

У

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

SM 8107159

P3-81-32

Т.Бакалов, Г.Ильчев, С.Тошков, В.Ф.Украинцев,
Чан Хань Май

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПОЛУЧЕНИЯ
МНОГОУРОВНЕВЫХ ПАРАМЕТРОВ
ПОЛНОГО СЕЧЕНИЯ ^{239}Pu
НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ЭКСПЕРИМЕНТОВ
ПО ПРОПУСКАНИЮ НЕЙТРОНОВ
В ОБЛАСТИ РАЗРЕШЕННЫХ РЕЗОНАНСОВ

1981

Бакалов Т. и др.

P3-81-32

Разработка методики получения многоуровневых параметров полного сечения Pu-239 на основе анализа экспериментов по пропусканию нейтронов в области разрешенных резонансов

Разработана методика получения многоуровневых S -матричных резонансных параметров с использованием данных по пропусканию нейтронов в области разрешенных резонансов. Экспериментальные данные по пропусканию были получены для толщин образцов Pu-239 в интервале $0,00217-0,1234$ ядер/барн на нейтронном спектрометре по времени пролета с разрешением 70 нс/м. Для описания сечений использовался S -матричный формализм Адлеров, подгонка проводилась по методу наименьших квадратов. Разработанная методика позволяет уточнить параметр межрезонансной интерференции H_k , ее возможности продемонстрированы на примере определения параметров четырех резонансов в полном сечении Pu-239 .

Работа выполнена в Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1981

Bakalov T. et al.

P3-81-32

The Development of Pu-239 Total Cross Section Multilevel Parameters Determination Technique by Analysing Experiments on Neutron Transmission in Resolved Resonance Region

The aim of this work is the development of S -matrix multilevel resonance parameters determination technique with neutron transmission data used in resolved resonance region. Experimental transmission data values were obtained for the Pu-239 thickness range $0.00217-0.1234$ nuclei/barns on the time-of-flight spectrometer with 70 ns/m resolution. S -matrix Adler's formalism with least square method fit were used for experimental data description. The method developed enables to justify the resonance-resonance interference parameters H . Its possibilities are demonstrated by determination of these parameters for four resonances of the Pu-239 total cross section.

The investigation has been performed at the Laboratory of Neutron Physics, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1981

ВВЕДЕНИЕ

Взаимодействие резонансных нейтронов с делящимися ядрами характеризуется заметными эффектами интерференции между резонансами. Особенно сильны эти эффекты в полных сечениях и сечениях деления.

Для параметризации энергетической зависимости сечений используются две основные схемы многоуровневого представления: схема Райха-Мура^{1/} - многоуровневое приближение для двух и более каналов реакции, схема Адлеров^{2/} - S-матричный формализм для любого числа уровней и каналов реакции, что удобно для представления сечений ядер с большим числом каналов реакции чем 3.

Преимуществом схемы Райха-Мура является то, что параметры имеют простой физический смысл, прямую связь с ядерными моделями и их можно экстраполировать на область неразрешенных резонансов с использованием известных распределений. Однако в этой схеме сложно учитывать доплер-эффект, а применение метода наименьших квадратов для получения параметров является трудоемкой операцией. Кроме того, учет интерференции более чем двух уровней и введение более чем трех каналов реакции также приводит к большим объемам вычислений.

Формализм Адлеров более удобен для воспроизведения сечений в расчетах реакторов. В этом формализме легко учитывается доплер-эффект, возможно описание сечений с любым числом каналов реакции и интерферирующих уровней, введение поправки на экспериментальное разрешение и получение параметров методом наименьших квадратов сравнительно просто.

В настоящее время принципиальной трудностью, возникающей при использовании набора параметров, оцененных исходя из данных по сечениям для реакторных расчетов, является неудовлетворительное описание эффектов резонансного самоэкранирования сечений, играющих большую роль в формировании спектров в реакторах. Действительно, так называемые факторы резонансного самоэкранирования, содержащиеся в системе ядерно-физических компонент для расчета реакторов, очень чувствительны к интерференционным провалам в энергетическом ходе полного сечения. Информация о реальной интерференционной картине проявляется именно при измерении функций пропускания исследуемых образцов с большими толщинами. Такие измерения наиболее информативны по отношению к параметрам, описывающим межрезонансную интер-

ференцию /параметры H /^{3/}. Оценка значений этих параметров, получаемая в результате измерений детального хода сечений, оказывается весьма ненадежной /различные оценки могут отличаться даже знаком/^{4/}. Эта трудность может быть преодолена путем привлечения экспериментальных данных, содержащих информацию о резонансном самоэкранировании. Такими данными являются функции пропускания, самоиндикация и результаты специальных интегральных экспериментов.

Целью настоящей работы была разработка методики получения S -матричных параметров с использованием данных о пропускании нейтронов через большие толщины исследуемых образцов. Такая методика в дальнейшем может использоваться для уточнения S -матричных резонансных параметров.

ФОРМУЛИРОВКА ЗАДАЧИ

Парциальное сечение типа "а", а также полное сечение, за вычетом потенциального рассеяния, представляется по схеме Адлеров в виде суммы по резонансам k :

$$\sigma_a(E) = \pi \lambda^2 \sum_k \frac{G_k^a \nu_k + H_k^a (E - \mu_k)}{(E - \mu_k)^2 + \nu_k^2}, \quad /1/$$

где λ - длина волны нейтрона, E - энергия нейтрона, μ_k - положение уровня, ν_k - половина ширины уровня, G_k - параметр, подобный величине $2\Gamma_n \Gamma_a / \Gamma$, H_k - параметр, определяющий межрезонансную интерференцию.

Учет теплового движения ядер приводит к формуле

$$\sigma_a(E) = \pi \lambda^2 \sum_k \frac{1}{\nu_k} \{ G_k^a \psi(x_k, \xi_k) + H_k^a \chi(x_k, \xi_k) \}, \quad /2/$$

где функции ψ и χ - известные доплеровские функции от

$$x_k = \frac{E - \mu_k}{\nu_k} \quad \text{и} \quad \xi_k = \frac{\nu_k}{\Delta}, \quad \Delta = \sqrt{\frac{2kT E}{A+1}} - \text{ доплеровская ширина.}$$

Наблюдаемое пропускание связано с полным сечением соотношением

$$T_l(E, n) = \int_{\Delta E} R(E', E) \exp[-\sigma_t(E') \cdot n] dE', \quad /3/$$

где $R(E', E)$ - нормированная функция разрешения, n - толщина исследуемых образцов в ядрах/барн, ΔE - интервал усреднения.

Функция $R(E', E)$ для спектрометра по времени пролета обычно близка к форме кривой Гаусса. Отметим, что при анализе сечений приходится иметь дело с произведением $R(E', E) \cdot \sigma(E')$, что позволяет проводить одновременную свертку по спектру теплового движения типа Максвелла и функции разрешения типа Гаусса с

суммированием дисперсий $\Delta^2 = \Delta_R^2 + \Delta_D^2$. Однако при анализе функции пропускания этого сделать нельзя, т.к. сечение входит в качестве множителя в показатель экспоненты. Таким образом, решение задачи потребовало применения двойного численного интегрирования, что усложнило алгоритм.

ОБРАБОТКА ДАННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТА И РЕЗУЛЬТАТЫ

Значения функции пропускания $T_t(E, n)$ были получены для толщин образцов ^{239}Pu в интервале 0,0025-0,1234 ядер/барн на нейтронном спектрометре по времени пролета реактора ИБР-30. Пролетная база равнялась 1000 м, разрешение - 70 нс/м, ширина канала - 32 мкс. Детектором служила батарея ^3He -счетчиков с низким собственным фоном. Переменный по времени фон реактора измерялся методом резонансных фильтров.

Программа получения параметров написана на языке ФОРТРАН с использованием ранее написанного модуля расчета функций ψ и χ , стандартных программ, реализующих метод наименьших квадратов - FUMILI /5/.

Ошибки экспериментальных точек обусловлены в основном статистикой отсчетов и погрешностью в учете переменного фона. Статистика отсчетов для областей между резонансами была порядка 10^3 в пучке без фильтров.

На рис.1 показаны значения экспериментальных точек пропускания /треугольники/ с экспериментальными ошибками при толщине исследуемого образца 0,1234 ядер/барн и результат многоуровневой подгонки пропускания на четырех резонансах: 26,2; 27; 32,3 и 35,4 эВ /непрерывная линия/. Кроме параметров четырех изображенных резонансов в расчете учитывались еще три резонанса слева и справа для корректного учета их вклада. В таблице приведены параметры четырех вышеуказанных резонансов, полученные с помощью многоуровневой подгонки пропускания при четырех толщинах образцов: от 0,01645 до 0,1234 ядер/барн.

На рис.2 изображена зависимость величины Γ (Γ равно отношению статистического веса $\frac{1}{(\Delta N_k)^2}$ параметра N_k к времени измерения) от толщин. Из рис.2 видно, что с увеличением толщины информация о параметре N_k , ответственном за межрезонансную интерференцию, улучшается. Однако имеется предел, выше которого увеличивать толщину невыгодно. Этим пределом в данном случае является толщина 0,06582 ядра/барн.

Отметим, что резонансы при 27,2 и 35,4 эВ являются слабыми резонансами нулевого спина с малой нейтронной шириной, они нечетко выделяются при измерениях и их параметры известны с большой погрешностью. При обработке функций пропускания образцов с большими толщинами эти параметры, G_k и ν_k , могли бы быть определены с меньшей погрешностью, однако недостаточное разре-

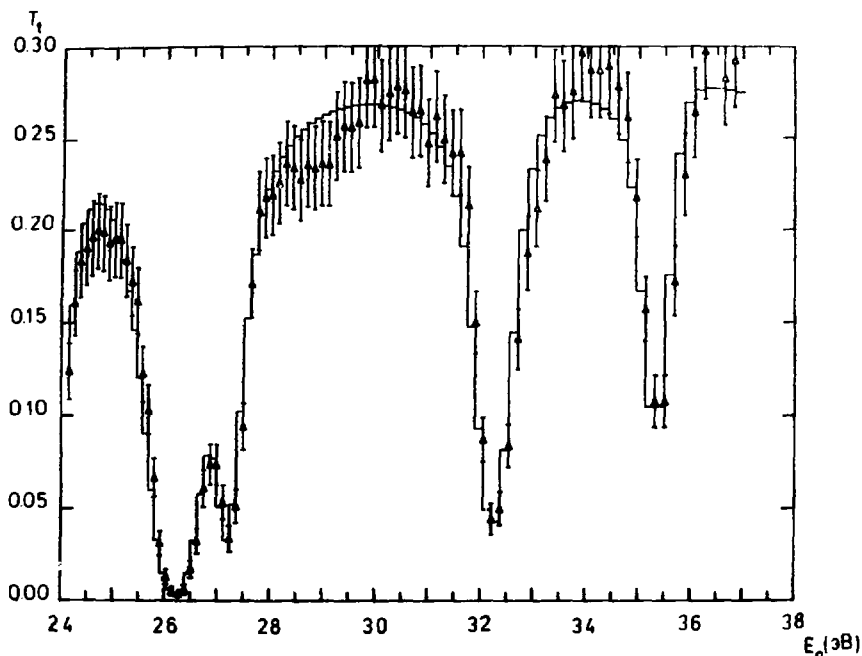


Рис.1. Результат многоуровневой параметризации функции пропускания при толщине образца 0,1234 яд./барн. Δ - экспериментальные значения с ошибками, непрерывная кривая - восстановление величины пропускания по полученным параметрам.

Таблица

Резонансные параметры полного сечения ^{239}Pu , полученные с помощью многоуровневой подгонки пропускания при четырех толщинах образцов: от 0,01645 до 0,1234 ядер/барн

E_k	G_k	H_k	ν_k
26,27 \pm 0,02	0,445 \pm 0,053	-0,003 \pm 0,0020	41 \pm 6
27,26 \pm 0,02	0,040 \pm 0,005	0,0043 \pm 0,0015	24 \pm 4
32,30 \pm 0,02	0,07 \pm 0,006	-0,0021 \pm 0,0012	78 \pm 9
35,39 \pm 0,03	0,058 \pm 0,005	-0,0010 \pm 0,0010	17 \pm 2

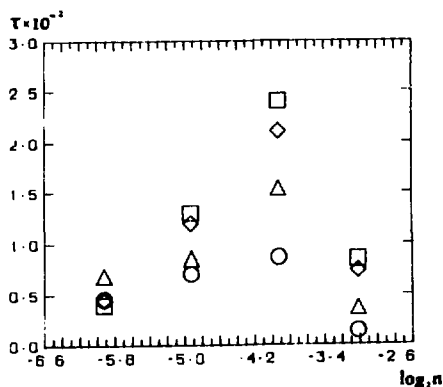


Рис. 2. Зависимость величины τ от логарифма толщины образца /яд./барн/ для резонансов с энергиями: \circ - 26, 27 эВ; Δ - 27, 26 эВ, - 32, 30 эВ, \square - 35, 39 эВ.

шение и невысокая статистическая точность измерений не позволили этого сделать. Наибольшее уточнение достигнуто при получении параметра H_k . Сравнение величин па-

раметров с оценкой, проведенной Адлерами^{1,6}, указывает на удовлетворительное согласие параметров G_k и ν_k .

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложена модификация методики определения резонансных параметров полного сечения в формализме S-матрицы на основе данных экспериментов по пропусканию нейтронов. Анализ экспериментальных функций пропускания при больших толщинах исследуемых образцов позволяет получить дополнительную информацию по сравнению с анализом детального хода сечений: уточняется параметр H_k , ответственный за межрезонансную интерференцию. Это ведет к уточнению эффектов резонансного самоэкранирования, оценка которых важна для расчетов ядерных реакторов.

В рамках данной методики возможен также совместный анализ широкого набора экспериментальных данных по сечениям и по пропусканию для произвольного набора толщин. Такой анализ позволяет получить наиболее полную информацию, касающуюся характеристик резонансной структуры нейтронных сечений.

В заключение авторы выражают благодарность Л.Б.Пикельнеру и А.А.Ванькову за полезные обсуждения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Reich C.W., Moore M.S. Phys.Rev., 1958, 111, p.929.
2. Adler D.B., Adler F.T. In: Proc. Conf. on Breeding in Large Fast Reactors, Argonne, ANL-6792, 1963, p.695.
3. Лукьянов А.А. Структура нейтронных сечений. Атомиздат, М., 1978.

4. Lambropoulos P. Nucl.Sci.Eng., 1970, 40, p.342.
5. Соколов С.Н., Силин И.Н. ОИЯИ, Д-810, Дубна, 1963.
6. Adler F.T., Adler D.B. In: Proc. Conf. Neutr.Cr.Sec. and Tech., Washington, March 4-7, 1968, p.967.

Рукопись поступила в издательский отдел
19 января 1981 года.

Нет ли пробелов в Вашей библиотеке?

Вы можете получить по почте перечисленные ниже книги,
если они не были заказаны ранее.

Д1,2-8405	Труды IV Международного симпозиума по физике высоких энергий и элементарных частиц. Варна, 1974.	2 р. 05 к.
P1,2-8529	Труды Международной школы-семинара молодых ученых. Актуальные проблемы физики элементарных частиц. Сочи, 1974.	2 р. 60 к.
Д6-8846	XIV совещание по ядерной спектроскопии и теории ядра. Дубна, 1975.	1 р. 90 к.
Д13-9164	Международное совещание по методике проволочных камер. Дубна, 1975.	4 р. 20 к.
Д1,2-9224	IV Международный семинар по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1975.	3 р. 60 к.
Д-9920	Труды Международной конференции по избранным вопросам структуры ядра. Дубна, 1976.	3 р. 50 к.
Д9-10500	Труды II Симпозиума по коллективным методам ускорения. Дубна, 1976.	2 р. 50 к.
Д2-10533	Труды X Международной школы молодых ученых по физике высоких энергий. Баку, 1976.	3 р. 50 к.
Д13-11182	Труды IX Международного симпозиума по ядерной электронике. Варна, 1977.	5 р. 00 к.
Д17-11490	Труды Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1977.	6 р. 00 к.
Д6-11574	Сборник аннотаций XV совещания по ядерной спектроскопии и теории ядра. Дубна, 1978.	2 р. 50 к.
Д3-11787	Труды III Международной школы по нейтринной физике. Алушта, 1978.	3 р. 00 к.
Д13-11807	Труды III Международного совещания по пропорциональным и дрейфовым камерам. Дубна, 1978.	6 р. 00 к.
	Труды VI Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна 1978. /2 тома/	7 р. 40 к.
Д1,2-12036	Труды V Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна 1978.	5 р. 00 к.
P18-12147	Труды III совещания по использованию ядерно-физических методов для решения научно-технических и народнохозяйственных задач.	2 р. 20 к.

Д1,2-12450	Труды XII Международной школы молодых ученых по физике высоких энергий. Приморско, НРБ, 1978.	3 р. 00 к.
P2-12462	Труды V Международного совещания по нелокальным теориям поля. Алушта, 1979.	2 р. 25 к.
Д-12831	Труды Международного симпозиума по фундаментальным проблемам теоретической и математической физики. Дубна, 1979.	4 р. 00 к.
Д-12965	Труды Международной школы молодых ученых по проблемам ускорителей заряженных частиц. Минск, 1979.	3 р. 00 к.
Д11-80-13	Труды рабочего совещания по системам и методам аналитических вычислений на ЭВМ и их применению в теоретической физике. Дубна, 1979.	3 р. 50 к.
Д4-6 271	Труды Международной конференции по проблемам нескольких тел ядерной физики. Дубна, 1979.	3 р. 00 к.
Д4-80-385	Труды Международной школы по структуре ядра. Алушта, 1980.	5 р. 00 к.

Заказы на упомянутые книги могут быть направлены по адресу:

101000 Москва, Главпочтамт, п/я 79,

издательский отдел Объединенного института ядерных исследований

Вышел в свет очередной номер журнала "Физика элементарных частиц и атомного ядра", том 12, вып.1. Подписка на журнал проводится в агентствах и отделениях "Союзпечати", в отделениях связи, а также у общественных распространителей печати.

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований.
Заказ 29287. Тираж 500. Уч.-изд. листов 0,74.
Редактор Н.Н.Зрелова.
Набор В.С.Румянцевой, Н.И.Коротковой.
Макет Р.Д.Фоминой. Подписано к печати 18.02.81.