

ДОСЛІДЖЕННЯ ОСНОВНОГО ТА ЗБУДЖЕНОГО РІВНІВ ЯДРА ${}^5\text{Li}$

О. К. Горпинич, Віт. М. Пірнак, О. М. Поворозник, Ю. С. Рознюк, Б. Г. Стружко

За допомогою тричастинкової реакції ${}^2\text{H}(\alpha, p\alpha)n$ у кінематично повному експерименті досліджувалася $\alpha+d$ система при енергії пучка α -частинок 27.2 МеВ. Визначені параметри основного та першого збудженого стану ядра ${}^5\text{Li}$. Було описано спектр $p\alpha$ -збігів в рамках моделі послідовного збудження та розпаду першого збудженого та основного станів ${}^5\text{Li}$ по $\alpha+p$ каналу. Найкраще узгодження з експериментальними даними отримано для таких значень параметрів основного $E_{\text{ор}} = 2,14$ МеВ, $\Gamma = 1,30$ МеВ та першого збудженого станів: $E_{\text{ор}} = 4.8$ МеВ, $\Gamma = 2,0$ МеВ ядра ${}^5\text{Li}$.

Розпади нестабільних ядер є невичерпним джерелом інформації про властивості ядерних систем та взаємодію, яка визначає їх існування. Рівні незв'язаних малонуклонних систем, за звичай, спостерігаються як резонанси в пружному розсіянні нуклонів на ядрах або як нестабільні кінцеві ядра в інклюзивних спектрах, а також як резонанси в кореляційних експериментах. До таких цікавих нестабільних малонуклонних ядерних систем і належить ядро ${}^5\text{Li}$, уточненню параметрів основного та збудженого рівнів якого присвячена дана робота. Вивчення параметрів резонансів ${}^5\text{Li}$ з реакції взаємодії α -частинок з дейтерієм є одним з найбільш прямих методів, де вплив оточення мінімізований (фактично присутній тільки один нуклон). Завдяки експериментальним труднощам та неадекватності методів аналізу, які використовуються для визначення енергій та ширини незв'язаних станів, існує значна розбіжність, незважаючи на велику кількість робіт з цього питання (див. таблицю). Не виключено, що ця розбіжність викликана особливостями структури легких ядер, які не визначаються в сучасних експериментах за різних причин (недостатні величини енергій збудження, при яких вивчалися ці системи, невизначеність геометрії внаслідок невиконання певних кінематичних умов, систематичні похибки різних експериментальних методик). Питання про залежність значень таких фундаментальних величин, як ширина та енергетичне положення рівнів ядер з $A = 5$ від енергії активації, способу їх утворення, кутів спостереження в кореляційних експериментах [1], залишається відкритим. Суттєвим на визначення цих величин може бути вплив інших резонансних рівнів, величина прояву яких залежить від конкретної реакції, в якій досліджується даний резонансний рівень [3], а також можливість існування широких збуджених станів з позитивною парністю для систем з $A = 5$ (в області енергій збудження близько 7 МеВ) [11]. При отриманні параметрів резонансів з аналізу інклюзивних спектрів дуже важливим є якомога повне та коректне врахування всіх можливих каналів реакції утворення зареєстрованих частинок [4, 5].

Досить перспективним з точки зору мінімальної можливої кількості відкритих каналів, які можуть впливати на адекватний опис утворених вищезгаданих рівнів ${}^5\text{Li}$, є їх дослідження за допомогою ${}^2\text{H} + \alpha$ взаємодії. У випадку тричастинкової реакції ${}^2\text{H}(\alpha, p\alpha)n$ можливе утворення на першому етапі резонансів основного та збуджених рівнів ядер ${}^5\text{He}$ та ${}^5\text{Li}$ з подальшим їх розпадом на α -частинку і нейтрон та α -частинку й протон відповідно. У роботі [2] в кінематично повному експерименті за допомогою тричастинкової ${}^2\text{H} + \alpha \rightarrow p + \alpha + n$ реакції шляхом реєстрації $p\alpha$ -збігу досліджувалися параметри першого збудженого стану ${}^5\text{He}$, а в даній роботі з цієї ж реакції вивчається інша п'ятинуклонна система - ${}^5\text{Li}$, незв'язані основний та збуджений стани якої розпадаються з вильотом протону та α -частинки.

Реакція, метод	${}^5\text{Li}_{(3/2-)}$ основний стан E_T – положення резонансу, MeV	${}^5\text{Li}_{(3/2-)}$ основний стан Γ – ширина резонансу, MeV	${}^5\text{Li}_{(1/2-)}$ 1-й збудже- ний стан E – положен- ня резонансу, MeV	${}^5\text{Li}_{(1/2-)}$ 1-й збудже- ний стан Γ – ширина резонансу, MeV	Рік, посилання
<i>Експеримент</i>					
Пружне α +p розсіяння	1.53	1.42	4.74	8.89	1970, [6]
${}^6\text{Li}({}^3\text{He}, \alpha\alpha)p$	1.96	1.40 ± 0.15			1993, [1]
${}^4\text{He}({}^7\text{Li}, {}^6\text{He}){}^5\text{Li}$	1.76 ± 0.06	1.18 ± 0.13	3.84 ± 0.56	4.1 ± 2.5	1985, [3]
${}^6\text{Li}({}^{12}\text{C}, {}^{13}\text{C}){}^5\text{Li}$	1.86 ± 0.01	1.44 ± 0.08	4.64 ± 0.5	6.1 ± 2.8	1985, [3]
${}^3\text{He}(d, \gamma){}^5\text{Li}$	1.72 ± 0.03	1.28 ± 0.03			1991, [12]
${}^3\text{He}(\alpha, d){}^5\text{Li}$	1.96	1.9 ± 0.25	4.76 ± 0.35	1.64 ± 0.25	1985, [4]
${}^3\text{He}(\alpha, d){}^5\text{Li}$	1.9 ± 0.2	$1.2 \pm 0,$	4.9 ± 0.20	1.84 ± 0.23	1993, [5]
${}^2\text{H}(\alpha, p\alpha)n$	2.14 ± 0.5	1.3 ± 0.5	4.8 ± 0.5	2.0 ± 0.5	Дана робота
Компіляція	1.96 ± 0.05	≈ 1.5	5.0 - 10.0	5.0 ± 2.0	1988, [7]
<i>Теорія</i>					
Метод амплітуди розсіяння	1.637	1.292	2.858	6.082	1976, [8]
S-матричний підхід у методі резонуючих груп (МРГ)	1.67	1.33	2.70	6.25	1997, [8]
Розширений R-матричний підхід	1.69	1.23	3.18	6.60	1997, [8]

На циклотроні У-120 у кінематично-повному експерименті досліджувалася реакція ${}^2\text{H}(\alpha, p\alpha)n$, спричинена взаємодією α -частинок з енергією 27.2 MeV з дейтеро-поліетиленовою мішенню. Товщина $(\text{CD}_2)_n$ -мішені 400 мкг/см². Методика експерименту аналогічна до описаної в [9]. Заряджені частинки у вихідному каналі реєструвались двома ΔE -E телескопами, які склалися з кремнієвих поверхнево-бар'єрних ΔE -детекторів товщиною 0,05 мл та кремнієвих, легованих літієм, E-детекторів товщиною 1,2 мл. Тілесні кути для обох телескопів дорівнювали 1.38 мстер.

Однією з основних умов коректності отримання параметрів незв'язаних станів легких ядер у кореляційному експерименті є правильне визначення ділянки фазового простору, де домінує механізм утворення резонансів ядра ${}^5\text{Li}$. Кути детекторів для реєстрації α -частинок (ϑ_α) та протонів (ϑ_p) вибиралися таким чином, щоб задовольняти кінематичні умови, при яких внесок від механізму збудження й подальшого розпаду основного та першого збудженого станів ядра ${}^5\text{Li}$ є максимальним при мінімальній вкладі інших можливих механізмів проходження цієї тричастинкової реакції, таких як взаємодія в кінцевому стані n-p пари, квазівільного розсіяння та прояв збудження й розпаду станів ${}^5\text{He}$. Оптимальними виявилась такі кути для реєстрації $p\alpha$ -збігів: $\vartheta_p = 18.9^\circ$, $\vartheta_\alpha = 22.25^\circ$, $\Delta\varphi = 180^\circ$. При цьому слід розглядати для подальшого вивчення лише верхню гілку матриці $p\alpha$ -збігів, так як для нижньої гілки можливий прояв механізму n-p взаємодії в кінцевому стані, оскільки відносна енергія в n-p парі близька до нуля.

У результаті 'off line'-обробки експериментальних даних за допомогою описаного в роботі [11] пакета програм було отримано прокалібровані матриці $p\alpha$ -збігів. Критерієм перевірки істинності калібровки і відповідного виставлення кутів реєстрації продуктів тричастинкової реакції може бути ступінь відповідності подій на отриманій у результаті сортування та калібровки матриці збігів до кінематичної кривої, обчисленої для

геометричних умов дослідження даної реакції (див. рис. 1). З рисунка видно, що для $\vartheta_p = 18,9^\circ$, $\vartheta_\alpha = 22,25^\circ$, в матриці Ер-Е α збігів заповнена головним чином верхня гілка локусу.

На рис. 2 наведено одновимірний спектр, отриманий в результаті проектування верхньої гілки вищенаведеного двовимірного спектра р α -збігів. В отриманому спектрі спостерігаються два широкі піки, що відповідають утворенню і розпаду на протон та α -частинку основного та першого збудженого рівнів ядра ${}^5\text{Li}$. При цьому амплітуди цих двох широких резонансних структур приблизно рівні. Для того, щоб отримати значення параметрів нез'язаних станів ${}^5\text{Li}$, експериментальні спектри підганялись за методом найменших квадратів в рамках моделі послідовного розпаду з використанням формули Брейта - Вігнера

$$d^3\sigma/(\Omega_\alpha\Omega_p dE_p) \sim \rho \times \sum_i (C_i / [(E - E_{Ti})^2 + (\Gamma_i^2/4)]), \quad (1)$$

де ρ - множник фазового простору; E_{Ti} , Γ_i - відповідно положення та ширина збудженого та основного станів ядра ${}^5\text{Li}$; C_i - відносний внесок кожного з резонансів. Результати розрахунків за формулою (1) з врахуванням реальної енергетичної роздільної здатності детекторів, позначено на рис. 2 суцільною лінією. Очевидно, що основним механізмом проходження досліджуваної ${}^2\text{H}(\alpha, p\alpha)n$ тричастинкової реакції для пар кутів $\vartheta_\alpha = 22,25^\circ$; $\vartheta_p = 18,9^\circ$ є збудження основного та першого збудженого станів ядра ${}^5\text{Li}$ з подальшим розпадом цих резонансів на α -частинку та протон. У результаті підгонки були отримані такі параметри для основного $E_T = (2,14 \pm 0,5)$ MeV, $\Gamma = (1,30 \pm 0,5)$ MeV та першого збудженого станів ядра ${}^5\text{Li}$: $E_T = (4,8 \pm 0,5)$ MeV, $\Gamma = (2,0 \pm 0,5)$ MeV.

Отримані в даному експерименті результати, в основному, узгоджуються з даними інших дослідників (див. таблицю) за винятком ширини першого збудженого рівня. Це пов'язане з тим, що енергія налітаючих α -частинок у нашому експери-

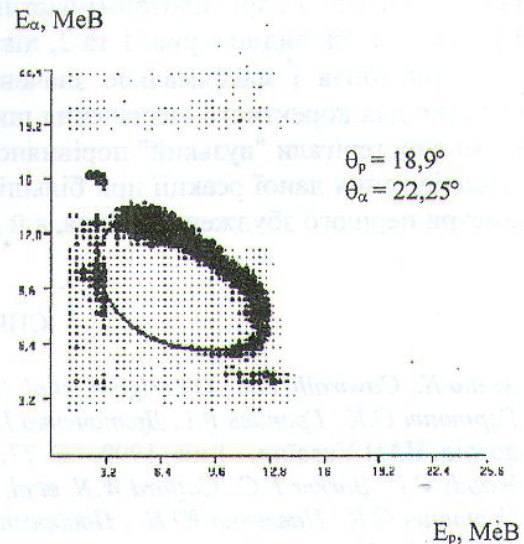


Рис. 1. Матриця р α -збігів з реакції ${}^2\text{H}(\alpha, p\alpha)n$ (суцільною лінією нанесено відповідну кінематичну криву).

$d^3\sigma/d\Omega_p\Omega_\alpha dE_p$, від. од.

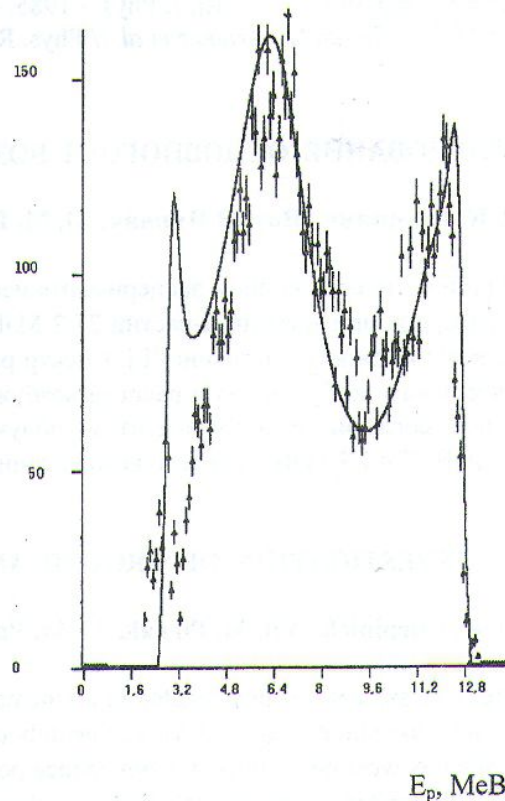


Рис. 2. Проекція верхньої гілки р α -збігів на вісь енергії.

менті в даних кінематичних умовах недостатня для реалізації всього можливого діапазону відносних енергій у парі "протон- α -частинка" ($E_{p\alpha}$), які відповідають утворенню збудженого стану ядра ${}^5\text{Li}$. Як видно з рис. 1 та 2, пік, що відповідає даному резонансу, лежить на краю матриці $p\alpha$ -збігів і максимальне значення відносної енергії $E_{p\alpha}$ дорівнює 5.7 MeV, яке недостатнє для коректного визначення ширини резонансу з дуже малим часом життя, і саме тому ми спостерігали "вузький" порівняно з іншими даними резонанс збудженого стану ядра ${}^5\text{Li}$. Дослідження даної реакції при більшій енергії взаємодії дасть змогу не тільки уточнити параметри першого збудженого рівня, а й дослідити високозбуджені рівні ядра ${}^5\text{Li}$.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Arena N., Cavarallo Seb., D'Arrigo A. et al. // Nuovo Cimento. - 1993. - Vol. 106A., No. 8. - P. 1007.*
2. *Горпинич О.К., Гранцев В.І., Дряпаченко І.П. та ін. // Матеріали щоріч. наук. конф. Ін-ту ядерних дослід. НАН України. - Київ, 1999. - С. 77.*
3. *Woods C.L., Barker F.C., Catford W.N. et al. // Aust. J. Phys. - 1988. - Vol. 41. - P. 525.*
4. *Горпинич О.К., Павленко Ю.Н., Поворозник О.М., Стружко Б.Г. // Изв. РАН. Сер. физ. - 1993. - Т. 57. - С. 121.*
5. *Немец О.Ф., Ясногородский А.М., Осташко В.В., Поворозник О.М. // Письма в ЖЭТФ. - 1982. - Т. 35. - С. 537.*
6. *Bond J.E. and Firk F.W.K. // Nucl. Phys. A. - 1977. - Vol. 287. - P. 317.*
7. *Ajzenberg-Selove F. // Nucl. Phys. A. - 1988. - Vol. 490. - P. 1.*
8. *Ahmed M.U., Shanley P.E. // Phys. Rev. Lett. - 1976. - Vol. 36. - P. 25.*
9. *Гранцев В.І., Дряпаченко І.П., Пирнак Вит.М та ін. // Матеріали щоріч. наук. конф. Ін-ту ядерних дослід. НАН України. - Київ, 1997. - С. 87.*
10. *Конфедератенко В.И., Патлянь Ю.В., Стружко Б.Г. // Накопление и обработка спектров на малых ЭВМ. - Киев, 1984. - 16 с. - (Препр. / АН УССР. Ин-т ядерных исслед.; КИЯИ-84-9).*
11. *Barker F.C., Woods C.L. // Aust. J. Phys. - 1985. - Vol. 38. - P. 563.*
12. *Balbes M.J., Feldman G., Kramer et al. // Phys. Rev. C. - 1991. - Vol. 43. - P. 343.*

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСНОВНОГО И ВОЗБУЖДЕННОГО СОСТОЯНИЙ ЯДРА ${}^5\text{Li}$

О. К. Горпинич, Вит. Н Пирнак, О. М. Поворозник, Ю. С Рознюк, Б. Г. Стружко

В кинематически полном эксперименте исследовалась $\alpha+d$ система с помощью трехчастичной реакции ${}^2\text{H}(\alpha, p\alpha)n$ при энергии α -частиц 27.2 МэВ. Определены параметры наблюдаемого основного и первого возбужденного состояния ${}^5\text{Li}$. Спектр $p\alpha$ -совпадений был описан в предположении модели последовательного возбуждения и распада возбужденного и основного состояний ${}^5\text{Li}$ по $\alpha+p$ каналу. Оптимальное согласие с экспериментом получено для таких значений параметров основного $E_{\text{ср}} = 2,14$ МэВ, $\Gamma = 1,3$ МэВ и первого возбужденного состояний: $E_{\text{ср}} = 4,8$ МэВ, $\Gamma = 2,0$ МэВ ядра ${}^5\text{Li}$.

INVESTIGATION OF GROUND AND FIRST EXCITED STATES OF ${}^5\text{Li}$

О. К. Gorpinich, Vit. M. Pirnak, O. M. Povoroznyk, Yu. S. Roznyuk, B. G. Struzhko

The $\alpha+d$ system was investigated in a kinematically complete experiment by ${}^2\text{H}(\alpha, p\alpha)n$ three-body reaction with an α -beam energy 27.2 MeV. The unbound first excited and ground states of ${}^5\text{Li}$ were observed and its parameters were determinated. Coincidence $p\alpha$ -spectrum was fitted by model of the sequential decay ${}^5\text{Li}$ ground and excited states through the $\alpha+p$ channel. The best agreement with the data was obtained assuming the following parameters of ground state: $E_{\text{ср}} = 2,14$ MeV, $\Gamma = 1,30$ MeV; and of first excited state: $E_{\text{ср}} = 4,8$ MeV, $\Gamma = 2,0$ MeV.