

М. М. Правдивий, І. О. Корж

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

ЗАЛЕЖНІСТЬ РЕЗОНАНСНИХ ПАРАМЕТРІВ ЯДЕР ВІД МАСОВОГО ЧИСЛА

Підведено деякі підсумки проведених раніше досліджень по визначенню повних наборів середніх резонансних параметрів S_0 , S_1 , R'_0 , R'_1 , $S_{1,1/2}$, $S_{1,3/2}$ для ядер $^{47,9}\text{Ti}$, $^{55,8}\text{Fe}$, $^{58,7}\text{Ni}$, $^{65,4}\text{Zn}$, $^{72,6}\text{Ge}$, ^{79}Se , $^{91,2}\text{Zr}$, $^{95,9}\text{Mo}$, $^{101,1}\text{Ru}$, $^{106,4}\text{Pd}$, ^{106}Cd , ^{108}Cd , ^{110}Cd , ^{112}Cd , ^{116}Cd , ^{116}Sn , ^{118}Sn , ^{120}Sn , ^{122}Sn , ^{124}Sn , $^{127,6}\text{Te}$, $^{144,2}\text{Nd}$ та визначено місце отриманих результатів в існуючій системі рекомендованих параметрів.

Ключові слова: резонансні параметри, ядра, рекомендовані параметри.

Вступ

За весь цикл проведених досліджень нами отримано повні набори середніх резонансних параметрів S_0 , S_1 , R'_0 , R'_1 , $S_{1,1/2}$, $S_{1,3/2}$ для ядер $^{47,9}\text{Ti}$, $^{55,8}\text{Fe}$, $^{58,7}\text{Ni}$, $^{65,4}\text{Zn}$, $^{72,6}\text{Ge}$, ^{79}Se , $^{91,2}\text{Zr}$, $^{95,9}\text{Mo}$, $^{101,1}\text{Ru}$, $^{106,4}\text{Pd}$, ^{106}Cd , ^{108}Cd , ^{110}Cd , ^{112}Cd , ^{116}Cd , ^{116}Sn , ^{118}Sn , ^{120}Sn , ^{122}Sn , ^{124}Sn , $^{127,6}\text{Te}$, $^{144,2}\text{Nd}$. Визначення параметрів здійснено за допомогою розробленого нами методу з аналізу середніх експериментальних диференціальних перерізів пружного розсіяння нейтронів у області енергії 5 - 440 кеВ [1, 2]. У даній роботі підведено деякі підсумки проведених досліджень. Основні матеріали опубліковані в роботах [1 - 11].

Середні резонансні параметри є складовою частиною ядерних даних, що використовуються в численних галузях науки та техніки і, у першу чергу, в ядерній енергетиці. Для задоволення потреб у таких даних було створено систему міжнародних, регіональних і національних центрів ядерних даних з метою об'єднати зусилля по їхньому збору й оцінці. Рекомендовані ними дані використовуються безпосередньо або у вигляді груп у розрахунках параметрів ядерних реакторів. Надійність і точність ядерних даних повинні задовольняти практичним потребам, що на сьогодні ще не завжди спостерігається. Похибки даних обумовлюють відповідні невизначеності в розрахованих параметрах реакторів. У свою чергу це викликає необхідність створювати великі й дорогі запаси при проектуванні реакторів (за деякими даними до 20 - 30 %). Усе це вимагає постійного вдосконалення методик отримання ядерних даних та їхнього подальшого уточнення.

Проведені на сьогодні оцінки резонансних параметрів стосуються переважно силових функцій S_0 і S_1 та радіусів потенціального розсіяння R'_0 [12 - 14]. Рекомендовані параметри R'_1 , $S_{1,1/2}$, $S_{1,3/2}$, як і параметри для зразків із природним складом ізотопів, фактично відсутні, хоча остан-

ні наряду з даними для ізотопів можуть бути корисними. Зокрема, вони необхідні для впорядкування залежностей параметрів від масового числа A , для вдосконалення розрахунків за оптичною моделлю та для дослідження причин існуючих розбіжностей між цими розрахунками і досить значною частиною рекомендованих параметрів. Вони також можуть бути використані в різних ядерних технологіях для розрахунків перерізів та в ядерній енергетиці при розрахунках багатогрупових констант.

За час проведення досліджень резонансних параметрів Центром ядерних даних Брукхейвенської національної лабораторії опубліковано вже п'яту редакцію атласу рекомендованих резонансних параметрів [12]. Порівняно з попередньою редакцією [13] з'явилося досить багато нових даних, що дало змогу впорядкувати залежності параметрів S_0 , S_1 , R'_0 від масового числа та окреслити області масових чисел, в яких існують розбіжності між параметрами окремих ядер та розрахунками за оптичною моделлю. Центром ядерних даних МАГАТЕ також створено декілька версій рекомендованих параметрів [14]. Однак до цього часу лишилися невирішеними проблеми в мінімумах залежностей силових функцій в області $A \sim 100 - 140$ у S_0 та в області $A \leq 70$ у S_1 , де величини параметрів сусідніх ядер часто відрізняються в 5 - 10 разів, що не відповідає ідеології оптичної моделі.

Причини такого становища криються в складності взаємодії нейтронів з ядрами в резонансній області енергії. Цьому сприяє також відсутність системних теоретичних підходів для опису різних аспектів взаємодії нейтронів, у результаті чого передбачувальна здатність розрахунків для практичних потреб є низькою. Як наслідок, рекомендовані параметри, отримані в різних центрах ядерних даних з одних і тих же експериментальних даних, часто відрізняються на величину, що перевищує приписані їм похибки.

Загалом для розрахунків повних перерізів σ_t для багатьох ядер досить мати лише величини параметрів S_0 , S_1 , R'_0 . Але для розрахунків диференціальних перерізів пружного розсіяння для всіх ядер необхідно мати повні набори параметрів. У цьому відношенні отримані нами дані суттєво поповнили наявну базу резонансних параметрів. Крім того, була проведена перевірка рекомендованих резонансних параметрів [12, 14] на їхню відповідність експериментальним перерізам пружного розсіяння. Було з'ясовано, що значна частина їх не відповідає експериментальним даним. Особливо це стосується параметра S_1 .

У процесі досліджень виникло ряд питань, важливих з точки зору загальної проблеми резонансних параметрів. У даній роботі торкнемося деяких із них.

Залежності середніх резонансних параметрів ядер від масового числа

На сьогодні існує багато фактів на користь того, що залежності резонансних параметрів від масового числа A повинні описуватись у рамках оптичної моделі. Значна частина рекомендованих параметрів S_0 , S_1 , R'_0 підтверджує це, що видно з рис. 1.

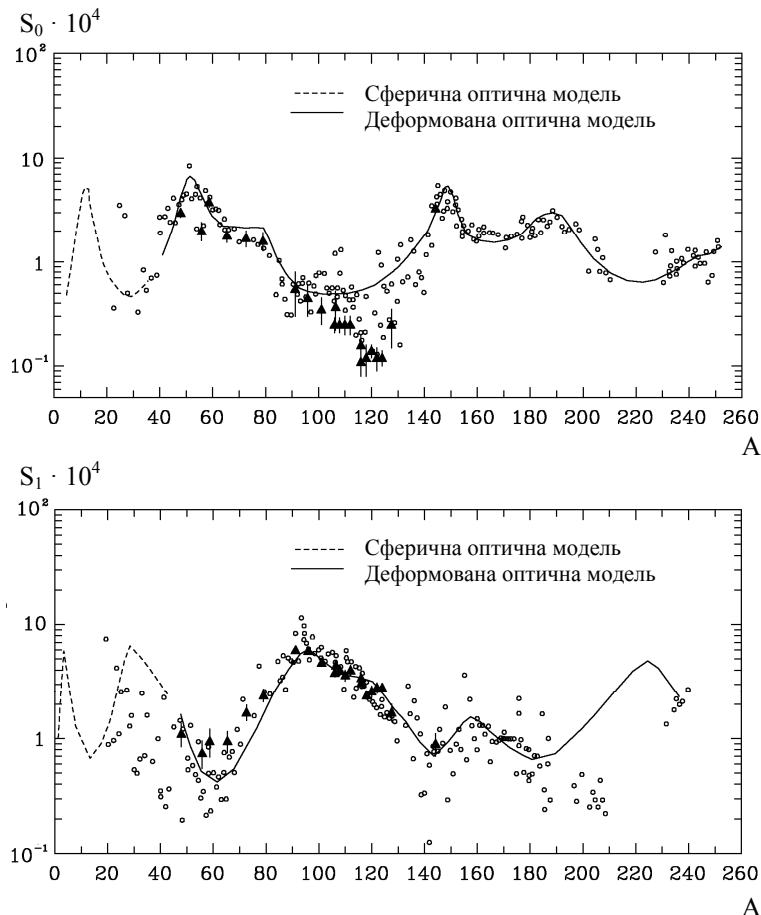


Рис. 1. Залежність силових функцій S_0 і S_1 ядер від масового числа A . Точки: \circ - величини рекомендованих параметрів [12]; \blacktriangle - параметри з робіт [1 - 11]. Криві: штрихові - розрахунки в рамках сферичної оптичної моделі; суцільні - розрахунки в рамках моделі зв'язаних каналів [12].

На ньому наведено залежності рекомендованих силових функцій S_0 і S_1 [12] та визначених нами для вказаних вище ядер. Однак із рисунка також видно, що розрахунки за оптичною моделлю відображають лише загальну тенденцію залежності S_0 і S_1 від масового числа, а не конкретні величини параметрів. Рекомендовані параметри досить значної кількості ядер мають суттєві відхилення. Особливо значний розкид спостерігається в мінімумах залежностей силових функцій S_0 і S_1 . Виникає питання: такий розкид є фі-

зичною реальністю чи він є наслідком недосконалості методів визначення цих параметрів. Порівняно менший відносний розкид у максимумах свідчить, що скоріше причиною є недосконалість методів. Відсутність усталених величин параметрів в цих областях A стримує вдосконалення розрахунків за оптичною моделлю та не відповідає практичним потребам.

Помітно краще узгодження з розрахунками за оптичною моделлю спостерігається в радіусах потенціального розсіяння R'_0 [12], які визнача-

ються надійніше й точніше. Визначені нами величини цього параметра також узгоджуються з усією сукупністю даних та з розрахунками за оптичною моделлю. Для параметрів R_1' , $S_{1,1/2}$, $S_{1,3/2}$ через відсутність достатньої кількості даних дослідження таких залежностей тільки починаються і вперше системно вони проведені авторами роботи [16]. Отримані нами дані загалом також узгоджуються з їхніми результатами.

Залежності параметрів від масового числа мають велике значення для вирішення проблеми середніх резонансних параметрів. Після їхнього остаточного утвердження вони слугуватимуть критерієм надійності параметрів, визначених будь-яким способом. Крім того, при необхідності їх можна використовувати в першому наближенні для визначення резонансних параметрів будь-якого ядра, що важливо для практичних потреб. Однак на сьогодні вони ще не набули такої якості.

Переважає більшість наявних силових функцій визначена шляхом усереднення параметрів окремих резонансів. Їхня точність і надійність значною мірою залежить від кількості вимірених резонансів (для багатьох ядер це 10 - 20 резонансів) та від їхньої ідентифікації за орбітальним моментом l , яка загалом дуже трудомістка і ненадійна. Відомо близько 10 різних методів ідентифікації, заснованих на дослідженні форми резонансу, кутових розподілів пружно розсіяних нейтронів, характеристик спектрів γ -променів тощо. Але всі вони, як показує досвід, є ненадійними. Тому основним методом ідентифікації є розділення їх за величиною нейтронної ширини. Центробіжний бар'єр перешкоджає нейтрону з ненульовим орбітальним моментом проникненню в ядро та його вильоту з ядра. У результаті в повних перерізах найбільш сильно проявляються s -резонанси, а в перерізах радіаційного захвату - p -резонанси. Комбінація вимірювань цих перерізів дає змогу провести розділення резонансів за орбітальним моментом.

Крім цього методу, при достатньому енергетичному розділенні ідентифікацію можна здійснити за наявністю інтерференційного мінімуму. І, нарешті, розділення резонансів за орбітальним моментом можна провести лише за величиною нейтронної ширини резонансу, використовуючи властивості розподілу нейтронних ширин і застосовуючи апарат математичної статистики (теорема Байєса). Цими трьома методами й була отримана практично вся інформація з силових функцій [12, 14].

Через обмежену кількість резонансів та помилки їхньої ідентифікації за орбітальним моментом визначені параметри для більшості ядер мають недостатню статистичну точність та досить

велику ймовірність появи систематичних похибок. Саме цим можна пояснити помітні розбіжності між величинами параметрів, рекомендованих різними центрами ядерних даних [12, 14] чи отриманих у різний час [12 - 15].

Ілюстрацією труднощів виначення силових функцій шляхом усереднення параметрів окремих резонансів можуть бути дані табл. 1, де наведено результати оцінки силових функцій для ядра ^{238}U . Усі оцінки здійснено класичним способом із використанням законів Портера - Томаса та Вігнера, але виконані в різний час різними лабораторіями і фактично з одних і тих же експериментальних даних (у роботі [17] параметри S_0 і S_1 оцінено на основі аналізу ~ 200 s -резонансів і стількох же p -резонансів). Як видно з таблиці, навіть для такого важливого ядра визначені параметри мають досить значний розкид.

Таблиця 1. Рекомендовані силові функції ядра ^{238}U

Робота	$S_0 \cdot 10^4$	$S_1 \cdot 10^4$
[17], 1972	0,91(11)	2,0(5)
[15], 1973	1,1(1)	1,7(3)
[12], 2006	1,29(13)	2,17(19)
[13], 1981	1,2(1)	1,7(3)
[14], 2009	1,03(8)	1,6(2)

Слід зазначити, що радіуси потенціального розсіяння R_0' для більшості ядер визначено загалом зовсім іншими методами (їх існує чотири [12]) і фактично незалежно від силових функцій. Це означає, що радіуси потенціального розсіяння і силові функції визначаються розрізнено й тому часто не узгоджені між собою. В ідеалі описати диференціальні перерізи пружного розсіяння нейтронів можна лише одним повним набором резонансних параметрів S_0 , S_1 , R_0' , R_1' , $S_{1,1/2}$, $S_{1,3/2}$, які є узгодженими між собою. Якщо рекомендовані параметри S_0 , S_1 і R_0' не узгоджені між собою, то визначений із підгонки (див. нижче) повний набір параметрів не зможе задовільно описувати диференціальні перерізи.

Переваги та можливості нового методу

В основі методу використана та обставина, що розсіяння нейтронів ядрами при енергіях $\sim < 400$ кеВ здійснюється практично лише з орбітальними моментами $l = 0$ і 1 . У цьому випадку диференціальні перерізи пружного розсіяння можна розкласти за поліномами Лежандра у вигляді

$$\sigma_{el}(\mu) = \frac{\sigma_{el}}{4\pi} \{1 + \omega_1 P_1(\mu) + \omega_2 P_2(\mu)\}, \quad (1)$$

де $\mu = \cos\theta$, θ - кут розсіяння; σ_{el} - інтегральний переріз пружного розсіяння; P_l - поліноми Лежандра; ω_1 і ω_2 - коефіцієнти розкладу диференціальних перерізів за поліномами Лежандра. У рамках оптичної моделі за умови, що $\Gamma \ll D \ll \Delta E \ll E$ та $\sigma_{el} \approx \sigma_t$, нам вдалося для парних ядер виразити величини σ_{el} , ω_1 , ω_2 через середні резонансні параметри. Це дало змогу підгонкою розрахованих величин σ_{el} , ω_1 , ω_2 до їхніх експериментальних значень визначати повні набори середніх резонансних параметрів S_0 , S_1 , R_0' , R_1' , $S_{1,3/2}$, які є параметрами підгонки. У свою чергу і парціальні перерізи компаундного та потенціального розсіяння оптичної моделі $\sigma_{el} = \sigma_{c0}(S_0) + \sigma_{c1}(S_1) + \sigma_{s0}(R_0') + \sigma_{s1}(R_1')$ також виражаються через відповідні резонансні параметри. Оскільки вони по-різному залежать від енергії, то це дає змогу оцінити вплив кожного резонансного параметра на опис експериментальних величин σ_{el} , ω_1 , ω_2 (більш детально - у роботах [1, 2]).

У класичному розумінні усереднення перерізів σ_{el} , ω_1 , ω_2 повинно здійснюватись за достатньою кількістю резонансів компаунд-ядра. Тому вважається, що статистичні флуктуації нейтронних ширин і відстаней між резонансами не повинні суттєво впливати на точність визначених параметрів. Однак існує інша проблема - у цій області енергії існують процеси взаємодії нейтронів, механізми яких відмінні від потенціального й компаундного і які оптична модель не описує. У першу чергу це передрівноважні процеси та флуктуації різного походження. Проведені нами дослідження [1 - 11] показали, що вони проявляються в різному вигляді в експериментальних перерізах і лише співставлення їх із компаундним і потенціальним розсіяннями, розрахованими за оптичною моделлю, дозволяє вважати їх якимись іншими процесами. Крім того, метод чутливий до якості експериментальних даних, зокрема до їхнього усереднення по резонансах. В ядрах легкої і середньої ваги відстані між резонансами сягають 10 - 20 кеВ. За таких умов усереднення в класичному розумінні на початку діапазону енергії неможливе і визначення резонансних параметрів даним методом не може дати надійних результатів. Подібна ситуація спостерігалась в експериментальних даних ядер титану і заліза.

Суттєвою перевагою даного методу є можливість розділення силових функцій за орбітальним моментом та спостереження спін-орбітального розщеплення силових функцій S_1 [1, 2]. До переваг методу можна віднести також можливість перевірки наявних резонансних параметрів на їхню узгодженість з експериментальними середніми пе-

рерізами пружного розсіяння. Для досліджених ядер таку перевірку було здійснено, зокрема, щодо рекомендованих параметрів [12, 14].

Для ілюстрації можливостей методу наведемо результат дослідження ефекту аномально різкого зменшення величин параметра S_0 з ростом масового числа в ланцюжках ізотопів ядер кадмію, олова, телуру та деяких інших елементів. Наприклад, для ізотопів кадмію рекомендовано такі величини параметра S_0 : ^{106}Cd - 1,20(27); ^{108}Cd - 1,32(27); ^{110}Cd - 0,35(7); ^{112}Cd - 0,57(11); ^{114}Cd - 0,48(11); ^{116}Cd - 0,18(10) [12] (у дужках похибки). Така ситуація зафіксована вже давно [12, 13] і до сьогодні не знаходить якогось експериментального підтвердження чи теоретичного пояснення. Розрахунки в рамках стандартної оптичної моделі для цих ядер дають деяке зростання величин параметра S_0 з ростом масового числа. Якщо в оптичний потенціал ввести ізоспінову компоненту, то загалом можна досягти задовільного опису цих параметрів, але це будуть індивідуальні параметри оптичного потенціалу для даного ядра. Наведені на рис. 1 розрахунки за оптичною моделлю проведено з єдиним набором параметрів оптичного потенціалу, і такий підхід дає якісно загалом вірну глобальну поведінку силових функцій у широкій області масових чисел.

Результати проведеного нами дослідження цього ефекту для ядер кадмію наведено на рис. 2.

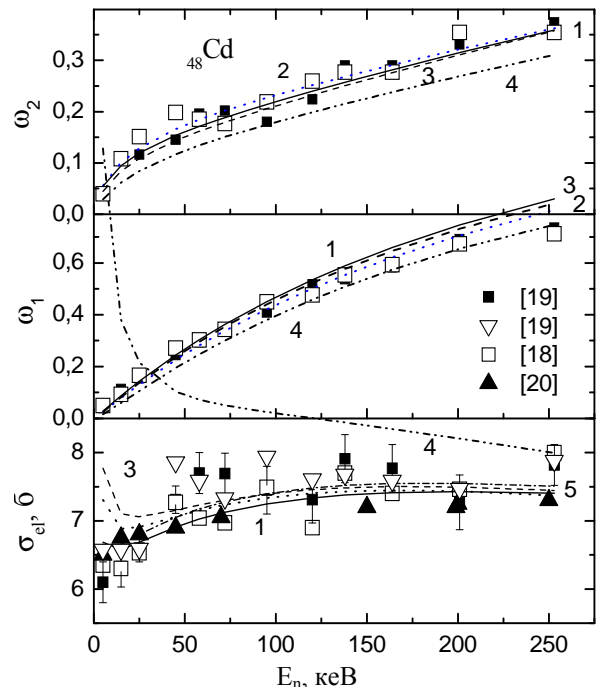


Рис. 2. Залежність від енергії експериментальних і розрахованих величин σ_{el} , ω_1 , ω_2 . Експеримент: \square - кадмій з природним складом ізотопів [18]; \blacksquare - середньозважені величини σ_{el} , ω_1 , ω_2 [19]; ∇ - перерізи σ_{el} ізотопу ^{106}Cd [19]; \blacktriangle - повні перерізи σ_t , оцінені за версією ENDF/B-V [20]. Криві - результати розрахунків (див. текст).

Експериментальні величини σ_{el} , ω_1 , ω_2 з роботи [18] отримані для зразка з природним складом ізотопів; величини з роботи [19] отримані для ізотопів кадмію і розраховані нами середньозважено для зразка з природним складом ізотопів. Як видно з рисунка, вони загалом задовільно узгоджуються між собою. Кривими на рисунку наведено результати розрахунків із різними наборами резонансних параметрів. Усі підгонки здійснено по відношенню до середньозважених величин σ_{el} , ω_1 , ω_2 із роботи [19].

Слід зауважити, що нами було проведено дослідження залежностей кожної з експериментальних величин $\sigma_{el}(E)$, $\omega_1(E)$, $\omega_2(E)$ для вказаних вище ізотопів кадмію [19]. Із аналізу цих залежностей було зроблено висновок, що всі три величини на фоні хаотичного розкиду даних не проявляють жодних помітних ізотопних ефектів. Аналогічний результат було отримано раніше і для ізотопів олова [1, 2].

Кривими 2 на рисунку наведено результати розрахунків із параметрами роботи [16]: $S_0 = 0,37(5)$; $S_1 = 4,15(23)$; $R'_0 = 5,93(20)$; $R'_1 = 10,18(40)$; $S_{1,3/2} = 3,25(18)$. Параметри отримано для кадмію з природним складом ізотопів. Опис експериментальних даних загалом задовільний, однак розраховані перерізи на початку діапазону енергії помітно більші від експериментальних.

Кривими 3 наведено результати розрахунків із рекомендованими середньозваженими параметрами роботи [12], розрахованих нами з даних для ізотопів: $S_0 = 0,47$; $S_1 = 4,28$; $R'_0 = 5,85$. Із підгонки отримано решту параметрів: $R'_1 = 11,15$; $S_{1,3/2} = 2,78$. Опис експериментальних даних загалом також виявився задовільним, однак перерізи

на початку діапазону енергії не описано зовсім.

Кривими 4 наведено результати розрахунків із рекомендованими для ядра ^{106}Cd параметрами [12]: $S_0 = 1,20$; $S_1 = 4,70$; $R'_0 = 6,33$. Із підгонки отримано решту параметрів: $R'_1 = 10,54$; $S_{1,3/2} = 2,95$. Із рисунка видно, що експериментальні дані не описано зовсім, особливо це стосується перерізів.

Кривою 5 на рисунку наведено перерізи σ_{el} , розраховані з набором параметрів, рекомендованих для ядра ^{116}Cd [12]: $S_0 = 0,18$; $S_1 = 3,80$; $R'_0 = 6,19$. Із підгонки визначено решту параметрів: $R'_1 = 11,38$; $S_{1,3/2} = 2,79$. Як видно з рисунка, уся сукупність експериментальних перерізів загалом описана задовільно.

Кривими 1 наведено результати розрахунків із середньозваженими параметрами роботи [1], отриманими нами раніше з аналізу експериментальних даних σ_{el} , ω_1 , ω_2 ізотопів кадмію [19]: $S_0 = 0,23$; $S_1 = 3,88$; $R'_0 = 6,09$; $R'_1 = 10,78$; $S_{1,3/2} = 2,90$. Опис перерізів помітно кращий, ніж іншими наборами параметрів.

На початку діапазону енергії основний вклад у перерізи вносять параметри S_0 і R'_0 . Оскільки вклад параметра S_0 різко зменшується з ростом енергії, а вклад R'_0 слабо залежить від енергії, то отриманий результат дозволяє зробити висновок, що рекомендована величина параметра S_0 для ядра ^{106}Cd є завищеною. Очевидно, що аналогічний висновок можна зробити і щодо величини параметра S_0 , рекомендованої для ядра ^{108}Cd .

Усі параметри, використані в аналізі, проведеному для кадмію, наведено в табл. 2.

Таблиця 2. Параметри, використані в розрахунках, проведених для кадмію

Ядро	$S_0 \cdot 10^4$	$S_1 \cdot 10^4$	R'_0 , ФМ	R'_1 , ФМ	$S_{1,1/2} \cdot 10^4$	$S_{1,3/2} \cdot 10^4$
^{48}Cd [16]	0,37	4,15	5,93	10,18	6,10	3,25
^{48}Cd [1]	0,47*	4,28*	5,85*	11,15	7,28	2,78
^{48}Cd [1, 2]	0,23	3,88	6,09	10,78	5,84	2,90
^{106}Cd [12]	1,20*	4,70*	6,33*	10,54	8,20	2,95
^{116}Cd [12]	0,18*	3,80*	6,19*	11,38	5,82	2,79

* Параметри, фіксовані при здійсненні підгонки.

Із таблиці видно, що всі проведені підгонки дали дуже близькі величини параметрів R'_1 і $S_{1,3/2}$. Вони визначаються з підгонки до експериментальних коефіцієнтів ω_2 і, як видно, практично незалежно від інших параметрів, оскільки розкид S_0 не впливає на їхні величини. У свою чергу ця обставина підтверджує надійність експериментальних даних, які не деформовані іншими процесами (хіба що помітні деякі флуктуації). Із

роботи [12] випливає, що рекомендована величина параметра S_0 ядра ^{106}Cd отримана з аналізу параметрів ~ 20 резонансів, частина яких, за висновком автора, має сумнівну ідентифікацію за орбітальним моментом. Параметри визначено класичним способом із використанням законів Портера - Томаса і Вігнера. Загалом вони суттєво впливають на величини визначених силових функцій, оскільки і кількість вимірних резонансів,

і їхній розподіл за орбітальним моментом оцінюються на основі цих законів. Тому цей метод лише умовно можна назвати прямим методом визначення резонансних параметрів.

Мала кількість вимірних резонансів, пропуски слабких резонансів та помилки їхньої ідентифікації за орбітальним моментом обумовлюють низьку надійність отриманих параметрів та досить велику ймовірність появи систематичних похибок при їхньому визначенні. Очевидно, цим і можна пояснити аномальні величини параметра S_0 , рекомендовані для ядер $^{106,108}\text{Cd}$. Критерії для оцінки їхньої надійності практично відсутні. Основним критерієм мусить бути задовільний опис експериментальних середніх перерізів пружного розсіяння. Більш універсальним критерієм можуть стати залежності параметрів від масового числа. Але за умови, що вони стануть такою ж усталеною закономірністю, як, наприклад, закон розподілу нейтронних ширин Портера - Томаса. Для цього необхідно звести до мінімуму проблемні питання в цих залежностях, що демонструються на рис. 1, зокрема й такі аномалії, які на сьогодні існують в ізотопах кадмію, олова та в інших ядер. Проведені нами розрахунки не підтверджують рекомендовані величини параметра S_0 в ядрах $^{106,108}\text{Cd}$. Проте враховуючи досить великі розбіжності між величиною параметра S_0 , рекомендованою в роботі [12] й отриманою

нами, остаточний висновок можна зробити лише після додаткових досліджень.

Висновки

1. Усього за весь період досліджень було визначено повні набори середніх резонансних параметрів S_0 , S_1 , R_0' , R_1' , $S_{1,1/2}$, $S_{1,3/2}$ для ядер $^{47,9}\text{Ti}$, $^{55,8}\text{Fe}$, $^{58,7}\text{Ni}$, $^{65,4}\text{Zn}$, $^{72,6}\text{Ge}$, ^{79}Se , $^{91,2}\text{Zr}$, $^{95,9}\text{Mo}$, $^{101,1}\text{Ru}$, $^{106,4}\text{Pd}$, ^{106}Cd , ^{108}Cd , ^{110}Cd , ^{112}Cd , ^{116}Cd , ^{116}Sn , ^{118}Sn , ^{120}Sn , ^{122}Sn , ^{124}Sn , $^{127,6}\text{Te}$, $^{144,2}\text{Nd}$. Параметри визначено розробленим нами методом з аналізу середніх експериментальних перерізів пружного розсіяння нейтронів низьких енергій.

2. Загальний висновок із проведених досліджень: якщо повний набір резонансних параметрів задовільно описує середні експериментальні перерізи пружного розсіяння нейтронів, то параметри цього набору узгоджуються з їхніми залежностями від масового числа A , розрахованими за оптичною моделлю. Отримані нами параметри всіх досліджених ядер відповідають цій умові. Наявні розбіжності вимагають удосконалення розрахунків.

3. Перевіркою рекомендованих для досліджених ядер параметрів на їхню відповідність середнім експериментальним перерізам пружного розсіяння встановлено, що частина силових функцій S_0 і S_1 не відповідає експериментальним даним.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Pravdivy M.M., Korzh I.O., Sklyar M.T.* Determination of average resonance parameters from elastic scattering cross sections of low-energy neutrons by even-even nuclei // *Ukr. J. Phys.* - 2004. - Vol 49, No. 7. - P. 627 - 630.
2. *Корж І.О., Правдивий М.М., Скляр М.Т.* Середні резонансні параметри парних ізотопів кадмію і олова // *Current Probl. in Nucl. Phys. and At. Energy* (Kyiv, May 29 - June 03, 2006): Proc. of the Int. Conf. Part II. - Kyiv 2007. - P. 599 - 605.
3. *Правдивый Н.М., Корж И.А., Скляр Н.Т.* Средние резонансные параметры ядер Se и Mo // *Ядерная и радиационная физика: Материалы 6-й Междунар. конф.*, в 3 т. (Казахстан, Алматы, 2008). - Т. 1. - С. 217 - 221.
4. *Pravdivy M.M., Korzh I.O., Sklyar M.T.* Average resonance parameters of Ti and Fe nuclei // *Current Probl. in Nucl. Phys. and Atomic Energy* (Kyiv, June 09 - 15, 2008): Proc. of the Int. Conf. Part II. - Kyiv, 2009. - P. 578 - 582.
5. *Правдивий М.М., Корж І.О., Скляр М.Т.* Середні резонансні параметри ядер титану і заліза // *Ядерна фізика та енергетика.* - 2009. - Т. 10, № 3. - С. 282 - 287.
6. *Правдивый Н.М., Корж И.А., Скляр Н.Т.* Средние резонансные параметры ядер Ni и Zn // *Тез. докл.* 59-го Междунар. совещ. по ЯС и САЯ (Чебоксары, Россия). - Санкт-Петербург, 2009. - С. 145.
7. *Правдивий М.М., Корж І.О., Скляр М.Т.* Середні резонансні параметри ядер Ni і Zn // *УФЖ.* - 2010. - Т. 55, № 2. - С. 170 - 174.
8. *Правдивий М.М., Корж І.О., Скляр М.Т.* Середні резонансні параметри ядер цирконію і молібдену // *Ядерна фізика та енергетика.* - 2011. - Т. 12, № 4. - С. 347 - 352.
9. *Pravdivy M.M., Korzh I.O., Sklyar M.T.* Average resonance parameters of germanium and selenium nuclei // *Current Problems in Nucl. Phys. and At. Energy* (Kyiv, June 07 - 12, 2010). Part II. - Kyiv, 2011. - P. 479 - 482.
10. *Правдивий М.М., Корж І.О., Скляр М.Т.* Середні резонансні параметри ядер телуру і неодиму // *УФЖ.* - 2012. - Т. 57, № 6. - С. 593 - 598.
11. *Правдивий М.М., Корж І.О., Скляр М.Т.* Середні резонансні параметри ядер рутенію і паладію // *Ядерна фізика та енергетика.* - 2012. - Т. 13, № 1. - С. 11 - 16.
12. *Mughabghab S.F.* Atlas of Neutron Resonances (Resonance Parameters and Thermal Cross Sections) / 5th Edition. - Amsterdam: Elsevier, 2006. - Vol. 1.
13. *Mughabghab S.F., Divadeenam M., Holden N.E.* Neutron Cross Section (Neutron Resonance

- Parameters and Thermal Cross Sections). Part A. - N. Y. - London: Academic Press, 1981. - Vol. 1.
14. *Parameters for calculation of nuclear reactions of relevance to energy and non-energy nuclear applications // CRP on reference input parameter library: phase III / R. Capote, M Herman, P. Oblozinsky, P.G. Young, S. Goriely, T. Belgia, A.V. Ignatyuk, A.J. Koning, S. Hilaire, V.A. Plujko, M. Avrigeanu, O. Bersillon, M.B. Chadwick, T. Fukahori, Zhigang Ge, Yinlu Han, S. Kailas, J. Kopecky, V.M. Maslov, G. Reffo, M. Sin, E.Sh. Soukhovitskii, P. Talou // Nucl. Data Sheets. - 2009. - Vol. 110. - P. 3107 - 3214; <http://www-nds.iaea.org/RIPL-3/>.*
 15. *Mughabghab S.F., Garber D.I. Neutron Cross Section. Vol. 1. Resonance Parameters / Third Edition BNL 325. - 1973.*
 16. *Понов А.Б., Самосват Г.С. Спин-орбитальные эффекты в резонансном и потенциальном рассеянии р-волновых нейтронов // Краткие сообщ. ОИЯИ, № 18 - 86. - Дубна, 1986. - С. 30 - 36; Самосват Г.С. Анизотропия упругого рассеяния нейтронов и свойства ядер // ЭЧАЯ - 1986. - Т. 17, вып. 4. - С. 713 - 752.*
 17. *Абагян Л.П., Корчагина Ж.А., Николаев М.Н., Нестерова К.И. Оценка средних резонансных параметров урана-238 // Ядерные константы. - Вып. 8, ч. 1. - М.: ЦНИАТОМИНФОРМ, 1972.*
 18. *Зо Ин Ок, Николенко В.Г., Попов А.Б., Самосват Г.С. Нейтронные дифференциальные сечения упругого рассеяния в энергетической области ниже 440 кеВ // Сообщения ОИЯИ. - РЗ-85-133. - Дубна, 1985. - 12 с.*
 19. *Popov A.B., Samosvat G.S. Differential elastic scattering cross sections of Cadmium isotopes and p-neutron strength functions in the range $50 < A < 130$ // Сообщения ОИЯИ. - ЕЗ-85-226. - Дубна, 1985. - 8 с.*
 20. *McLane V., Dunford C., Rose P.F. Neutron Cross Sections. - N. Y. - London, Academic Press, 1988. - Vol. 2.*

Н. М. Правдивый, И. А. Корж

ЗАВИСИМОСТЬ РЕЗОНАНСНЫХ ПАРАМЕТРОВ ОТ МАССОВОГО ЧИСЛА

Подведены некоторые итоги проведенных ранее исследований по определению полных наборов средних резонансных параметров $S_0, S_1, R_0', R_1', S_{1,1/2}, S_{1,3/2}$ для ядер $^{47,9}\text{Ti}, ^{55,8}\text{Fe}, ^{58,7}\text{Ni}, ^{65,4}\text{Zn}, ^{72,6}\text{Ge}, ^{79}\text{Se}, ^{91,2}\text{Zr}, ^{95,9}\text{Mo}, ^{101,1}\text{Ru}, ^{106,4}\text{Pd}, ^{106}\text{Cd}, ^{108}\text{Cd}, ^{110}\text{Cd}, ^{112}\text{Cd}, ^{116}\text{Cd}, ^{116}\text{Sn}, ^{118}\text{Sn}, ^{120}\text{Sn}, ^{122}\text{Sn}, ^{124}\text{Sn}, ^{127,6}\text{Te}, ^{144,2}\text{Nd}$ и определено их место в существующей системе рекомендованных параметров.

Ключевые слова: резонансные параметры, ядра, рекомендованные параметры.

M. M. Pravdivy, I. O. Korzh

DEPENDENCE OF RESONANCES PARAMETERS FROM MASS NUMBER

Results of some previous investigations concerning definition of full sets of average resonances parameters $S_0, S_1, R_0', R_1', S_{1,1/2}, S_{1,3/2}$ for nuclei $^{47,9}\text{Ti}, ^{55,8}\text{Fe}, ^{58,7}\text{Ni}, ^{65,4}\text{Zn}, ^{72,6}\text{Ge}, ^{79}\text{Se}, ^{91,2}\text{Zr}, ^{95,9}\text{Mo}, ^{101,1}\text{Ru}, ^{106,4}\text{Pd}, ^{106}\text{Cd}, ^{108}\text{Cd}, ^{110}\text{Cd}, ^{112}\text{Cd}, ^{116}\text{Cd}, ^{116}\text{Sn}, ^{118}\text{Sn}, ^{120}\text{Sn}, ^{122}\text{Sn}, ^{124}\text{Sn}, ^{127,6}\text{Te}, ^{144,2}\text{Nd}$ has been presented and the place of these sets in the existing system of recommended parameters has been shown.

Keywords: resonances parameters, nuclei, recommended parameters.

Надійшла 03.06.2013

Received 03.06.2013