

# УПРУГОЕ РАССЕЯНИЕ НЕЙТРОНОВ С ЭНЕРГИЕЙ 14,7 МэВ ИЗОТОПАМИ СРЕДНИХ ЯДЕР

Х.Ш. АБДУЛЛАЕВ, М.Д. МАМЕДОВ

Бакинский Государственный Университет им. М.А. Расулзаде  
370148, г. Баку, ул. З. Халилова, 23

Проанализированы результаты измерений дифференциальных сечений упругого рассеяния нейтронов с энергией 14 МэВ для ядер Fe(54, 56), Co (59) и Ni(58, 60). Введены поправки на угловое разрешение, ослабление и многократное рассеяние методом Монте-Карло. Экспериментальные результаты сравниваются с расчетами по оптической модели ядра.

Накопленные к настоящему времени экспериментальные данные по упругому рассеянию быстрых нейтронов атомными ядрами получены, как правило, в экспериментах с мишенями естественного изотопного состава. в то время, как аналогические эксперименты с протонами проводятся на изотопически чистых мишенях. Это обстоятельство затрудняет непосредственное сравнение и совместный анализ данных по упругому рассеянию нейтронов и протонов [1]. Представляет интерес также выяснение изотопных эффектов в упругом рассеянии нейтронов, обусловленных индивидуальными свойствами ядер.

В настоящей работе изложены результаты исследования упругого рассеяния нейтронов с энергией 14,7 МэВ ядрами разделенных изотопов Fe(54,56), Co(59), Ni(58, 60). Дифференциальные сечения упругого рассеяния нейтронов этими ядрами измерены в цилиндрической геометрии методом времени пролета с регистрацией со-

путствующей  $\alpha$ -частицы из реакции  $T(d,n)\alpha$ , служащей источником нейтронов. Измерения выполнены в диапазоне углов от 10 до 130: Энергетическое разрешение при использованных пролетных расстояниях составляло ~10 %.

Измеренные сечения исправлены с учетом эффектов, обусловленных конечной геометрией эксперимента и многократными процессами. Поправки на ослабление, конечное угловое разрешение и многократное рассеяние рассчитаны методом Монте-Карло. Вклад неупругого рассеяния учтен методом симметризации пика упруго рассеянных нейтронов [2].

Исправленные значения дифференциальных сечений сравнивались с теоретическими расчетами, проведенными на основе переформированной оптической модели ядра [3]. В модели использован потенциал вида:

$$U_{op}(r) = -V_{RS}I(r)/I(0) + iW_s\alpha_i [df_i(r)/dr] + V_{SD}(\hbar/m_p c^2)(1/r)[df_m(r)/dr] \vec{e}\vec{\sigma},$$

где 
$$I(r) = \int f_m(\vec{r})f_d(|\vec{n} - \vec{r}|)d\vec{n}, f_m = \rho_m(r)/\rho(0) = \{1 + \exp[(r - R_m)/\alpha_m]\}^{-1},$$
  

$$f_d = \exp(-\mu r)/\mu r, R_m = r_m A^{1/3}$$

Форм-фактор  $f_i(r)$  для мнимой части потенциала имеет обычную форму Вудса-Саксона.

Оптимальные параметры потенциала получены подгонкой теоретических значений к экспериментальным данным, используя критерий:

$$\chi^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left[ \frac{\sigma^T(\theta_i) - \sigma^S(\theta_i)}{\Delta\sigma^S(\theta_i)} \right]^2$$

Минимальные значения  $\chi^2$  и соответствующие им наборы параметров приведены в таблице 1. Для сравнения в таблице приведены наборы параметров, полученные в работе [1] из анализа упругого рассеяния нейтронов близких энергий элементами Fe и Ni естественного изотопного состава. Наблюдается близкое согласие между данными этой работы и нашими результатами.

Таблица 1. Оптимальные наборы параметров потенциала.

	Fe(54)	Fe(56)	Fe <sup>n</sup> [1]	Co(59)	Ni(58)	Ni(60)	Ni <sup>n</sup> [1]
E (МэВ)	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7
V <sub>RS</sub> (МэВ)	50,10	50,15	49,97	48,4	49,0	49,1	48,48
W <sub>s</sub> (МэВ)	7,3	7,2	7,54	10,6	10,7	11,3	10,73
V <sub>SD</sub> (МэВ)	11,0	11,0	6,0	8,5	10,0	3,5	6,0
$\alpha_m$ (Ф)	0,52	0,50	0,572	0,57	0,56	0,53	0,550
$\alpha_i$ (Ф)	0,582	0,576	0,591	0,440	0,440	0,451	0,509
r <sub>m</sub> (Ф)	1,190	1,174	1,177	1,194	1,209	1,193	1,197
r <sub>i</sub> (Ф)	1,249	1,228	1,258	1,310	1,281	1,313	1,337
$\chi^2$	1,26	1,12	2,7	2,9	2,7	3,8	4,0

На основе полученных параметров потенциала рассчитаны среднеквадратичные радиусы распределения ядерной материи:

$$\langle r^2 \rangle_m^{1/2} = \left[ \frac{3}{5} R_m^2 + \frac{7}{5} (\pi \alpha_m)^2 \right]^{1/2}$$

Ошибки в среднеквадратичных радиусах найдены из условия  $1,5 \chi^2$  [3]. Используя выводы работы [4] о распределении ядерного заряда и процедуру, аналогичную описанной в [3], мы определили среднеквадратичные радиусы распределения протонов  $\langle r^2 \rangle_p^{1/2}$  и нейтронов  $\langle r^2 \rangle_n^{1/2}$ , а также разность  $\langle r^2 \rangle_n^{1/2} - \langle r^2 \rangle_p^{1/2}$ . Как видно из таблицы II, во всех исследованных ядрах нейтроны имеют несколько более широкие распределения, чем протоны. Полученные нами значения среднеквадратич-

ных радиусов и их разность также хорошо совпадают с результатами работы [1] для Fe<sup>n</sup> и Ni<sup>n</sup> и с данными по упругому рассеянию протонов.

Представляет определенный интерес выяснение зависимости параметров потенциала от характеристик исследованных ядер. Полученные нами оптимальные значения глубин реальной и мнимой частей потенциала не обнаруживают заметной зависимости от массового числа A и параметра нейтронного избытка (N-Z)/A. Это может быть обусловлено как малым интервалом изменения A, так и известной неоднозначностью в глубинах потенциала. Чтобы уменьшить влияние эффектов, связанных с неоднозначностью в глубинах потенциала, нами были рассчитаны объемные интегралы  $J_{RS}$  и  $J_W$  реальной и мнимой частей потенциала. Величины объемных интегралов на 1 нуклон  $J_{RS}/A$  и  $J_W/A$  приведены в таблице II. Ошибки в объемных интегралах определены из условия  $1,5 \chi^2$ , аналогично работе [3] с целью однозначного сравнения.

Таблица II. Радиусы распределения материи и объемные интегралы на 1 нуклон.

Изотоп	$\langle r^2 \rangle_m^{1/2}$		$\langle r^2 \rangle_p^{1/2}$		$\langle r^2 \rangle_n^{1/2}$		$\langle r^2 \rangle_n^{1/2} - \langle r^2 \rangle_p^{1/2}$		$J_{RS}/A$	$J_W/A$
Fe(54)	3,99	0,06 -0,17	3,67	4,27	0,11 -0,31	0,60	0,23	429	21	92
Fe(56)	3,94	0,07 -0,12	3,70	4,14	0,12 -0,21	0,44	0,17	408	14	86
Ni(58)	4,18	0,13 -0,12	3,74	4,55	0,23 -0,21	0,81	0,22	441	14	103
Co(59)	4,18	0,11 -0,13	3,75	4,51	0,19 -0,22	0,76	0,21	422	14	106
Ni(60)	4,12	0,16 -0,22	3,77	4,40	0,28 -0,39	0,63	0,34	419	25	116

Зависимость  $J_{RS}/A$  от параметра нейтронного избытка исследована в форме:

$$J_{RS}/A = J_d - 3J_d \xi (N-Z) / A$$

где  $J_d$  - объемный интеграл от спин-изоспин-независимой части нуклон-нуклонного потенциала,  $\xi$  - константа, характеризующая изоспиновую зависимость нуклон-нуклонного потенциала. Определенные методом наименьших квадратов значения  $J_d = (450 \pm 14) \text{ МэВ} \cdot \Phi^3$  и  $J_d = (440 \pm 220) \text{ МэВ} \cdot \Phi^3$  хорошо согласуются с данными работы [2], полученными в результате систематического исследования упругого рассеяния нейтронов с энергией от 1,5 до 8,1 МэВ.

Для расширения интервала значений (N-Z)/A и уменьшения неопределенности в наклоне прямой  $J_{RS}/A$  в исследование были включены данные работы [1], полученные из анализа упругого рассеяния нейтронов близ-

ких энергий элементами Fe, Ni, Cu, Sn и Pb естественно-го изотопного состава. Совместное рассмотрение привело к близкой зависимости:

$$J_{RS}/A [\text{МэВ} \cdot \Phi^3] = (447 \pm 7) - (400 \pm 90) (N-Z) / A$$

Величина константы  $\xi = 0,9 \pm 0,2$  совпадает со значением  $\xi = 0,9 \pm 0,08$  из работы [2] и в два раза превышает величину, предсказываемую моделью Гринлиса и др. [3].

Объемные интегралы от мнимой части потенциала на 1 нуклон не обнаруживают зависимости от (N-Z)/A, однако, имеют явную тенденцию к возрастанию с увеличением массового числа A, что не согласуется с выводом работы [5].

Найденная в работе [2] и подтвержденная нами сильная изоспиновая зависимость объемных интегралов от реальной части потенциала находится в противоречии с результатами анализа упругого рассеяния протонов [1,3].

[1] Ю.Г. Паниткин, В.А. Толстиков. Вопросы атомной науки и техники 1992, 33, 825.  
[2] H. Dinter. Nucl. Phys., 1998, A111, 360.

[3] H.O. Menlove, H.A. Green. Phys. Rev. 1993, 163, 1115.  
[4] Г.Я. Труханов. Атомная энергия, 1989, 51, 1081.  
[5] H.A. Acker, G. Daum. Nucl. Phys., 1993, 877, 2.

**X.Ş. Abdullayev, M.Ş. Məmmədov**

## **14,7 MeV ENERJİLİ NEYTRONLARIN ORTA NÜVƏ İZOTOPLARINDAN ELASTİKİ SƏPİLMƏSİ**

14 MeV enerjili neytronların Fe(54,56), Co(59) və Ni(58,60) izotoplarından elastiki səpilməsinin diferensial effektiv kəsikləri müzakirə edilmişdir. Monte-Karlo üsulu ilə səpilmənin bucaq ayırdetməsinə və çoxqat səpilməyə düzəliş edilmişdir. Eksperimental nəticələr nüvənin optik modeli ilə olan nəzəri hesablamalarla müqayisə edilmişdir.

**Ch.Sh. Abdullayev, M. Sh. Mamedov**

## **ELASTIC SCATTERING OF NEUTRONS WITH ENERGY 14,7 MeV BY ISOTOPES OF MEAN NUCLEI**

Differential elastic - scattering neutron cross sections with the energy of 14 MeV are analysed for isotopes Fe(54,56), Ca(59), Ni(58,60). Gross sections are corrected for the angular resolution, flux absorption and multiple scattering in the sample by the Monte-Carle method. Experimental data are compared with the calculations by the optical model.