

объединенный
институт
ядерных
исследований
дубна

5500 / 2-81

9/4-81
6-81-563

М.Будзынски, Т.Бэдики, В.Жук, О.И.Кочетов,
Г.Лизурей, А.И.Муминов, Х.Незгода,
М.Попеску, М.Суботович, Ф.Усманов,
Т.Хазратов, В.М.Цупко-Ситников

УГЛОВЫЕ КОРРЕЛЯЦИИ В ^{173}Yb

Направлено в "Revue Roumaine de Physique"

1981

ВВЕДЕНИЕ

Схема распада $^{178}\text{Lu} \rightarrow ^{178}\text{Yb}$ достаточно хорошо изучена^{/1/}. Высоковозбужденные состояния ^{178}Yb исследовались в ядерных реакциях $^{20}\text{Ne}-\alpha$ ^{/2/}. Детальное обсуждение экспериментальных и теоретических данных по ^{178}Yb , опубликованных к 1975 году, проведено в работах Желелова и Люторовича^{/3,4/}.

В настоящей работе из измерений Ke^- - γ и γ - γ угловых корреляций /УК/ в распаде $^{178}\text{Lu} \rightarrow ^{178}\text{Yb}$ определены отношения смешивания δ для нескольких γ -переходов и электронные параметры для переходов Ke^- 179,3 кэВ и Ke^- 272,1 кэВ. Полученные отношения смешивания $\delta_{\text{экс}}$ сравниваются с $\delta_{\text{теор}}$, рассчитанными в рамках квазичастично-фононной модели с учетом взаимодействия Кориолиса^{/5,6,9/}.

ПРИГОТОВЛЕНИЕ ИСТОЧНИКОВ

^{178}Lu был получен в реакции глубокого расщепления тантала протонами с энергией 660 МэВ на внутреннем пучке синхроциклотрона Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ. Из облученной мишени радиохимическим методом выделялись изотопы лютеция. Затем проводилось разделение изотопов по массам на электромагнитном масс-сепараторе, при этом ионы ^{178}Lu с энергией 25 кэВ вводились в алюминиевую фольгу /2 мм x 6 мм/, которая использовалась в измерениях γ - γ и e^- - γ УК.

АППАРАТУРА И ЭКСПЕРИМЕНТ

Измерения γ - γ УК проводились на автоматизированном корреляционном спектрометре с $\text{Ge}(\text{Li})$ и двумя цинтилляционными $\text{NaI}(\text{Tl})$ детекторами^{/10/}. Энергетические окна устанавливались в трактах цинтилляционных детекторов с помощью дифференциальных дискриминаторов /ДД/.

Измерения e^- - γ УК проводились на корреляционном спектрометре^{/11/}. Электроны конверсии регистрировались $\text{Si}(\text{Li})$ детектором /50 мм² x 4 мм/, установленным в специальной камере из дюралюминия, в которой создавался вакуум 10^{-7} Торр. Детектор и первый каскад предусилителя охлаждались до температуры жидкого азота. Энергетическое разрешение составляло 920 эВ для элект-

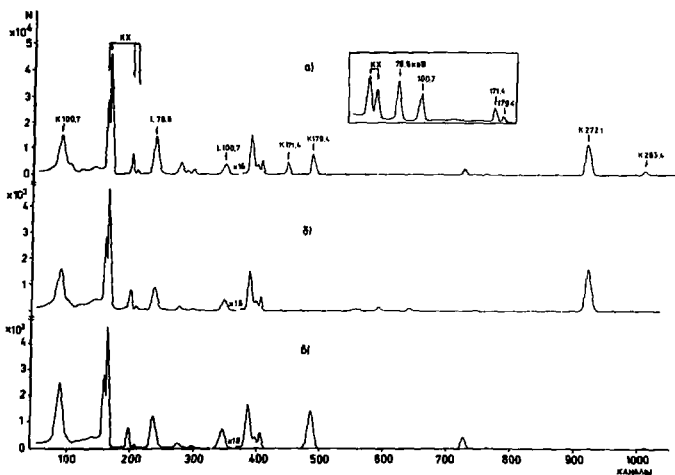


Рис. 1. а/ Спектр электронов конверсии ^{178}Yb ; б/ спектр e^- - γ -совпадений с γ 76,8 кэВ; в/ спектр e^- - γ -совпадений с γ 171,4 кэВ.

ронов с энергией 100 кэВ. Регистрация γ -излучения осуществлялась с помощью $\text{Ge}(\text{Li})$ детектора. Энергетические окна /ДД/ устанавливались в тракте $\text{Ge}(\text{Li})$ детектора. На рис. 1 приведены спектры электронов внутренней конверсии, спектры совпадений с γ 78,6 кэВ и γ 171,4 кэВ.

Спектры совпадений при измерениях γ - γ и e^- - γ УК накапливались в памяти 4096-канального амплитудного анализатора ICA-70 при углах 90° , 135° и 180° между детекторами. С целью учета эффектов обратного рассеяния γ -лучей измерения УК проводились также при углах 90° , 120° и 150° . Далее накопленная информация передавалась по линии связи в ЭВМ ЕС-1010, где спектры совпадений обрабатывались по программе КАТОК /12,13,14/.

При расчетах коэффициентов УК вводились поправки на случайные совпадения, центровку источника, конечные размеры детекторов. В случае e^- - γ УК, кроме того, вводились поправки на рассеяние электронов в источнике /15/.

Основываясь на результатах выполненных нами ранее работ по измерению γ - γ УК для $^{211}\text{Rn}/^{18}$ и $^{155}\text{Tb}/^{17}$, которые называют на отсутствие возмущения УК при внедрении в алюминиевую фольгу изотопов в случае каскадов с временами жизни проме-

Таблица 1. Коэффициенты γ - γ и Ke^- - γ угловых корреляций

Каскад (кэВ)	$I_1 - I_1 - I_2$	$A_{22} \pm A_{22}$	$A_{44} \pm A_{44}$	$A_{22} \pm A_{22} / 7/$
272,1 - 78,6	$7/2^+ - 7/2^- - 5/2^-$	$-0,285 \pm 0,008$	$+0,008 \pm 0,015$	$-0,330 \pm 0,006$
285,3 - 272,8	$7/2^- - 7/2^+ - 7/2^-$	$+0,179 \pm 0,018$	$+0,025 \pm 0,042$	$+0,156 \pm 0,069$
171,4 - 179,3	$7/2^+ - 9/2^- - 5/2^+$	$-0,143 \pm 0,011$	$+0,009 \pm 0,019$	
171,4 - 100,7	$7/2^+ - 9/2^- - 7/2^-$	$+0,215 \pm 0,015$	$-0,020 \pm 0,026$	
$\text{Ke}^- 272,1 - 78,6$	$7/2^+ - 7/2^- - 5/2^-$	$0,448 \pm 0,035$	$0,026 \pm 0,081$	$+0,531 \pm 0,032$
$\text{Ke}^- 100,7 - 78,6$	$9/2^- - 7/2^- - 5/2^-$	$0,008 \pm 0,018$	$-0,026 \pm 0,067$	
$\gamma 171,4 - \text{Ke}^- 100,7$	$7/2^+ - 9/2^- - 7/2^-$	$0,004 \pm 0,004$	$0,024 \pm 0,030$	
$\gamma 171,4 - \text{Ke}^- 179,3$	$7/2^+ - 9/2^- - 5/2^-$	$-0,235 \pm 0,018$	$0,031 \pm 0,045$	

Таблица 2. Экспериментальные и теоретически рассчитанные значения величин δ .

E_γ (кэВ)	$ 2I_2 I_1 \text{ (} \mu, \lambda \text{)} $ $I_1 > \rightarrow I_2 >$	Мультип.	δ наст. раб.	$ \delta_{\text{теор}} $	$\delta^{/19/}$	$\delta^{/20/}$	$ \delta(\alpha_K) ^{/22/}$
78,6	755I2 - 555I2	E2/M1	-0,187(II)	0,290	-0,161(19)	-0,232(30)	0,204(+25,-28)
100,7	955I2 - 755I2	E2/M1	-0,201(19)	0,274	-0,191(II)	-0,215(24)	0,110(+22,-26)
122,4	1155I2 - 955I2	E2/M1		0,257	-0,17 (II)		
171,4	77633 - 955I2	M2/E1	-0,015(15)		+0,008(5)	-0,006(8)	0,032(+18,-32)
285,3	775I4 - 77633	M2/E1	+0,034(25)			+0,005(22)	0,066(+17,-23)
456,6	775I4 - 955I2	E2/M1		0,341	$+1,0^{+0,7}_{-0,3}$	$+0,66^{+0,09}_{-0,07}$	0,48(+17,-19)
557,3	775I4 - 755I2	E2/M1		0,274	+1,84(10)	+0,82(5)	1,81(+53,-33)
635,9	775I4 - 555I2	E2/M1		0,693	-0,80	$-0,60^{+0,05}_{-0,07}$	0,78(+19,-17)

жучочных уровней $\tau \leq 10^{-8}$ с, мы считали измеренные нами УК практически невозмущенными, т.к. времена жизни промежуточных уровней исследуемых каскадов достаточно малы / $T_{1/2} = 0,43$ нс; $0,032$ нс и $0,04$ нс для уровней $350,7$; $179,3$ и $78,6$ кэВ соответственно/.

Полученные после введения вышеперечисленных поправок значения коэффициентов УК приведены в табл. 1.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ

Функцию γ - γ УК каскада $I_1(\gamma_1)I_2(\gamma_2)I_3$ можно записать в виде

$$W(\theta) = \sum_{K-\text{чет.}} A_{KK}(\gamma_1 \gamma_2) P_K(\cos\theta) = \sum_{K-\text{чет.}} A_K(\gamma_1) A_K(\gamma_2) P_K(\cos\theta), \quad /1/$$

где $P(\cos\theta)$ - полиномы Лежандра. Когда вместо одного из γ -квантов в каскаде наблюдается конверсионный электрон / γ - e^- , e^- - γ УК/, в функции γ - γ УК /1/ необходимо заменить соответствующий коэффициент $A_K(\gamma)$ на $A_K(e^-)$. В общем случае, когда Ke^- -переход имеет смесь мультиполей L и $L'=L+1$, анализ e^- - γ УК достаточно сложен. Трудностей, встречающихся при интерпретации e^- - γ УК, можно избежать путем выбора чисто монополярного перехода, так как в этом случае корреляция зависит только от одного электронного параметра $b_K(L)$, тогда

$$A_K(e^-) = b_K(L) F_K(I_n I L L), \quad /2/$$

$F_K(I_n I L L)$ - функции протабулированы в работе ^{18/}. В данном случае параметр частицы можно получить как результат отношения

$$\frac{A_{KK}(Ke^- \gamma_2)}{A_{KK}(\gamma_1 \gamma_2)} = b_K(L). \quad /3/$$

Погрешность в значении полученного параметра $b_K(L)$ определяется из погрешностей измеренных коэффициентов A_{KK} .

Каскад /272,1-78,6/ кэВ

Из схемы распада /рис.2/ видно, что данный каскад имеет место между уровнями со спинами $7/2^+ \rightarrow 7/2^+ \rightarrow 5/2^-$. Данные исследования электронов внутренней конверсии /ЭК/ ^{16/} указывают на то, что переход $272,1$ кэВ следует считать чистым Е1. Тот же вывод относительно мультиполярности перехода $272,1$ кэВ следует из измерений угловых распределений /УР/ γ -лучей при распаде ориентированных ядер ¹⁷³ Lu ^{19,20/}.

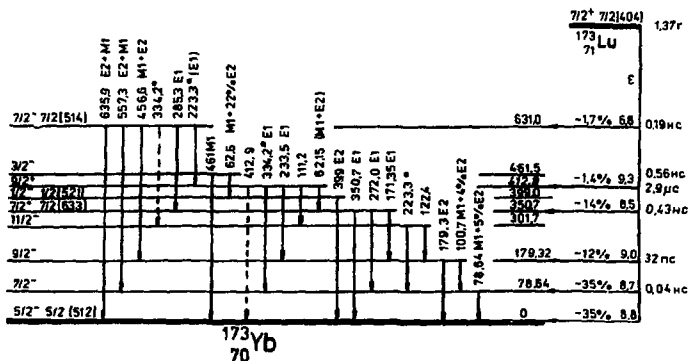


Рис. 2. Схема распада $^{173}\text{Lu} \rightarrow ^{173}\text{Yb}$.

Используя формулу /3/, из наших данных по γ - γ и Ke^- - γ УК для этого каскада получаем значение электронного параметра для перехода $272,1$ кэВ $b_2 / \text{Ke}^- 272,1 / = -1,572 \pm 0,130$ - в полном согласии с данными работы $^{28} / b_2 / \text{Ke}^- 272,1 / = -1,61 \pm 0,10 /$ и с теоретическими расчетами Хагера и Зельцера $^{21} /$ для чистого $E1$ -перехода с энергией $272,1$ кэВ $b_2 \text{ теор.} = -1,533 /$. Далее, принимая во внимание, что переход $272,1$ кэВ - чистый $E1$, из коэффициентов γ - γ УК определяем отношение смеси для перехода $78,6$ кэВ: $\delta = -0,187 \pm 0,011$. Знак и значение δ хорошо согласуются с результатами работ по изучению $3\text{K} /^{22} /$ и УР при распаде ориентированных ядер $^{173}\text{Lu} /^{19} / \text{см. табл. 2} /$.

Каскад /171,4-179,3/ кэВ

Используя данные по γ - γ и Ke^- - γ УК /табл. 1/, мы определили электронный параметр $b_2 / \text{Ke}^- 179,3 / = +1,621 \pm 0,176$, согласующийся с теоретическим параметром $b_2 \text{ теор.} +1,771 /^{21} /$ для чистого $E2$ -перехода с энергией $179,3$ кэВ. Учитывая, что переход $179,3$ кэВ чистый $E2$, используя $A_{\text{КК}}(\gamma_1, \gamma_2)$, определили отношение смеси $\delta / \gamma 171,4 / = -0,015 \pm 0,015$. Значения отношений смеси δ , установленные нами для переходов $179,3$ и $171,4$ кэВ, хорошо согласуются с данными работ $^{19, 20, 22} /$.

Каскады $171,4$ - $100,7$ кэВ и $100,7$ - $78,6$ кэВ

Нами измерены γ - γ УК для первого каскада и Ke^- - γ УК для обоих каскадов /см. табл. 1/. Из отношения A_{22} коэффициентов

УК ($A_{44} = 0$) для каскадов 171,4-179,3 кэВ и 171,4-100,7 кэВ

$$\frac{A_{22}(\gamma 171,4 - \gamma 179,3)}{A_{22}(\gamma 171,4 - \gamma 100,7)} = \frac{A_2(179,3)}{A_2(100,7)}$$

/ γ - переход с энергией 179,3 кэВ является чистым $E2$ / получаем $\delta(100,7) = -0,201 \pm 0,019$, что находится в хорошем согласии с данными работ /19,20,22/.

Что касается коэффициентов K_{σ}^{-} - γ УК для обоих каскадов, то они очень малы, практически равны нулю. Это согласуется с нашим значением $\delta(100,7)$, поскольку в этом случае электронный параметр $b_{\sigma \text{ теор.}}(100,7) = 0$.

Каскад 285,3-272,1 кэВ

Из схемы распада следует, что переход 285,3 кэВ должен иметь характер $E1 + M2$. Используя коэффициент $A_{22}(\gamma 285,3 - \gamma 272,1) = 0,179 \pm 0,018$ и учитывая, что переход 272,1 кэВ чистый $E1$, получаем $\delta(285,3) = +0,034 \pm 0,025$. Эта величина в пределах ошибок согласуется со значением δ из работы /20/ по изучению γ -лучей при распаде ориентированных ядер ^{173}Lu .

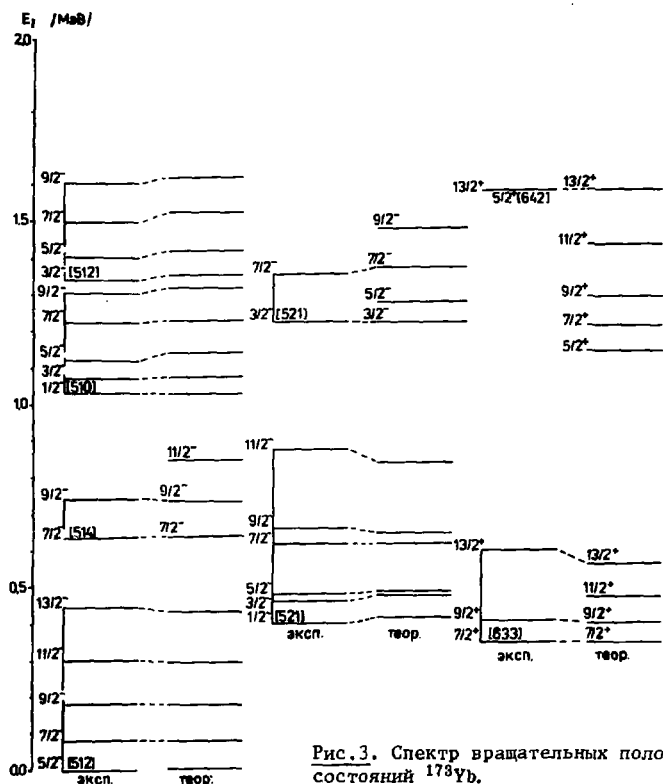
В рамках квазичастично-фононной модели с учетом взаимодействия Кориолиса /7,8,9/ были рассчитаны энергии вращательных полос ^{173}Yb , приведенные вероятности $E2$ -и $M1$ -переходов, величины δ теор. $= \pm E_{\gamma} [70,34 B(E2)/B(M1)]^{1/2} 10^{-4}$.

В расчетах использовалась схема одночастичных уровней потенциала Саксона-Вудса /24/ для зоны $A = 173$. Все параметры неадиабатичности считались равными $V_K = 0,05 \text{ МэВ}^{-1}$. Значения параметров инерции брались из /22/, а головные энергии и параметры развязывания для полос $1/2 [521]$, $1/2 [510]$ определялись как подгоночные, $a_{[521]} = 0,520$ и $a_{[510]} = -0,178$ соответственно.

Матричные элементы углового момента частицы $\langle [j_x] i \rangle$ полагались равными теоретическому значению, вычисленному с помощью волновых функций /25/, кроме случаев положительной четности и $\langle 513 | j_x | 512 \rangle$, когда их пришлось рассматривать как подгоночные параметры.

На рис. 3 приведены для сравнения теоретически рассчитанные и экспериментально определенные /22/ энергии уровней вращательных полос.

При расчетах приведенных вероятностей $B(E2)$ электрических переходов значение внутреннего квадрупольного момента полагалось равным $Q_0 = 7,0$ барн. А для расчетов $B(M1)$ магнитных переходов использовались матричные элементы операторов \hat{j}_+ , \hat{S}_+ , \hat{S}_z , вычисленные с помощью волновых функций /9/. Спиновые и коллективные гиромагнитные отношения брались равными: $g_{\text{эфф.}} = 0,5 \cdot g_n$ и $g_R = 0,405 = \frac{Z}{A} / g_p = 0$, $g_n = -3,82$. Рассчитанные величины $\delta_{\text{теор.}}$, а также отношения смеси $\delta_{\text{эксп.}}$, полученные в настоящем эксперименте и работах /19,20,22/, приведены в табл. 2.



ВЫВОДЫ

Полученные нами значения $b_2(\text{Ke}^- 179,3)$ и $b_2(\text{Ke}^- 272,1)$ согласуются с теоретическими электронными параметрами, вычисленными Хагером и Зельтцером ^{21/} для "чистых" переходов. Это указывает не только на то, что рассматриваемые переходы являются "чистыми", но также и на то, что эффекты динамической ядерной структуры в измеренных электронных параметрах отсутствуют.

Сравнение энергий вращательных полос и величин $\delta_{\text{теор.}}$ рассчитанных в рамках квазичастично-фононной модели с учетом взаимодействий Кориолиса, с соответствующими экспериментальными данными показывает достаточно хорошее согласие.

В заключение авторы выражают благодарность Я.Квасилу за ценные советы при проведении теоретических расчетов и обсуждении полученных результатов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Lederer C.M., Shirley V.S. Table of Isotopes. Wiley A. Interscience Publication Sons J., Inc., New York, 1978.
2. Burke D.G. et al. Kgl.Danske Videnskab Selskab.Mat.Fys. Medd., 1966, vol.35, No.2.
3. Burke D.G. Nucl.Phys., 1971, A161, p.129.
4. Alenius G. et al. Nucl.Phys., 1971, A161, p.209.
5. Джелепов Б.С., Люторович Н.А. Изв. АН СССР, сер.физ., 1976, 40, с.1115.
6. Джелепов Б.С., Люторович Н.А. Изв. АН СССР, сер.физ., 1976, 40, с.1126.
7. Соловьев В.Г. Теория сложных ядер. "Наука", М., 1971.
8. Михайлов И.Н. и др. Изв. АН СССР, сер.физ., 1978, 42, с.2338.
9. Квасил Я. и др. ОИЯИ, Р4-80-401, Дубна, 1980.
10. Аликов Б.А. и др. Прикладная ядерная спектроскопия, 1977, 7, с.86.
11. Будзыньски М. и др. ОИЯИ, Р13-13021, Дубна, 1980.
12. Gadjokov V. JINR, E10-12352, Dubna, 1979.
13. Gadjokov V. JINR, E10-12353, Dubna, 1979.
14. Gadjokov V. JINR, E10-12354, Dubna, 1979.
15. Von Gemmi G. et al. Helv.Phys.Acta, 1956, 29, p.147.
16. Войцеховска А. и др. Материалы XV Совещания по ядерной спектроскопии и теории ядра. ОИЯИ, Д6-11574, Дубна, 1978, с.143.
17. Будзыньски М. и др. ОИЯИ, Р6-12970, Дубна, 1980.
18. Ференц М., Розенцвейг Н. В кн.: Альфа-, бета- и гамма-спектроскопия. /Под ред. К.Зигбана/, Атомиздат, М., 1969, с.656.
19. Krane K.S. et al. Phys.Rev., 1975, C12, p.1999.
20. Крацикова Т.И. и др. Тезисы докладов XXXI Совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра. Самарканд, 1981. "Наука", Л., 1981, с.146.
21. Nager R.S., Seltzer E.C. Nucl.Data, 1968, A4, p.397.
22. Схема распада радиоактивных ядер с $A=171+174$. "Наука", М., 1977, под ред. Б.С.Джелепова.
23. Hornshoy P., Deutsch V.I. Nucl.Phys., 1965, 67, p.342.
24. Гареев Ф.А. и др. ЭЧАЯ, 1973, т.4, вып.2, с.357.
25. Базнат М.И. и др. ЭЧАЯ, 1973, т.4, вып.4, с.941.

Рукопись поступила в издательский отдел
18 августа 1981 года.