Л.А.
кандидат физико-математических наук
Гопыч П.И.

Ведущее научно-исследовательское учреждение: Институт ядерных исследований АН УССР, Киев.

Защита диссертации состоится " ____ " _____ 1985 г.
в ____ часов на заседании специализированного Совета Д047.01.03
при Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований, г. Дубна, Московской области.

Автореферат разослан " ____ " _____ 1985 г.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Ученый секретарь специализированного Совета
доктор физико-математических наук

Ю.А.Батусов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Экспериментальные и теоретические исследования свойств деформированных ядер занимают особое место в ядерной спектроскопии. Для более полного понимания структуры этих ядер представляет большой интерес как детальное изучение свойств уровней вращательных полос, основанных на различных внутренних состояниях, в одном ядре, так и исследование изменений в свойствах уровней полос, основанных на одном и том же состоянии, от ядра к ядру. Исследуемые ядра тулия и иттербия с $A \sim 170$ изучались разными спектроскопическими методами как из радиоактивного распада, так и в различных ядерных реакциях. Однако сравнительно мало было известно о свойствах возбужденных состояний с энергией выше 1 МэВ и особенно недостаточно — о вероятностях и параметрах смешивания мультипольностей переходов. Поэтому были ограничены возможности сравнения теоретических и экспериментальных результатов, которые необходимы не только для проверки правильности той или иной модели, но и для дальнейшего развития теории. В связи с этим очень важно иметь наиболее полную и всестороннюю экспериментальную информацию о свойствах этих ядер.

Цель работы — разработка методики приготовления образцов для исследования распада ядер лютеция и иттербия методом ядерной ориентации при низких температурах^х; изучение распада ориентированных ядер ^{169}Yb и $^{167,169,171,172,173}\text{Lu}$, с тем чтобы получить новые, более точные данные о квантовых характеристиках возбужденных состояний и параметрах смешивания мультипольностей переходов дочерних ядер ^{169}Tm и $^{167,169,171,172,173}\text{Yb}$; рассмотрение полученных в настоящей работе и известных из литературы экспериментальных данных о свойствах ^{172}Yb в рамках модели взаимодействующих бозонов, а данных о свойствах $^{167,169,171,173}\text{Yb}$ — в рамках полумикроскопической квазичастично-фононной модели с учетом взаимодействия Кориолиса.

Научная новизна. Разработана методика приготовления образцов LuGd , LuFe , YbGd и YbFe и показано, что ядра Lu эффективно

^х) Громова И.И. и др. Прикладная ядерная спектроскопия, № 9, Атомиздат, М., 1979, с. 3.

ориентируются как в гадолинии, так и в железе; ядра Yb достаточно хорошо ориентируются в железе, а в гадолинии — очень слабо. Получены сведения о том, что в сплаве $YbGd$ осуществляется редкий случай сверхтонкого взаимодействия, когда электрическое квадрупольное и магнитное дипольное взаимодействия сравнимы по величинам и противоположны по знаку.

Рассмотрено внешнее возмущение ядерных состояний с периодом полураспада $T_{1/2} = 0,45$ нс — $5,25$ мс для системы $YbGd$ и $TmFe$. Впервые обнаружено ослабление анизотропии углового распределения γ -излучения ^{171}Yb , ориентированного в гадолинии, связанное с разрядкой уровня 95 кэВ с $T_{1/2} = 5,25$ мс.

Методом ядерной ориентации проведено исследование распада ^{169}Yb и $^{167,169,171,172,173}Lu$, причем такое исследование ядер $^{167,169}Lu$ выполнено впервые. Впервые измерены значения анизотропии углового распределения γ -излучения для 231 перехода между уровнями дочерних ядер ^{169}Tm и $^{167,169,171,172,173}Yb$. Анализ экспериментальных данных позволил установить однозначно спины 31 уровня в ядрах $^{167,169,171}Yb$ и впервые определить параметры смешивания мультипольностей ~ 170 переходов с уровней изучаемых ядер. Впервые определены параметры смешивания мультипольностей $\delta(E2/M1)$ и $|q(E0/E2)|$, а также относительная вероятность $X(E0/E2)$ для перехода с энергией 1071 кэВ, $7/2^+ \rightarrow 7/2^+$, разряжающего β -вибрационный уровень в нечетном ядре ^{169}Yb .

В рамках квазичастично-фононной модели последовательно рассмотрено влияние взаимодействия Кориолиса на электромагнитные свойства вращательных уровней $^{167,169,171,173}Yb$. Проведено сравнение полученных результатов с экспериментальными данными. Отмечено, что в рамках этой модели изменение знаков и величин параметров $\delta(E2/M1)$ для внутривибрационных и межвибрационных переходов описывается правильно.

Практическая ценность. Разработанная методика приготовления образцов $LuFe$ и $YbFe$ может быть использована для дальнейшего исследования распада короткоживущих ориентированных ядер Lu и Yb при помощи создаваемой в настоящее время установки СПИН-2, которая будет работать в режиме "он-лайн".

Сделанные в настоящей работе оценки влияния внешнего возмущения электромагнитных полей на ориентацию ядер в возбужденных состояниях с $T_{1/2} > 0,45$ нс позволяют повысить достоверность экспериментальных данных, получаемых с помощью методики ядерной ориентации.

Полученные новые экспериментальные результаты найдут применение при совершенствовании теории ядра путем детального анализа структуры деформированных ядер. Проведенное сравнение экспериментальных и рассчитанных величин представляет интерес для оценки применимости существующих моделей и для их дальнейшего развития, а также для определения задач дальнейших экспериментальных исследований.

На защиту выносятся следующие положения и результаты:

1. Методическое решение проблемы приготовления образцов $LuGd$, $LuFe$, $YbGd$ и $YbFe$ для изучения распада ориентированных ядер при низких температурах.
2. Экспериментальные исследования внешнего возмущения углового распределения γ -излучения, сопровождающего распад долгоживущих состояний ядер $^{171,173}Yb$ и ^{169}Tm , ориентированных в гадолиниевой и железной матрицах.
3. Однозначно установленные значения спинов для 31 уровня в ядрах $^{167,169,171}Yb$ и значения параметров смешивания мультипольностей для 173 переходов между состояниями ядер ^{169}Tm и $^{167,169,171,172,173}Yb$.
4. Результаты расчетов, проведенных в рамках квазичастично-фононной модели с учетом взаимодействия Кориолиса: энергии и структура уровней, приведенные вероятности и параметры смешивания мультипольностей для переходов между этими уровнями ядер $^{169,171,173}Yb$.

Апробация работы и публикации по теме диссертации. Результаты исследований, положенные в основу настоящей работы, представлялись и докладывались на XXX-XXXIV Всесоюзных совещаниях по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра (1980-1984 г.г.), на УП конференции Чехословацких физиков (Прага, 1981 г.), на III и IV рабочих совещаниях по установке СПИН (Лешно, 1980 г. и Бехине, 1982 г., СССР), на V и VI Международных конференциях по сверхтонким взаимодействиям (Западный Берлин, 1980 г. и Гронинген, Голландия, 1983 г.), на XVII семинаре по ядерной физике /Россендорф - Краков - Ржеж - Киев/ (Киев, 1985 г.), а также обсуждались на семинарах по физике атомного ядра Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ и опубликованы в 10 работах /1-10/ (в журналах Czech. J. Phys., J. Phys., Nucl. Phys., Hyperfine Interactions, в виде сообщения и препринта ОИЯИ и тезисов докладов совещаний и конференций, перечисленных выше).

Объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав и заключения и содержит 102 страницы текста, 45 таблиц на 40 страницах, 20 рисунков на 18 страницах и список литературы из 158 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении кратко обоснована актуальность проблемы исследования, сформулированы цели работы, научная новизна и основные положения диссертации, выносимые на защиту.

В первой главе кратко рассмотрены метод статической ядерной ориентации, основанный на использовании сверхтонких взаимодействий между статическими электромагнитными полями и электромагнитными мультипольными моментами ядер при низких температурах, и теория, описывающая степень ориентации ядер и угловое распределение γ -излучения, сопровождающего распад ориентированных ядер. Описана экспериментальная аппаратура, использованная при изучении распада ориентированных ядер (установка СПИН). Приведены характеристики использованных в экспериментах полупроводниковых Ge(Li) - детекторов, данные о получении экспериментальных образцов и сведения об условиях измерений анизотропии углового распределения γ -излучения. Основное внимание уделено технологии приготовления экспериментальных образцов (обоснован выбор гадолиниевой и железной матриц для ориентации ядер Lu и Yb, описаны пути улучшения качества образцов для повышения степени ориентации ядер) и анализу экспериментальных данных (рассмотрен вопрос об определении значений коэффициентов ориентации, деориентации и углового распределения и спинов возбужденных состояний) в экспериментах по изучению распада ориентированных ядер при низких температурах.

Вторая глава посвящена изложению результатов /1/ исследования распада ядер ^{169}Yb , ориентированных при низких температурах в железе и гадолинии. Экспериментальные результаты показали, что степень ориентации иттербия в железе достаточно велика, тогда как в гадолинии ядра иттербия почти не ориентируются, хотя и был получен однородный твердый раствор $^{169}\text{YbGa}$ из распада $^{169}\text{LuGa}$, приготовленного путем имплантации и плавки /2/. Анализ данных свидетельствует о том, что электрическое квадрупольное взаимодействие для Yb в гадолинии сравнимо с магнитным дипольным. На основе данных о степени ориентации ядер иттербия, внедренных в различные ферромагнетики, сделано заключение, что для ориентации короткоживущих изотопов Yb наиболее подходящей является железная матрица.

Внешнее возмущение долгоживущих уровней ^{169}Tm , найденное ранее другими авторами в результате изучения распада $^{169}\text{YbLu}$, нами для $^{169}\text{YbFe}$ обнаружено не было. По измеренным анизотропиям γ -излуче-

ния из распада $^{169}\text{YbFe}$ были определены параметры смешивания мультипольностей для семи переходов ^{169}Tm .

В третьей главе представлены результаты /3/ исследования распада ориентированных ядер ^{172}Lu и сравнения экспериментальных данных о свойствах четно-четного ядра ^{172}Yb с рассчитанными в рамках модели взаимодействующих бозонов (МВБ-1).

Были измерены примерно одинаковые значения угловой анизотропии γ -излучения для образцов $^{172}\text{LuGa}$ и $^{172}\text{LuFe}$. Показано, что ядра лютеция ориентируются в железе так же хорошо, как и в гадолинии. На основе измеренных анизотропий γ -излучения определены параметры δ для 51 перехода ^{172}Yb , из них для 6 переходов - впервые. Получены также параметры $|q(E0/E2)|$ и соответствующие вероятности $X(E0/E2)$ и $|g(E0)|$ для четырех переходов типа $2^+ \rightarrow 2^+$ и $4^+ \rightarrow 4^+$.

В последней части этой главы сравниваются экспериментальные значения энергии уровней положительной четности ^{172}Yb , абсолютные и относительные вероятности E2 и E0 переходов и параметры смешивания мультипольностей $\delta(E2/M1)$ с результатами, рассчитанными по МВБ-1. Сравнение теории с экспериментом иллюстрируется табл. I, в которой

Табл. I. Сравнение параметров $\delta(E2/M1)$, рассчитанных по МВБ-1, с экспериментальными значениями для переходов ^{172}Yb

$K_1^{\pi} \rightarrow K_2^{\pi}$	$I_1 \rightarrow I_2$	$E_{\gamma}, \text{кэВ}$	$\delta_{\text{экс}}$	$\delta_{\text{расч}}$
$0_2^+ \rightarrow 0_1^+$	2 \rightarrow 2	1039	5,0(+25, -16)	5,0 ^{a)}
	4 \rightarrow 4	1026	0,87(13)	2,5
	6 \rightarrow 6	997	0,63(7)	1,5
$2_1^+ \rightarrow 0_1^+$	2 \rightarrow 2	1387	-5,1(+11, -16)	-5,1 ^{a)}
	3 \rightarrow 2	1470	-7,6(+19, -36)	-7,6 ^{a)}
	4 \rightarrow 4	1398	{ -1,10(+23, -46) -42(+36, - ∞)	-2,6
$0_3^+ \rightarrow 0_1^+$	2 \rightarrow 2	1398	{ $\geq 2,2$ $0,40 \leq \delta \leq 1,25$	-0,6
	$2_2^+ \rightarrow 0_1^+$	2 \rightarrow 2	1530	8,0(+25, -15)
3 \rightarrow 2		1622	17,3(+42, -28)	-2,9
3 \rightarrow 4		1440	6,5(+22, -14)	-1,9
	4 \rightarrow 4	1543	{ 9(+11, -3) -0,84(+9, -11)	-1,6
	5 \rightarrow 4	1667	6,9(+19, -12)	-1,8

a) Использовалось в качестве параметра.

приведены экспериментальные и рассчитанные параметры δ . Значения сравниваемых величин довольно хорошо согласуются для уровней полосы основного состояния и β - и γ -вибрационных полос, а для полосы с $K^\pi = 0_3^+$, 0_4^+ , 2_2^+ и 4_1^+ - лишь качественно. Это, по-видимому, связано с тем, что волновые функции этих состояний содержат большие компоненты двухквaziчастичной конфигурации и подтверждает результаты^X расчетов по квазичастично-фононной модели В.Г.Соловьева, указывающие на отсутствие низколежащих коллективных двухфононных состояний в деформированных ядрах.

В четвертой главе представлены основные результаты экспериментальных исследований распада ориентированных ядер ^{167,169,171,173}Lu. Результаты изучения распада каждого ядра с последующим заключением изложены по параграфам. Полученные в настоящей работе значения параметров смешивания мультипольностей сравниваются с результатами предыдущих исследований. В общем они хорошо согласуются между собой (см., например, табл. 2). Однако наблюдается некоторое расхождение между результатами по ядерной ориентации, полученными нами и Крайном и др.^{XX}, особенно для низкоэнергетических переходов

Табл.2. Сравнение параметров δ , полученных в настоящей работе, на основе изучения $\gamma\gamma$ -корреляций и $(\alpha, 2n\gamma)$ реакции, для переходов ¹⁶⁹Yb

Е _γ ,кэВ	δ наст. работа	$\delta^a)$	$\delta^b)$
90,8	-0,32(+32,-55)		-0,40(9)
110,9	-0,17(+7,-8)	-0,225(+81,-92)	-0,11(+16,-15)
133,5	-0,02(23)		-0,20(11)
144,6	0,52(+12,-9)		0,5 - 5,0
291,2	0,10(9)	0,173(+75,-63)	
369,2	-0,023(45)	$ \delta < 0,1$	
378,6	-0,044(55)	-0,065(+85,-65)	
456,6	-0,09(9)	-0,24(+9,-10)	
1184,9	-0,15(7)	-0,10(+13,-10)	

a) Будзыньски М. и др. Ядерная физика, 1980, 31, с. 1393.

b) Selin E. et al. Phys. Scr., 1970, 2, p. 181.

X) Соловьев В.Г. Письма в ЖЭТФ, 1985, 40, с. 398.

XX) Krane K.S. et al. Nucl. Phys., 1972, A197, p. 352; Phys. Rev., 1976, C13, p. 1295; Phys. Rev., 1975, C12, p. 1999.

¹⁷¹Yb и для некоторых переходов ¹⁷²Yb. Для большинства из этих переходов из анизотропий, измеренных Крайном и др. при температурах 4 и 20 мК, получаются значения коэффициентов углового распределения $A_2(\delta)$, не согласующиеся между собой и с нашими величинами. Эти расхождения можно объяснить, во-первых, сложным составом их источника (активность получалась путем облучения естественной смеси иттербия). Во-вторых, разрешающая способность коаксиального Ge(Li)-детектора оказалась недостаточной для измерения анизотропий близких линий в сложном спектре γ -излучения, особенно в области низких энергий. В табл. 3 наши экспериментальные значения параметров δ для переходов ¹⁷¹Yb сравниваются со значениями, полученными на основе изучения ядерной ориентации, угловых $\gamma\gamma$ -корреляций и путем измерения коэффициентов внутренней конверсии.

Табл.3. Значения параметров $\delta(E2/M1)$ для переходов ¹⁷¹Yb в сравнении с результатами предыдущих исследований

Е _γ ,кэВ	δ наст. работа	$\delta^a)$	$ \delta(\alpha) ^b)$
66,7	-0,6(+6,-12)	2,0(+50,-12)	0,696(13)
72,4	-0,31(+13,-18)	-0,10(6)	0,296(6)
85,6	-0,30(+6,-7)	-0,07(5)	0,262(13)
91,4	-0,25(+9,-11)	-0,22(+11,-13) б)	0,29(2)
109,3	-0,16(4)	-0,08(4)	0,20(3)
517,8	0,54(+16,-11)	1,2(+17,-7)	0,52(7)
627,0	0,76(+14,-19)	{ 1,3(3) 1,1(+5,-3) б)	0,63(11)
712,6	-1,52(16)	-2,1(4)	1,54(8)
767,6	-0,477(25)	-0,34(8)	0,56(7)
839,9	-0,48(+5,-7)	-0,51(+11,-7)	0,50(6)

a) Необозначенные величины представляют собой данные по работе Krane K.S. et al. Phys. Rev., 1976, C13, p. 1295.

b) Пересчитанные нами значения из работы Sen P., Bakhru H. Z. Phys., 1977, A281, p. 263.

В) Значения получены на основе данных о коэффициентах внутренней конверсии, см. /5/.

Отметим, что все значения спинов уровней, определенные нами, согласуются с результатами Крайна и др.

4.1. Распад $^{167}\text{Lu} \rightarrow ^{167}\text{Yb}$. ^{167}Lu с периодом полураспада $T_{1/2} = 51,5(10)$ мин представляет собой наиболее короткоживущее ядро, которое вообще исследовалось^{4/} методом ядерной ориентации в режиме "офф-лайн". Эти измерения показали, что для успешной ориентации более короткоживущих ядер необходимо переходить в режим "он-лайн". Полученные результаты позволили однозначно установить спины следующих уровней ^{167}Yb : 308,5 (7/2⁻), 430,8 (7/2⁺), 553,5 (9/2⁻), 667,1 (7/2⁻), 788,3 (9/2⁻), 1022,1 (9/2⁺), 1267,2 (5/2⁺), 1305,4 (7/2⁻), 1947,4 (9/2⁻), 1951,1 (9/2⁻), 1952,8 (7/2⁺), 1995,4 (9/2⁻), 1998,4 (9/2⁻), 2013,3 (7/2⁻), 2052,8 (9/2⁻) и 2330,5 кэВ ($I^{\pi} = 9/2^+$); ограничены возможные значения квантовых характеристик еще шести уровней и определены значения параметров δ для 71 перехода ^{167}Yb .

4.2. Распад $^{169}\text{Lu} \rightarrow ^{169}\text{Yb}$. Однозначно установлены^{12/} спины следующих уровней ^{169}Yb : 647,3 (7/2⁺), 960,6 (7/2⁻), 1283,3 (7/2⁻), 1406,3 (9/2⁻), 1656,3 (9/2⁻), 1689,3 (7/2⁻), 1708,5 (7/2⁻), 1781,7 (7/2⁻), 1908,6 (5/2⁺), 1974,0 (7/2⁻) и 2030,0 кэВ ($I^{\pi} = 7/2^+$); впервые определены значения параметров δ для 77 переходов ^{169}Yb . В настоящей работе впервые определены (см. табл. 4) параметры $\delta(E2/M1)$ и $|q(E0/E2)|$, а также относительная вероятность $X(E0/E2)$ для перехода с энергией 1071 кэВ, 7/2⁺ \rightarrow 7/2⁺, разряжающего β -вибрационный уровень основного состояния (7/2⁺[633] + 0₂₀) на основное состояние (7/2⁺[633]) в нечетном ядре ^{169}Yb .

Табл.4. Параметры смешивания мультипольностей δ и $|q|$, мультипольный состав и отношение вероятностей $X(E0/E2)$ для перехода с энергией 1070,8 кэВ ^{169}Yb

$\delta(E2/M1)$	-0,74(+11,-13)	10,3(+501,-45)
$ q(E0/E2) $	5,77(+93,-72)	3,55(17)
Мультипольный состав	92,2(+27,-73)% E0	92,6(8)% E0
	+ 2,8(+11,-6)% E2	+ 7,4(4)% E2
	+ 5,0(+63,-20)% M1	+ 0,1(+2,-1)% M1
$X\left(\frac{E0; I_1 \rightarrow I_f}{E2; I_1 \rightarrow I_f}\right)$	2,75(95)	1,04(10)

4.3. Распад $^{171}\text{Lu} \rightarrow ^{171}\text{Yb}$. В настоящей работе^{5,6/} впервые обнаружено ослабление анизотропии углового распределения γ -излучения, связанное с разрядкой уровня 95 кэВ с $T_{1/2} = 5,25$ мс, и найдены факторы ослабления ориентации для уровней 67 и 76 кэВ в ^{171}Yb : $G_2(67 \text{ кэВ}) = 0,32(12)$ и $G_2(76 \text{ кэВ}) = 0,18(5)$. Однозначно установ-

лены спины уровней 902,2 (3/2⁻), 944,3 (5/2⁻), 1080,9 (5/2⁻) и 1093,3 кэВ ($I^{\pi} = 9/2^+$) и определены параметры δ для 27 переходов ^{171}Yb .

4.4. Распад $^{173}\text{Lu} \rightarrow ^{173}\text{Yb}$. В наших экспериментах^{16,7/} по ядерной ориентации ^{173}Lu в гадолинии не обнаружено внешнее возмущение уровня 351 кэВ ^{173}Yb с $T_{1/2} = 0,45$ нс. Определены значения параметров δ для 11 переходов ^{173}Yb .

Пятая глава посвящена рассмотрению свойств вращательных уровней нечетных ядер иттербия, для которых нами были установлены спины ряда уровней и определены параметры смешивания мультипольностей многих переходов (см. гл. IV). В рамках квазичастично-фононной модели^X с учетом взаимодействия Кориолиса^{XX} проведены расчеты энергий и структуры вращательных уровней, приведенных вероятностей $B(E2)$ и $B(M1)$ и параметров смешивания мультипольностей $\delta(E2/M1)$ для переходов $^{169}, ^{171}, ^{173}\text{Yb}$, см. /2,5,7-10/. Проведено сравнение расчетных и экспериментальных результатов для $^{167}, ^{169}, ^{171}, ^{173}\text{Yb}$; расчетные данные для ^{167}Yb взяты из работы^{XXX}.

Обсуждаются свойства уровней вращательных полос, основанных на состояниях 1/2⁻[521], 5/2⁻[512], 3/2⁻[521], 7/2⁻[514], 7/2⁺[633], 5/2⁺[642], 3/2⁺[651], 5/2⁻[523] и 1/2⁻[510]. Выявлены некоторые закономерности в изменениях свойств вращательных уровней в зависимости от спина и массового числа ядер иттербия.

Расчеты хорошо воспроизводят экспериментальные энергии уровней вплоть до высоких значений спина. Однако такое согласие энергии явно недостаточно для проверки ядерных моделей, что показано на примере полосы 1/2⁻[510] в $^{169}, ^{171}\text{Yb}$, для которой было получено хорошее согласие экспериментальных энергий уровней и теоретических значений, рассчитанных нами^{2,5/} и по модели Нильссона^{XXXX}, хотя структура уровней, вычисленная в обеих работах, получилась совершенно различной. Физическими величинами, очень чувствительными к структуре ядра, являются вероятности и особенно параметры смешивания мультипольностей переходов.

Полученные экспериментально значения параметров $\delta(E2/M1)$

X) Соловьев В.Г. Теория сложных ядер. "Наука", М., 1971.

XX) Kvasil J. et al. Czech. J. Phys., 1978, B28, p. 843.

XXX) Kvasil J., Kraciková T.I., Finger M., Choriev V. Czech. J. Phys., 1981, B31, p. 1376.

XXXX) Kaneström I., Tjåm P.O. Nucl. Phys., 1969, A138, p. 177.

систематизированы для внутриволосных ($1/2^- [52I]$, $5/2^- [5I2]$ и $7/2^+ [633]$) и межволосных ($7/2^- [5I4] \rightarrow 5/2^- [5I2]$) переходов, и найдено физическое объяснение изменения знаков и величин этих параметров, например:

а). Взаимодействие Кориолиса очень важно для состояний положительной четности, происходящих из подболочки $1_{I3/2}$. Наши расчеты показали, что кориолисовское смешивание между этими состояниями быстро возрастает с увеличением спина, однако при переходе от легких к более тяжелым изотопам иттербия оно уменьшается. Теория правильно описывает значения параметров $\Delta(E2/M1) = \delta(E2/M1)/E_\gamma$ (МэВ) для переходов, разряжающих состояния полосы $7/2^+ [633]$ вплоть до высоких спинов (см. табл. 5).

Табл.5. Сравнение экспериментальных и расчетных значений приведенных параметров $\Delta(E2/M1)$ для внутриволосных переходов полосы $7/2^+ [633]$ в ^{169}Yb , ^{171}Yb , ^{173}Yb

Ядро	$E_\gamma, \text{кэВ}$	$I_i \rightarrow I_f$	$\Delta_{\text{эксп}}$	$\Delta_{\text{расч}}$
^{169}Yb	70,9	$9/2 \rightarrow 7/2$	-4,4(+21, -37)	-2,3
	90,8	$11/2 \rightarrow 9/2$	-3,4(+35, -61)	-1,8
	108,0	$13/2 \rightarrow 11/2$	-3,0(11)	-1,4
	135,3	$15/2 \rightarrow 13/2$	-2,4(6)	-1,2
	141,9	$17/2 \rightarrow 15/2$	-1,6(6)	-1,0
	189,1	$19/2 \rightarrow 17/2$	-1,7(4)	-0,8
	166,5	$21/2 \rightarrow 19/2$	-0,8(5)	-0,8
	253,3	$23/2 \rightarrow 21/2$	-1,3(4)	-0,7
^{171}Yb	72,4	$9/2 \rightarrow 7/2$	-4,3(+18, -25)	-3,2
	91,4	$11/2 \rightarrow 9/2$	-2,7(+10, -12)	-2,4
	177,7	$19/2 \rightarrow 17/2$	-1,8	-1,2
	178,5	$21/2 \rightarrow 19/2$	-1,6	-1,0
^{173}Yb	62,2	$9/2 \rightarrow 7/2$	4,4(5)	-3,5

б). Знаки параметров δ для переходов внутри полосы $1/2^- [52I]$ меняются на противоположные при переходе от ^{169}Yb к ^{171}Yb (см. табл. 6) и это можно, по-видимому, объяснить тем, что происходит заполнение состояния $1/2^- [52I]$ в ^{171}Yb .

в). Разные знаки экспериментальных параметров δ для переходов с уровня $7/2$ полосы $7/2^- [5I4]$ на три нижние уровня полосы $5/2^- [5I2]$

Табл.6. Экспериментальные и расчетные значения $\delta(E2/M1)$ для внутриволосных переходов полосы $1/2^- [52I]$ в ^{167}Yb , ^{169}Yb , ^{171}Yb , ^{173}Yb

Ядро	$E_\gamma, \text{кэВ}$	$I_i \rightarrow I_f$	$\delta_{\text{эксп}}$	$\delta_{\text{расч}}$
^{167}Yb	69,8	$3/2 \rightarrow 1/2$	δ \leq 0,26	0,21
	19,7	$5/2 \rightarrow 3/2$		0,02
	162,4	$7/2 \rightarrow 5/2$		0,25
^{169}Yb	62,7	$3/2 \rightarrow 1/2$	0,64(6)	3,0
	12,3	$5/2 \rightarrow 3/2$	0,06(2)	0,5
	144,6	$7/2 \rightarrow 5/2$	0,52(+12, -9)	3,9
	20,4	$9/2 \rightarrow 7/2$	0,08(3)	-16
	222,7	$11/2 \rightarrow 9/2$	{ 0,28(13) } $>$ 4,0	3,2
^{171}Yb	66,7	$3/2 \rightarrow 1/2$	-0,696(13)	-0,50
	9,2	$5/2 \rightarrow 3/2$	0,018(3)	-0,04
	154,8	$7/2 \rightarrow 5/2$	0,62(12)	-0,39
^{173}Yb	62,6	$3/2 \rightarrow 1/2$	0,538(28)	-0,84
	20,5	$5/2 \rightarrow 3/2$		-0,12
	144,8	$7/2 \rightarrow 5/2$		-0,53
	32,7	$9/2 \rightarrow 7/2$		-0,10
	222,8	$11/2 \rightarrow 9/2$		-0,23

Табл.7. Сравнение экспериментальных и расчетных относительных значений $\Delta(E2/M1)$ для переходов $7/2^- [5I4] \rightarrow 5/2^- [5I2]$ в ^{171}Yb , ^{173}Yb

Ядро	$\Delta(7/2 \rightarrow 5/2) : \Delta(7/2 \rightarrow 7/2) : \Delta(7/2 \rightarrow 9/2)$		
	расч. ^{а)}	I	I
^{171}Yb	расч. ^{а)}	I	I
	эксп.	I	I
^{173}Yb	расч. ^{б)}	I	I
	эксп.	I	I

а) Рассчитано по простой вращательной модели без учета смешивания полос.

б) Krane K.S. et al. Phys. Rev., 1975, C12, p. 1999.

в ^{171}Lu , ^{173}Yb (см. табл. 7) представляют особый интерес. Оказалось, что только при учете кориолисовского взаимодействия теория описывает правильно как знаки, так и величины параметров δ для таких межполосных переходов.

В заключении перечислены основные результаты, полученные в данной работе.

1. Разработана методика приготовления образцов LuGd , LuFe , YbGd и YbFe , использовавшихся в опытах по изучению распада ориентированных ядер при низких температурах. Показано, что ядра Lu сильно ориентируются как в гадолинии, так и в железе, а ядра Yb достаточно хорошо ориентируются в железе, тогда как в гадолинии — очень слабо. Получены сведения о том, что в сплаве YbGd осуществляется редкий случай сверхтонкого взаимодействия, когда электрическое квадрупольное взаимодействие сравнимо с магнитным дипольным. Эти результаты важны для исследований распада короткоживущих ориентированных ядер Lu и Yb в режиме "он-лайн" с образцами,готавливаемыми путем имплантации (в том числе на создаваемой в настоящее время установке СПИН-2).

2. Рассмотрено внешнее возмущение ядерных состояний с периодом полураспада $T_{1/2} = 0,45 \text{ нс} - 5,25 \text{ мс}$ для системы YbGd и TmFe и показана важность учета этого эффекта. Для системы YbGd впервые обнаружено ослабление анизотропии углового распределения γ -излучения, связанное с разрядкой уровня с $T_{1/2} = 5,25 \text{ мс}$ в ^{171}Yb . Внешнее возмущение уровня с $T_{1/2} = 0,45 \text{ нс}$ в ^{169}Tm и уровней с $T_{1/2} = 50$ и 661 нс в ^{169}Tm в пределах экспериментальных погрешностей не обнаружено.

3. Методом ядерной ориентации проведено исследование распада ^{169}Yb и $^{167,169,171,172,173}\text{Lu}$, причем такое исследование ядер $^{167,169}\text{Lu}$ выполнено впервые. Измерены значения анизотропии углового распределения γ -излучения для 325 переходов между уровнями дочерних ядер ^{169}Tm и $^{167,169,171,172,173}\text{Yb}$, причем для 231 перехода — впервые. Анализ экспериментальных данных позволил установить однозначно спины 3I уровня этих ядер и подтвердить установленные ранее спины примерно 70 уровней. Определены параметры смешивания мультипольностей для 254 переходов, из них для 173 переходов — впервые.

4. Экспериментальные значения энергии уровней положительной четности ^{172}Yb , абсолютных и относительных вероятностей E2 и E0 переходов и параметры смешивания мультипольностей E2/M1 сравнивались с результатами, рассчитанными по модели взаимодействующих бозонов. Показано, что теоретические и экспериментальные значения сравниваемых

величин довольно хорошо согласуются для уровней полосы основного состояния и β и γ вибрационных полос. Более высоколежащие полосы, интерпретируемые условно как двухфононные, воспроизводятся лишь качественно. Это, по-видимому, связано с сильным смешиванием коллективных и двухквaziчастичных компонентов в волновых функциях этих состояний.

5. В рамках полумикроскопической квазичастично-фононной модели последовательно рассмотрено влияние взаимодействия Кориолиса на электромагнитные свойства вращательных полос $^{167,169,171,173}\text{Yb}$. Были рассчитаны энергии и структура уровней вращательных полос, а также вероятности $B(E2)$ и $B(M1)$ и параметры смешивания мультипольностей $\delta(E2/M1)$ для переходов между этими уровнями ядер $^{169,171,173}\text{Yb}$. Проведено сравнение полученных результатов с экспериментальными данными. Показано, что модель довольно успешно описывает свойства этих ядер, причем за исключением нескольких случаев при расчетах $^{167-173}\text{Yb}$ не потребовалось уменьшать кориолисовские матричные элементы, как это было сделано в предыдущих теоретических исследованиях. Заметный успех достигнут при описании изменения знаков и величин параметров смешивания мультипольностей E2/M1 для ряда внутриволосных и межволосных переходов.

- Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:
1. Даваа С., Дупак Я., Коничек Я., Крацикова Т.И., Прохазка И., Фингер М., Фоминых М.И., Цупко-Ситников В.М., Гэмилтон У.Д., Гирит Ц. Ядерная ориентация $^{169}\text{YbFe}$. В кн.: Тезисы докладов XXX совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра, Ленинград, 1980 г., "Наука", Л., 1980, с. 243.
 2. Davaa S., Kraciková T.I., Finger M., Kvasil J., Fominykh V.I., Hamilton W.D. Nuclear orientation study of the decay of ^{169}Lu . J. Phys., 1982, G8, p. 1585-1604.
 3. Kraciková T.I., Davaa S., Finger M., Fominykh M.I., Hamilton W.D., Lipas P.O., Hammaren E., Toivonen T. Nuclear orientation study of the decay of ^{172}Lu . J. Phys., 1984, G10, p. 1115-1132.
 4. Kraciková T.I., Finger M., Davaa S., Dupák J., Pavlov V.N., Lebedev N.A., Hamilton W.D., Girit C. Nuclear orientation studies of the 51.5 min ^{167}Lu decay. Czech. J. Phys., 1981, B31, p. 527-543.
 5. Kraciková T.I., Davaa S., Kvasil J., Finger M., Koníček J., Hamilton W.D. Nuclear orientation study of the decay of ^{171}Lu . Nucl. Phys., 1985, A440, p. 203.
 6. Kraciková T.I., Davaa S., Finger M., Kvasil J., Hamilton W.D. Nuclear orientation of ^{171}Lu and ^{173}Lu . Hyperfine Interactions, 1983, 15/16, p. 37-40.

7. Даваа С., Крацикова Т.И., Фингер М., Квасил Я., Лебедев Н.А., Павлов В.Н., Ошкевич Ю.В. Исследование распада ориентированных ядер ^{173}Lu . Сообщение ОИЯИ, Р6-84-556, Дубна, 1984, 17 с.
8. Kvasil J., Kraciková T.I., Davaa S., Finger M., Choriev B. Coriolis coupling and electromagnetic properties of rotational bands in odd-A Yb nuclei. II. The nucleus ^{169}Yb . Czech. J. Phys., 1983, V33, p. 626-641.
9. Квасил Я., Крацикова Т.И., Даваа С., Фингер М., Чориев Б. Влияние взаимодействия Кориолиса на электромагнитные свойства вращательных полос ^{171}Yb . В кн.: Тезисы докладов XXXIII совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра, Москва, 1983 г., "Наука", Л., 1983, с. 135-136.
10. Квасил Я., Крацикова Т.И., Даваа С., Фингер М. Влияние взаимодействия Кориолиса на электромагнитные свойства вращательных полос ^{173}Yb . В кн.: Тезисы докладов XXXIV совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра, Алма-Ата, 1984 г., "Наука", Л., 1984, с. 141.

Рукопись поступила в издательский отдел
25 июля 1985 года