

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

P3-81-601

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

МНОГОУРОВНЕВАЯ ПАРАМЕТРИЗАЦИЯ
ПОЛНОГО СЕЧЕНИЯ $Pu-239$
В РЕЗОНАНСНОЙ ОБЛАСТИ
НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА
ПРОПУСКАНИЯ НЕЙТРОНОВ

Направлено в АЭ

ВВЕДЕНИЕ

Задача многоуровневой параметризации резонансных сечений рассматривалась многими авторами в связи с необходимостью анализа не только резонансных, но и интерференционных особенностей энергетической зависимости сечений^{/1/}. Особый интерес проявляется здесь к взаимодействию резонансных нейтронов с делящимися ядрами, которое характеризуется заметными эффектами интерференции между резонансами, причем наиболее сильны эти эффекты в полных сечениях и сечениях деления.

Для параметризации энергетической зависимости сечений используются две основные схемы: схема Райха-Мура^{/2/} в R-матричной теории и схема Адлеров^{/3/} в S-матричной теории.

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 сложен учет доплер-эффекта, а применение метода наименьших квадратов для получения параметров является трудоемкой задачей. Кроме того, учет интерференции более чем двух уровней и введение более чем трех каналов реакции также приводит к большим объемам вычислений.

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

В настоящее время трудности анализа связаны, в основном, с недостаточной точностью и полнотой экспериментальных данных, что приводит к неоднозначности результатов анализа. Кроме того, принципиальной трудностью, возникающей при использовании набора параметров, оцененных исходя из данных по сечениям, в реакторах, является неудовлетворительное описание эффектов резонансного самоэкранирования сечений, играющих большую роль в формировании спектров в реакторах. Действительно, так называемые факторы резонансного самоэкранирования, сохраняющиеся в системах констант для расчетов реакторов, чувствительны к интерференционным провалам в энергетическом ходе сечения. Информация о реальной интерференционной картине

проявляется именно при измерениях пропускания на больших толщинах исследуемых образцов.

Несомненно, что привлечение к анализу данных по полному сечению совместно с результатами экспериментов по пропусканию нейтронов через толстые образцы позволяет более надежно определять параметры резонансов и, соответственно, воспроизводить детальную энергетическую зависимость сечений, а через нее - факторы резонансной самоэкранировки '1'.

В данной работе на основе методики, разработанной в '8', представлены результаты многоуровневого анализа данных по пропусканиям нейтронов через различные толщины образцов Рс-239 в интервале энергий от 4 до 50 эВ.

МЕТОДИКА И ОСНОВНЫЕ ФОРМУЛЫ

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

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

где λ - длина волны нейтрона, E - энергия нейтрона, μ_k - положение уровня, ν_k - половина ширины уровня, G_k - параметр, характеризующий площадь уровня, H_k - параметр, характеризующий межрезонансную интерференцию.

Учет теплового движения ядер приводит к формуле

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

где функции ψ и χ - известные доплеровские функции от x_k и ξ_k . Здесь $x_k = (E - \mu_k) / \nu_k$; $\xi_k = \nu_k / \Delta$, Δ - доплеровская ширина.

Наблюдаемое пропускание связано с полным сечением соотношением:

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

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

Функция $R(E', E)$ для спектрометра по времени пролета обычно близка к форме Гаусса. Отметим, что при анализе сечений приходится иметь дело с произведением $R(E', E) \sigma(E')$, что позволяет проводить одновременную свертку по спектру теплового движения типа распределения Максвелла и функции разрешения Гаусса с суммированием дисперсий $\Lambda^2 = \Lambda_R^2 + \Lambda_D^2$.

Однако при анализе функции пропускания этого сделать нельзя, т.к. сечение входит в качестве множителя в показатель экспоненты. Таким образом, решение задачи потребовало двойного численного интегрирования, что усложнило алгоритм.

После воспроизведения детальной энергетической зависимости полного сечения с помощью полученных S-матричных параметров можно получить среднее сечение и факторы его резонансной самоэкранировки в зависимости от температуры и сечения разбавления^{4/}

$$\langle \sigma_t(T) \rangle = \frac{u_2 \int_{u_1}^{u_2} \sigma(T, u) du}{u_2 - u_1}, \quad /4/$$

$$\langle f_f(\sigma_0, T) \rangle = \frac{1}{\langle \sigma_t(T) \rangle} \left[\frac{\langle 1/(\sigma_t(T) + \sigma_0) \rangle}{\langle 1/(\sigma_t(T) + \sigma_0)^2 \rangle} - \sigma_0 \right], \quad /5/$$

где σ_0 - сечение разбавления, T - температура образца.

АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТА И РЕЗУЛЬТАТЫ

Значения пропусканий $T_t(E, n)$ были получены для толщин образцов Pu-239 в интервале 0,0165-0,1084 ядер/б на нейтронном спектрометре по времени пролета реактора ИБР-30. Пролетная база равнялась 1000 м, разрешение составляло 70 нс/м, ширина канала анализатора - 32 мкс. Детектором служила батарея ^3He -счетчиков с низким собственным фоном. Переменный во времени фон реактора измерялся методом резонансных фильтров и вычитался.

Разработанная нами программа многоуровневого анализа предназначена для определения резонансных параметров на основе экспериментальных данных по пропусканиям через различные толщины исследуемых образцов. Параметры, их ошибки и корреляции получают методом наименьших квадратов с помощью программы FUMILI^{9/} из библиотеки программ БЭСМ-6.

Ошибки экспериментальных точек, используемых в анализе, обусловлены, в основном, статистикой ссчетов и погрешностью в учете переменного фона.

На рис.1 показаны значения экспериментальных точек пропускания /треугольники/ с ошибками при толщине исследуемого образца 0,0165 ядер/б и результат многоуровневой подгонки пропускания в области 4-50 эВ. Среднее значение критерия χ^2 на одну точку после подгонки находится в пределах 0,5-1,5 для разных групп резонансов.

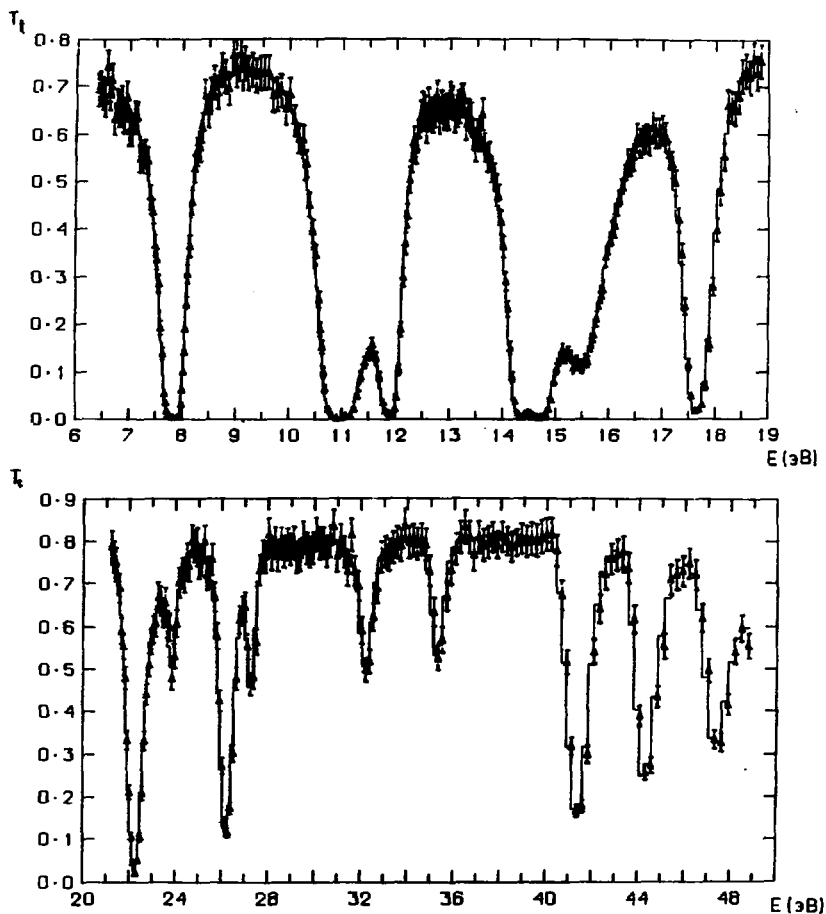


Рис.1. Результат многоуровневой параметризации пропускания при толщине образца 0,0165 ядер/б. Δ - экспериментальные значения с ошибками, непрерывная кривая - восстановление величины пропускания по полученным параметрам.

В табл.1 приведены параметры шестнадцати резонансов в рассматриваемой области энергий. Эти параметры были получены при одновременной подгонке на четырех толщинах образцов: 0,0165, 0,0379, 0,0658 и 0,1084 ядер/б.

Таблица 1

Резонансные параметры полного сечения ^{239}Pu

μ_k (эВ)	ν_k (мэВ)	G_k (мэВ)	H_k (мэВ)
7.86 ± 0.004	44.5 ± 0.1	0.4400 ± 0.0020	-0.0129 ± 0.0012
10.944 ± 0.009	87.5 ± 1.5	0.8701 ± 0.0100	0.0207 ± 0.0071
11.902 ± 0.009	33.9 ± 0.1	0.4551 ± 0.0100	-0.0134 ± 0.0051
14.328 ± 0.021	57.1 ± 1.0	0.2694 ± 0.0027	0.0069 ± 0.0230
14.655 ± 0.024	35.6 ± 0.4	0.7712 ± 0.0021	-0.0067 ± 0.0320
15.467 ± 0.022	427.2 ± 1.0	0.2898 ± 0.0023	-0.0092 ± 0.0220
17.674 ± 0.007	39.7 ± 0.1	0.6843 ± 0.0021	-0.0063 ± 0.0040
22.240 ± 0.021	51.3 ± 0.2	0.8318 ± 0.0031	-0.0081 ± 0.0066
23.891 ± 0.031	44.2 ± 0.5	0.0276 ± 0.0011	0.0035 ± 0.0032
26.233 ± 0.022	41.2 ± 0.2	0.4512 ± 0.0030	0.0011 ± 0.0063
27.255 ± 0.040	24.3 ± 0.2	0.0396 ± 0.0024	0.0003 ± 0.0052
32.285 ± 0.031	88.2 ± 0.5	0.0900 ± 0.0025	-0.0007 ± 0.0060
35.415 ± 0.043	19.4 ± 0.2	0.0655 ± 0.0030	-0.0002 ± 0.0063
41.378 ± 0.060	16.3 ± 0.1	0.8806 ± 0.0012	0.0193 ± 0.0580
44.424 ± 0.052	26.0 ± 0.1	1.3622 ± 0.0500	-0.0158 ± 0.0168
47.481 ± 0.089	136.3 ± 0.7	0.3710 ± 0.0010	0.0146 ± 0.0298

Полученные параметры μ_k , G_k , H_k находятся в хорошем согласии с результатами работ^{/3,5/}, расхождения не выходят за рамки ошибок, хотя в большинстве находятся на верхней их границе. Оценка параметра H_k , получаемая при анализе детального хода сечений авторами^{/3,5/}, отличается в отдельных резонансах от настоящей даже по знаку.

На рис. 2 показано полное сечение Pu-^{239} , восстановленное с помощью полученных нами параметров.

На рис. 3 показана температурная зависимость /доплеровское уширение/ резонансов полного сечения при температурах 300, 900, 2100 К.

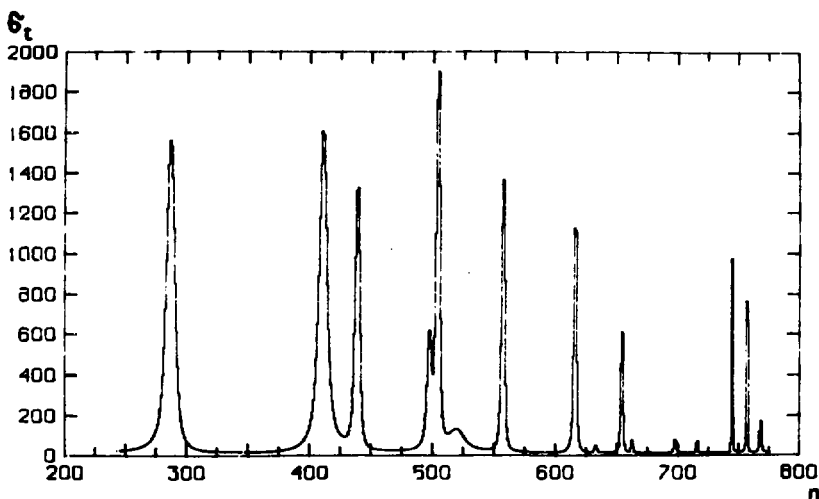


Рис.2. Полное сечение Pu-239 /в барнах/, восстановленное с помощью многоуровневых параметров ρ пропорционально $-1/\sqrt{E}$.

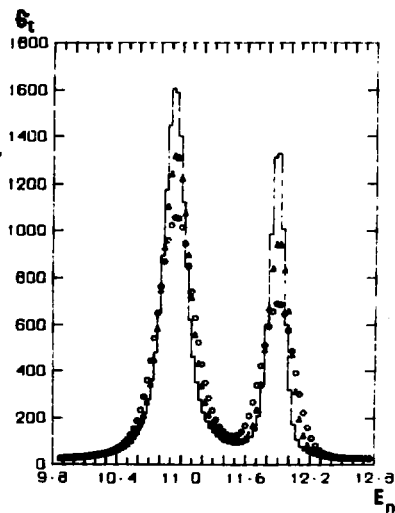


Рис.3. Зависимость формы резонансов полного сечения от температуры: непрерывная кривая - $T=300$ К, треугольники - $T=900$ К, окружности - $T=2100$ К /сечение в барнах, энергия в эВ/.

В табл.2 приведены среднегрупповые полные сечения и факторы их резонансной самоэкранировки в зависимости от сечения разбавления и температуры в интервалах системы констант БНАБ^{4/}. Сравнение с результатами работ^{6,7/} показывает, что использование многоуровневых параметров полного сечения Pu-239, полученных из анализа пропусков, позволяет получить более точные оценки ядерных констант при различных температурах.

Таблица 2

Групповые полные сечения и факторы резонансной самоэкранировки, рассчитанные по многоуровневым параметрам

№ групп	E (эВ)	T (K)	f_i (%)					$\langle \xi_i \rangle$ (6)
			0	10	10 ²	10 ³	10 ⁴	
19	46.5- 21.5	300	0.217	0.231	0.297	0.565	0.904	63.9 \pm 2.3
		900	0.217	0.233	0.314	0.631	0.927	
		2100	0.220	0.240	0.345	0.704	0.946	
20	21.5- 10.0	300	0.123	0.140	0.222	0.506	0.881	172.3 \pm 6.5
		900	0.123	0.139	0.226	0.550	0.905	
		2100	0.123	0.139	0.237	0.603	0.925	
21	10.- 4.65	300	0.247	0.258	0.309	0.527	0.883	75.2 \pm 2.1
		900	0.247	0.258	0.311	0.561	0.905	
		2100	0.247	0.258	0.316	0.607	0.924	

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе модифицированной методики получены многоуровневые резонансные параметры полного сечения плутония-239 в области энергий нейтронов 4-50 эВ. Использование методики анализа пропусков на широком интервале толщин образцов позволяет получить более надежную информацию об эффектах межрезонансной интерференции, что ведет к уточнению факторов резонансного самоэкранирования и их зависимости от температуры, которые необходимы при расчетах реакторов.

Получение наиболее полной информации о характеристиках резонансной структуры сечений в рамках данной методики возможно путем совместного анализа совокупности данных по сечениям, пропускам и самоиндикациям.

В заключение авторы выражают благодарность Л.Б.Пикельнеру, А.А.Лукьянову и А.А.Ванькову за полезные обсуждения и постоянный интерес к работе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лукьянов А.А. Структура нейтронных сечений. Атомиздат, М., 1978.
2. Reich C.W., Moore M.S. Phys.Rev., 1958, 111, p.929.
3. Adler F.I., Adler D.B. In: Proc.Conf. Neutron Cross Sections and Tech., Washington, March 4-7, 1968, p.967.
4. Абагян Л.П. и др. Групповые константы для расчета ядерных реакторов. Атомиздат, М., 1964.
5. Колесов В.В., Лукьянов А.А. Нейтронная физика. /Материалы V Всесоюзной конференции по нейтронной физике, Киев, 1980/. ЦНИИАтоминформ, М., 1980, ч.2, с.187.
6. Monarace E., Motta M., Panini G.C. A 26-Group Library with Self-Shielding Factors for Fast Reactor Calculations from the UK Nuclear Data File, CNEN-RT/FI(73)15, 1973.
7. Bakalov T. et al. Proc. of Int.Conf. Nucl. Cross Sections for Techn., 22-26 October, Knoxville, 1979, pp.642-698.
8. Бакалов Т. и др. ОИЯИ, РЗ-81-32, Дубна, 1981.
9. Соколов С.Н., Силин И.Н. ОИЯИ, Д-81С, Дубна, 1963.

Рукопись поступила в издательский отдел
15 сентября 1981 года.

Бакалов Т. и др.

P3-81-601

Многоуровневая параметризация полного сечения Pu-239 в резонансной области на основе анализа пропускания нейтронов

Многоуровневые резонансные параметры полного сечения Pu-239 получены в схеме Адлеров на основе анализа экспериментальных данных по пропусканию нейтронов через толстые образцы в области энергий 4-50 эВ. В анализе использовались толщины исследуемых образцов от 0,0165 до 0,1084 ядер/б, что позволило надежно определять параметр межрезонансной интерференции и описывать структуру нейтронных сечений. С помощью полученных параметров рассчитаны среднегрупповые полные сечения и факторы их резонансной замаскировки в зависимости от температуры и сечения разбавления.

Работа выполнена в Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1981

Bakalov T. et al.

P3-81-601

Multilevel Parametrization of Pu-239 Total Cross Section in Resonance Region on the Basis of Neutron Transmission Analysis

Multilevel resonance parameters of total cross section of Pu-239 are derived in the Adler's scheme from thick sample neutron transmission data analysis in 4-50 eV energy region. Sample thickness from 0.0165 to 0.1084 nuclei/barns was used in the analysis that gets reliable determination of resonance-resonance interference parameter and allows to describe neutron cross sections structure. Average total cross sections and their self-shielding factors in dependence on temperature and dilute cross sections are calculated.

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

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1981

Перевод авторов.

Редактор Б.Б.Колесова. Макет Н.А.Киселевой.
Набор В.С.Румянцовой, Е.М.Граменицкой.

Подписано в печать 18.09.81.
Формат 60x90/16. Офсетная печать. Уч.-изд.листов 0,74.
Тираж 520. Заказ 30163.

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований.
Дубна Московской области.