

І. О. Корж, О. В. Коваленко, С. П. Лабунська

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

ЕНЕРГЕТИЧНА ЗАЛЕЖНІСТЬ ПЕРЕРІЗІВ РОЗСІЯННЯ ШВИДКИХ НЕЙТРОНІВ ЯДРАМИ ^{54}Fe

Зроблено порівняльний аналіз експериментальних даних із перерізів взаємодії нейтронів із ядрами ^{54}Fe в області енергій нейтронів 0,3 - 26 MeV і досліджено застосовність оптико-статистичного підходу та методу зв'язаних каналів до опису експериментальних повних перерізів і перерізів пружного та непружного розсіяння нейтронів. Результати адекватного опису сукупності експериментальних даних використано для вивчення в досліджуваному діапазоні енергій внеску прямого механізму і механізму розсіяння через складене ядро в пружне та непружне розсіяння нейтронів ядрами ^{54}Fe .

Ключові слова: ядро, ^{54}Fe , нейтрон, переріз, механізми розсіяння.

Вступ

Дослідження ядерних властивостей заліза як основи багатьох конструкційних матеріалів розпочато в багатьох ядерних лабораторіях давно і на сьогодні вивчені достатньо повно. Однак деякі ядерні властивості ядра ^{54}Fe , якого в природній суміші ізотопів є $\sim 6\%$, досліджені недостатньо. Незважаючи на те, що для ядра ^{54}Fe найбільшу увагу було приділено дослідженню повних перерізів і перерізів пружного та непружного розсіяння нейтронів, надійних даних із перерізів розсіяння довгий час було недостатньо. Основною причиною такого стану були експериментальні труднощі, що виникають під час вимірювання перерізів розсіяння, які пов'язані з неможливістю отримання даних в одному підході в широкому діапазоні енергії нейтронів.

Найбільш надійні результати з перерізів розсіяння отримано при використанні часопрольотних спектрометрів швидких нейтронів, створених на базі імпульсних джерел нейтронів. Отримані нами [1, 2] перерізи пружного та непружного розсіяння швидких нейтронів за допомогою часопрольотного спектрометра швидких нейтронів [3] і ті, що були отримані іншими авторами [4 - 12] в області енергій < 10 MeV, раніше були узагальнені в нашій роботі [13]. У цій роботі було показано, що отримані нами експериментальні перерізи в області 1,5 - 7,0 MeV характеризуються найбільшою повнотою і систематичністю при задовільному узгодженні з більшістю даних інших авторів. Такі експериментальні дані придатні для порівняння їх з результатами теоретичних розрахунків у рамках оптико-статистичного підходу і методу сильно-зв'язаних каналів. Результати такого аналізу експериментальних даних дозволили зробити надійні висновки про відносну роль прямого й компаундного механізмів у розсіянні швидких нейтронів ядрами ^{54}Fe .

На сьогодні досліджувану нами область енергій нейтронів суттєво доповнено вимірами перерізів розсіяння швидких нейтронів в області енергій 0,5 - 4,0 MeV, що наведені в роботі [15]. Крім цього, суттєво розширено діапазон досліджуваних енергій нейтронів. Стали доступними нові експериментальні дані з перерізів пружного та непружного розсіяння нейтронів ядрами ^{54}Fe , отримані авторами робіт [8, 14 - 16] в області енергій > 10 MeV.

Порівняльний аналіз експериментальних перерізів взаємодії швидких нейтронів з ядрами ^{54}Fe

Експериментальна база перерізів взаємодії нейтронів середніх енергій з ядрами ^{54}Fe складається в основному з повних перерізів, диференціальних та інтегральних перерізів пружного та непружного розсіяння. Нині вже накопичена велика кількість інформації про повні перерізи та парціальні перерізи розсіяння як для фіксованих енергій, так і в широкому енергетичному діапазоні. Вони потребують аналізу і систематизації.

Повні перерізи взаємодії швидких нейтронів з ядрами ^{54}Fe . Нас буде цікавити енергетична залежність повних перерізів в області енергій, де є дані з перерізів розсіяння. Для відтворення енергетичної залежності в цій області енергій немає необхідності наводити дані всіх робіт, що є в літературі, а досить навести тільки дані робіт [4, 15, 17], які є найбільш повними та систематичними. Дані робіт [15, 17] отримано з високою роздільною здатністю, вони наведені на рис. 1, який ілюструє енергетичну залежність повних перерізів не всіма точками, а в основному усередненими в інтервалі енергій ~ 200 keV.

Із рисунка видно, що усереднені дані цих робіт узгоджуються між собою в спільному для них енергетичному інтервалі і надійно ілюструють

© І. О. Корж, О. В. Коваленко, С. П. Лабунська, 2017

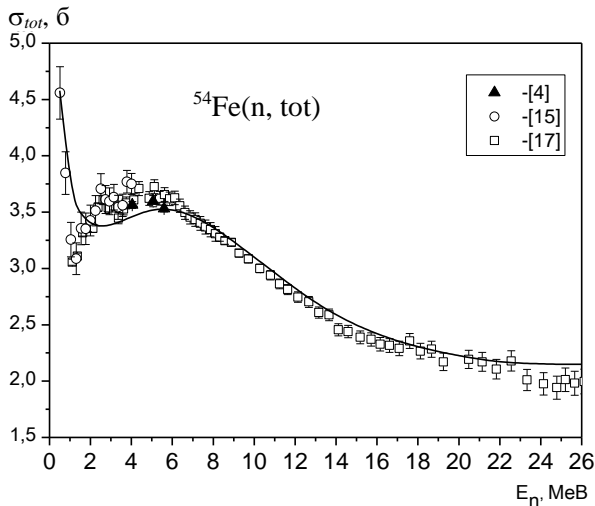


Рис. 1. Енергетична залежність повних перерізів взаємодії швидких нейтронів з ядрами ^{54}Fe . Символи – експериментальні дані робіт [4, 15, 17], крива – результати теоретичних розрахунків перерізів за сферичною оптичною моделлю (СОМ).

енергетичну залежність у широкому діапазоні енергій. Такі дані придатні для порівняння з результатами теоретичних розрахунків. Слід зауважити, що експериментальні дані, отримані з високою роздільною здатністю, указують на існування значної резонансної структури повних перерізів у діапазоні < 3 МеВ. Нижче нами буде показано, що результати структури повних перерізів ядер ^{54}Fe будуть проявлятися і в перерізах пружного та непружного розсіяння нейтронів у вигляді помітного розкиду експериментальних перерізів.

Перерізи пружного та непружного розсіяння швидких нейтронів ядрами ^{54}Fe . Перші експериментальні дослідження кутових розподілів пружного розсіяння нейтронів ядрами ^{54}Fe були проведені в діапазоні енергій < 10 МеВ [1, 2, 4 - 7]. Аналіз експериментальних даних цих робіт показав, що між даними різних авторів існує задовільна узгодженість. Дані з кутових розподілів, що отримані пізніше при більш високих енергіях [8, 14, 16], також добре узгоджуються з даними більш ранніх досліджень. З аналізу енергетичної залежності кутових розподілів випливає, що із зростанням енергії нейтронів в експериментальних кутових розподілах систематично і більш різко проявляється дифракційна картина, що засвідчує ріст оптичного механізму процесу розсіяння.

Інтегральні перерізи пружного розсіяння можна отримати за даними вимірів диференціальних перерізів. Для встановлення зв'язку між $\sigma_{el}(\theta)$ і σ_{el} потрібно оброблені за методом найменших квадратів результати вимірів диференціальних перерізів представити через σ_{el} і у

вигляді розкладу за поліномами Лежандра:

$$\frac{d\sigma_{el}}{d\Omega} = \frac{\sigma_{el}}{4\pi} \left(1 + \sum_{l=1}^n \omega_l P_l \right), \quad (1)$$

$$\frac{d\sigma_{el}}{d\Omega} = \sum_{l=0}^n A_l P_l, \quad (2)$$

де P_l – поліном Лежандра порядку l ; A_l – коефіцієнти розкладу за поліномами Лежандра. Розв'язок цих рівнянь дає можливість обчислення σ_{el} за формулою

$$\sigma_{el} = 4\pi A_0. \quad (3)$$

Отримані таким способом інтегральні перерізи пружного розсіяння наведено на рис. 2.

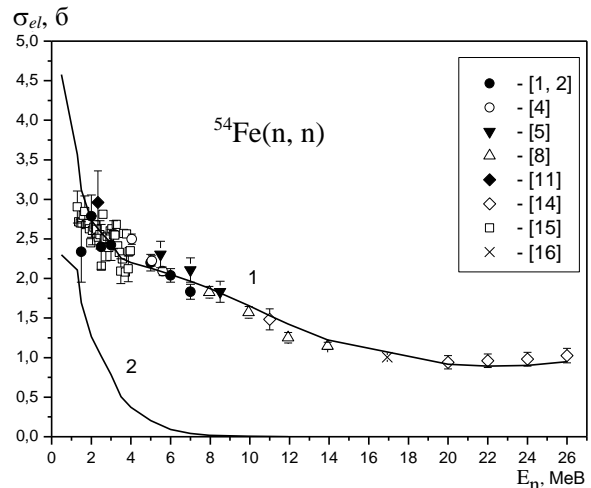


Рис. 2. Енергетична залежність перерізу пружного розсіяння швидких нейтронів ядрами ^{54}Fe . Символи – експериментальні дані робіт [1, 2, 4, 5, 8, 11, 12, 14 - 16], криві – результати теоретичних розрахунків перерізів за СОМ і статистичною моделлю (СМ) (1) та за СМ (2).

Із рисунка видно, що сукупність експериментальних даних про перерізи пружного розсіяння досить узгоджена і тому вона придатна для порівняння з результатами теоретичних обчислень перерізів. За даними диференціальних перерізів роботи [15], отриманих у резонансній області енергій, нами отримані інтегральні перерізи, значення яких ілюструють структуру, яка якісно збігається із структурою повних перерізів. Це свідчить про те, що одні й ті самі резонансні стани компаунд-ядра ^{55}Fe визначають як енергетичну структуру повних перерізів, так і перерізів пружного розсіяння.

Перерізи непружного розсіяння швидких нейтронів ядрами ^{54}Fe , як правило, отримані в тих же роботах авторів, в яких отримані перерізи

пружного розсіяння. З аналізу форми кутових розподілів непружного розсіяння нейтронів робіт [1, 2, 4 - 7, 10] в області енергій до 8 MeV і більш високих енергій [8, 14, 16] зі збудженням перших п'яти рівнів ядра ^{54}Fe можна зробити висновок, що вони в основному близькі до ізотропних і така форма кутових розподілів може бути обумовлена домінуванням у цих процесах компаундного механізму розсіяння.

Тільки в кутових розподілах непружнорозсіяних нейтронів зі збудженням першого 2^+ -рівня помітна анізотропія з піком вперед, яка зі збільшенням енергії нейтронів підсилюється і свідчить про суттєву роль прямого механізму розсіяння в цьому процесі. Інтегральні парціальні перерізи непружного розсіяння, отримані з вимірів диференціальних перерізів в області енергій від порога до ~ 14 MeV наведено на рис. 3 і 4. На цих рисунках наведено також перерізи непружного розсіяння нейтронів, отриманих поблизу порогів збудження рівнів ядра ^{54}Fe методом вимірювання виходу γ -квантів з реакції (n, n') за допомогою германій-літійового спектрометра [15, 18]. Із рис. 3 видно, що в перерізах збудження першого 2^+ -рівня систематичні відмінності від усередненого руху перерізу спостерігаються тільки в даних, отриманих на зразках заліза з природним ізотопним складом [7, 10]. У перерізах збудження більш високих рівнів ядра ^{54}Fe узгодженість даних різних авторів дещо гірша.

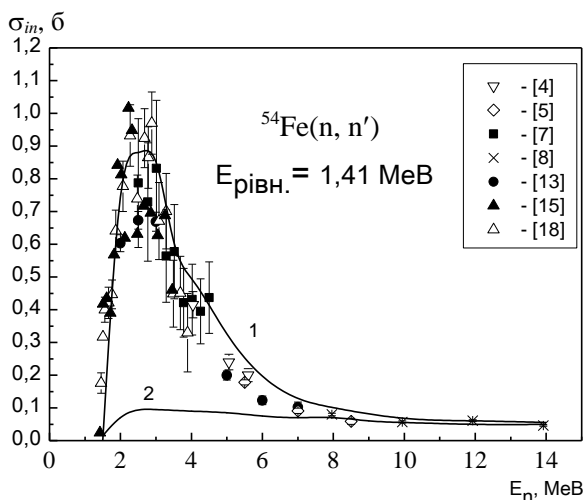


Рис. 3. Енергетична залежність перерізів непружного розсіяння нейтронів із збудженням 2^+ -рівня ядра ^{54}Fe . Символи – експериментальні дані робіт [4, 5, 7, 8, 13, 15, 18], криві – результати теоретичних розрахунків за СМ і методом зв'язаних каналів (МЗК) (1) і МЗК (2).

Аналіз експериментальної інформації щодо основних перерізів взаємодії швидких нейтронів з ядрами ^{54}Fe показав, що, незважаючи на існування помітних розходжень у даних із пружного та непружного розсіяння нейтронів, дані експе-

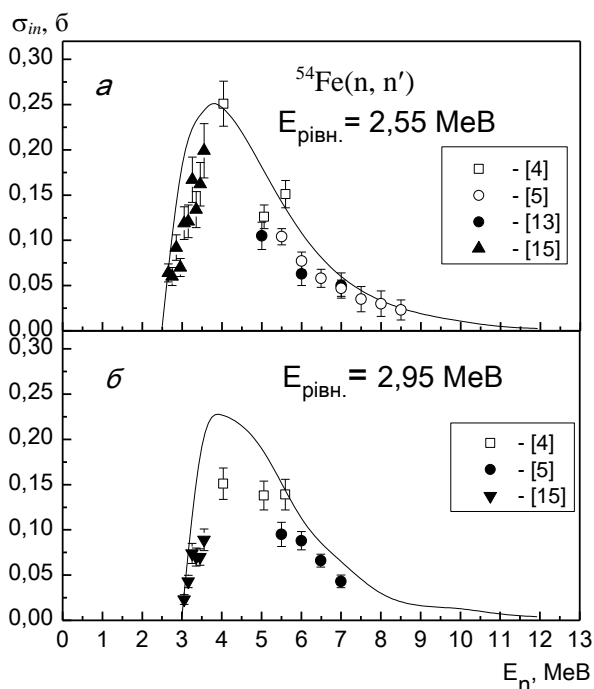


Рис. 4. Енергетична залежність перерізів непружного розсіяння нейтронів із збудженням груп рівнів ядра ^{54}Fe із середньою енергією 2,55 і 2,95 MeV. Символи – експериментальні дані робіт [4, 5, 13, 15] (а) та робіт [4, 5, 15] (б), криві – теоретичні розрахунки за СМ.

риментів різних лабораторій загалом добре узгоджуються між собою. Проте можна з упевненістю говорити про те, що завдяки складній структурі збуджених станів ядра ^{54}Fe та існуванню резонансної структури повних перерізів одним експериментальним шляхом надійно задовольнити потребу в нейтронних даних для ядра ^{54}Fe неможливо. Більш повного та надійного задоволення потреби в нейтронних перерізах можна досягти шляхом проведення теоретичних обчислень перерізів у рамках апробованих ядерних моделей. Аналіз експериментальних результатів показав, що їх достатньо для проведення на їхній базі досліджень застосовності теоретичних моделей, визначення параметрів нейтрон-ядерної взаємодії та дослідження механізмів розсіяння швидких нейтронів.

Теоретичний аналіз експериментальних перерізів розсіяння швидких нейтронів ядрами ^{54}Fe

Теоретичний аналіз експериментальних даних із перерізів розсіяння швидких нейтронів ядром ^{54}Fe нами проведено в рамках оптико-статистичного підходу, базою якого є СМ, МЗК та сучасні варіанти СМ. У рамках цього підходу можна надійно враховувати прямий та компаундний механізми розсіяння. Для розрахунків перерізів із залученням цих моделей нами було отримано індивідуальний набір параметрів опти-

чного потенціалу для ядра ^{54}Fe на базі аналізу експериментальних даних із диференціальних перерізів пружного розсіяння нейтронів в області енергій 1,0 - 26 МеВ. Індивідуальний набір параметрів СОМ було отримано за допомогою програм ECIS [19] та GENOA [20] шляхом пошуку таких значень параметрів дійсної та уявної частини оптичного потенціалу, при яких величина χ^2 набуває мінімального значення при підгонці розрахованих значень $\sigma_{el}(\theta)$ до відповідних експериментальних значень для різних енергій. На цій стадії пошуку інші параметри СОМ залишалися сталими, такими, як у роботі [13]:

$$\begin{aligned} V_{so} &= 7,5 \text{ МеВ}; a_v = a_{so} = 0,65 \text{ Фм}; \\ b &= 0,47 \text{ Фм}; r_v = r_w = r_{so} = 1,25 \text{ Фм}. \end{aligned} \quad (4)$$

Визначені таким чином V_c і W_c у подальшому використано нами для визначення їхньої енергетичної залежності у вигляді

$$\begin{aligned} V_c &= (50,837 - 0,294 E) \text{ МеВ}; \\ W_c &= 10,64 \text{ МеВ}. \end{aligned} \quad (5)$$

У подальшому систематичні розрахунки повних перерізів і перерізів розсіяння швидких нейтронів ядром ^{54}Fe проведено з використанням індивідуального набору параметрів оптичного потенціалу (4, 5).

Теоретичні розрахунки повних перерізів та перерізів пружного розсіяння швидких нейтронів, наведених на рис. 1 і 2 суцільними лініями, порівняні з їхніми експериментальними залежностями в широкому діапазоні енергій.

Компаундні компоненти перерізів розсіяння нейтронів було розраховано за моделлю Хаузера - Фешбаха - Мольдауера [21] з використанням програми АВAREX [22], в якій як конкурентні вихідні канали непружного розсіяння враховано канали як дискретного з відомими характеристиками рівнів [23] до енергії 4,3 МеВ та безперервного спектрів, при розрахованій за композитною формулою Гільберта - Камерона [24] щільності рівнів з параметрами роботи [25]: $\alpha = 5,67 \text{ МеВ}^{-1}$ і $\Delta = 1,07 \text{ МеВ}$. Результати розрахунків перерізів непружного розсіяння нейтронів зі збудженням п'яти найнижчих рівнів ядра ^{54}Fe наведено на рис. 3 і 4, з яких видно, що відносна роль компаундного механізму розсіяння в процесах непружного розсіяння зменшується з ростом енергії і при енергії $> 10 \text{ МеВ}$ стає такою, що нею можна знехтувати.

Перерізи прямого збудження першого 2^+ -рівня ядра ^{54}Fe обраховані за МЗК у припущенні

вібраційної природи найнижчих збуджених станів і сильному зв'язку тільки першого збудженого стану з основним 0^+ [26]. Параметр динамічної квадрупольної деформації взятий рівним $\beta = 0,18$ [27]. Обчислений переріз прямого збудження 2^+ -рівня досягає максимальної величини 95 мб при енергії нейтронів 3 МеВ і плавно зменшується до ~ 70 мб при енергії 8 МеВ.

Із порівняння результатів обчислень з експериментальними даними, наведених на рис. 1 - 4 суцільними лініями, за винятком даних з непружного розсіяння нейтронів із збудженням груп рівнів ядра ^{54}Fe із середньою енергією 2,55 і 2,95 МеВ випливає, що в досліджуваному енергетичному діапазоні узгодженість обчислених та експериментальних даних задовільна. Тому такі дані можна використати в якості опорних при проведенні оцінок нейтронних перерізів, а в тих областях енергії, де відсутні експериментальні дані, результати наших розрахунків перерізів можна розглядати як рекомендовані дані перерізів.

Висновки

Проведено порівняльний аналіз доступних нам експериментальних даних із повних перерізів, перерізів пружного та непружного розсіяння нейтронів ядрами ^{54}Fe в області енергій від 0,5 до 26 МеВ. За результатами аналізу експериментальних перерізів зроблено висновок, що їх достатньо для проведення теоретичного аналізу на їхній базі з метою визначення параметрів оптичного потенціалу (ОП) та дослідження механізмів розсіяння швидких нейтронів.

За результатами теоретичного аналізу експериментальних даних отримано індивідуальний набір параметрів ОП і досліджено застосовність варіанта теоретичного підходу, основу якого становлять СОМ, МЗК та СМ. У рамках цього підходу показано можливість адекватного опису повних перерізів і перерізів розсіяння швидких нейтронів досліджуванім ядром у широкій області енергій.

Адекватний опис перерізів розсіяння нейтронів ядрами ^{54}Fe у широкій області енергій дозволяє надійно зробити висновки щодо механізмів розсіяння. З аналізу випливає, що компаундний механізм дає суттєвий внесок у перерізи пружного розсіяння для енергій нейтронів до 7 МеВ, а в збудженні 2^+ -рівня ядра ^{54}Fe при енергіях до 6 МеВ він домінує. Прямий механізм пружного розсіяння домінує над компаундним в усьому досліджуваному діапазоні енергій. Компонента прямого непружного розсіяння нейтронів зі збудженням першого 2^+ -рівня ядра ^{54}Fe домінує тільки при енергіях нейтронів $> 6 \text{ МеВ}$.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Корж І.А., Мищенко В.А., Можжухин Э.Н. и др. Дифференциальные сечения рассеяния нейтронов с энергиями 1,5 - 3,0 МэВ ядрами титана, железа и висмута // Укр. фіз. журн. - 1977. - Т. 22, № 1. - С. 87 - 94.
2. Корж І.А. Измерение и анализ сечений рассеяния нейтронов ядрами конструкционных материалов в области энергий 0,5 - 9,0 МэВ // Ядерные константы. - 1987. - Вып. 1. - С. 18 - 30.
3. Жук В.В., Козарь А.А., Корж І.А. и др. Спектрометр быстрых нейтронов по времени пролета с наносекундным импульсным источником ЭГ-5 // Нейтронная физика. Ч. IV. - Обнинск: ФЭИ, 1974. - С. 203 - 212; Корж І.А., Мищенко В.А., Санжур І.Е. Рассеяние нейтронов с энергией 5 МэВ ядрами кремния и серы // Укр. фіз. журн. - 1980. - Т. 25, № 1. - С.109 - 116.
4. Boshung P., Lindow J., Shrader E. Scattering of fast neutrons by ^{12}C , ^{54}Fe , ^{56}Fe , ^{58}Ni and ^{60}Ni // *Nucl. Phys.* - 1971. - Vol. A161, No. 2. - P. 593 - 609.
5. Kinney W., Perey F. ^{54}Fe neutron elastic and inelastic scattering cross sections from 5.5 to 8.5 MeV // Rep. ORNL-4907. - 1974.
6. Федоров М.Б., Яковенко Т.И. Угловые распределения нейтронов с энергией 2,9 МэВ, рассеянных ядрами ^{54}Fe // Укр. фіз. журн. - 1974. - Т. 19, № 1. - С. 152 - 153.
7. Etemad M. Neutron inelastic scattering cross section in the energy range 2 to 4.5 MeV. Measurement and calculations // Aktiebolaget Atomenergi Report AE-481. - Sweden, Studsvik, 1973. - 62 p.
8. El-Kadi S., Nelson C., Purser F. et al. Elastic and inelastic scattering of neutrons from $^{54,56}\text{Fe}$ and $^{63,65}\text{Cu}$. 1. Measurements from 8 to 14 MeV and a spherical optical model analysis // *Nucl. Phys.* - 1982. - Vol. A390, No. 3. - P. 509 - 540.
9. Angular distributions in neutron induced reactions. BNL-400. - 3-rd ed. - Vol. II. - 1976.
10. Smith A., Guenther P. Scattering of MeV neutron from elemental iron // *Nucl. Sci. Eng.* - 1980. - Vol. 73, No. 2. - P. 186 - 195.
11. Rodgers W.L., Shrader E.F., Lindow J.T. Neutron scattering from ^{12}C , $^{54,56}\text{Fe}$, ^{65}Cu , $^{58,60}\text{Ni}$ // Nuclear Science References (NSR) - IAEA-NDS. COO-1573-33. - 1967. - P. 2.
12. Benjamin R., Morgan I. Gamma-rays from fast-neutron scattering in ^{54}Fe // *Phys. Rev.* - 1967. - Vol. 163, No. 4. - P. 1252 - 1258.
13. Корж І.А., Мищенко В.А., Правдивый Н.М. Сечения упругого и неупругого рассеяний быстрых нейтронов ядрами ^{54}Fe // *Атомная энергия.* - 1987. - Т. 62, вып. 6. - С. 417 - 420.
14. Mellema S., Finlay R.W., Dietrich F.S., Petrovich F. Microscopic and conventional optical model analysis of fast neutron scattering from $^{54,56}\text{Fe}$ // *Phys. Rev. C.* - 1983. - Vol. 28. - P. 2267 - 2274.
15. Guenther P.T., Smith D.L., Smith A.B., Whalen J.F. Total, scattering and γ -ray-production cross sections for few-MeV neutrons on ^{54}Fe // *Ann. Nucl. Energy.* - 1986. - Vol. 13, No. 11. - P. 601 - 610.
16. Pedroni R.S., Howell C.R., Honore J.M. et al. Energy dependence of the deformed optical potential for neutron scattering from $^{54,56}\text{Fe}$ and $^{58,60}\text{Ni}$ up to 80 MeV // *Phys. Rev. C.* - 1988. - Vol. 38, No. 5. - P. 2052 - 2062.
17. Pandey M.S., Gary J.B., Harvey J.A., Good W.M. High resolution total neutron cross-section in ^{54}Fe and ^{56}Fe // *Cross-Sect. and Techn.* - 1975. - Vol. 2. - P. 748.
18. Mittler A., Nardini G., Couchell G. Measurements of neutron inelastic scattering cross sections for natural iron // Data from CSISRS File, Accession No. 80257. National Nuclear Data Center, BNL, Upton, N.Y.
19. Raunal J. Notes on ECIS94. - Centre d'Etudes de Saclay Service de Physique Theorique Laboratoire des Sciences de la Direction des Sciences de la Matiere. - CEA-N-2772.
20. Perey F. SPI-GENOA. An optical model code: the Niels Bohr Institute - Computer Program library. - 1975.
21. Moldauer P. Statistical theory of nuclear collision cross sections // *Phys. Rev. B.* - 1964. - Vol. 135, No. 3. - P. 642 - 650.
22. Lawson R.D., Smith A.B. Neutron spherical optical-statistical-model code ABAREX: Report ANL/NDM. - 1999. - 145.
23. *Table of isotopes / 7-th ed.* - N. Y.: John Willey and Sons, 1978.- 1600 p.
24. Gilbert A., Cameron A. Composite nuclear-level density formula with shell corrections // *Can. J. Phys.* - 1965. - Vol. 43. - P. 446.
25. Dilg W., Schantl W., Vonach H, Uhl M. Level density parameters for the back-shifted Fermi-gas model in the mass range $40 < A < 250$ // *Nucl. Phys.* - 1973. - Vol. A217, No. 2. - P. 269 - 298.
26. Игнатюк А.В., Лунев В.П., Шорин В.Ю. Расчеты сечений рассеяния нейтронов коллективными состояниями ядер методом связанных каналов // Вопросы атомной науки и техники. Сер. Ядерные константы. - 1974. - Вып. 13. - С. 59 - 114.
27. Stelson P., Grodzins L. Nuclear transition probability $B(E_2)$ for $\Theta_{g.s}^+$ - 2^+ -first transition and deformation parameters β_2 // *Nucl. Data.* - 1965. - Vol. A1, No. 1. - P. 21 - 102.

И. А. Корж, А. В. Коваленко, С. Ф. Лабунская

Институт ядерных исследований НАН Украины, Киев

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЗАВИСИМОСТЬ СЕЧЕНИЙ РАССЕЯНИЯ БЫСТРЫХ НЕЙТРОНОВ ЯДРАМИ ^{54}Fe

Проведен сравнительный анализ экспериментальных данных по сечениям взаимодействия нейтронов с ядрами ^{54}Fe в области энергий нейтронов 0,3 - 26 МэВ и исследована применимость оптико-статистического подхода и метода связанных каналов к описанию экспериментальных полных сечений и сечений упругого и неупругого рассеяний нейтронов. Результаты адекватного описания совокупности экспериментальных данных использованы для изучения в исследуемом диапазоне энергий вклада прямого механизма и механизма рассеяния через составное ядро в упругое и неупругое рассеяния нейтронов ядрами ^{54}Fe .

Ключевые слова: ^{54}Fe , нейтрон, сечение, механизмы рассеяния.

I. O. Korzh, O. V. Kovalenko, S. P. Labunska

Institute for Nuclear Research, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv

ENERGY DEPENDENCE OF FAST NEUTRON SCATTERING CROSS-SECTION FOR ^{54}Fe NUCLEI

Comparison and analysis of experimental data on neutron interaction cross-sections for ^{54}Fe nuclei were made in the energy range 0.3 - 26 MeV. The applicability of the optical-statistical approach and coupled-channels method for the description of experimental total, elastic and inelastic neutron scattering cross-sections was studied. Results of the adequate description of the experimental data set were used to study the contributions of the direct mechanism and mechanism of scattering through compound nucleus to the elastic and inelastic scattering of neutron by ^{54}Fe .

Keywords: ^{54}Fe , neutron, cross section, scattering mechanisms.

REFERENCES

1. Korzh I.A., Mishchenko V.A., Mozhzhukhin E.N. et al. // Ukr. fiz. zhurn. - 1977. - Vol. 22, No. 1. - P. 87 - 94. (Rus)
2. Korzh I.A. // Yadernye konstanty. - 1987. - Iss. 1. - P. 18 - 30. (Rus)
3. Zhuk V.V., Kozar' A.A., Korzh I.A. et al. Fast neutron spectrometer in time of flight with nanosecond pulse source EG-5 // Neutron Physics. Part IV. - Obninsk: Institute of Physics and Power Engineering, 1974. - P. 203 - 212 (Rus); Korzh I.A., Mishchenko V.A., Sanzhur I.E. // Ukr. fiz. zhurn. - 1980. - Vol. 25, Vol. 1. - P.109 - 116. (Rus)
4. Boshung P., Lindow J., Shrader E. Scattering of fast neutrons by ^{12}C , ^{54}Fe , ^{56}Fe , ^{58}Ni and ^{60}Ni // Nucl. Phys. - 1971. - Vol. A161, No. 2. - P. 593 - 609.
5. Kinney W., Perey F. ^{54}Fe neutron elastic and inelastic scattering cross sections from 5.5 to 8.5 MeV // Rep. ORNL-4907. - 1974.
6. Fedorov M.B., Yakovenko T.I. // Ukr. fiz. zhurn. - 1974. - Vol. 19, No. 1. - P. 152 - 153. (Rus)
7. Etemad M. Neutron inelastic scattering cross section in the energy range 2 to 4.5 MeV. Measurement and calculations // Aktiebolaget Atomenergi Report AE-481. - Sweden, Studsvik, 1973. - 62 p.
8. El-Kadi S., Nelson C., Purser F. et al. Elastic and inelastic scattering of neutrons from $^{54,56}\text{Fe}$ and $^{63,65}\text{Cu}$. 1. Measurements from 8 to 14 MeV and a spherical optical model analysis // Nucl. Phys. - 1982. - Vol. A390, No. 3. - P. 509 - 540.
9. Angular distributions in neutron induced reactions. BNL-400. - 3-rd ed. - Vol. II. - 1976.
10. Smith A., Guenther P. Scattering of MeV neutron from elemental iron // Nucl. Sci. Eng. - 1980. - Vol. 73, No. 2. - P. 186 - 195.
11. Rodgers W.L., Shrader E.F., Lindow J.T. Neutron scattering from ^{12}C , $^{54,56}\text{Fe}$, ^{65}Cu , $^{58,60}\text{Ni}$ // Nuclear Science References (NSR) - IAEA-NDS. COO-1573-33. - 1967. - P. 2.
12. Benjamin R., Morgan I. Gamma-rays from fast-neutron scattering in ^{54}Fe // Phys. Rev. - 1967. - Vol. 163, No. 4. - P. 1252 - 1258.
13. Korzh I.A., Mishchenko V.A., Pravdivyj N.M. // Atomnaya energiya. - 1987. - Vol. 62, Iss. 6. - P. 417 - 420. (Rus)
14. Mellema S., Finlay R.W., Dietrich F.S., Petrovich F. Microscopic and conventional optical model analysis of fast neutron scattering from $^{54,56}\text{Fe}$ // Phys. Rev. C. - 1983. - Vol. 28. - P. 2267 - 2274.
15. Guenther P.T., Smith D.L., Smith A.B., Whalen J.F. Total, scattering and γ -ray-production cross sections for few-MeV neutrons on ^{54}Fe // Ann. Nucl. Energy. - 1986. - Vol. 13, No. 11. - P. 601 - 610.
16. Pedroni R.S., Howell C.R., Honore J.M. et al. Energy dependence of the deformed optical potential for neutron scattering from $^{54,56}\text{Fe}$ and $^{58,60}\text{Ni}$ up to 80 MeV // Phys. Rev. C. - 1988. - Vol. 38, No. 5. - P. 2052 - 2062.

17. *Pandey M.S., Gary J.B., Harvey J.A., Good W.M.* High resolution total neutron cross-section in ^{54}Fe and ^{56}Fe // *Cross-Sect. and Techn.* - 1975. - Vol. 2. - P. 748.
18. *Mittler A., Nardini G., Couchell G.* Measurements of neutron inelastic scattering cross sections for natural iron // *Data from CSISRS File, Accession No. 80257.* National Nuclear Data Center, BNL, Upton, N.Y.
19. *Raunal J.* Notes on ECIS94. - Centre d'Etudes de Saclay Service de Physique Theorique Laboratoire des Scinces de la Direction des Sciences de la Matiere. - CEA-N-2772.
20. *Perey F.* SPI-GENOA. An optical model code: the Niels Bohr Institute - Computer Program library. - 1975.
21. *Moldauer P.* Statistical theory of nuclear collision cross sections // *Phys. Rev. B.* - 1964. - Vol. 135, No. 3. - P. 642 - 650.
22. *Lawson R.D., Smith A.B.* Neutron spherical optical-statistical-model code ABAREX: Report ANL/NDM. - 1999. - 145.
23. *Table of isotopes / 7-th ed.* - N. Y.: John Willey and Sons, 1978. - 1600 p.
24. *Gilbert A., Cameron A.* Composite nuclear-level density formula with shell corrections // *Can. J. Phys.* - 1965. - Vol. 43. - P. 446.
25. *Dilg W., Schantl W., Vonach H, Uhl M.* Level density parameters for the back-shifted Fermi-gas model in the mass range $40 < A < 250$ // *Nucl. Phys.* - 1973. - Vol. A217, No. 2. - P. 269 - 298.
26. *Ignatyuk A.V., Lunev V.P., Shorin V.Yu.* // *Voprosy atomnoj nauki i tekhniki. Ser. Yadernye konstanty.* - 1974. - Iss. 13. - P. 59 - 114. (Rus)
27. *Stelson P., Grodzins L.* Nuclear transition probability $B(E_2)$ for $\theta_{g.s.}^+$ - 2^+ -first transition and deformation parameters β_2 // *Nucl. Data.* - 1965. - Vol. A1, No. 1. - P. 21 - 102.

Надійшла 29.11.2016
Received 29.11.2016