

K-18

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

6 - 6588

Ш.М.Камалходжаев

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ВОЗБУЖДЕННЫХ
СОСТОЯНИЙ СИЛЬНОДЕФОРМИРОВАННЫХ ЯДЕР
 ^{161}Ho , ^{167}Tm , ^{179}W , ^{181}Os , ^{178}Os , ^{180}Os , ^{182}Os

Специальность 055 - физика атомного ядра
и космических лучей

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

(Диссертация написана на русском языке)

Дубна 1972

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем
Объединенного института ядерных исследований

Научный руководитель:
кандидат физико-математических наук В.Г.Калинников

Официальные оппоненты:
доктор физико-математических наук П.Т.Прокофьев,
кандидат физико-математических наук Ф.А.Гареев

Ведущее научно-исследовательское учреждение:
Научно-исследовательский институт ядерной физики
Московского государственного университета

Автореферат разослан " " 1972 г.

Защита диссертации состоится " " 1972 г.
на заседании Ученого совета Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований, г. Дубна Московской области.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ

Ученый секретарь Совета
кандидат физико-математических наук

Ю.А.Батусов

6 - 6588

Ш.М.Камалходжаев

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ВОЗБУЖДЕННЫХ
СОСТОЯНИЙ СИЛЬНОДЕФОРМИРОВАННЫХ ЯДЕР
 ^{161}Ho , ^{167}Tm , ^{179}W , ^{181}Os , ^{178}Os , ^{180}Os , ^{182}Os

Специальность 055 - физика атомного ядра
и космических лучей

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук
(Диссертация написана на русском языке)

В последние годы значительно выросли наши знания о структуре уровней деформированных ядер. С одной стороны, это объясняется развитием экспериментальной техники для спектроскопии ядерного излучения радиоактивных ядер и, с другой стороны, более широким использованием различных реакций для изучения свойств ядерных состояний, в особенности реакций однонуклонных передач. Большое значение приобрели методы обработки спектральной информации с помощью ЭВМ. Кроме того, широко стали использоваться в ядерно-спектроскопических исследованиях моноизотопные источники.

Быстрое накопление экспериментальных данных, естественно, стимулировало развитие теоретических исследований ядерной структуры. Существенный прогресс в понимании свойств сложных ядер связан с применением полумикроскопической "сверхтекучей" модели ядра^{/1/}.

В последнее время были выполнены теоретические исследования^{/2/} в рамках "сверхтекучей" модели с использованием одночастичных энергий и волновых функций потенциала Саксона-Вудса. Была отмечена роль различных форм смешивания ядерных состояний (типа взаимодействия одночастичного движения с вращением, смешивание состояний с одинаковыми K^π и с главными осцилляторными числами N , отличающимися на 2), а также влияние на свойства ядерных уровней отличия деформации ядра в возбужденном и основном состояниях ($\beta_e \neq \beta_0$).

В диссертации большое внимание уделено экспериментальной проверке некоторых предсказаний "сверхтекучей" модели для сильнодеформированных ядер с $153 \leq A \leq 187$. В связи с этим

были предприняты исследования радиоактивного распада ^{161}Er , ^{167}Yb , ^{179}Re , ^{181}Ir и 178 , 180 , ^{182}Ir .

Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения.

В первой главе описана методика экспериментов.

В большинстве случаев для приготовления радиоактивных источников использовалась реакция глубокого расщепления некоторых мишеней на внутреннем или выведенном пучках протонов синхротрона ОИЯИ ($E_p = 660$ МэВ, интенсивность пучка протонов $\approx 10^{14}$ и $1,2 \cdot 10^{12}$ протонов/см²сек соответственно). В отдельных случаях препараты были получены в реакциях с тяжелыми ионами (ЛЯР ОИЯИ) или при облучении обогащенных мишеней на бетатроне университета в Иене (ГДР).

В табл. I указаны методы приготовления источников.

Табл. I

Мишень	Реакция	Энергия частиц (МэВ)	Полученный изотоп	Обработка мишени
Ta	Ta+p	660	^{161}Er	Химия, масс-сепаратор
^{162}Er	$^{162}\text{Er}(\gamma, n)$	30	^{161}Er	-
Ta	Ta+p	660	^{167}Yb	Химия, химическая сепарация
^{168}Yb	$^{168}\text{Yb}(\gamma, n)$	30	^{167}Yb	-
$\sqrt{N_4}\text{ReO}_4$	Re+p	660	Фракция рения	Газовая химия

Мишень	Реакция	Энергия частиц, (МэВ)	Полученный изотоп	Обработка мишени
Al	Al+p	660	Фракция иридия	Газовая химия
^{169}Tm	$^{169}\text{Tm}(^{16}\text{O}, 7n)$	140	^{178}Ir	-
^{169}Tm	$^{169}\text{Tm}(^{16}\text{O}, 5n)$	121	^{180}Ir	-
^{169}Tm	$^{169}\text{Tm}(^{16}\text{O}, 4n)$	94	^{181}Ir	-
^{169}Tm	$^{169}\text{Tm}(^{16}\text{O}, 3n)$	78	^{182}Ir	-
^{175}Lu	$^{175}\text{Lu}(^{12}\text{C}, 5n)$	81	^{182}Ir	-

Для исследования конверсионных электронов изотопов ^{161}Er и ^{167}Yb использовались четыре бета-спектрографа с постоянным однородным магнитным полем (разрешение $0,03 \pm 0,06\%$ при светосиле $\approx 0,02\%$ от 4π). Один из этих спектрографов построен с участием автора настоящей работы^{/3/}.

Отдельные задачи по изучению спектров электронов внутренней конверсии решались с помощью магнитных бета-спектрометров типа $\pi\sqrt{2}$ и $2\pi\sqrt{2}$ (разрешение, соответственно, $0,10$ и $0,20\%$ при светосиле $\approx 0,2\%$ от 4π).

Спектры гамма-лучей измерялись на гамма-спектрометрах с полупроводниковыми $\text{Ge}(\text{Li})$ -детекторами.

Нами использовались детекторы плоскопараллельного типа с чувствительными объемами $0,44$ и $0,56\text{см}^3$ с разрешением $0,5 \pm 0,7$ кэВ (при $E_\gamma = 100$ кэВ) и коаксиального типа с чувствительными объемами $6,3$; $8,2$; 10 ; 13 ; 25 ; 30 ; 38см^3 с разрешением $2,5 \pm 4,0$ кэВ на линии 1332 кэВ ^{60}Co . Обработка спектров

гамма-лучей производилась на ЭВМ СДС-1604А по программе "Гамма-Д"/4/.

Опыты по изучению γ - γ -совпадений мы проводили с использованием спектрометров отделов ядерной спектроскопии ОИЯИ (Дубна) и ЦНИИ (Россендорф, ГДР). В первом случае многомерный анализатор создан на базе ЭВМ "Минск-2" с отбором информации методом цифровых окон. В работе использовались два $Ge(Li)$ детектора с объемами 20 и 25 см³. Разрешающее время $2\tau = 140$ -200 нсек.

В установке для измерений гамма-гамма совпадений ЦНИИ (Россендорф, ГДР) использовались два $Ge(Li)$ -детектора с чувствительным объемом 20 и 30 см³ (или 7 и 20 см³). С помощью 8-канальных дигитальных фильтров выделялись одновременно до 8 энергетических окошек. Разрешающее время схемы составляло 70+100 нсек при измерении быстрых совпадений и 800 нсек - для задержанных.

Во второй главе приводятся результаты исследования распада $^{161}Er \rightarrow ^{161}Ho$ /5/. Изучены спектры гамма-лучей, конверсионных электронов и гамма-гамма-совпадений. Идентифицировано более 100 ранее не известных гамма-переходов. Для большинства переходов определены коэффициенты внутренней конверсии (α_K) и сделаны заключения о типах их мультипольностей.

Полученные нами сведения о гамма-лучах, электронах внутренней конверсии, γ - γ -совпадениях вместе с известными данными о позитронном излучении^{6/} позволяют значительно дополнить ранее предлагавшиеся^{6,7/} варианты схемы распада ^{161}Er (рис. 1, 2). Кроме трех известных ранее уровней ^{161}Ho с энергиями 2II, I5,

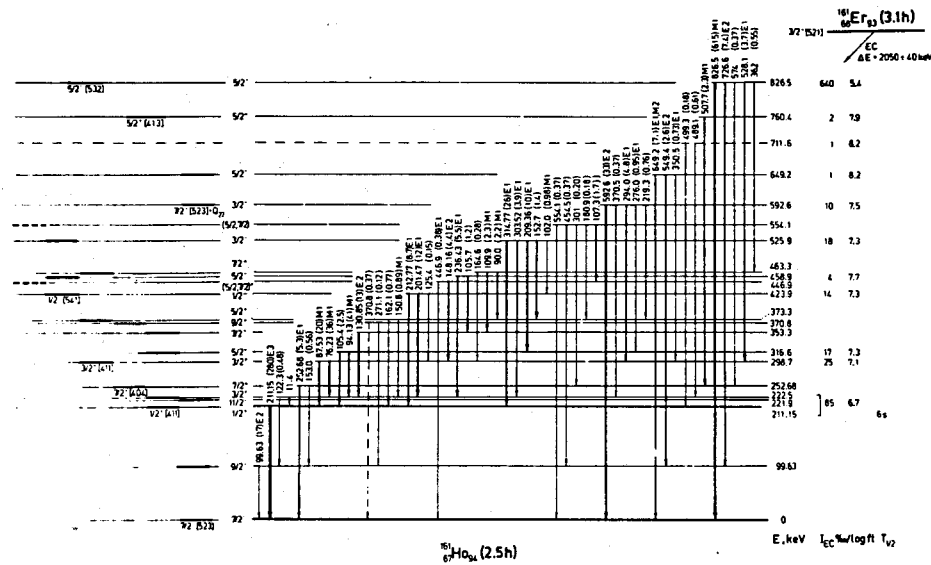


Рис. I. Схема уровней в области низких энергий, возбуждаемых в ^{161}Ce из распада ^{161}Er .

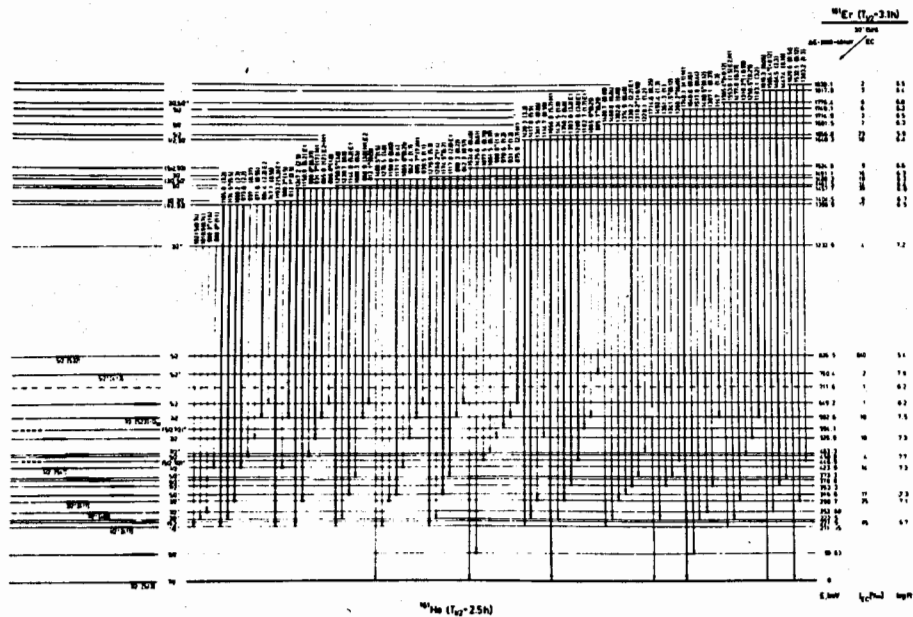


Рис. 2. Схема уровней в области высоких энергий, возбуждаемых в ^{161}Ho из распада ^{161}Er .

592,6 и 826,5 кэв в схему нами введено еще 34 состояния. Большинство уровней ^{161}I Но мы смогли приписать квантовые характеристики.

Нами показано, что при распаде ^{161}Er в ^{161}I возбуждаются следующие одночастичные состояния (и их ротационные полосы): $7/2^-/523/$, $1/2^+/411/$, $3/2^+/411/$, $7/2^+/404/$, $1/2^-/541/$, $5/2^+/413/$, $5/2^-/532/$, $5/2^+/402/$, а также полоса γ -вибрационного состояния K_0-2 $3/2^- \{ 7/2^-/523/+2^+ \}$.

Отмечается роль взаимодействия Корнелиса в описании свойств полос некоторых состояний: $1/2^+/411/$, $3/2^+/411/$, $7/2^-/523/$.

Третья глава посвящена изучению распада $^{167}\text{Uv} \rightarrow ^{167}\text{Tm}^{8,9/}$

При исследовании спектра γ -лучей было обнаружено около 100 новых гамма-переходов. С помощью бета-спектрографов изучены электроны внутренней конверсии γ -переходов с $E_\gamma < 200$ кэв. По отношениям интенсивностей L и M - линий установлены типы мультипольностей ряда γ -переходов. Для некоторых γ -переходов типы мультипольностей установлены по величинам КВК (d_K).

Для выяснения вопроса о размещении наблюдаемых гамма-переходов в схеме уровней ^{167}Tm мы провели измерения спектров гамма-гамма-совпадений ($2\tau = 100$ нсек). Изучены также задержанные гамма-гамма-совпадения ($2\tau = 800$ нсек).

Обширные сведения, полученные нами о гамма-лучах, конверсионных электронах, γ - γ -совпадениях, а также о мультипольностях γ -переходов, позволят значительно усовершенствовать ранее предложенные $^{10/}$ варианты схемы распада ^{167}Uv (рис. 3).

В схему уровней $^{167}\Gamma_m$ введено 20 ранее не известных состояний. Среди возбужденных состояний $^{167}\Gamma_m$ идентифицированы следующие одночастичные уровни: $1/2^+/411/$, $1/2^-/541/$, $7/2^+/404/$, $7/2^-/523/$, $3/2^+/411/$, $5/2^-/532/$, $5/2^+/413/$.

В этой же главе проанализированы свойства уровней ^{161}Ho , $^{167}\Gamma_m$ и некоторых других ядер Ho и Tm с нечетным A .

На рис. 4 систематизированы энергии одноквазичастичных и вибрационных состояний в указанных ядрах. Уменьшение плотности уровней с ростом A (например, при переходе от ^{159}Ho к ^{165}Ho) достойно внимания. Такой эффект не объясняется ни взаимодействием фононов с квазичастицами, ни связью вращательного движения с одночастичным.

Кроме того, в нескольких ядрах наблюдается уровень $1/2^-/541/$. По схеме Нильссона такой уровень не ожидался при столь низкой энергии.

В работах В.Г.Соловьева с сотрудниками^{/2/} выполнены в рамках сверхтекучей модели расчеты уровней ряда ядер редкоземельных элементов. В вычислениях использованы одночастичные энергии и волновые функции потенциала Саксона-Вудса.

В табл. 2 сравнивается экспериментально установленный нами спектр возбуждений ^{161}Ho с расчетным^{/2/}.

В рамках сверхтекучей модели удается понять многие свойства изучавшихся ядер (энергии уровней, их квантовые характеристики, структуру состояний, тенденцию к опусканию уровней $1/2^-/541/$ и $7/2^+/404/$). Некоторые же свойства имеют лишь качественное объяснение, а такие факты, как быстрые $E1$ -переходы меж-

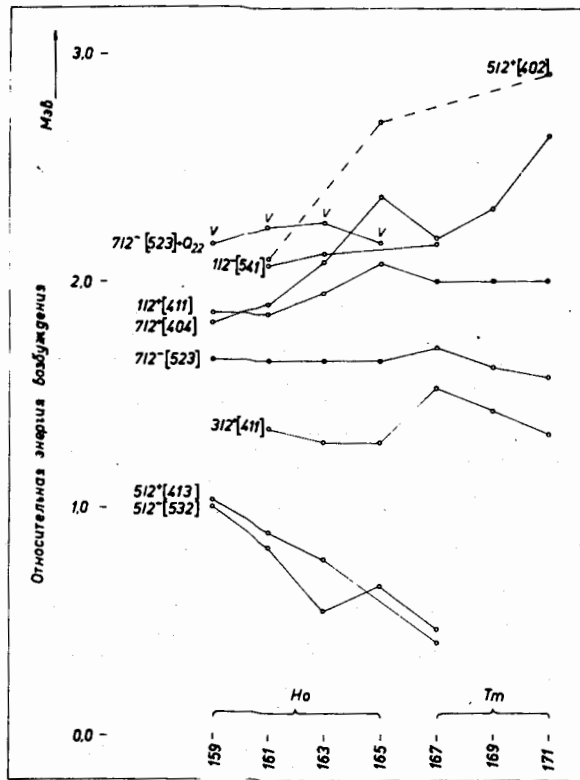


Рис. 4. Известные из эксперимента одночастичные и вибрационные состояния в некоторых ядрах гольмия и тулия.

Таблица 2

Сравнение экспериментально установленных уровней ^{161}Ho с предсказаниями полумикроскопической теории $^{2/}$

K ^π	Энергия в кэВ		Структура %
	Эксперимент	Теория	
7/2 ⁻	0	0	7/2 ⁻ /523/97%
3/2 ⁺	299	260	3/2 ⁺ /411/94% 1/2 ⁺ /411/+0(22)3%
1/2 ⁺	211	380	1/2 ⁺ /411/88% 3/2 ⁺ /411/+0(22)9%
5/2 ⁺	446	700	5/2 ⁺ /402/79%, 5/2 ⁺ /413/2%, 1/2 ⁺ /660/+0(22) 8%
5/2 ⁺	760	740	5/2/413/96%, 5/2 ⁺ /402/2%
5/2 ⁻	827	950	5/2 ⁻ /532/89%, 3/2 ⁺ /411/+0(31)5% 1/2 ⁺ /550/+0(22) 3%
7/2 ⁺	253	1040	7/2 ⁺ /404/93%, 3/2 ⁺ /651/+0(22)6%
7/2 ⁺		1070	7/2 ⁺ /413/2%, 3/2 ⁺ /411/+0(22)98%
9/2 ⁻		1110	9/2 ⁻ /514/89%, 5/2 ⁺ /402/+0(32)7%
3/2 ⁻	592	1140	1/2 ⁻ /541/3%, 7/2 ⁻ /523/+0(22)96%
1/2 ⁺		1150	1/2 ⁺ /420/2%, 3/2 ⁺ /411/+0(22)98%
11/2 ⁻		1160	7/2 ⁻ /523/+0(22)100%
1/2 ⁻	424	1370	1/2 ⁻ /541/72%, 3/2 ⁺ /411/+0(22)20%, 3/2 ⁺ /411/+0(31)5%
1/2 ⁺		1400	1/2 ⁺ /660/32%, 5/2 ⁺ /402/+0(22)58% 3/2 ⁺ /651/+0(22)5% 5/2 ⁺ /413/+0(22)100%
3/2 ⁺		1420	3/2 ⁺ /402/3%, 7/2 ⁻ /523/+0(32)96%
1/2 ⁻		1460	1/2 ⁻ /550/2%, 3/2 ⁺ /411/+0(32)82%, 5/2 ⁺ /532/+0(22)10%
3/2 ⁺		1465	3/2 ⁺ /411/+0(20)100%

ду уровнями полос в ^{161}Ir Но: $7/2^+/404/ \longrightarrow 7/2^-/523/$,
 $1/2^-/411/ \longrightarrow 7/2^-/523/$ и E1-переходы с γ -вибрационного со-
 стояния ^{161}Ir на полосы $1/2^+/411/$ и $3/2^+/411/$ не нашли объяс-
 нения в указанной модели.

В четвертой главе приведены результаты исследований рас-
 пада изотопов иридия с $A=178, 180, 181, 182$ и ^{179}Re .

Произведена идентификация трех ранее не известных изотопов
 ^{178}Ir ($T_{1/2}=0,5 \pm 0,3$ мин), ^{180}Ir ($T_{1/2}=1,5 \pm 0,1$ мин),
 ^{181}Ir ($T_{1/2}=5,0 \pm 0,3$ мин) / II/. Идентификация первых двух
 изотопов выполнена путем наблюдения в спектре гамма-лучей пе-
 реходов, разряжающих ротационные полосы основных
 состояний дочерних четно-четных ядер ^{178}Os и ^{180}Os . Сведения
 о ротационных полосах ^{178}Os , ^{180}Os были известны из изучения
 реакций ($^{11}\text{B}, n\alpha$) на обогащенных мишенях Ув.

Предложены фрагменты схем распада $^{178}\text{Ir} \longrightarrow ^{178}\text{Os}$ и
 $^{180}\text{Ir} \longrightarrow ^{180}\text{Os}$ (рис. 5).

Идентификация изотопа ^{181}Ir произведена по изучению на-
 копления и распада активности дочернего изотопа ^{181}Os (2,7 мин.)
 в иридиевых препаратах. Отсюда период полураспада был определен
 равным $(5,0 \pm 0,3)$ мин. К распаду ^{181}Ir отнесено около 20 гамма-
 переходов. Предлагается схема распада $^{181}\text{Ir} \longrightarrow ^{181}\text{Os}$ (рис. 5).

Из наших данных следует, что приписанные в работе /12/
 значения периодов полураспада ^{180}Ir ($6,5 \pm 1,5$ мин) и ^{181}Ir
 (10 ± 2 мин) являются ошибочными.

К распаду ^{182}Ir отнесено около 60 гамма-переходов. По
 спаду интенсивностей гамма-переходов 126,8 и 273,0 кэв, разря-

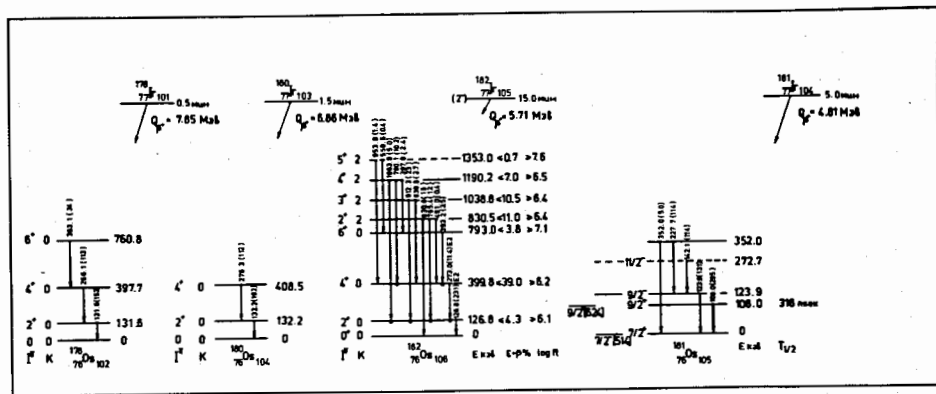


Рис. 5. Фрагменты схем распада ^{178}Fr , ^{180}Fr , ^{181}Fr , ^{182}Fr .

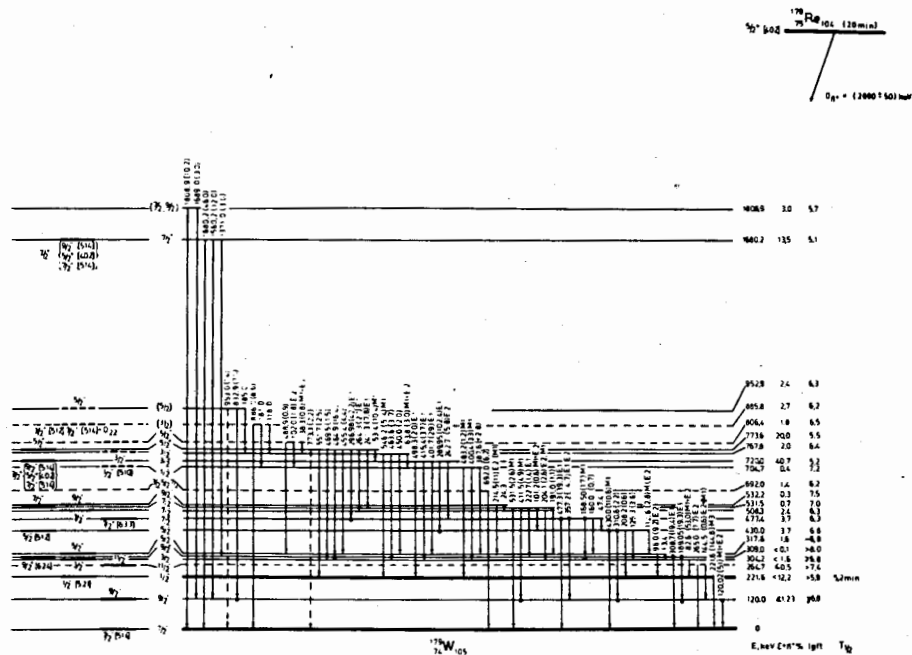


Рис. 6. Схема распада $^{179}\text{Re} \rightarrow ^{179}\text{W}$.

жакких уровни полосы основного состояния ^{182}Os , уточнен период полураспада ^{182}Ir ($15,0 \pm 1,0$ мин) ^{11/}.

Полученные нами сведения о гамма-лучах и γ - γ -совпадениях использованы для построения схемы распада $^{182}\text{Ir} \rightarrow ^{182}\text{Os}$ (рис. 5). Предлагаемая схема включает уровни полосы основного состояния (до $I=6$) и гамма-вибрационного состояния ^{182}Os (до $I=5$). Основному состоянию ^{182}Ir нами приписаны характеристики $I^\pi = 2^-$.

Проведено детальное исследование спектров гамма-лучей и гамма-гамма совпадений при распаде $^{179}\text{Re} \xrightarrow{20 \text{ мин}} ^{179}\text{W} /13/$. Нами обнаружено 29 ранее не известных гамма-переходов. Используя сведения об интенсивностях электронов конверсии из работы ^{14/} и наши данные об интенсивностях гамма-лучей, мы установили КВК и типы мультипольностей у 22 переходов.

В предлагаемую схему распада $^{179}\text{Re} \rightarrow ^{179}\text{W}$ (рис. 6) мы ввели 8 новых уровней. Показано, что в ^{179}W возбуждаются следующие одночастичные состояния: $7/2^-/514/$, $1/2^-/521/$, $9/2^+/624/$, $1/2^-/510/$, $7/2^+/633/$. Подтверждена интерпретация уровней 720 и 1680 кэВ как трехквaziчастичных состояний, соответственно, с $I^\pi = 3/2^+$ и $7/2^+$ мультиплета $\{ \pi 7/2^-/514/$, $P_1 5/2^+/402/$, $P_2 9/2^-/514/ \}$.

Экспериментально установленный спектр возбужденных уровней ^{179}W сравнивается с расчетным по сверхтекучей модели ^{15/}. Наблюдается удовлетворительное согласие в описании свойств ряда состояний.

В результате проделанной работы удалось:

11. А.И.Ахмаджанов, Б.Баяр, Р.Брода, В.Валкс, Н.Г.Зайцева, Х.-У.Зиберт, Ш.М.Камалходжаев, Г.Музиоль, А.Ф.Новгородов, В.Нойберт, М.Фингер, У.Хагеманн, Х.Штрусный. Препринт ОИЯИ Р6-6321, Дубна, 1972.
12. Е.Наджаков, Б.Бочев, Ц.Венкова, З.Шегловски, Т.Куцарова, Р.Калпакчиева, Изв. АН СССР, сер. физ. 35.2202 (1971).
13. Р.Арльт, Б.Баяр, Ц.Вылов, К.Я.Громов, Н.Г.Зайцева, Ш.М.Камалходжаев, Г.Музиоль, А.Ф.Новгородов, З.А.Усманова, В.И.Фоминих, Х.Штрусный. Препринт ОИЯИ Р6-6492, Дубна (1972).
14. В.Harmatz, Т.Н.Handley. Nucl. Phys. A121 (1968) 481.
15. В.Г.Соловьев, У.Файнер. Изв. АН СССР сер. физ. 36 (1972), 697.

Рукопись поступила в издательский отдел
11 июля 1972 г.

1. Установить существование новых изотопов ^{178}Ir , ^{180}Ir , ^{181}Ir .

2. Тщательно изучить спектры гамма-лучей, γ - γ -совпадений и электронов внутренней конверсии ^{161}Er , ^{167}Uv , ^{179}Re , ^{181}Ir и ^{182}Ir и на основании полученных данных существенно дополнить схемы распада указанных ядер.

3. Сопоставить экспериментально установленные спектры уровней изучавшихся ядер с предсказанными по обобщенной и сверхтекучей моделям.

4. Показать роль взаимодействия Кориолиса в описании свойств некоторых полос ($1/2^+/4\Pi$ /, $3/2^+/4\Pi$ /, $7/2^-/523$ /) в нечетно-протонных ядрах.

Диссертационная работа выполнена в отделе ядерной спектроскопии и радиохимии Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований и частично в Центральном институте ядерных исследований (Россендорф, ГДР).

Основные результаты исследований, изложенные в диссертации, были доложены на XII рабочем совещании по ядерной спектроскопии деформированных ядер (Дубна, 1971), на XX-XXII ежегодных всесоюзных совещаниях по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра (1970-1972) и на международной конференции по ядрам, удаленным от полосы бета-стабильности (Лейзен, 1970), а также опубликованы в печати/3,5,8,9, II, I3/.

ЛИТЕРАТУРА

1. В.Г.Соловьев. "Структура сложных ядер". Издательство "Наука", 1971.
2. С.И.Федотов. Автореферат диссертации ОИЯИ 4-6417 (1972).
3. А.А.Абдуразаков, А.И.Ахмаджанов, К.Н.Громов, Т.А.Исламов, Ш.М.Камалходжаев, М.К.Прокофьев. Препринт ОИЯИ 6-4363, Дубна, (1969).
4. Р.Арльт, Г.Винтер, С.В.Медведь, Г.Музиоль, А.Н.Синаев, Э.А.Усманова, Д.Фромм, Н.А.Чистов, Х.Штрусный. Препринт ОИЯИ Р6-6227, Дубна, 1972.
5. К.Н.Каун, Л.Функе, Р.Кемnitz, Н.Содан, Г.Винтер, Е.Вилл, К.Я.Громов, В.Г.Калинников, С.М.Камалходжаев and Н.Струсный, Proceedings of the conference on nuclear Spectroscopy and theory, Dubna, June 1971 and Annual report Zfk-223 (1971).
6. К.Н.Громов, Ж.Т.Желев, В.Звольска и В.Г.Калинников. Ядерная физика. 2 (1965) 783.
7. Н.А.Гренч and С.Е.Бурсон. Phys.Rev. 121 (1961) 831.
8. А.А.Абдуразаков, Р.Арльт, Л.Функе, К.Я.Громов, К.Нохмут, К.Н.Каун, Р.Кемnitz, С.М.Камалходжаев, Г.Музиоль, А.Ф.Новгородов, Н.Содан, Н.Струсный and Г.Винтер, Dubna, report E6-4782 (1969):
9. Е.Функе, К.Н.Каун, Р.Кемnitz, Н.Содан, and Г.Винтер, Р.Арльт, К.Я.Громов, С.М.Камалходжаев, А.Ф.Новгородов and Н.Струсный. D. De. Frenne, E. Jacobs, Nucl. Phys.A175 (1971) 101.
10. P.Paris. J.de Phys. 28 (1967) 388.