

М 777

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

УДК 539.172.4

3-87-210

МОНТЕРО-КАБРЕРА Мария Елена

ИЗУЧЕНИЕ РАДИАЦИОННОЙ СИЛОВОЙ ФУНКЦИИ  
ПЕРЕХОДНЫХ И ДЕФОРМИРОВАННЫХ ЯДЕР  
С ПОМОЩЬЮ РЕАКЦИИ ( $n, \gamma$ )  
В ИЗОЛИРОВАННЫХ РЕЗОНАНСАХ

Специальность: 01.04.16 - физика атомного ядра  
и элементарных частиц

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук

Дубна 1987

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

Научный руководитель -

Старший научный сотрудник  
кандидат физико-математических наук

Ф. БЕЧВАРЖ

Официальные оппоненты:

Старший научный сотрудник  
доктор физико-математических наук

Л. А. МАЛОВ

Старший научный сотрудник  
доктор физико-математических наук

Г. В. МУРАДЯН

Ведущее предприятие:

Институт ядерных исследований АН УССР, Киев.

Защита диссертации состоится "20" мая 1987 года  
в "10" час. на заседании Специализированного совета  
Д 047.01.05 при Лаборатории нейтронной физики и Лаборатории  
ядерных реакций ОИЯИ ( Дубна).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Автореферат разослан "13" апреля 1987 г.

Ученый секретарь  
Специализированного  
совета

УОТ

Д. В. ТАРАН

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Применение медленных нейтронов для возбуждения реакции  $(n, \gamma)$  позволяет изучать свойства низколежащих уровней многих изотопов, а также получать информацию о структуре высоковозбужденных состояний - нейтронных резонансов. Для систематического описания поведения первичных  $\gamma$ -переходов из резонансов на низколежащие состояния в зависимости от энергии  $\gamma$ -лучей и от массового числа обычно используется так называемая радиационная силовая функция (РСФ). Она определяется усредненным по резонансам значением парциальных радиационных ширин с учетом плотности резонансов.

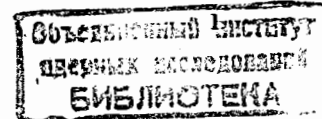
Была разработана модель, претендующая на количественное описание свойств РСФ, учитывающая свойства обратной реакции  $(\gamma, n)$  и ее сечение в области гигантского дипольного электрического резонанса (ГДЭР). До настоящего времени проведено экспериментальное изучение РСФ в широком диапазоне масс ядер, но в нем практически отсутствуют данные в районе массовых чисел  $A = 150 + 175$ . Следует отметить, что для изотопов  $^{144}\text{Nd}$  и  $^{146}\text{Nd}$  наблюдалось занижение величины РСФ по сравнению со значениями, вытекающими из теории. Для объяснения такого поведения РСФ были разработаны другие модели. Однако систематической экспериментальной проверки справедливости этих моделей пока нет.

Очень ограниченной является информация, позволяющая проверить справедливость гипотезы о независимости РСФ от спина резонансов. В терминах РСФ практически не изучались переходы на уровни, парциальные радиационные ширин которых коррелированы с приведенными нейтронными ширинами резонансов. Изучение указанных проблем может привести к новым представлениям о способах фрагментации ГДЭР по нейтронным резонансам.

Цель работы заключалась в следующем:

1. Разработка нового метода определения абсолютных интенсивностей  $\gamma$ -переходов в реакции  $(n, \gamma)$  в нейтронных резонансах.

2. Получение значений РСФ Е1-переходов для ядер-продуктов реакции  $(n, \gamma)$   $^{148,150}\text{Sm}$ ,  $^{153,155,157}\text{Gd}$ ,  $^{174}\text{Yb}$  и  $^{176,177}\text{Lu}$  и их сравнение с ожидаемыми из теории величинами.



3. Изучение свойств РСФ для переходов, парциальные радиационные ширины которых коррелированы с приведенными нейтронными ширинами, в реакциях  $^{173}\text{Yb} (n, \gamma)$ ,  $^{174}\text{Yb}$  и  $^{176}\text{Lu} (n, \gamma)$ ,  $^{177}\text{Lu}$ .

4. Изучение спектра вторичных  $\gamma$ -переходов в реакции  $^{156}\text{Gd} (n, \gamma)$   $^{157}\text{Gd}$  в резонансе 33,23 эВ и спектров первичных  $\gamma$ -переходов в изолированных резонансах той же реакции. Получение спектроскопических данных для ядра  $^{157}\text{Gd}$ .

**Научная новизна.** В данной работе впервые экспериментально получены значения РСФ ядер-продуктов  $^{148}\text{Sm}$ ,  $^{153,155,157}\text{Gd}$  и  $^{177}\text{Lu}$ . Кроме того, в изотопах  $^{148}\text{Sm}$ ,  $^{174}\text{Yb}$  и  $^{176}\text{Lu}$  подтверждена справедливость теоретического предположения о независимости РСФ от спина резонансов.

Значения РСФ изотопов  $^{148,150}\text{Sm}$  указывают на занижения РСФ по сравнению с экстраполяцией ГДЭР для низких энергий в области сферических околomagических ядер с  $N \approx 82$ .

На основании анализа интенсивностей переходов в реакциях, где раньше наблюдалась R-корреляция, получены сведения о нарушении гипотезы о строго случайной фрагментации ГДЭР по нейтронным резонансам.

В диссертации также определены энергии и приведенные интенсивности 48 первичных переходов в реакции  $^{156}\text{Gd} (n, \gamma)$   $^{157}\text{Gd}$  в резонансах, вследствие чего с достоверностью  $> 99\%$  определена четность 35 уровней ядра-продукта. Получена также информация о структуре уровней ядра  $^{157}\text{Gd}$ .

**Практическая ценность.** Результаты по РСФ можно использовать в теоретических работах по изучению механизма распада высоковозбужденных состояний ядер для теоретической оценки полных радиационных ширин. В расчетах реакторов и биологической защиты РСФ полезна для оценки спектрального распределения  $\gamma$ -излучения при захвате нейтронов.

**Апробация работы.** Основные результаты диссертации докладывались и обсуждались на 6-й Всесоюзной конференции по нейтронной физике (Киев, 1983 г.), на XXXV (Ленинград, 1985 г.) и XXXVI (Харьков, 1986 г.) Сессиях по ядерной спектроскопии и структуре ядра.

**Публикации.** По материалам диссертации опубликовано 7 научных работ.

**Объем и структура диссертации.** Диссертация состоит из введения, трех глав и заключения. В ней содержится 151 страница машинописного текста, включая 24 рисунка, 16 таблиц и список литературы из 121 наименования.

**Краткое содержание диссертации.** Во введении дана характеристика РСФ EI-переходов, обсуждены ее актуальность, научное и прикладное

значение, сформулированы цель работы и результаты, выносимые на защиту.

**Первая глава** содержит изложение фундаментальных свойств реакции  $(n, \gamma)$  в резонансах. Парциальные радиационные ширины первичных дипольных переходов можно описать на основе свойств электромагнитного излучения и упрощенных допущений об одночастичной природе начальных и конечных состояний. Отсюда вытекает определение величины РСФ EI-переходов

$$S_{\gamma f}^{(j)}(E_{\gamma}) = \frac{\langle \Gamma_{\lambda \gamma f}^{(j)} \rangle}{E_{\gamma}^3 D_j}, \quad (1)$$

где  $E_{\gamma}$  - энергия  $\gamma$ -перехода,  $\Gamma_{\lambda \gamma f}^{(j)}$  - парциальная радиационная ширина перехода из резонанса  $\lambda$  со спином  $J$  на уровень  $f$  и  $D_j$  - среднее расстояние между резонансами с фиксированным значением  $J^{\pi}$ .

Далее излагаются основные идеи модели Акселя-Бринка. В этой модели учтена связь парциальных радиационных ширин со сглаженным по энергии сечением фотопоглощения. Формулируется гипотеза Бринка о наличии одинаковых ГДЭР, построенных над каждым состоянием ядра. Изложены все предположения модели, в том числе и предположение о независимости РСФ от спина резонансов. Приводится выражение для ожидаемого значения РСФ EI-переходов:

$$\bar{S}_{\gamma f, EI}(E_{\gamma}) = \frac{\sigma_{\gamma abs}(E_{\gamma})}{3(\pi \hbar c)^2 E_{\gamma}}, \quad (2)$$

где  $\sigma_{\gamma abs}(E_{\gamma})$  - сглаженное по энергии сечение фотопоглощения, экстраполированное в район  $E_{\gamma} \leq R_n$  ( $R_n$  - энергия связи нейтрона).

Далее кратко изложены свойства ГДЭР. Обычно зависимость от  $E_{\gamma}$  сечения ГДЭР описывают с помощью лоренциана в сферических ядрах или суммы двух лоренцианов в деформированных ядрах, соответствующих продольным и поперечным колебаниям заряда в ядре. Сделан обзор экспериментальных и теоретических работ, посвященных изучению РСФ, и рассмотрены аспекты, в которых экспериментальное изучение РСФ в изотопах с  $A = 148 + 177$  с помощью реакции  $(n, \gamma)$  может дать существенно новую информацию.

**Во второй главе** представлена методика определения парциальных радиационных ширин. Она основана на определении абсолютных интенсивностей (ОАИ) некоторых  $\gamma$ -переходов в отдельных резонансах и на последующей нормировке набора относительных интенсивностей переходов в изолированных резонансах.

Метод ОАИ состоит в количественном сопоставлении двух спектров по времени пролета, полученных одновременно. Первый спектр характеризует выход  $\gamma$ -квантов выбранного перехода в изучаемой реакции  $(n, \gamma)$ , а второй - выход  $\gamma$ -квантов с энергией 477 кэВ из распада возбужденных

ядер  ${}^7\text{Li}^{\#}$  - продуктов реакции  ${}^{10}\text{B}(n, \alpha)$ . Второй спектр является, по существу, спектром пропускания нейтронов через слой, содержащий изучаемый изотоп. Геометрия эксперимента показана на рис. 1, где размеры образца должны быть больше, чем поперечное сечение пучка. Площадь "резонансного провала" во втором спектре дает информацию о числе нейтронов, захваченных изотопом в резонансе.

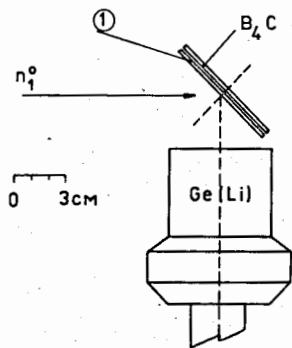


Рис. 1. Схема эксперимента. I - слой, содержащий изучаемый изотоп.

Абсолютная интенсивность определяется по формуле

$$I_{\text{abs}}^{\#} = \frac{A_{\gamma}}{A_{\alpha\gamma}} \frac{\eta(477) a_{\alpha\gamma}}{\eta(E_{\gamma})} \cdot \epsilon \cdot P, \quad (3)$$

где  $A_{\gamma}$  и  $A_{\alpha\gamma}$  - экспериментальные величины суммарных отсчетов по  $\gamma$ -пику перехода исследуемого изотопа в резонансе и в области резонансного провала в спектре  $\gamma$ -лучей с энергией 477 кэВ соответственно;  $\eta(477)/\eta(E_{\gamma})$  - отношение эффективностей детектора для энергии 477 кэВ из распада ядер  ${}^7\text{Li}^{\#}$  и для энергии  $E_{\gamma}$  изучаемого перехода;  $a_{\alpha\gamma}$  - относительное количество ядер  ${}^7\text{Li}^{\#}$ , образовавшихся в реакции  ${}^{10}\text{B}(n, \alpha){}^7\text{Li}$ ;  $\epsilon$  - отношение числа нейтронов, захваченных в  ${}^{10}\text{B}$ , к полному числу нейтронов, испытывающих взаимодействие в слое бора;  $P$  - поправка, связанная с учетом многократных процессов. Для получения произведения  $\epsilon \cdot P$  используется моделирование методом Монте-Карло прохождения нейтронов в двухслойном образце. Основные черты этого моделирования также изложены в диссертации.

В конце второй главы приводится пример получения абсолютных интенсивностей.

В третьей главе приведены результаты ОАИ, использованные для определения РСФ. Все измерения проводились на реакторе ИБР-30 в ДНФ ОИЯИ. Сводка результатов измерений представлена в таблице I. Для получения парциальных радиационных ширин и их применения в выражении (1) использовалась, в основном, нормировка на интенсивности жестких первичных переходов, приведенные в таблице I.

Экспериментальное среднее значение РСФ получалось из усреднения по конечным уровням

$$S_{\text{exp}}(J) = \left\langle S_{\text{sf}}^{(j)}(E_{\gamma}) \right\rangle_f. \quad (4)$$

Таблица I. Абсолютные интенсивности некоторых переходов, полученные экспериментально для определения РСФ ядер-продуктов реакции  $(n, \gamma)$ .

Ядро-продукт	$E_{\gamma}$ (кэВ)	$E_{\lambda}$ (эВ)	$J^{\pi}$	$I_{\text{abs}}^{\#}$ $\gamma$ -квантов/100 нейтр.
${}^{148}\text{Sm}$	611	3,4	$3^{-}$	$21,8 \pm 1,7$
	6246	3,4	$3^{-}$	$1,77 \pm 0,28$
	611	18,3	$4^{-}$	$17,9 \pm 2,1$
${}^{150}\text{Sm}$	7213	0,0974	$4^{-}$	$1,0 \pm 0,1$
	6016	0,872	$4^{-}$	$0,46 \pm 0,13$
${}^{155}\text{Gd}$	5984	22,33	$1/2^{+}$	$2,64 \pm 0,26$
${}^{157}\text{Gd}$	410	33,23	$1/2^{+}$	$13,6 \pm 0,6$
	5565,9	33,23	$1/2^{+}$	$4,63 \pm 0,45$
	5630,7			
	5658,3			
5886,0				
${}^{174}\text{Yb}$	7387	4,51	$3^{-}$	$3,55 \pm 0,87$
	5831	17,6	$2^{-}$	$3,31 \pm 0,85$
	5841			
${}^{176}\text{Lu}$	5246	2,59	$4^{+}$	$1,01 \pm 0,26$
	5446	5,22	$3^{+}$	$3,02 \pm 0,60$
${}^{177}\text{Lu}$	5770	1,565	$15/2^{-}$	$0,76 \pm 0,25$

Для  ${}^{148}\text{Sm}$  усреднялись 32 перехода по I2 резонансам с  $J^{\pi} = 3^{-}$  и 26 переходов по II резонансам с  $J^{\pi} = 4^{-}$ . Были получены значения  $S_{\text{exp}}(3) = (0,47 \pm 0,12) \cdot 10^{-7} \text{ МэВ}^{-3}$  и  $S_{\text{exp}}(4) = (0,43 \pm 0,10) \cdot 10^{-7} \text{ МэВ}^{-3}$ . На рис. 2 представлена зависимость РСФ от энергии для  ${}^{148}\text{Sm}$ . Плавная кривая получена из выражения (2). Также приведены точки значений РСФ, близких к порогу испускания нейтронов, из опубликованной работы по реакции  $(\gamma, n)$ . Ступенчатая кривая представляет собой значение РСФ, вычисляемое по формуле из работы  $\#$ ). Полоса указывает область, в которой лежат точки настоящей работы, для переходов из реакции  $(n, \gamma)$  на возбужденные состояния с энергиями до  $E_{\gamma} \approx 3 \text{ МэВ}$ . Во врезке показаны точки экспериментальных значений РСФ для переходов на состояния

$\#$  Каменский С.Г. и др.-ЯФ, 1983, т.37, с.277-283.

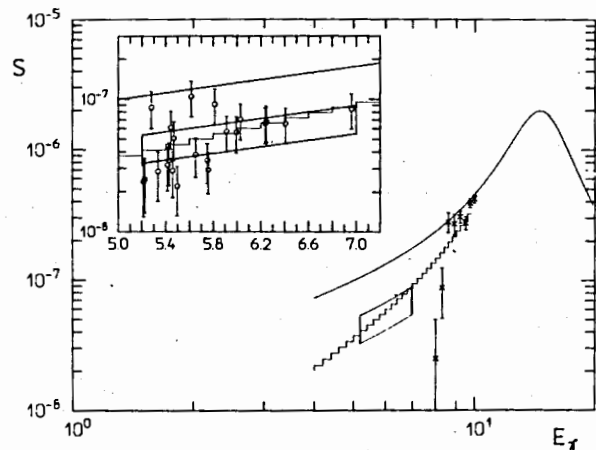


Рис. 2. РСФ ядра  $^{148}\text{Sm}$  в  $\text{МэВ}^{-3}$  в зависимости от энергии  $\gamma$ -переходов в  $\text{МэВ}$ .

со спином 3 или 4. Результаты, показанные на рис. 2, указывают на то, что значения РСФ лежат ниже, чем ожидаемое значение по лоренцевской экстраполяции ГДЭР, и хорошо согласуются с расчетами работы  $\text{ж}$ ). Близость между результатами  $S_{\text{exp}}(3)$  и  $S_{\text{exp}}(4)$  совместима с предположением о спиновой независимости РСФ.

Для ОАИ переходов в реакции  $^{149}\text{Sm}(n, \gamma)^{150}\text{Sm}$  делалась серия экспериментов. В двух экспериментах применялся метод, описанный во второй главе с использованием слоя  $\text{B}_4\text{C}$  - в первом эксперименте и  $\text{NaCl}$  для жестких переходов - во втором. Кроме того, был использован метод одновременного измерения захвата нейтронов в двух расположенных рядом параллельных мишенях одинаковой площади: в одной мишени  $^{149}\text{Sm}_2\text{O}_3$ , в другой -  $\text{B}_4\text{C}$ . Эксперимент с параллельными мишенями проводился на тепловых нейтронах. Выход  $\gamma$ -квантов с энергией 477 кэВ из реакции нейтронов на боре пересчитывался на число захваченных нейтронов в мишени  $^{149}\text{Sm}_2\text{O}_3$ . Результаты этих трех измерений были совместимы с опубликованными ранее данными относительных интенсивностей в изолированных резонансах.

Из этих данных было получено  $S_{\text{exp}}(4) = (1,1 \pm 0,2) \cdot 10^{-7} \text{ МэВ}^{-3}$  из усреднения 13 переходов по 7 резонансам. Получена также зависимость РСФ от энергии  $E_\gamma$  для  $^{150}\text{Sm}$ , которая представлена на рис. 3. Обозначения те же, что и для рис. 2. Во врезке показаны 13 переходов из резонансов с  $J^\pi = 4^-$ . Как и в случае  $^{148}\text{Sm}$ , из этого рисунка видно,

$\text{ж}$ ) См. сноску на с.5.

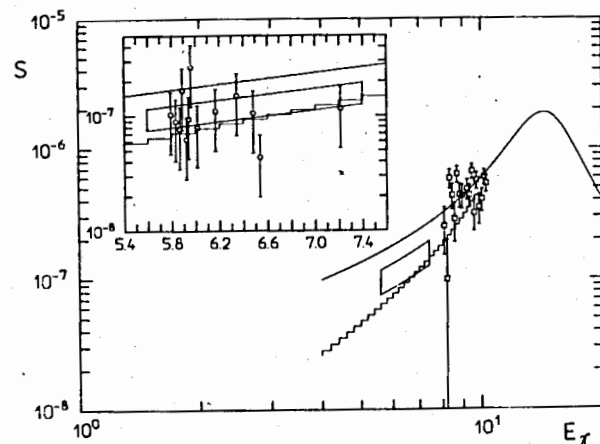


Рис. 3. РСФ ядра  $^{150}\text{Sm}$  в  $\text{МэВ}^{-3}$  в зависимости от энергии  $\gamma$ -переходов в  $\text{МэВ}$ .

что точки реакции  $(n, \gamma)$  находятся ниже ожидаемого значения по лоренцевской экстраполяции ГДЭР. Достоверное занижение РСФ ядер  $^{148}\text{Sm}$  и  $^{150}\text{Sm}$  указывает на связь этого эффекта со сферичностью околomagических ядер с  $N \approx 82$  и на справедливость теории авторов  $\text{ж}$ ) для описания РСФ сферических немагических ядер.

Для получения РСФ из реакции  $^{152}\text{Gd}(n, \gamma)$  брались опубликованные данные о распаде резонансов. Малое обогащение изотопа  $^{152}\text{Gd}$  в естественной смеси изотопов гадолиния не позволяло провести ОАИ разработанным нами методом. Использовалось для абсолютизации условие 100% заселенности основного состояния, и по опубликованным данным усреднялись 17 переходов по 5 резонансам. Верхняя оценка РСФ получилась равной  $S_{\text{exp}}(1/2) = (1,05^{+0,27}_{-0,36}) \cdot 10^{-7} \text{ МэВ}^{-3}$ .

Для  $^{155}\text{Gd}$  усреднялись 8 первичных переходов на уровни с известной структурой по 15 изолированным резонансам. В результате получилось  $S_{\text{exp}}(1/2) = (0,92 \pm 0,21) \cdot 10^{-7} \text{ МэВ}^{-3}$ . Значения РСФ  $^{153}, ^{155}\text{Gd}$  хорошо согласуются с предсказаниями по модели экстраполяции ГДЭР с лоренцевской формой.

Далее в третьей главе проводятся результаты анализа данных по реакции  $^{156}\text{Gd}(n, \gamma)^{157}\text{Gd}$ . Измерения проводились на реакторе ИБР-30, работающем в сочетании с ускорителем электронов ЛУЭ-40. Изучались вторичные  $\gamma$ -переходы в резонансе 33,23 эВ, первичные  $\gamma$ -переходы из 14

$\text{ж}$ ) См. сноску на с.5.

изолированных резонансов и проводилось ОАИ  $\gamma$ -переходов из резонанса 33,23 эВ методом, описанным во второй главе. Использовалась информация из реакции  $^{157}\text{Gd} (n, n' \gamma) ^{157}\text{Gd}$  на быстрых нейтронах.

В диссертации приводятся энергии и относительные интенсивности 100 низкоэнергетических  $\gamma$ -переходов, наблюдаемые совместно в резонансе 33,23 эВ реакции  $^{156}\text{Gd} (n, \gamma) ^{157}\text{Gd}$  и в реакции  $^{157}\text{Gd} (n, n' \gamma) ^{157}\text{Gd}$ .

Проведен анализ усредненных по I4 резонансам приведенных интенсивностей 48 достоверных первичных  $\gamma$ -переходов, на основе которого установлено, что I4 переходов являются EI-переходами и II являются MI-переходами с достоверностью 99,9% или больше, а с достоверностью 99% определены три EI- и семь MI-переходов. Отсюда следует четность уровней, на которые идут эти первичные переходы.

Приведена новая схема уровней  $^{157}\text{Gd}$ . В схему включены 10 первичных и 78 вторичных  $\gamma$ -переходов, наблюдаемых в наших экспериментах.

PCФ для  $^{157}\text{Gd}$  определялась по набору парциальных радиационных ширин из I4 резонансов и 6 переходов на уровни со структурой, известной из литературы. Получилось  $S_{\text{exp}} (I/2) = (1,18 \pm 0,25) \cdot 10^{-7} \text{ МэВ}^{-3}$ , что хорошо согласуется с ожидаемым из экстраполяции  $\sigma_{\lambda \text{ abs}}^{\text{Lor}} (E_{\gamma})$  по лоренцевским кривым.

Далее в третьей главе приведен анализ результатов изучения PCФ ядер  $^{174}\text{Yb}$ ,  $^{176}\text{Lu}$  и  $^{177}\text{Lu}$ .

Набор парциальных радиационных ширин в реакции  $^{173}\text{Yb} (n, \gamma) ^{174}\text{Yb}$  состоял из I7 переходов в 9 резонансах с  $J^{\pi} = 2^{-}$  и 25 переходов в I4 резонансах с  $J^{\pi} = 3^{-}$ . Средние значения PCФ получились  $S_{\text{exp}} (2) = (1,5 \pm 0,7) \cdot 10^{-7} \text{ МэВ}^{-3}$  и  $S_{\text{exp}} (3) = (1,6 \pm 0,7) \cdot 10^{-7} \text{ МэВ}^{-3}$ . Отсюда вытекает совместимость с гипотезой о независимости PCФ для  $^{174}\text{Yb}$  от спина резонансов. Результаты также имеют согласие с моделью экстраполяции ГДЭР лоренцианами. Для всех ядер, для которых проводилось изучение PCФ в настоящей работе, вводился параметр

$$Q(J) = \left\langle \frac{3(\pi \hbar c)^2}{E_{\gamma}^2 \sigma_{\text{GDR}}(E_{\gamma})} \frac{\Gamma_{\lambda \pi f}^{(J)}}{D_J} \right\rangle_{\lambda, f}, \quad (5)$$

где  $\sigma_{\text{GDR}}(E_{\gamma})$  - сечение ГДЭР в форме лоренциана для сферических ядер и суммы двух независимых лоренцианов для деформированных. В случае совместимости с моделью Акселя-Бринка  $Q = 1$ .

В реакции  $^{173}\text{Yb} (n, \gamma) ^{174}\text{Yb}$  делалось усреднение по разным наборам парциальных ширин. Известно, что ширины  $\Gamma_{\lambda \pi f}$  переходов в этой реакции на уровне с двухквaziчастичной структурой скоррелированы с приведенными нейтронными ширинами  $\Gamma_{\lambda n}^0$ . Значение  $Q$ , усредненное по переходам из резонансов с  $J^{\pi} = 2^{-}$  на эти уровни, оказалось увеличен-

ным по сравнению со значением  $Q$ , полученным при усреднении по переходам, идущим на остальные уровни с известной структурой. Кроме того, была получена некоррелированная часть  $Q^{(r)}$  коррелированных переходов. Для группы переходов, идущих из резонансов со спином  $J^{\pi} = 2^{-}$ , получилось  $Q^{(r)}$  достоверно ниже 1. Результаты для ширин переходов резонансов с  $J^{\pi} = 3^{-}$  не противоречат результатам из резонансов с  $J^{\pi} = 2^{-}$ . Занижение значения  $Q^{(r)}$  некоррелированной части коррелированных переходов противоречит обычному предположению о строго случайной фрагментации ГДЭР по нейтронным резонансам.

ОАИ в реакциях  $^{175,176}\text{Lu} (n, \gamma) ^{176,177}\text{Lu}$  проводилось на мишени с естественной смесью изотопов  $\text{Lu}_2\text{O}_3$ . Парциальные радиационные ширины для 5 резонансов  $^{175}\text{Lu}$  с  $J^{\pi} = 4^{+}$  получены для I6 переходов, а для 7 резонансов с  $J^{\pi} = 3^{+}$  - для I4 переходов. В случае 6 резонансов  $^{176}\text{Lu}$  с  $J^{\pi} = 15/2^{-}$  усреднялись I5 переходов. Из выражения (4) для ядра-продукта  $^{176}\text{Lu}$  получилось  $S_{\text{exp}} (3) = (1,3 \pm 0,4) \cdot 10^{-7} \text{ МэВ}^{-3}$  и  $S_{\text{exp}} (4) = (1,6 \pm 0,6) \cdot 10^{-7} \text{ МэВ}^{-3}$ . Эти значения совместимы с гипотезой о независимости PCФ от спина резонансов. PCФ ядра-продукта  $^{177}\text{Lu}$  была получена для резонансов с  $J^{\pi} = 15/2^{-}$ . Оказалось  $S_{\text{exp}} (15/2) = (2,4 \pm 1,0) \cdot 10^{-7} \text{ МэВ}^{-3}$ . Величины  $S_{\text{exp}}$  для  $^{176}\text{Lu}$  и  $^{177}\text{Lu}$  не противоречат предположению об экстраполяции  $\sigma_{\lambda \text{ abs}}^{\text{Lor}} (E_{\gamma})$  по лоренцевским кривым. В реакции  $^{176}\text{Lu} (n, \gamma) ^{177}\text{Lu}$  наблюдалось усиление интенсивностей первичных переходов, для которых раньше было определено, что их парциальные ширины  $\Gamma_{\lambda \pi f}$  скоррелированы с приведенными ширинами  $\Gamma_{\lambda n}^0$ .

В конце третьей главы проведен общий анализ поведения PCФ EI-переходов в области  $E_{\gamma} \sim B_{\pi}$  ядер с  $A = 148 + 177$ . В таблице 2 приведены значения PCФ, полученные в настоящей работе, с помощью значений  $S_{\text{exp}}$  из выражения (4). Для сравнения с теоретическими предположениями приведены значения параметра квадрупольной деформации  $\beta_2$ , значения PCФ по определению  $K_{\text{EI}} = \langle \Gamma_{\lambda \pi f} \rangle_{\lambda} / (D_J A^{2/3} B_{\pi}^3)$  и  $S_{\text{EI}} = \langle \Gamma_{\lambda \pi f} \rangle_{\lambda} / (D_J A^{8/3} B_{\pi}^3)$ , значения параметра  $Q$  из выражения (5) и  $Q$  с использованием ожидаемого значения для сферических немагических ядер из работы  $\text{Ж}^*)$ . В столбцах 4, 5 и 6, кроме значений  $K_{\text{EI}}$ ,  $S_{\text{EI}}$  и  $Q$ , полученных в настоящей работе, приведены данные для других ядер в этой области массовых чисел, взятые из литературы. В основном результаты совместимы с моделью Акселя-Бринка с лоренцевской формой ГДЭР для деформированных ядер, однако не совместимы для переходных, для которых наблюдается занижение PCФ в разумной мере объясняется усовершенствованной моделью из работы  $\text{Ж}^*)$ . Эта модель справедлива лишь для околомагических ядер. Недостатком существующей теории является отсутствие

$\text{Ж}^*)$  См. сноску на с.5.

Таблица 2. Поведение РСФ в области переходных и деформированных ядер.

Изотоп	$\beta_2$	$S_{exp}$ $10^{-7} \text{МэВ}^{-3}$	$K_{EI}$ $10^{-9} \text{МэВ}^{-3}$	$S_{E1}$ $10^{-15} \text{МэВ}^{-5}$	$q$	$\tilde{q}$
$^{144}\text{Nd}$	0, III	-	-	-	$0,43 \pm 0,04^a)$	
$^{146}\text{Nd}$	0, I6I	-	-	-	$0,22 \pm 0,02^a)$	
$^{148}\text{Sm}$	0, I58	$0,45 \pm 0,09$	$1,6 \pm 0,3$	$2,2 \pm 0,4$	$0,36 \pm 0,08$	$0,90 \pm 0,2I$
$^{150}\text{Sm}$	0, I90	$1,1 \pm 0,2$	$3,9 \pm 0,7$	$4,6 \pm 0,8$	$0,60 \pm 0,13$	$1,37 \pm 0,29$
$^{153}\text{Gd}$	0, I65 <sup>б)</sup>	$1,05 \pm 0,27$ $-0,38$	$3,7 \pm 0,9$ $-1,3$	$5,1 \pm 1,3$ $-1,8$	$1,43 \pm 0,37$ $-0,51$	
$^{155}\text{Gd}$	0, 304 <sup>в)</sup>	$0,92 \pm 0,2I$	$3,2 \pm 0,7$	$3,8 \pm 0,9$	$1,04 \pm 0,22$	
$^{157}\text{Gd}$	0, 339 <sup>г)</sup>	$1,18 \pm 0,25$	$4,1 \pm 0,9$	$5,0 \pm 1,1$	$1,26 \pm 0,27$	
$^{168}\text{Er}$	0, 339	-	$4,9 \pm 0,5^д)$	$4,6 \pm 0,5^д)$	$0,85 \pm 0,08^a)$	
$^{174}\text{Yb}$	0, 3I7	-	$6,7 \pm 1,1^e)$	$5,5 \pm 0,9^e)$	$0,85 \pm 0,14^a)$	
$^{174}\text{Yb}$	0, 3I7	$1,55 \pm 0,63$	$5,0 \pm 2,0$	$5,15 \pm 2,1$	$0,93 \pm 0,38$	
$^{176}\text{Lu}$	0, 299 <sup>ж)</sup>	-	$2,5 \pm 1,5^з)$	$2,5 \pm 1,5^з)$	$0,65 \pm 0,30^з)$	
$^{176}\text{Lu}$	0, 299 <sup>ж)</sup>	$1,55 \pm 0,50$	$4,9 \pm 1,6$	$5,2 \pm 1,7$	$1,3 \pm 0,4$	
$^{177}\text{Lu}$	0, 273 <sup>и)</sup>	$2,4 \pm 1,0$	$7,2 \pm 3,0$	$7,6 \pm 3,2$	$1,9 \pm 0,8$	
$^{178}\text{Hf}$	0, 273	-	$5,8 \pm 1,3^к)$	$4,8 \pm 1,0^к)$	$1,20 \pm 0,25^з)$	

Примечания: Значения столбца 2 из Stelson P. et al. Nuclear Data, 1965, v. 1, No 1, p. 21-102.

а) не приведена ошибка абсолютизации. Значения из Raman S.-In: Neutron-Capture  $\gamma$ -Ray Spectroscopy and Related Topics 1981. Inst. Phys. Conf. Series No 62, 1982, p. 357-374.

б)  $\beta_2$   $^{152}\text{Gd}$ ,

в)  $\beta_2$   $^{154}\text{Gd}$ ,

г)  $\beta_2$   $^{156}\text{Gd}$ ,

д) Kahane S. et al. - Phys. Rev., 1984, v. 30C, No 3, p. 2315-2328.

е) Shahal O. et al. - Phys. Rev., 1982, v. 25C, No 3, p. 1283-1295.

ж)  $\beta_2$   $^{176}\text{Hf}$ ,

з) McCullagh C.M. et al. - Phys. Rev., 1981, v. 23C, No 4, p. 1394-1403.

и)  $\beta_2$   $^{178}\text{Hf}$

к) Stefanon M. et al. - Nucl. Phys. 1977, v. 281A, No 2, p. 240-260.

общей модели, способной описать поведение РСФ в широком диапазоне A, охватывающем сферические и деформированные ядра, где, например, играл бы роль параметр деформации.

## Заключение

На защиту выдвигаются следующие основные результаты, полученные в диссертации:

1. Разработан метод определения абсолютных интенсивностей  $\gamma$ -переходов, основанный на сопоставлении двух спектров по времени пролета, полученных одновременно: спектра захвата нейтронов изучаемым изотопом и спектра пропускания нейтронов через изотоп, регистрируемого с помощью реакции с  $^{10}\text{B}$ .

2. Впервые измерены абсолютные интенсивности ряда  $\gamma$ -переходов из реакции  $(n, \gamma)$  непосредственно в резонансах ядер  $^{147,149}\text{Sm}$ ,  $^{154,156}\text{Gd}$ ,  $^{173}\text{Yb}$  и  $^{175,176}\text{Lu}$ .

3. Впервые определена РСФ EI-переходов в области  $E_\gamma \sim B_n$  изотопов  $^{148}\text{Sm}$ ,  $^{153,155,157}\text{Gd}$  и  $^{177}\text{Lu}$ .

4. В изотопах  $^{148}\text{Sm}$ ,  $^{174}\text{Yb}$  и  $^{176}\text{Lu}$  впервые определены РСФ отдельно для двух значений спина резонансов. В этих ядрах-продуктах наблюдалась в пределах 30% экспериментальной погрешности совместимость результатов с теоретическим предположением о независимости РСФ от спина резонансов.

5. Подтверждена применимость модели ГДЭР с лоренцевской формой для деформированных ядер  $^{153,155,157}\text{Gd}$ ,  $^{174}\text{Yb}$  и  $^{176,177}\text{Lu}$ .

6. Подтверждено в  $^{148,150}\text{Sm}$  наблюдавшееся ранее занижение значения РСФ для сферических немагических ядер по сравнению с предсказаниями модели Акселя-Бринка при экстраполяции ГДЭР по лоренцевским кривым. Предлагается объяснение РСФ в этих ядрах в рамках описания Капменского, Маркушева и Фурмана.

7. Впервые изучена реакция  $^{156}\text{Gd}(n, \gamma)^{157}\text{Gd}$  в изолированных резонансах. Определены энергия и приведенные интенсивности 48 первичных переходов и четность 35 уровней  $^{157}\text{Gd}$ , на которые идут эти первичные переходы.

8. Объединение результатов изучения реакций  $^{156}\text{Gd}(n, \gamma)^{157}\text{Gd}$  и  $^{157}\text{Gd}(n, n'\gamma)^{157}\text{Gd}$  позволило идентифицировать 100 вторичных  $\gamma$ -переходов. Определены энергия и интенсивность этих переходов.

На основе результатов изучения этих реакций предлагается новая схема уровней  $^{157}\text{Gd}$ , в которую включены 10 первичных и 78 вторичных переходов.

9. При анализе значений парциальных радиационных ширин, коррелированных с приведенными нейтронными ширинами, в реакциях  $^{173}\text{Yb}(n, \gamma)^{174}\text{Yb}$  и  $^{176}\text{Lu}(n, \gamma)^{177}\text{Lu}$  обнаружено нарушение механизма случайной фрагментации ГДЭР по резонансам для коррелированных переходов. Для объяснения низкого значения некоррелированной части РСФ для коррелиро-

ванных переходов можно предположить, что вклад от ГДЭР не всегда распределен хаотично по резонансам.

### Литература

1. Бечварж Ф., Монтеро-Кабрера М.Э., Поспишил С., Тележников С.А. Определение абсолютных интенсивностей  $\gamma$ -переходов в нейтронных резонансах. - ЯФ, 1986, т.44, вып. I(7), с.3-9.
2. Бечварж Ф., Монтеро-Кабрера М.Э., Риголь Х., Тележников С.А., Хоанг Тьонг Хиен. Изучение радиационной силовой функции ядер  $^{148}\text{Sm}$  и  $^{150}\text{Sm}$ . - Дубна, 1986 - 10 с (Препринт/Объединенный институт ядерных исследований.: РЗ-86-479).
3. Бечварж Ф., Монтеро-Кабрера М.Э., Тележников С.А., Хоанг Тьонг Хиен. Определение радиационной силовой функции ядер  $^{176}\text{Lu}$  и  $^{177}\text{Lu}$ . - Дубна, 1986 - II с. (Препринт/Объединенный институт ядерных исследований.: РЗ-86-559).
4. Бечварж Ф., Гонзатко Я., Монтеро-Кабрера М.Э., Тележников С.А., Хоанг Тьонг Хиен. Изучение радиационной силовой функции ядра  $^{174}\text{Yb}$  с помощью реакции  $(n, \gamma)$  в изолированных резонансах. - Дубна, 1986 - II с. (Препринт/Объединенный институт ядерных исследований.: РЗ-86-587).
5. Бечварж Ф., Гонзатко Я., Кралик М., Монтеро-Кабрера М.Э., Нгуен Данг Нюан, Тележников С.А. Определение силовой радиационной функции ядра  $^{155}\text{Gd}$  на основании данных из реакции  $^{154}\text{Gd}(n, \gamma)^{155}\text{Gd}$ . - В кн.: Нейтронная физика: Материалы 6-й Всесоюз. конф. по нейтронной физике. Том 3. - М.: ЦНИИАтоминформ, 1984, с.8-II.
6. Бечварж Ф., Кралик М., Монтеро-Кабрера М.Э., Нгуен Данг Нюан, Тележников С.А., Бондаренко В.А., Прокофьев П.Т., Резвая Г.Л. Уровни  $^{157}\text{Gd}$ , возбуждаемые в реакции  $(n, n' \gamma)$  и в реакции  $^{156}\text{Gd}(n, \gamma)^{157}\text{Gd}$  в отдельных резонансах. - В кн.: Ядерная спектр. и струк. атом. ядра. Тез. докладов XXXV Сопешания. - Л.: Наука, 1985, с.106.
7. Бечварж Ф., Монтеро-Кабрера М.Э., Тележников С.А., Хоанг Тьонг Хиен. Определение радиационной силовой функции в изотопах  $\text{Sm}$  и  $\text{Gd}$  на основе реакции  $(n, \gamma)$ . - В кн.: Ядерная спектр. и струк. атом. ядра. Тез. докладов XXXVI Сопешания. - Л.: Наука, 1986, с.306.

Рукопись поступила в издательский отдел  
3 апреля 1987 года.