

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЗМІВ РОЗСІЯННЯ ШВИДКИХ НЕЙТРОНІВ ЯДРАМИ КОБАЛЬТУ

І. О. Корж, М. Т. Скляр, Т. І. Яковенко

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Зроблено порівняльний аналіз експериментальних даних із перерізів взаємодії нейтронів з ядрами ^{59}Co в області енергій нейтронів (0,3 - 22) MeV і досліджено застосовність оптико-статистичного підходу та моделі збудженого остова 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 та механізму розсіяння через складене ядро в пружне та непружне розсіяння нейтронів ядрами кобальту.

Вступ

Кобальт є важливою складовою частиною багатьох феросплавів, що використовуються як конструкційні матеріали реакторів. Серед конструкційних матеріалів середньої атомної маси (Ti - Cu) особливе місце займає кобальт. На відміну від своїх сусідів по таблиці Менделєєва – заліза та нікелю – кобальт є моноізотопним елементом (100 % ^{59}Co) з добре відомою структурою збуджених станів [1] і резонансною структурою повних перерізів взаємодії нейтронів в області енергій до 4 MeV [2].

Одноізотопність кобальту та належність його до конструкційних матеріалів ядерних реакторів сприяли накопиченню значної експериментальної інформації про перерізи взаємодії нейтронів з ядрами кобальту в області енергій реакторного спектра. Особливу увагу було приділено дослідженню повних перерізів і перерізів пружного та непружного розсіяння швидких нейтронів як бази нейтронних даних, яка сприяє створенню (уточненню) бібліотеки оцінених даних та уточненню параметрів моделей нейтрон-ядерної взаємодії. Проте до теперішнього часу не було зроблено критичного аналізу експериментальної інформації щодо процесів взаємодії швидких нейтронів з ядрами кобальту, одержаних у різних лабораторіях, і не проведено теоретичного аналізу цієї сукупності експериментальних даних.

У міру накопичення експериментальної інформації про повні перерізи та перерізи пружного розсіяння нейтронів рядом авторів було використано ці дані для визначення параметрів оптичного потенціалу, необхідних для розрахунків перерізів ядерних реакцій під дією нейтронів. Проте на той час ще неможливо було надійно враховувати процеси розсіяння, що проходять через складене ядро, через ненадійність результатів досліджень структури збуджених станів ядер кобальту і неврахування або некоректне врахування ефектів флуктуації та кореляції ширин рівнів.

Тому часто параметри оптичної моделі, отримані при високих енергіях, незадовільно описують повні перерізи та перерізи розсіяння при низьких енергіях і навпаки. На сьогодні вже можливо надійно оцінювати вклади процесів, що проходять через складене ядро, тому що сучасні варіанти статистичної моделі (СМ) враховують флуктуації ширин рівнів і конкуренцію вихідних каналів розсіяння зі збудженням як дискретного, так і неперервного спектра рівнів ядра.

Експериментальні дані про перерізи непружного розсіяння швидких нейтронів ядрами кобальту, отримані авторами більшості робіт, було проаналізовано в рамках статистичної моделі без урахування нестатистичних процесів у непружному розсіянні. Однак на сьогодні на необхідність урахування прямого механізму розсіяння нейтронів ядрами кобальту в рамках моделі збудженого остова (МЗО) [3] вказують результати роботи [4] та результати наших робіт [5, 6] для сусідніх непарних ядер.

Тому завданням даної роботи стало проведення аналізу накопиченої до цього часу експериментальної інформації про повні перерізи та перерізи розсіяння швидких нейтронів в області енергій реакторного спектра ядрами кобальту і проведення теоретичного аналізу цієї сукупності експериментальних даних у рамках оптико-статистичного підходу та МЗО.

Характеристика бази нейтронних даних для ядер кобальту

Повні перерізи взаємодії. Повні перерізи взаємодії нейтронів з ядрами кобальту досліджуються вже більше 50 років. Проте, як і для більшості ядер конструкційних матеріалів, систематичні дослідження повних перерізів проведено в останні 40 років і нині вже накопичено велику та надійну інформацію для області енергій реакторного спектра. Для відтворення енергетичної залежності повних перерізів немає необхідності

наводити дані всіх робіт, що є в літературі, а досить навести тільки дані робіт [2, 7 - 10], що є найбільш повними та систематичними. Дані цих робіт наведено на рис. 1 не всіма точками, а в основному усередненими в діапазоні 0,25 MeV. Такі дані більш придатні для порівняння між собою і з результатами теоретичних розрахунків. Із рисунка видно, що усереднені дані цих робіт у межах експериментальних похибок узгоджуються між собою в спільному для них енергетичному інтервалі й надійно ілюструють енергетичну залежність в широкій області енергій. Слід зауважити, що експериментальні дані, отримані з високим енергетичним розділенням, указують на існування значної резонансної структури повних перерізів в області енергій ≤ 4 MeV. Резонансна структура повних перерізів буде проявлятися і в перерізах пружного та непружного розсіяння нейтронів ядрами кобальту у вигляді помітного розкиду експериментальних перерізів.

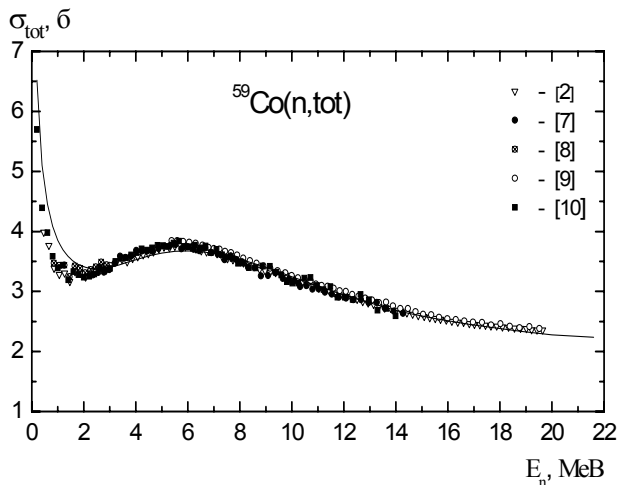


Рис. 1. Енергетична залежність повних перерізів взаємодії швидких нейтронів з ядрами кобальту. Символи – експериментальні дані робіт [2, 7 - 10], крива – результати розрахунків перерізів за сферичною оптичною моделлю (СОМ) із параметрами (1, 2).

Пружне розсіяння нейтронів. Експериментальні дослідження кутової й енергетичної залежності перерізів пружного розсіяння швидких нейтронів ядрами кобальту було розпочато майже одночасно з експериментами з дослідження повних перерізів. На сьогодні база експериментальних даних з $\sigma_{el}(\theta)$ на ядрах кобальту в області енергій (0,3 - 22) MeV досягає майже такої ж повноти, як і для σ_t . У більшості робіт авторами було отримано інтегральні перерізи на базі диференціальних перерізів пружного розсіяння. За даними робіт [4, 11] із диференціальних перерізів пружного розсіяння нами отримано інтегральні перерізи.

В області енергій реакторного спектра найбільш систематичні дослідження (дослідження в

широкій області енергій і кутів розсіяння) проведено в Аргонській національній лабораторії (АНЛ) [4, 12, 13]. За даними цих робіт і деяких робіт інших авторів на рис. 2 наведено енергетичну залежність інтегральних перерізів пружного розсіяння нейтронів ядрами кобальту. Із рисунка видно, що при енергіях нейтронів, менших за 1,5 MeV, дані роботи [12] добре узгоджуються як з усередненими даними роботи [14], отриманими в області енергій (0,69 - 1,18) MeV, так і з даними робіт [15 - 17], отриманими при фіксованих енергіях. При енергіях, більших за 1,5 MeV, систематичні дані отримано в Студсвіку (Швеція) в області енергій (1,46 - 8,05) MeV [18] і в Оксфордській національній лабораторії в області енергій (5 - 8,5) MeV [19]. Дані цих робіт, за винятком даних роботи [18] при енергіях 6,08, 7,05, і 8,05 MeV, добре узгоджуються з систематичними даними роботи [4], які отримано з розкидом по енергії від 50 до 100 keV. Дані систематичних робіт [4, 18, 19] добре узгоджуються й з даними робіт [20 - 23], які отримано при фіксованих енергіях. При енергіях нейтронів, більших за 10 MeV, у літературі є надійні дані з диференціальних перерізів пружного розсіяння в області енергій (9,5 - 18,86) MeV [11]. Дані цієї роботи досить добре узгоджуються з даними більш ранніх робіт, отриманих при фіксованих енергіях [4, 24 - 26]. При енергіях нейтронів, більших за 20 MeV, у літературі є дані тільки при енергії 21,6 MeV [27].

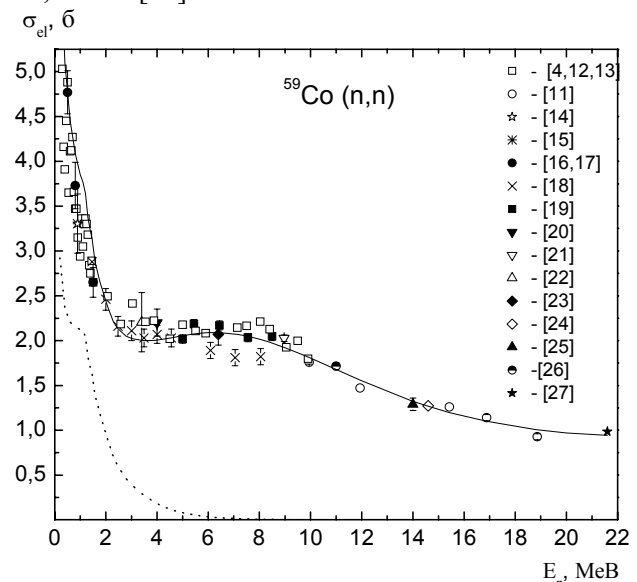


Рис. 2. Енергетична залежність перерізу пружного розсіяння швидких нейтронів ядрами кобальту. Символи – експериментальні дані робіт [4, 11 - 27], криві – результати розрахунків перерізів за СОМ і СМ (суцільна крива), за СМ (пунктирна) з параметрами (1, 2).

Кутові розподіли пружного розсіяння нейтронів ядрами кобальту наведено на рис. 3 для 13

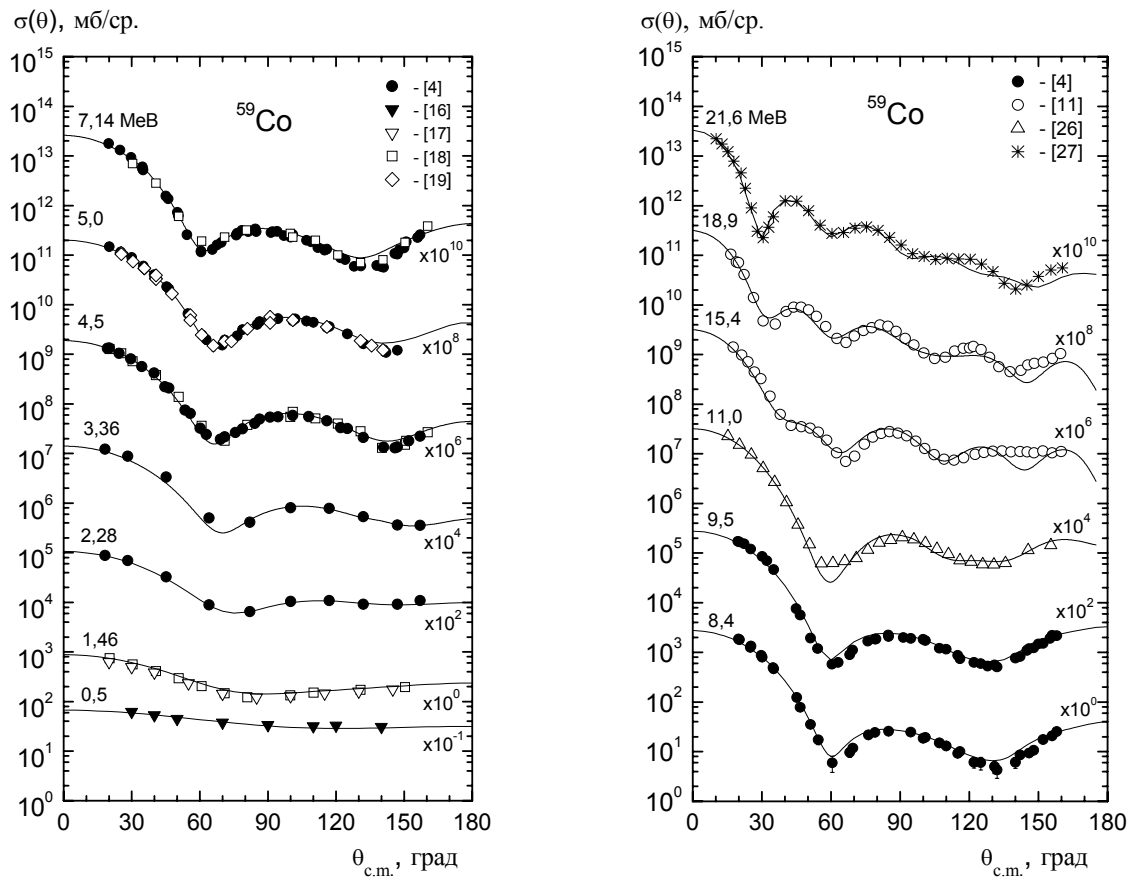


Рис. 3. Диференціальні перерізи пружного розсіяння нейтронів ядрами кобальту в області енергій (0,5 - 21,6) МеВ. Символи – експериментальні дані робіт [4, 11, 16 – 19, 26, 27]. Криві – результати розрахунків за СОМ і СМ з параметрами оптичного потенціалу (ОП), отриманими в даній роботі.

значень енергії нейтронів [4, 11, 16 - 19, 26, 27] для демонстрації тенденції зміни анізотропії зі зміною енергії нейтронів та узгодженості даних різних авторів у досліджуваному діапазоні енергій. Із рисунка видно, що експериментальні дані різних авторів добре узгоджуються між собою, а кутові розподіли пружного розсіяння нейтронів проявляють плавну зміну анізотропії зі зміною енергії нейтронів.

Слід зауважити, що в досліджуваній області енергій дані з пружного розсіяння нейтронів ядрами кобальту отримано, в основному, прецизійним часо-пролітним методом, і тому такі дані є надійною базою нейтронних перерізів при визначенні параметрів нейтрон-ядерної взаємодії та дослідженні механізмів розсіяння.

Перерізи непружного розсіяння нейтронів. Незважаючи на те, що експерименти з дослідження кутової та енергетичної залежності перерізів непружного розсіяння було розпочато майже одночасно з експериментами з пружного розсіяння, у літературі й на сьогодні ще не досягнуто такої ж повноти й точності, як для σ_{el} . Це пов'язано з тим, що більшість вимірювань перерізів непружного розсіяння нейтронів прово-

диться при значній конкуренції пружного розсіяння нейтронів. За таких умов вимірювань при енергіях нейтронів, більших за 10 МеВ, експериментальні методики безпосередньої реєстрації нейтронів не можуть забезпечити необхідну роздільну здатність пружного та непружного розсіяння нейтронів.

Як і для пружного розсіяння нейтронів ядрами кобальту, найбільш повна інформація про перерізи непружного розсіяння отримана в АНЛ і опублікована в роботах [4, 12, 13]. Дані цих робіт суттєво доповнюють результати вимірювань перерізів непружного розсіяння, які опубліковано в роботах [19, 28]. Значні результати з непружного розсіяння нейтронів при $E_n \leq 3,1$ МеВ зі збудженням ряду найнижчих рівнів ядра кобальту було отримано авторами роботи [29] з використанням методу реєстрації виходу γ -квантів, що супроводжують непружне розсіяння. Компіляцію даних робіт [4, 12, 13, 19, 28, 29] щодо перерізів непружного розсіяння зі збудженням найнижчих семи рівнів ядра кобальту наведено на рис. 4. З рисунка видно, що систематичні дані є тільки в області енергій нейтронів < 6 МеВ і в цій області енергій дані різних авторів добре узгоджуються

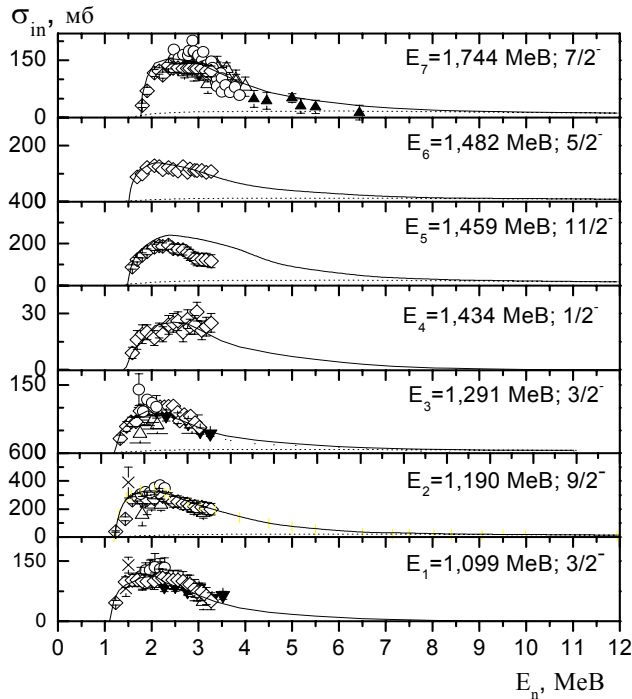


Рис. 4. Енергетична залежність перерізів непружного розсіяння нейтронів зі збудженням семи перших рівнів ядра ^{59}Co . Точки – експериментальні дані робіт: \circ - [4], \times - [12], \triangle - [13], \blacktriangle - [19], ∇ - [28], M - [29], криві – результати розрахунків за СМ і МЗО (суцільні), за МЗО (пунктирні).

між собою. Крім даних з перерізів непружного розсіяння нейтронів зі збудженням окремих рівнів, у літературі є й дані з суми перерізів непружного розсіяння семи найнижчих рівнів ядра кобальту. Результати цих робіт наведено на рис. 5. Наведені на цьому рисунку дані робіт [4, 19, 28, 29] є сумою експериментальних перерізів непружного розсіяння нейтронів зі збудженням семи найнижчих станів, а дані роботи [4] при енергіях $> 4,5$ MeV є перерізами, отриманими шляхом інтегрування суми диференціальних перерізів із збудженням станів в області енергій від 1 до 1,8 MeV. Такі дані являються більш надійною базою даних для апробації теоретичних розрахунків.

Крім даних про парціальні перерізи непружного розсіяння, у роботі [4] є надійні дані й про суму диференціальних перерізів непружного розсіяння зі збудженням семи найнижчих рівнів ядра кобальту при 12 значеннях енергії нейтронів в діапазоні 4,5 - 10 MeV. Форма цих кутових розподілів указує на те, що при енергіях нейтронів, більших за 4,5 MeV, є вклад у переріз як прямого механізму непружного розсіяння, так і механізму розсіяння через складене ядро.

Аналіз експериментальної інформації щодо

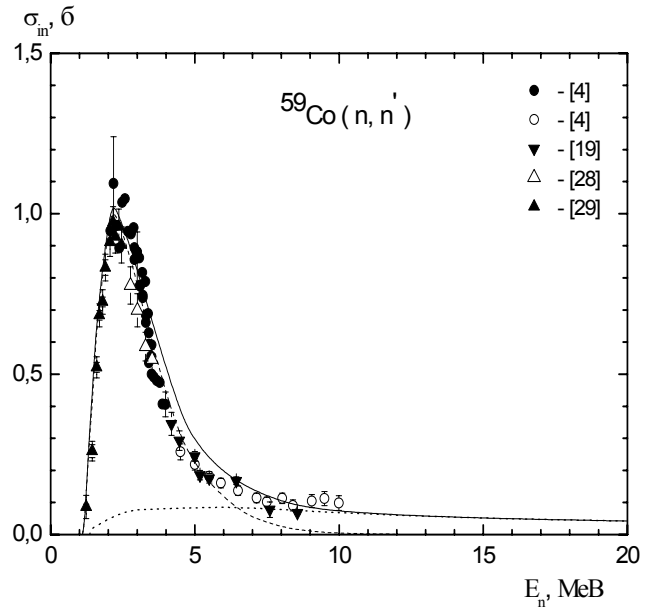


Рис. 5. Енергетична залежність суми перерізів непружного розсіяння нейтронів зі збудженням семи перших рівнів ядра ^{59}Co . Точки – експериментальні дані робіт [4, 19, 28, 29], криві – результати розрахунків за СМ і МЗО (суцільна), за СМ (штрихова) та за МЗО (пунктирна).

процесів взаємодії швидких нейтронів з ядрами кобальту, одержаної в різних лабораторіях і різними авторами, показав, що, незважаючи на існування помітних розходжень у даних із пружного та, особливо, непружного розсіяння нейтронів, дані експериментів різних лабораторій, загалом, добре узгоджуються між собою. Проте вже сьогодні можна з упевненістю говорити про те, що завдяки складній структурі збуджених станів ядер кобальту та існуванню резонансної структури повних перерізів одним експериментальним шляхом задовольнити потребу в нейтронних даних для ядра кобальту неможливо. Більш повного задоволення потреби в нейтронних даних можна досягти шляхом проведення теоретичних розрахунків перерізів у рамках ядерних моделей після їх всебічної апробації.

Зроблений нами порівняльний аналіз отриманих нами і тих, що є в літературі, повних перерізів, перерізів пружного та непружного розсіяння нейтронів у широкій області енергій показав, що їх достатньо для проведення на їх базі досліджень застосовності теоретичних моделей, визначення параметрів нейтрон-ядерної взаємодії й для дослідження механізмів розсіяння нейтронів у широкому діапазоні енергій.

Теоретичний аналіз експериментальних даних

Теоретичний аналіз експериментальних даних із перерізів взаємодії швидких нейтронів із досліджуванім ядром проведено в рамках оптико-статистичного підходу, підґрунтям якого є СОМ, метод зв'язаних каналів (МЗК), МЗО та сучасні варіанти СМ. У рамках цього підходу можна надійно враховувати прямий та компаундний механізм розсіяння. Для розрахунків перерізів із залученням цих моделей було отримано індивідуальний набір параметрів ОП для ядра кобальту на базі аналізу експериментальних даних з перерізів пружного розсіяння, оскільки усереднені параметри СОМ, отримані з опису перерізів парно-парних ядер середньої атомної маси, не описують адекватно експериментальні дані цього непарного ядра.

Для ядра кобальту індивідуальний набір параметрів СОМ було отримано за допомогою програм ECIS-94 [30] та АВAREX [31] шляхом пошуку таких значень параметрів дійсної та уявної частини ОП (V_c , W_c), при яких величина χ^2 набуває мінімального значення при підгонці розрахованих значень σ_t і $\sigma_{el}(\theta)$ до відповідних експериментальних значень для різних енергій. На цій стадії пошуку інші параметри СОМ залишались сталими, такими як у роботі [32]:

$$V_{s0} = 7,5 \text{ MeB}; \quad a_v = a_w = 0,65 \text{ Фм}; \quad b = 0,47 \text{ Фм};$$

$$r_v = r_w = r_{s0} = 1,25 \text{ Фм}. \quad (1)$$

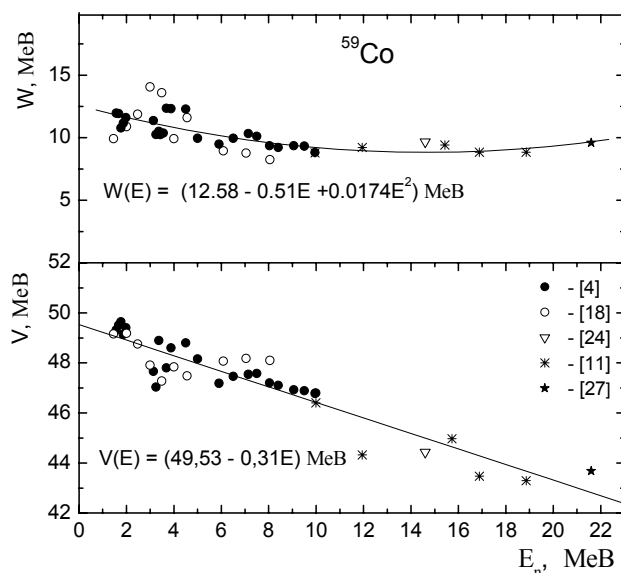


Рис. 6. Енергетична залежність параметрів ОП для ядра кобальту за результатами аналізу диференціальних перерізів пружного розсіяння, отриманих авторами робіт [4, 11, 18, 24, 27].

Визначені таким чином параметри наведено на рис. 6 і в подальшому використано нами для визначення їх енергетичної залежності. Було отримано енергетичну залежність для V_c та W_c

$$V_c = (49,53 - 0,31E) \text{ MeB};$$

$$W_c = (12,58 - 0,51E + 0,0174E^2) \text{ MeB}. \quad (2)$$

У подальшому систематичні розрахунки повних перерізів і перерізів розсіяння швидких нейтронів ядрами кобальту проведено з використанням параметрів ОП у вигляді (1, 2).

Компаундні компоненти перерізів розсіяння нейтронів було розраховано за моделлю Хаузера - Фешбаха - Мольдауера [33] з використанням програми ECIS-94, а характеристики збуджених станів ядра кобальту взято з робіт [1, 29]. При енергіях нейтронів, більших за 4 MeB, розрахунки компаундні компоненти пружного та непружного розсіяння здійснено за програмою АВAREX [31], в якій як конкурентні вихідні канали непружного розсіяння враховано канали як дискретного, так і безперервного спектра, при розрахованій за композитною формулою Гільберта - Камерона [34] щільності рівнів з параметрами роботи [4]: $E_0 = -0,4 \text{ MeB}$; $T = 1,1 \text{ MeB}$, $\sigma = 3,0$.

Вклад прямої компоненти непружного розсіяння нейтронів зі збудженням найнижчих рівнів ядра кобальту розраховано нами за МЗО. У цій моделі збуджені стани ядра ^{59}Co зі спінами від $3/2^-$ до $11/2^-$ трактуються як члени мультиплету рівнів при зв'язку протонної дірки в $f_{7/2}$ -оболонці з однофононим 2^+ станом ядра кора ^{60}Ni . Енергетичну структуру цього квінтету станів (положення й послідовність енергетичних рівнів) можна досить добре описати в рамках моделі взаємодіючих нуклонів і фононів. При цьому в розрахованій структурі всіх рівнів спостерігається домінування однофононної компоненти. Цей результат обґрунтовує використання МЗО в розрахунках прямої компоненти непружного розсіяння нейтронів ядрами кобальту, згідно з якою переріз непружного розсіяння зі збудженням компоненти мультиплету зі спіном J^π в непарному ядрі ^{59}Co пропорційний перерізу збудження однофононного стану в парно-парному ядрі остова ^{60}Ni :

$$\frac{d\sigma}{d\Omega}(J^\pi, ^{59}\text{Co}) = \frac{(2J^\pi + 1)}{40} \frac{d\sigma}{d\Omega}(2^+, ^{60}\text{Ni}). \quad (3)$$

Припускаючи, що ^{60}Ni є ядром вібраційної природи з $\beta_2 = 0,22$ [35], нами за методом сильно зв'язаних каналів за програмою ECIS-94 з вико-

ристанням параметрів ОП роботи [4] обчислено переріз прямого збудження першого стану 2^+ ядра ^{60}Ni . У розрахунках перерізу враховано зв'язок основного стану 0^+ з однофоновим станом 2^+ ядра ^{60}Ni . Згідно з МЗО отриманий переріз прямого збудження першого 2^+ -стану ядра ^{60}Ni розподіляється з урахуванням статистичного множника між квінтетом станів ^{59}Co , на який розщеплюється збуджений 2^+ стан ядра ^{60}Ni : $E_{\text{рівн.}} = 1,191 \text{ MeV}$, $J^\pi = 9/2^-$; $E_{\text{рівн.}} = 1,291 \text{ MeV}$, $J^\pi = 3/2^-$; $E_{\text{рівн.}} = 1,46 \text{ MeV}$, $J^\pi = 11/2^-$; $E_{\text{рівн.}} = 1,482 \text{ MeV}$, $J^\pi = 5/2^-$; $E_{\text{рівн.}} = 1,744 \text{ MeV}$, $J^\pi = 7/2^-$. Обчислений переріз прямого збудження рівня 2^+ ядра ^{60}Ni досягає максимальної величини 85 мб при енергії нейтронів 6 МеВ і плавно зменшується до 69 мб при енергії 10 МеВ і до 42 мб при енергії нейтронів 20 МеВ. Ці значення перерізів розподіляються між членами досліджуваного квінтету рівнів ядра ^{59}Co в пропорції: 0,25 : 0,1 : 0,3 : 0,15 : 0,2.

Результати наших розрахунків повних перерізів, диференціальних та інтегральних перерізів пружного розсіяння та інтегральних перерізів непружного розсіяння швидких нейтронів ядрами ^{59}Co порівняно з експериментальними на рис. 1 - 5. Із рис. 1 видно, що обчислені повні перерізи добре узгоджуються з експериментальними в широкій області енергій, за винятком області енергій, менших за 1 МеВ. Результати наших розрахунків інтегральних та диференціальних перерізів пружного розсіяння наведено на рис. 2 і 3 суцільними лініями, а пунктирною – вклад компаундної компоненти пружного розсіяння. Із рисунків видно, що обчислені перерізи добре узгоджуються з експериментальними в широкій області енергій. Результати розрахунків перерізів непружного розсіяння нейтронів зі збудженням семи найнижчих рівнів ядра ^{59}Co наведено на рис. 4 і 5, з яких видно, що теоретичні розрахунки перерізів добре описують експериментальні дані в тих областях енергій, де є експерименталь-

ні дані. У тих областях енергій, де відсутні експериментальні дані, результати наших розрахунків перерізів можна розглядати як рекомендовані дані перерізів непружного розсіяння нейтронів.

Висновки

Проведено порівняльний аналіз експериментальних даних з повних перерізів, перерізів пружного та непружного розсіяння нейтронів ядрами ^{59}Co в області енергій від 0,3 до 22 МеВ. За результатами аналізу експериментальних перерізів зроблено висновок, що за винятком перерізів непружного розсіяння нейтронів в області енергій, більших за 6 МеВ, їх достатньо для проведення на їх базі теоретичного аналізу з метою визначення параметрів 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, МЗО та СМ. У рамках цього підходу показано можливість адекватного опису повних перерізів і перерізів розсіяння швидких нейтронів досліджуванім ядром.

Адекватний опис перерізів розсіяння нейтронів ядрами кобальту в широкій області енергій дає змогу надійно зробити висновки щодо механізмів розсіяння. З аналізу випливає, що компаундний механізм дає суттєвий внесок у перерізи пружного розсіяння для енергій нейтронів до 8 МеВ, а в збудженні мультиплету рівнів при енергіях до 6 МеВ він домінує. Прямий механізм пружного розсіяння домінує над компаундним в усьому досліджуваному діапазоні енергій. Компоненти прямого непружного розсіяння нейтронів зі збудженням досліджуваних рівнів мультиплету ядра ^{59}Co домінують тільки при енергіях нейтронів, більших за 7 МеВ.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Andersson P., Ekström L.P., Lyttikens J.* Revised A Chains. A = 59 // Nucl. Data Sheets. - 1983. - Vol. 39, No. 4. - P. 641.
2. *Cierjacks S., Forti P., Kopsch D. et al.* High Resolution Total Neutron Cross Section Between 0,5 and 30 MeV // KFK 1000 (1968). Kernforschung Karlsruhe (1968) and Subsequent Supplements.
3. *Hodgson P.E.* Nucl. Reactions and Nuclear Structure. - Oxford: Clarendon Press, 1971.
4. *Smith A.B., Guenther P.T., Lawson R.D.* Energy dependence of the optical model potential for fast neutron scattering from cobalt // Nucl. Phys. A. - 1988. - Vol. 483, No. 1. - P. 50.
5. *Корж І.О., Скляр М.Т., Фурса А.Д.* Дослідження внеску прямих процесів у перерізи розсіяння швидких нейтронів ядрами марганцю // УФЖ. - 2007. - Т. 52, № 1. - С. 10.
6. *Корж І.О., Скляр М.Т.* Внесок прямих процесів у перерізи розсіяння швидких нейтронів ядрами міді // УФЖ. - 2002. - Т. 47, № 6. - С. 525.
7. *Foster D. G., Glasgow D.W.* Neutron Total Cross Sections, 2.5 - 15 MeV. I Experimental // Phys. Rev. C. - 1971. - Vol. 3. - P. 576.
8. *Abfalterer W.P., Finlay R.W., Grimes S.M.* Level widths and level densities of nuclei in the $32 \leq A \leq 60$ mass region inferred from fluctuation analysis of total neutron cross sections // Phys. Rev. C. - 2000. - Vol. 62. - P. 064312-1.

9. *Abfalterer W.P., Bateman F.B., Dietrich F.S. et al.* Measurement of neutron total cross section up to 500 MeV // *Phys. Rev. C.* - 2001. - Vol. 63. - P. 044608-1.
10. *De Saussure G., Larson N.M., Harvey J.A., Hill N.W.* Multilevel resonance analysis of ^{59}Co neutron transmission measurements // *Ann. Nucl. Energy.* - 1992. - Vol. 19. - P. 393.
11. *Nagadi M.M., Howell C.R., Tornow W. et al.* Dispersive optical - model and coupled - channels // *Phys. Rev. C.* - 2003. - Vol. 68. - P. 064610-1.
12. *Smith A.B., Engelbrecht C.A., Reitmann D.* Elastic and inelastic scattering of fast neutrons from Co, Cu, Zn // *Phys. Rev. B.* - 1964. - Vol. 135, No. 1. - P. 76.
13. *Guenther P.T., Moldauer P.A., Smith A.B., Whalen J.F.* Cobalt Fast-Neutron Cross Sections // *Nucl. Science and Eng.* - 1974. - Vol. 54, No. 3. - P. 273.
14. *Cox S.A.* Elastic Scattering from element of intermediate weight // *P, ANL - 7210.* - 1966.
15. *Walt M., Barschall H.H.* Scattering of 1-MeV neutrons by intermediate and heavy elements // *Phys. Rev.* - 1954. - Vol. 93. - P. 1062.
16. *Корж І. О., Міценко В. О., Правдивий М. М. та ін.* Вимірювання кутових розподілів нейтронів з енергіями 0,3; 0,5 і 0,8 МеВ, пружно розсіяних на ядрах титану і кобальту // *УФЖ.* - 1966. - Т. 11, № 5. - С. 563.
17. *Корж І. О., Міценко В. О., Пасічник М. В. та ін.* Пружне розсіяння нейтронів з енергією 1,5 МеВ на ядрах середньої атомної ваги // *УФЖ.* - 1967. - Т. 12, № 9. - С. 1567.
18. *Holmgvist B.* A systematic study of fast neutron elastic scattering in the energy region 1.5 to 8.1 MeV. // *Arkiv för Fysik.* - 1968. - Band 38, nr 25. - P. 403.
19. *Kinney W.E., Perey F.G.* Neutron Elastic and Inelastic Scattering Cross Sections for Cobalt in the Energy Range 4.19 to 8.56 MeV // *R, ORNL - 4549.* - 1970.
20. *Горлов Г. В., Лебедева Н. С., Морозов В. М.* Упругое рассеяние поляризованных нейтронов с энергией 4 МеВ ядрами ^9Be , ^{12}C , ^{59}Co , ^{62}Ni , ^{80}Se , ^{93}Nb , ^{114}Cd , ^{115}In , ^{118}Sn , ^{127}I , Pb и ^{209}Bi // *Ядерная физика.* - 1967. - Т. 6, вып. 5. - С. 910.
21. *Velkley D.E., Glasgow D.W., Brandenberger J.D. et al.* Scattering of 9.0 MeV neutrons by Al, Si, Fe, Ni, and Co // *Phys. Rev. C.* - 1974. - Vol. 9, No. 6. - P. 2181.
22. *Abdel-Harith M., Schweitzer T., Seeliger D., Unholzer S.* Elastic and inelastic scattering of 3.4 MeV neutrons by ^{51}V , ^{59}Co and $^{206,207}\text{Pb}$ // *Jahresbericht ZFK - 315.* - 1976. - P. 12.
23. *Ramstein B., Jeanperrin C., Roster L. H.* Elastic scattering of 6,4 MeV neutrons by ^{31}P , ^{59}Co , ^{75}As , ^{127}I , and ^{209}Bi // *Phys. Rev.* - 1976. - Vol. 37, No. 6. - P. 651.
24. *Hansen L.F., Dittrich F.S., Pohl B.A. et al.* / Test of microscopic optical model potentials for neutron elastic scattering at 14.6 MeV over a wide mass range // *Phys. Rev. C.* - 1985. - Vol. 31. - P. 111.
25. *Pierre C.St., Machwe M.S., Lorrain P.* Elastic scattering of 14 MeV neutrons by Al, S, Ti and Co // *Phys. Rev.* - 1959. - Vol. 115. - P. 999.
26. *Ferrer J.C., Carlson J.D., Rapaport J.* Neutron elastic scattering at 11 MeV and the isospin dependence of the neutron-nucleus optical potential // *Nucl. Phys. A.* - 1977. - Vol. 275, No. 2. - P. 325.
27. *Olsson N., Trostell B., Ramström E. et al.* Microscopic and conventional optical model analysis of neutron elastic scattering at 21.6 MeV over a wide mass range // *Nucl. Phys. A.* - 1987. - Vol. 472. - P. 237.
28. *Ramström E.* Neutron inelastic scattering from some odd-mass nuclei in the energy range 2.0 to 4.5 MeV // *Nucl. Phys. A.* - 1979. - Vol. 315. - P. 143.
29. *LeClaire R. V., Egan J.J., Beghian L.E. et al.* Cross Sections in the $^{59}\text{Co}(n, n', \gamma)\text{Co}^{59}$ Reaction from 1,1 - 3.3 MeV // *Phys. Rev. C.* - 1978. - Vol. 18, No. 3. - P. 1185.
30. *Raynal J.* Notes on ECIS-94. Centre d'Etudes de Saclay Service de Physique Theorique Laboratoire de la Direction des Sciences de la Matière. Septembre 1994. ISSN 0429 -3460. CEA - N - 2772.
31. *Lawson R.D., Smith A.B.* ABAREX. A Neutron Spherical-Optical-Statistical-Model Code: A User's Manual // *R, ANL/NDM - 145.* - 1999.
32. *Корж І. О.* Аналіз сечений розсіяння швидких нейтронів четними ізотопами нікеля // *ВАНІТ. Сер. Ядерні константи.* - М.: ЦНИИатоминформ, 1985. - Вып. 4. - С. 61.
33. *Moldauer P.A.* Statistical theory of nuclear collision cross section // *Phys. Rev. B.* - 1964. - Vol. 135, No. 3. - P. 642; Average compound-nucleus cross section // *Rev. Mod. Phys.* - 1964. - Vol. 41, No. 4. - P. 1079.
34. *Gilbert A., Cameron A.* A composite nuclear-level density formula with shell corrections // *Can. J. Phys.* - 1965. - Vol. 43. - P. 1446.
35. *Andersson P., Ekström L.P., Lyttikens J.* Nuclear Data Sheets for $A = 60$ // *Nuclear Data Sheets.* - 1986. - Vol. 48, No. 2. - P. 251.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ РАССЕЯНИЯ БЫСТРЫХ НЕЙТРОНОВ ЯДРАМИ КОБАЛЬТА

И. А. Корж, Н. Т. Скляр, Т. И. Яковенко

Проведен сравнительный анализ экспериментальных данных по сечениям взаимодействия нейтронов с ядрами ^{59}Co в области энергий нейтронов (0,3 - 22) МэВ и исследована применимость оптико-статистического подхода и модели возбужденного остова к описанию экспериментальных полных сечений и сечений упругого и неупругого рассеяния 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 рассеяние нейтронов ядрами кобальта.

STUDY OF FAST NEUTRON SCATTERING MECHANISMS FOR ^{59}Co NUCLEI

I. O. Korzh, M. T. Sklyar, T. I. Yakovenko

Comparison and analysis of experimental data on neutron interaction cross-sections for ^{59}Co nuclei were made in the energy range (0.3 - 22) MeV. The applicability of the optical-statistical approach and excited core model 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 a compound nucleus to the elastic and inelastic scattering of neutron by ^{59}Co nuclei in neutron energy range are under investigation.

Надійшла до редакції 05.12.07,
після доопрацювання – 01.04.08.