

УДК 539.115,523.5

## СРЕДНИЕ НЕЙТРОННЫЕ СЕЧЕНИЯ В СТАТИСТИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ

Х.Ш.АБДУЛЛАЕВ, М.Ш.МАМЕДОВ, Н.А.ИБРАГИМОВ

*Бакинский Государственный Университет**gulnara-turabova@rambler.ru*

*Проведены расчеты средних сечений упругого и неупругого рассеяния и радиационного захвата нейтронов в рамках статистических моделей Хаузера-Фешбаха, Молдауэра и Тепель-Вейденмюллера. Показаны отличия в предсказаниях моделей для случаев слабого и сильного поглощения.*

**Ключевые слова:** сечение, нейтроны, рассеяние.

Различные версии статистической теории ядерных реакций [1-3] широко применяются как при анализе экспериментальных данных с целью извлечения модельных параметров, так и в задачах оценки (или предсказания) ядерных данных, особенно, нейтронных сечений. Величины средних сечений, получаемые в разных моделях, согласуются между собой только в крайних случаях. Целью настоящей работы является исследование возможных отличий в описании нейтронных сечений различными статистическими моделями. Были проведены расчеты сечений радиационного захвата  $\sigma_{ny}$ , упругого  $\sigma_{el}$  и неупругого  $\sigma_{in}$  рассеяния нейтронов для нескольких ядер. Выражения для средних сечений в рассмотренных статистических подходах имеют следующий вид.

I. Формула Хаузера-Фешбаха:

$$\sigma_{nx} = \pi \lambda_a^2 g^J \left[ T_n \cdot T_x / \sum_y T_y \right] \quad (1)$$

где  $n, x, y$  - открытые каналы реакции,  $X \equiv \{ejJE\}$ ,  $g^J$  - статический спиновый фактор,  $T_n$  – коэффициенты прохождения, которые вычислялись в рамках сферической оптической модели [4,5]. В случае радиаци-

онного захвата коэффициенты  $T$  вычислялись через средние нейтронные или радиационные силовые функции:

$$T_n = 2\pi K_n R \nu_\ell (K_n R) < \Gamma_n^3 / D^3 > \quad (1a)$$

$$T_\gamma = 2\pi < \Gamma_\gamma / D^J > \quad (1b)$$

Где  $\nu_\ell$  - коэффициенты проницаемости для прямоугольной ямы.

II. Наиболее общее выражение для средних сечений было получено Молдауэром на основе полюсного разложения  $S$  – матрицы рассеяния

$$\sigma_{nx}^N = \pi \lambda_n^2 g^3 \left[ \frac{\theta_n \theta_x}{\sum_y \theta_y} S_{nx} - \frac{S_{nx}}{y} \theta_n \theta_n^2 \right] \quad (2)$$

Коэффициенты  $\theta_n$  связаны с коэффициентами проницаемости оптической модели соотношением

$$\theta_n = (2/Q_n) \left[ 1 - (1 - Q_n T_n)^{1/2} \right] \quad (2a)$$

Фактор  $Q_n$ , учитывающий корреляционные свойства положений резонансов, измеряется между  $Q_n=0$  и  $Q_n=1$ . Так как Молдауэр не дает способы вычисления фактора  $Q_n$ , то здесь рассматривались только два случая  $Q_n=0$  и  $Q_n=1$ . При малых  $\bar{\Gamma}_n / \bar{D}$  варианты I и II совпадают.

III. В появившейся недавно работе Тепеля, Вайденмюллера и Хофмана [6] усредненные реакции получены аппроксимацией результатов моделирования параметров резонансов (полюсов)  $K$ -матрицы. В отличие от предыдущих вариантов, этот подход справедлив не только в случае слабого поглощения в каналах реакции, но и для промежуточного и сильного поглощения.

$$\sigma_{nx}^{TW} = \pi \lambda_n^2 g^J \frac{\nu_n \nu_x}{\sum_y \nu_y} [1 + \delta_{nx} (W_n - 1)] \quad (3)$$

$$\nu_x = T_x / \left[ 1 + \frac{T_x}{\sum_y T_y} (W_x - 1) \right] \quad (3a)$$

для радиационного захвата принималось

$$\nu_x = T_\gamma = 2\pi < \bar{\Gamma}_\gamma / D^3 >$$

Фактор усиления сечения в упругих канале  $W_x$  имеет вид:

$$W_x = 1 + 2\left(1 + T_x^{1/2}\right)^{-1} \quad (36)$$

Выражение (3) существенно проще выражений (1,2) поскольку не требует вычисления флуктационных интегралов.

Расчеты нейтронных сечений проводились для ядра  $Fe^{56}$  в области энергии 1-3,5 МэВ (случай сильного поглощения и изотопов иттербия и изотопов иттербия в области энергии  $E_n \leq 200$  кэВ (слабое, промежуточное поглощение). Анализ результатов для  $Fe^{56}$  показывает, что различие между предсказаниями моделей существенно и, в частности, имеется заметное расхождение в модели Молдауэра (2) между случаями  $Q=0$  и  $Q=1$ . При  $Q=1$  сечение  $\sigma_{el}$  стремится к отрицательным значениям. Таким образом в модели Молдауэра величины  $Q$  должна быть переменной. В формуле Тепеля (3) эффект изменения  $Q$  учитывается автоматически, и отмеченного парадокс не возникает. Для ядер  $Yb^{171}$  различие между предсказаниями моделей составляет 10-15%. Однако для четно-четных ядер при энергии, когда открывается канал неупругого рассеяния на первом  $2^+$  уровне и  $T_n \gg T'_n$ , эти различия могут усилиться. Величина сброса сечения захвата зависит не только от используемой модели, но и от резонансных параметров (соотношения между радиационной и нейтронной силовой функцией). В области энергий  $E < 20$  кэВ все модели дают одинаковый результат, то есть реализуется случай слабого поглощения  $T_n \ll 1$ . Оказывается, что для  $Yb^{174}$  в случае слабого или промежуточного поглощения расхождение между моделями не столь большое, как в случае сильного поглощения. Заметим, что и здесь предсказания модели Тепеля лежат между результатами, даваемыми моделью Хаузера-Фешбаха и моделью Молдауэра.

Таким образом, проведенные расчеты показывают, что расхождения между различными вариантами статистической теории довольно значительны, и их нужно иметь в виду как при анализе экспериментальных данных, так и при оценке нейтронных данных. Согласие между моделями наблюдается лишь в пределе слабого поглощения или сильного поглощения с большим числом открытых каналов. Эксперимент вряд ли возволит сделать выбор между моделями, поскольку точность экспериментальных данных находится пока на уровне  $\sim 10\%$ . Формализм Тепеля не имеет такого наглядного толкования в рамках одноуровневой формулы Брейта-Вигнера, как другие модели. Однако формулы Тепеля намного удобнее в применениях, и то, что они дают результаты, лежащие между предсказаниями моделей Хаузера-Фейшбаха и Молдауэра, позволяет отдать им

предпочтение и делает целесообразным их использование в расчетах нейтронных сечений.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Куприков В.Н., Пилипенько В.В., Созник А.П. Анализ нуклон-ядерного рассеяния на основе микроскопического оптического потенциала с эффективными силами Скирма. ЯФ. т.69 №1, 2006, с. 8-15.
2. Лукьянов В.К., Земляков Е.В., Лукьянов К.В. Ядро-ядерное рассеяние в высокоэнергетическом приближении к оптической потенциал Фолдинга. ЯФ т.69, №2, 2006, с.2-9.
3. Фадеев С.Н., Гриднев К.А. О реконструкции оптического потенциала по экспериментальным данным в квазиклассическом приближении. ЯФ т.72, №1, 2009, с.53-65.
4. Прокопец Г.А. Расчет углового распределения времен задержки при рассеянии нейтронов ядрами. ЯФ, т. 74, №5, 2011, с.740-746.
5. Бычков В.М., Возяков В.В., Довбянко А.Г. и др. Оценка нейтронных сечений средних ядер. «Нейтронная физика» Обнинск, 2004, т.1, с.316-337.
6. Виноградов В.Н., Гай Е.В., Работнов Н.С.. Резонансный анализ сечений ядерных реакций с использованием приближения Паде. «Ядерные константы» М., 2011, в.8, ч.1, с.3-13.

#### NÜVƏ REAKSIYALARININ STATİSTİK NƏZƏRİYYƏSİNDƏ ORTA NEYTRON EFFEKTİV KƏSİKLƏRİ

X.Ş.ABDULLAYEV, M.Ş.MƏMMƏDOV, N.Ə.İBRAHİMOV

#### XÜLASƏ

Hauzer-Feşbax, Moldauer və Tepel-Vaydenmüllerin irəli sürdükləri statistik modellər çərçivəsində neytronların müxtəlif nüvələrdən elastiki, qeyri-elastiki səpilmələri və radiasiya udulması effektiv kəsikləri hesablanmışdır. Modellərdən alınan nəticələrin neytronların zəif, orta və güclü udulma halları üçün fərqli olduqları göstərilmişdir.

**Açar sözlər:** effektiv kəsik, neytron, səpilmə

#### AVERAGE NEUTRON CROSS-SECTIONS IN STATISTICAL THEORY OF NUCLEAR REACTIONS

Kh.Sh.ABDULLAYEV, M.Sh.MAMMADOV, N.A.IBRAHIMOV

#### SUMMARY

The calculations of neutron elastic and inelastic scattering and radiative capture average cross-sections are carried out within the framework of statistical models of Hauser-Feschbach, Moldauer and Tepel-Weidenmiller. The differences between the model predictions are shown for the cases of weak, intermediate and strong absorption.

**Key words:** cross section, neutron, scattering.

*Поступила в редакцию: 19.02.2015 г.*

*Подписано к печати: 18.06.2015 г*