

Л-33

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

На правах рукописи

3-91-345

ЛЕ ХОНГ КХЬЕМ

**КАСКАДНЫЙ ГАММА-РАСПАД
КОМПАУНД-СОСТОЯНИЙ ЯДЕР ^{137}Ba И ^{181}Hf**

**Специальность 01.04.16 - физика ядра
и элементарных частиц**

**Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук**

Дубна 1991

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Работа выполнена в Лаборатории нейтронной физики Объединенного
института ядерных исследований, Дубна.

Научный руководитель :

кандидат физико-математических наук
младший научный сотрудник

СУХОВОЙ А.М.

Официальные оппоненты :

доктор физико-математических наук
профессор

ДЕМИДОВ А.М.

кандидат физико-математических наук
старший научный сотрудник

БРУДАНИН В.Б.

Ведущая организация :

Институт ядерных исследований АН УССР, г. Киев

Защита диссертации состоится " " _____ 1991 года в " " _____
час на заседании специализированного совета Д 047.01.05 при
Лаборатории нейтронной физики и Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ
(г. Дубна, Московской области).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Автореферат разослан " " _____ 1991 года.

Ученый секретарь

специализированного совета

ТАРАН Д.В.

АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ : В настоящее время возбужденные состояния
сложных (тяжелых) ядер детально изучены в двух сравнительно
узких энергетических диапазонах возбуждения - вблизи основного
состояния, в интервале около 2 МэВ, и в области энергии связи
нейтрона. Промежуточная область возбуждения исследована крайне
слабо, что обусловлено экспериментальными трудностями. С одной
стороны, современные установки не обладают достаточным
энергетическим разрешением, чтобы возбуждать индивидуальные
состояния в сложных ядрах, лежащие выше 2-3 МэВ. С другой стороны,
при распаде компаунд-состояния заселение этих уровней не удается
однозначно зафиксировать с помощью обычного однодетекторного
 γ -спектрометра, поскольку нет критериев отбора первичных γ -квантов
распада с энергиями порядка или меньше половины энергии связи
нейтрона.

Считается, что испускание первичных γ -каскадов подчиняется
статистическими закономерностями, но в последние годы получено
много указаний на то, что с помощью статистического подхода не
всегда удается адекватно описать экспериментальные данные. Для
развития общего понимания механизма γ -распада компаунд-ядер
необходимо прямое экспериментальное изучение каскадов в реакции
(n, γ) в разнообразных ядрах.

Исследования γ -каскадов, разряжающих компаунд-состояния,
представляют интерес и с точки зрения получения новой информации о
схемах уровней ядер, особенно в переходной области промежуточных
возбуждений, очень плохо изученной до настоящего времени.

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

ЦЕЛЬ РАБОТЫ :

1. Продолжение экспериментального исследования двухквантовых каскадов между компаунд-состоянием и несколькими фиксированными низколежащими уровнями с энергией $E_f \leq 1,0$ МэВ в четно-нечетных составных ядрах.
2. Получение значения энергий и абсолютных выходов двухквантовых каскадных переходов.
3. Конструирование на основе полученных значений энергии переходов наиболее сильных двухквантовых каскадов и спектроскопических данных реакции (n, γ) сложных и достоверных схем гамма-распада этих ядер в области энергии возбуждения до 3 - 4 МэВ и более.
4. Сопоставление средних значений экспериментально определенных интенсивностей двухквантовых каскадов с рассчитанными в рамках модельного описания гамма-распада сложного ядра.
5. Экспериментальная оценка радиационной силовой функции первичных переходов для $E_f \geq 0,5$ МэВ.

Соответствующие эксперименты были выполнены на спектрометре с двумя NpGe - детекторами на пучке тепловых нейтронов реактора института физики Академии Наук Латвийской ССР. При этом использовалась ранее разработанная система математического обеспечения эксперимента с дальнейшим его развитием для ЭВМ PDP-11/70 (ОИЯИ, ЛНФ).

НАУЧНАЯ НОВИЗНА И ПРАКТИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ РАБОТЫ :

В настоящей работе впервые проведено исследование реакции $(n, 2\gamma)$ на тепловых нейтронах на ядрах - мишенях ^{136}Ba и ^{180}Hf . Деформированное компаунд-ядро ^{181}Hf находится в области 4S - максимума нейтронной силовой функции, где нестатистические эффекты

в гамма-каскадах проявляются сильнее, чем в районе минимума, а компаунд-ядро ^{137}Ba - сферическое ядро.

В результате проведенных исследований впервые получены :

1. Спектры двухквантовых каскадов, заселяющих состояния ядер - продуктов в широком диапазоне : $V_n \sim 520 \text{ кэВ} \geq E_M \geq E_f + 520 \text{ кэВ}$, где V_n - энергия связи нейтрона, E_M и E_f - энергии промежуточного и конечного уровня соответственно. Определены значения энергий и абсолютных выходов 212 пар интенсивных каскадных переходов для ^{181}Hf и 58 для ^{137}Ba .
2. На основе данных о гамма-переходах получены схемы гамма-распада в области промежуточных энергий возбуждения 0,6 - 4,2 МэВ для ^{181}Hf и 1,2 - 4,6 МэВ для ^{137}Ba .
3. Предложен эффективный алгоритм построения сложных схем гамма-распада на базе спектроскопических данных реакций $(n, 2\gamma)$ и (n, γ) . Установлен набор правил, позволяющих получить достоверную схему гамма-распада в интервале энергии возбуждения в 2 - 3 раза более широком, чем для обычно используемых методик. Алгоритм использует всю информацию о каскадах и переходах, полученную в реакциях $(n, 2\gamma)$ и (n, γ) . Этот алгоритм был применен для построения схем гамма-распада ядер ^{181}Hf и, ранее, для ^{187}W .
4. Исследованы средние распределения интенсивности двухквантовых гамма-каскадов в функции энергии одного перехода. Экспериментально выделено для ^{137}Ba 78% и для ^{181}Hf 80% общей интенсивности первичных переходов, разряжающих компаунд - состояния.
5. Впервые оценена радиационная силовая функция первичных E_1 - (и m_1 -) переходов для их энергии $E_1 \geq 0,5$ МэВ как в сферическом ядре ^{137}Ba , так и в деформированном ^{181}Hf .

Полученные экспериментально результаты могут быть использованы

при проверке и развитии различных ядерных моделей. Необходимость улучшения модельного описания процесса гамма-распада (невозможного без наличия нового экспериментального материала) требуется, в частности, при расчете сечений захвата быстрых нейтронов в задачах реакторостроения и в астрофизике.

АПРОБАЦИЯ РАБОТЫ : Материалы, положенные в основу диссертации, докладывались на 40- (Ленинград, 1990 г.) и 41-м (Минск, 1991 г.) совещаниях по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра.

ОБЪЕМ РАБОТЫ : диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения. Объем работы - 127 страниц машино-писного текста, 12 таблиц и 17 рисунков. Список литературы включает 90 наименований.

ПУБЛИКАЦИИ : По материалам диссертации опубликовано 5 работ.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ : Во введении показана актуальность работы, сформирована ее цель, обсуждается ее научное и прикладное значение, кратко изложено содержание диссертации и приведены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе описывается эффективный алгоритм построения сложных схем γ -распада на базе спектроскопических данных реакции $(n, 2\gamma)$ и (n, γ) . Этот алгоритм использует всю информацию о каскадах и переходах, полученную в реакциях $(n, 2\gamma)$ и (n, γ) . Алгоритм состоит из следующих этапов :

- 1) Уточнения значений энергии переходов, наблюдаемых в реакции $(n, 2\gamma)$ по данным реакции (n, γ) .
- 2) Уточнения значений энергии промежуточных уровней.
- 3) Размещения в полученной из реакции $(n, 2\gamma)$ системе уровней переходов, наблюдаемых в реакции (n, γ) , но не наблюдаемых в реакции $(n, 2\gamma)$.

- 4) Установления порядка следования переходов в одиночных каскадах.
- 5) Учета баланса интенсивностей переходов заселяющих и разряжающих заданный уровень при больших возбуждениях (≥ 2 МэВ).
- 6) Размещения переходов из реакции (n, γ) , не включенных в схему состояний, выявленных в реакции $(n, 2\gamma)$.
- 7) Оценка степени достоверности полученной схемы распада.

С помощью этого алгоритма схема распада сложного ядра может быть выявлена с достаточной надежностью в интервале возбужденных состояний, в 2-3 раза более широком, чем для обычно используемых методик. Алгоритм опробован для ^{187}W , ^{179}Hf и ^{181}Hf и показал свою высокую эффективность.

Во второй главе рассматриваются некоторые модели, используемые в настоящее время для описания плотности уровней ниже энергии связи нейтрона и радиационных силовых функций в той же области возбуждений ядра. При этом особое внимание уделено анализу как вклада гигантского дипольного резонанса в ширины мягких γ -переходов между компаунд- и лежащими ниже состояниями, так и роли переходов различной мультипольности в каскадном γ -распаде при различных энергиях возбуждения ядра. Привлечение в анализе ранее полученных результатов изучения реакций $(n, 2\gamma)$ для ряда изученных ядер позволило более полно обосновать заключение о роли факторов, влияющих на интенсивность каскадного γ -распада.

В третьей главе представлены экспериментальные результаты исследования двухквантовых каскадов, возникающих при захвате тепловых нейтронов ядрами ^{136}Ba и ^{180}Hf . Приводятся схемы возбужденных состояний ^{137}Ba и ^{181}Hf , полученные на основе анализа экспериментальных данных, а также проводится обсуждение полученных результатов и их сравнение.

Таблица 1.

Ядро	число конечных уровней	всего каскадов	размещено каскадов	получено уровней	из них новых	E_{\max} МэВ
^{137}Ba	4	58	23	11	8	4,6
^{181}Hf	5	212	139	51	20	4,5

В таблице 1 приведены спектроскопические данные о двух рассматриваемых ядрах : число выделенных каскадных γ -переходов, число переходов, размещенных в схеме распада, и максимальная энергия уровней в полученной схеме распада.

На примере схемы распада ^{181}Hf показано, что при меньших энергиях возбуждения в целом наблюдается согласие полученных схем γ -распада с данными других работ. Новые уровни установлены при энергии возбуждения $E_M > 2,64$ МэВ. Более качественная спектроскопическая информация получается в реакции $(n, 2\gamma)$ за счет :

- выделения только случаев полного поглощения энергии каскадных переходов;
- исключения основной массы фоновых событий;
- фиксации конечного уровня и наблюдения каскадов в разных дифференциальных спектрах.

На рис.1 и рис.2 представлены дифференциальный спектр для каскадов на первое возбужденное состояние с энергией $E_f = 46$ кэВ спектра сумм амплитуд для ^{181}Hf и $E_f = 279$ кэВ для ^{137}Ba . Так как искажающее влияние различных факторов на полученные дифференциальные спектры мало, то эти спектры после учета

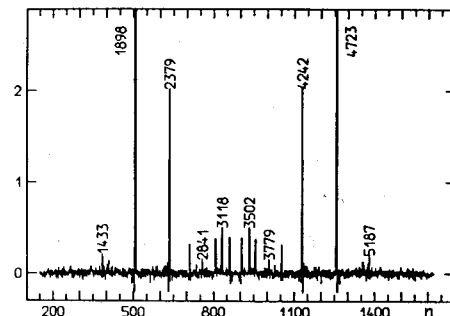


Рис. 1.

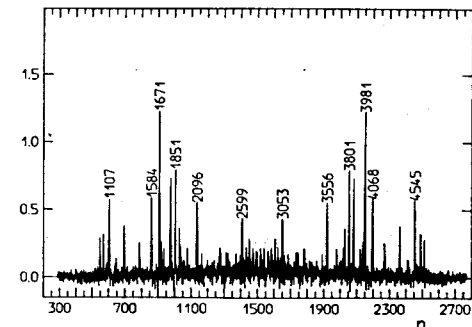


Рис. 2.

эффективности детекторов без дополнительных поправок использовались для определения интенсивностей и энергий каскадных γ -переходов, разрешенных по энергии.

Метод построения сложных схем γ -распада на основе спектроскопических данных реакций $(n, 2\gamma)$ и (n, γ) использован для ^{181}Hf . В схеме размещены 301 переход из 367 выделенных экспериментально. Произведение $\sum i_{\gamma} \cdot E_{\gamma}$ для размещенных в схеме распада переходов равно 63% от максимально возможного значения $100 \cdot V_n$. Всего установлено 125 уровней до максимальной энергии возбуждения ^{181}Hf , равной 4,2 МэВ.

Измеренные в эксперименте и полученные в расчете суммы интенсивностей всех двухквантовых каскадов между компаунд - состояниями и низколежащими уровнями для ^{137}Ba и ^{181}Hf приведены в таблице 2. Для сопоставления с экспериментом представлены аналогичные величины, рассчитанные в рамках основных предположений

статистической теории для использованного набора моделей парциальных радиационных ширин и плотности возбужденных состояний, а именно :

- Плотности уровней ниже энергии связи нейтрона задается моделью :
 А) ферми-газа с "обратным смещением";
 Б) ферми-газа с учетом оболочечных неоднородностей одночастичного спектра с помощью метода оболочечной поправки В.М.Струтинского.
- Энергетическая зависимость парциальных ширин E1-переходов определяется моделью :

- а) гигантского электрического дипольного резонанса с постоянной шириной;
- б) гигантского электрического дипольного резонанса, учитывающий как температурную, так и энергетическую зависимость ширины ГЭДР.

Парциальные ширины M1- и E2-переходов пропорциональны E_γ^3 и E_γ^5 соответственно, и отношение $\Gamma(E1) : \Gamma(M1) : \Gamma(E2) = 1 : 0,15 : 0,006$ при $E_\gamma \leq V_n$. Ниже энергии $E_f = 1,844$ МэВ для ^{181}Hf и 2,18 МэВ для ^{137}Ba в расчете использована экспериментальная схема возбужденных состояний и их мод распада.

Как и в ряде изученных ранее четно-нечетных ядер 4s оболочки, наблюдается превышение экспериментально полученных значений интенсивности каскадов над расчетной оценкой.

Большое значение суммы общей интенсивности первичных переходов, наблюдаемых в эксперименте, позволяет получить нижнюю оценку радиационной силовой функции первичных переходов в интервале их энергий $0,5 \text{ МэВ} \leq E_\gamma \leq V_n$. В главе 4 изложены процедура разложения экспериментальных распределений интенсивностей каскадов на две компоненты и приведены полученные экспериментальные результаты оценки радиационной силовой функции.

Распределение интенсивности каскадов между компаунд-состоянием и заданным низколежащим уровнем в любом энергетическом интервале ΔE_γ в окрестностях E_γ является суммой интенсивностей каскадов, в которых переход с энергией E_γ является либо первичным, либо - вторичным. Основной постулат, на основе которого сделано разложение интенсивности каскадов на две компоненты - интенсивные

Таблица 2.

Комп. ядро	E_f кэВ	I^*	$I_{\gamma\gamma}^{\text{э}}$	$I_{\gamma\gamma}^{\text{д}}$				
				$\Gamma_{\text{ЭДР}} \text{ с } \Gamma_g = \text{const}$		$\Gamma_{\text{ЭДР}} \text{ с } \Gamma_g = f(E_\gamma, t)$		
				А	Б	А	Б	
^{181}Hf	0	$1/2^-$	$15,2 \pm 2,0$	10,5	11,2	8,4	9,2	
	46	$3/2^-$	$15,6 \pm 2,0$	11,0	12,5	8,8	10,1	
	99	$5/2^-$	$8,9 \pm 2,0$	5,2	5,7	4,2	4,7	
	252	$3/2^-$	$8,0 \pm 1,3$	6,8	7,1	5,5	6,0	
	332	$5/2^-$	$4,1 \pm 1,0$	3,3	3,6	2,7	3,0	
			$\Sigma I_{\gamma\gamma} =$	51,8 \pm 3,8	36,8	40,1	29,6	24,8
^{137}Ba	0	$3/2^+$	$15,6 \pm 0,7$	29	28,9	22,4	22,4	
	279	$1/2^+$	$53 \pm 0,3$	21,6	21,7	17,2	17,3	
	1900	$3/2, 5/2^+$	(2,2)	1,7	1,8	1,8	1,8	
	2180	$3/2^-$	(1,6)	1,0	1,1	1,1	1,1	
				$\Sigma I_{\gamma\gamma} =$	72,4 \pm 0,8	53,4	53,5	42,5

каскады, наблюдаемые в экспериментальных распределениях и сплошное распределение каскадов малой интенсивности связано с возбуждением промежуточных уровней различной энергии возбуждения. Порядок следования переходов в интенсивных, разрешенных каскадах определяются как по независимому алгоритму построения схемы распада в реакции $(n, 2\gamma)$, так и с использованием всей накопленной к настоящему времени спектроскопической информации о модах распада и энергиях возбужденных состояний (реакции (n, γ) , (d, p) , (d, t) , $(n, n'\gamma)$ и т.д.).

В настоящее время экспериментальные распределения интенсивностей каскадов разлагаются на компоненты "первичных" и "вторичных" переходов следующим образом:

- Каждый спектр делится на три части - центральную, шириной не более 1,5 МэВ, низко- и высокоэнергетические края;
- из низкоэнергетической части исключаются пики, связанные с регистрацией низкоэнергетических вторичных переходов интенсивных каскадов;
- в высокоэнергетической части спектров сохраняются только пики, связанные с регистрацией высокоэнергетических первичных переходов; сплошное распределение не включается;
- в центральной части спектра половина его интенсивности приписывается "первичным", а половина - "вторичным" каскадным переходам.

На рис.3 и 4 представлены в виде гистограмм суммы интенсивностей всех наблюдаемых каскадов для ^{137}Ba и ^{181}Hf в функции энергии их первичных переходов. С экспериментом сопоставляются рассчитанные интенсивности каскадов. В расчете использована модель ГЭДР с постоянной шириной резонанса. При этом

использованы две модели плотности уровней. Крестиками отмечен расчет, использующий модель ферми-газа с "обратным смещением", точками - плотность задана в соответствии с моделью, развитой в работах А.В.Игнатюка.

Сопоставление экспериментальных и расчетных интенсивностей при различных энергиях возбуждения составных ядер ^{181}Hf и ^{137}Ba показывает, что соответствия форм рассчитанного и экспериментального распределений в рамках простого модельного описания свойств возбужденных состояний $E_M \leq B_n$ достичь невозможно.

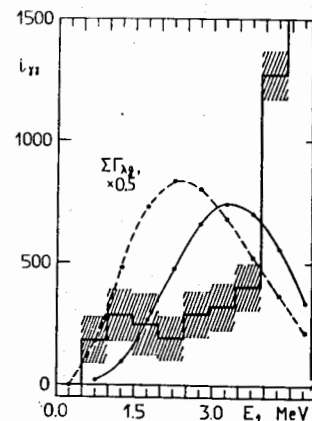


Рис.3

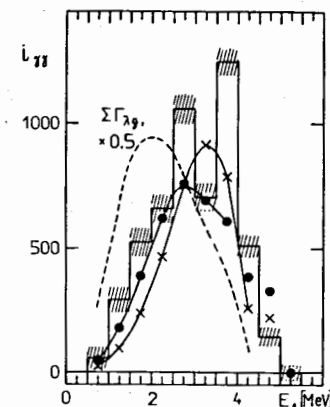


Рис.4

При изучении каскадного γ -распада компаунд-состояния ^{181}Hf и ^{137}Ba в экспериментальных распределениях выделены 52% и 72% общей интенсивности первичных переходов соответственно. Вместе с прямыми переходами на низколежащие уровни экспериментально изучены 80% для ^{181}Hf и 78% для ^{137}Ba интенсивности первичных переходов. Это позволило получить нижнюю оценку радиационной силовой функции

мягких первичных переходов для $E_\gamma > 0,5$ МэВ.

На рис.5 и 6 представлены ожидаемые значения РСФ для ^{181}Hf и ^{137}Ba :

$$S(E1) = \langle \Gamma_{\lambda g} \rangle / E_\gamma^3 A^{2/3} D_\lambda$$

Нижняя оценка на обоих рисунках дана точками. Сопоставление экспериментальных оценок РСФ с предсказаниями расчета показывает, что модель ГЭДР (постоянная ширина резонанса, лоренцовская зависимость сечения реакции поглощения γ -кванта) значительно хуже описывает эксперимент, чем модификация ГЭДР, предполагающая зависимость ширины резонанса от температуры ядра и энергии

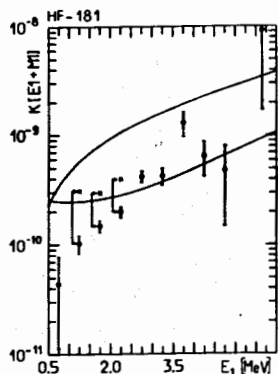


Рис.5

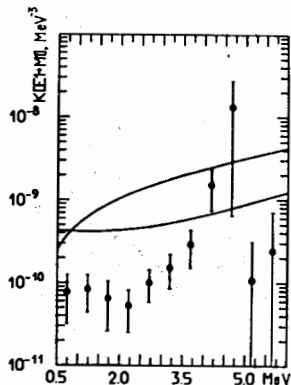


Рис.6

γ -кванта. При этом полного соответствия экспериментальных и расчетных значений РСФ, как видно из рис.5 и 6, не наблюдается и в этом случае. Наблюдаемое расхождение, вероятно, связано с :

а) усилением части ширин за счет одночастичных переходов между 4S и 3P нейтронными оболочками. Переходы с энергией 4742 и 4242 кэВ,

обуславливающие значительный рост РСФ в ^{137}Ba , возбуждают известные состояния $3P_{1/2}$ и $3P_{3/2}$.

б) для энергии первичных переходов ≤ 4 МэВ из-за отсутствия достаточно надежных данных о схемах возбужденных состояний ^{137}Ba и ^{181}Hf использована модельная ("А") плотность состояний $\langle \rho_g \rangle$ с $\Gamma^\pi = 1/2^-$ и $3/2^-$. Если плотности возбужденных уровней в этих ядрах более точно предсказываются моделью ("Б"), то может быть объяснена некоторая часть несоответствия экспериментально полученных и ожидаемых значений РСФ.

В заключении сформированы основные результаты, представляемые к защите :

1. Методом суммирования амплитуд совпадающих импульсов получены спектры двухквантовых каскадов, разряжающих компаунд - состояния ядер ^{137}Ba и ^{181}Hf , образовавшиеся при радиационном захвате тепловых нейтронов. Определены энергии и интенсивности зарегистрированных гамма-переходов.
2. Получена новая информация о схемах гамма-распада исследуемых ядер в широком интервале их возбуждений.
3. Впервые предположен эффективный алгоритм построения сложных схем гамма-распада на базе совместного анализа спектроскопических данных реакций $(n, 2\gamma)$ и (n, γ) .
4. Исходя из сопоставления расчетных и экспериментально наблюдаемых интенсивностей каскадов на заданные низколежащие уровни для всех изученных к настоящему времени ядер сделан вывод о том, что модели, претендующие на достаточно высокую точность описания процесса γ -распада компаунд-состояния, должны учитывать значительное число параметров и должны быть более детальными, чем обычно используемые при анализе эксперимента.

5. Получены экспериментальные нижние оценки радиационной силовой функции для первичных переходов в энергетическом интервале $0,5 \text{ МэВ} \leq E_\gamma \leq E_n$. Найдено, что :

а) В широком интервале энергий гамма-переходов оценка радиационной силовой функции при экстраполяции в область малых энергий гамма-переходов сечения реакции захвата ядром гамма - кванта в предположении Лорентцовой зависимости ее сечения с постоянной шириной гигантского электрического дипольного резонанса явно завышена по сравнению с экспериментом.

б) Не наблюдается также полного соответствия эксперимента и модифицированной модели гигантского электрического дипольного резонанса в предположении, что ширина лорентцевской кривой зависит от температуры ядра и энергии гамма-кванта для обоих исследуемых ядер.

в) При некоторых энергиях возбуждения наблюдается резкое увеличение радиационной силовой функции.

г) Показано, что зависимость РСФ от энергии первичного перехода может быть описана как суперпозиция одночастичных переходов между $4S$ и $3P$ нейтронными оболочками и переходов, ширины которых соответствуют ГЭДР с шириной зависящей от частоты γ -кванта и температуры ядра. Такая двухкомпонентная функция качественно описывает экспериментальные результаты как в сферическом ядре ^{137}Ba , так и в деформированном ^{181}Hf .

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах :

1. An algorithm for the construction of a complex gamma-decay scheme on the basis of spectroscopic data from $(n, 2\gamma)$ and (n, γ) reactions / Boneva S.T., Khitrov V.A., Kholnov Yu.V., Kulic V.D.,

Le Hong Khiem, Pham Dinh Khang, Popov Yu.P., Sukhovoј A.M., Vasilieva E.V. ; Joint Institute for Nuclear Research - Preprint. - Dubna, 1990. -ЕЗ-90-307. - 11p.

2. Построения сложной схемы распада на основе реакций $(n, 2\gamma)$ и (n, γ) / Бонева С.Т., Васильева Э.В., Кулик В.Д., Ле Хонг Кхьем, Попов Ю.П., Суховой А.М., Фам Динг Кханг, Хитров В.А., Хольнов Ю.В. // Ядерная спектроскопия и структура атомного ядра, Минск, 15-19 апреля 1991 г. : Тез. докл. 41-го совещ. - Л., 1991. - С.45.

3. Каскадный γ -распада компаунд-состояния ^{177}Uy / Бонева С.Т., Васильева Э.В., Кулик В.Д., Ле Хонг Кхьем, Попов Ю.П., Суховой А.М., Хитров В.А., Хольнов Ю.В. // Изв. АН СССР. Сер.Физ. - 1990. Т.54, №5. - С.822-829.

4. Интенсивные каскады γ -переходов в ^{181}Hf и экспериментальная оценка радиационной силовой функции первичных переходов для $E_\gamma \geq 0,5 \text{ МэВ}$ / Бондаренко В.А., Кувага И.Л., Ле Хонг Кхьем, Попов Ю.П., Прокофьев П.Т., Резвая Г.Л., Симонова Л.И., Суховой А.М., Фам Динг Кханг, Хитров В.А., Хольнов Ю.В. // Ядерная спектроскопия и структура атомного ядра, Минск, 15-19 апреля 1991 г. : Тез. докл. 41-го совещ. - Л., 1991. - С.112.

5. Изучение особенностей реакции $^{136}\text{Ba}(n, 2\gamma)$ на тепловых нейтронах / Бондаренко В.А., Кувага И.Л., Ле Хонг Кхьем, Попов Ю.П., Прокофьев П.Т., Резвая Г.Л., Симонова Л.И., Суховой А.М., Фам Динг Кханг, Хитров В.А., Хольнов Ю.В. // Ядерная спектроскопия и структура атомного ядра, Минск, 15-19 апреля 1991 г. : Тез. докл. 41-го совещ. - Л., 1991. - С.77.

Рукопись поступила в издательский отдел
23 июля 1991 года.