

УДК 539.172.4

ОПИСАНИЕ СПИНОВОЙ ЗАВИСИМОСТИ p -ВОЛНОВОГО РАССЕЯНИЯ НЕЙТРОНОВ НА СФЕРИЧЕСКИХ ЯДРАХ В ДВУХ-ФОНОННОМ ПРИБЛИЖЕНИИ МЕТОДА СВЯЗАННЫХ КАНАЛОВ

© 2020 г. В. М. Скоркин*

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт ядерных исследований Российской академии наук, Москва, Россия*

*E-mail: skorkin@inr.ru

Поступила в редакцию 02.03.2020 г.

После доработки 15.04.2020 г.

Принята к публикации 27.04.2020 г.

Проведен анализ спиновой зависимости p -волнового рассеяния нейтронов сферическими ядрами в области $A \approx 60–130$. Спин-орбитальное расщепление $3p$ -максимума нейтронной силовой функции описано в рамках двух-фононного приближения метода связанных каналов. Сечение неупругого рассеяния нейтронов через составное ядро сравнимо с сечением прямого возбуждения коллективных состояний при энергии ~ 1 МэВ.

DOI: 10.31857/S0367676520080104

ВВЕДЕНИЕ

Экспериментальное исследование рассеяния нейтронов низкой энергии ~ 1 МэВ на четно-четных ядрах в области массовых чисел $A \approx 60–130$ выявило структуру в усредненных сечениях и силовых функциях. Эта структура обусловлена резонансами формы нейтрон-ядерного рассеяния (вблизи $3p$ -максимума нейтронной силовой функции), а также локальным усилением одночастично-фононной связи при увеличении

динамической деформации ядер. Средние нейтронные сечения и силовые функции ядер в области $3p$ -резонанса можно описать оптической моделью со связью каналов с возбуждением одночастично-вибрационных состояний различной конфигурации при неупругом рассеянии нейтронов [1]. Обобщенная оптическая модель, учитывающая связь входного канала с 2^+ -фононными коллективными состояниями описывает полное сечение и p -нейтронные силовые функции в области $A \approx 60–130$ (рис. 1).

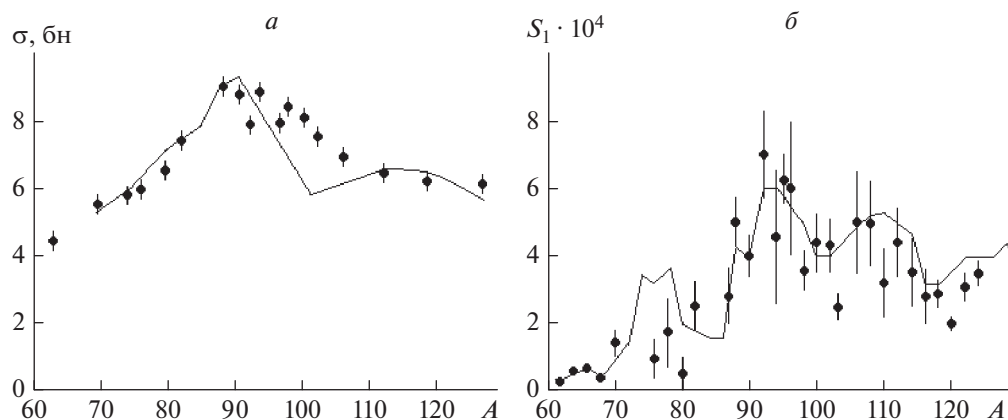


Рис. 1. Описание обобщенной оптической моделью полных нейтронных сечений (а) и силовой функции p -волнового рассеяния нейтронов (б) на четно-четных ядрах в области $A \approx 60–130$ [1]. Точки — экспериментальные значения; сплошные кривые — расчет по методу связанных каналов.

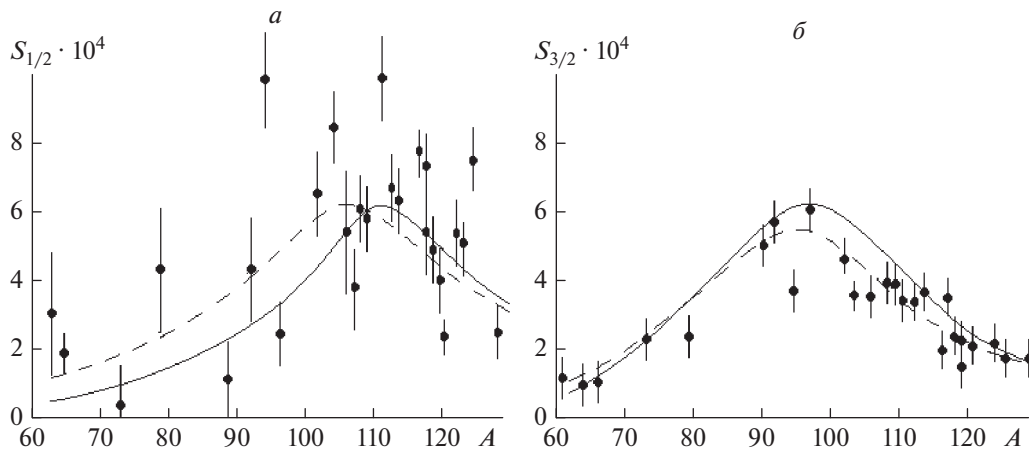


Рис. 2. Описание p -нейтронных силовых функций $S_{1/2}$ (а) и $S_{3/2}$ (б) четно-четных ядер с $A \approx 60-130$ в рамках ДФМСК. Точки — экспериментальные значения; штриховые линии — аппроксимация экспериментальных данных кривыми Лоренца [8]; сплошные кривые — расчет по ДФМСК.

Структура в массовой зависимости p -силовой функции была исследована в ряде работ [2–5], в которых определялась величина спин-орбитального расщепления $3p$ -максимума нейтронной силовой функции и проводилось сравнение спин-орбитального расщепления с модельными расчетами.

1. АНАЛИЗ СПИН-ОРБИТАЛЬНОГО РАССЧЕПЛЕНИЯ $3p$ -МАКСИМУМА НЕЙТРОННОЙ СИЛОВОЙ ФУНКЦИИ

Ранее был разработан метод аппроксимации дифференциальных сечений упругого рассеяния нейтронов, в котором однозначно определяются пять параметров резонансного и потенциального s - и p -волнового рассеяния: радиусы потенциального рассеяния (R_0 , R_1) и силовые функции (S_0 , $S_{1/2}$, $S_{3/2}$) [6]. Используя этот метод мы, получили экспериментальные значения $p_{1/2}$ - и $p_{3/2}$ -силовых функций ($S_{1/2}$ и $S_{3/2}$) для более чем 20 ядер в области $3p$ -максимума нейтронной силовой функции. Максимальные экспериментальные значения $S_{1/2}$ и $S_{3/2}$ расположены примерно при $A \cong 107$ и $A \cong 95$ соответственно. Экспериментальное спин-орбитальное расщепление $3p$ -резонанса составляет при этом $\Delta A = 12 \pm 4$, что в 2 раза превышает спин-орбитальное расщепление связанных одночастичных состояний в модели оболочек ($\Delta A = 5-8$).

Приемлемое описание положения пиков $S_{1/2}$ и $S_{3/2}$ нейтронных силовых функций было получено с помощью многофононного варианта метода связанных каналов (ДФМСК) [7]. Эта модель использует оболочечный потенциал с мнимой частью в виде поверхностного поглощения и учитывает более пяти 2^+ -фононных состояний, возбуж-

даемых при рассеянии быстрых нейтронов на сферических ядрах.

Рассчитанные по МФМСК значения силовых функций $S_{1/2}$ и $S_{3/2}$ близки к экспериментальным величинам. В то же время расстояние между максимумами рассчитанных $S_{1/2}$ и $S_{3/2}$ ($\Delta A \approx 17$) заметно больше, чем экспериментальная величина спин-орбитального расщепления $3p$ -максимума нейтронной силовой функции. Это различие авторы работы [7] объясняют сдвигом максимумов p -нейтронных силовых функций из-за разной динамической деформации ядра в возбужденных состояниях с разным числом фононов и соответственно разной силой связи нейтрон- 2^+ -фонон. В модели МФМСК величина одночастично-фононной связи не зависит от числа фононов и определяется параметром квадрупольной деформации ядра для однофононного состояния.

2. СОПОСТАВЛЕНИЕ РАССЧИТАННЫХ В РАМКАХ ДВУХФОНОННОГО ПРИБЛИЖЕНИЯ p -НЕЙТРОННЫХ СИЛОВЫХ ФУНКЦИЙ С ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМИ

В нашей работе проведено описание p -нейтронных силовых функций $S_{1/2}$ и $S_{3/2}$ для четно-четных ядер с $A \approx 60-130$ в рамках двухфононного приближения метода связанных каналов (ДФМСК) (рис. 2). Экспериментальные значения $S_{1/2}$ и $S_{3/2}$ силовых функций сильно флуктуируют, поэтому они были аппроксимированы кривыми Лоренца [8].

Модель ДФМСК учитывает связь входных состояний с вибрационными коллективными состояниями $0^+-2^+-0^+-2^+-4^+$. При модельных расчетах действительная часть ядерного потенциала бралась

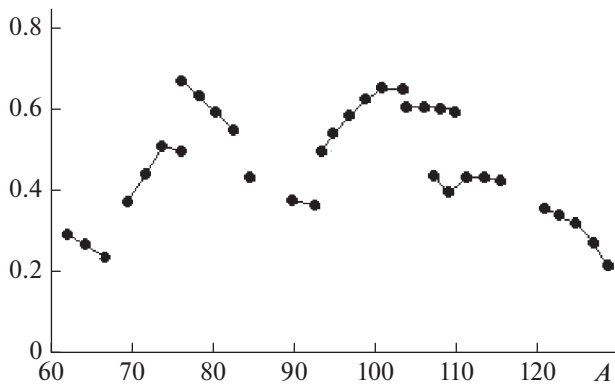


Рис. 3. Зависимость отношения сечения прямой реакции к флуктуационному сечению σ_{FL} при неупругом рассеянии нейтронов с энергией ~ 1 МэВ на чётно-чётных ядрах с $A \approx 60$ –130.

в форме Вудса–Саксона с параметрами $V_0 = 53$ МэВ и $r_0 = 1.22$ фм. Мнимая часть – потенциал поверхностного поглощения – имел амплитуду $W = 2$ МэВ [9], потенциал симметрии – $V_0 = 22$ МэВ, а спин-орбитальный потенциал – $V_{SO} = 8$ МэВ. Связь каналов определялась деформацией ядерного поля и соответствовала экспериментальным значениям параметров квадрупольной деформации β_2 .

Рассчитанные по модели ДФМСК величины силовых функций $S_{1/2}$ и $S_{3/2}$ были близки к аппроксимированным экспериментальным значениям. Расстояние между максимумами $S_{1/2}$ и $S_{3/2}$ при $A = 111$ и $A = 97$ также близко к экспериментальному значению ($\Delta A = 12 \pm 4$). Существенный сдвиг максимума расчетной силовой функции $S_{1/2}$ относительно экспериментального положения ($A \cong 107$) можно также объяснить влиянием локальной флуктуацией динамической деформации ядер в районе массового числа $A \cong 110$.

В области ядер с $A \approx 60$ –130 p -волновое рассеяние нейтронов дает главный вклад в нейтрон-

ядерное взаимодействие при энергии ~ 1 МэВ. Величина сечения прямой реакции близка к флуктуационному сечению σ_{FL} при неупругом рассеянии нейтронов с энергией ~ 1 МэВ (рис. 3). Прямое возбуждение 2^+ -фононных состояний происходит в основном через каналы неупругого рассеяния с $J^\pi = 1/2^-$ и $J^\pi = 3/2^-$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обобщенная оптическая модель в ДФМСК удовлетворительно описывает спин-орбитальное расщепление $3p$ -максимума нейтронной силовой функции. Положение и величина пиков $S_{1/2}$ и $S_{3/2}$ p -силовых функций обусловлены не только спин-орбитальным взаимодействием, но и локальной флуктуацией динамической деформации ядер, приводящей к усилению одно-фононной связи и возникновению промежуточных резонансов вблизи $3p$ -максимума нейтронной силовой функции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Конобеевский Е.С., Мусаелян Р.М., Попов В.И. и др. // ЭЧАЯ. 1982. Т. 13. № 2. С. 300.
2. Ок З.И., Николаенко В.Г., Попов А.Б. и др. // Письма в ЭЧАЯ. 1983. Т. 38. № 6. С. 304.
3. Mughabghab S. // J. Kor. Phys. Soc. 2010. V. 59. P. 2.
4. Comisel H., Hategan C. // Письма в ЭЧАЯ. 2006. Т. 3. № 6. С. 96.
5. Singhal S.K., Bhatnagar M., Prajapati et al. // J. Phys. G. 2005. V. 31. P. S1959.
6. Самосват Г.С. // ЭЧАЯ. 1986. Т. 17. № 4. С. 713.
7. Самойлов В.В., Урин М.Г. // ЯФ. 1990. Т. 52. № 5. С. 1325.
8. Самосват Г.С. // ЭЧАЯ. 1995. Т. 26. № 6. С. 1965.
9. Мусаелян Р.М., Попов В.И., Скоркин В.М. и др. // Изв. РАН. Сер. физ. 1992. Т. 56. С. 122; MUSAELYAN R.M., POPOV V.I., SKORKIN V.M. et al. // Bull. Russ. Acad. Sci. Phys. 1992. V. 56. P. 190.