

**МЕХАНІЗМИ ПЕРЕЗАРЯДКИ В РЕАКЦІЇ ${}^7\text{Li}({}^{10}\text{B}, {}^{10}\text{Be}){}^7\text{Be}$
ТА ПОТЕНЦІАЛ ВЗАЄМОДІЇ ЯДЕР ${}^7\text{Be} + {}^{10}\text{Be}$**

**В. О. Романишин¹, А. Т. Рудчик¹, О. А. Понкратенко¹, Є. І. Коший², С. Клічевські³, К. Русек⁴,
В. М. Кир'янчук¹, С. Ю. Межевич¹, Вал. М. Пірнак¹, А. А. Рудчик¹, А. Будзановські³,
І. Сквірчинська³, Р. Сюдак³, Б. Чех³, А. Щурек³, Я. Хоїньські⁵, Л. Гловацка⁶**

¹Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

²Харківський національний університет, Харків

³Інститут ядерної фізики ім. Г. Неводнічанського, Краків, Польща

⁴Інститут ядерних досліджень ім. А. Солтана, Варшава, Польща

⁵Лабораторія важких іонів Варшавського університету, Варшава, Польща

⁶Інститут прикладної фізики Військово-технічного університету, Варшава, Польща

Поміряно диференціальні перерізи реакції ${}^7\text{Li}({}^{10}\text{B}, {}^{10}\text{Be}){}^7\text{Be}$ при енергії $E_{\text{лаб}}({}^{10}\text{B}) = 51$ МеВ для основних та збуджених станів ядер ${}^{10}\text{Be}$ і ${}^7\text{Be}$. Отримані експериментальні дані реакції ${}^7\text{Li}({}^{10}\text{B}, {}^{10}\text{Be}){}^7\text{Be}$ та єдині відомі з літератури дані реакції ${}^{10}\text{B}({}^7\text{Li}, {}^7\text{Be}){}^{10}\text{Be}$ при енергії $E_{\text{лаб}}({}^7\text{Li}) = 39$ МеВ проаналізовано за методом деформованих хвиль для прямого механізму перезарядки ядер ${}^{10}\text{B} \rightarrow {}^{10}\text{Be}$, ${}^7\text{Li} \rightarrow {}^7\text{Be}$ та за методом зв'язаних каналів реакцій для механізмів перезарядки ${}^{10}\text{B} \rightarrow X \rightarrow {}^{10}\text{Be}$, ${}^7\text{Li} \rightarrow Y \rightarrow {}^7\text{Be}$ через одно- і двоступінчасті передачі нуклонів і кластерів. Досліджено роль різних механізмів у кутових розподілах продуктів реакцій ${}^7\text{Li}({}^{10}\text{B}, {}^{10}\text{Be}){}^7\text{Be}$ і ${}^{10}\text{B}({}^7\text{Li}, {}^7\text{Be}){}^{10}\text{Be}$. За даними цих реакцій стандартним способом підгонки визначено параметри потенціалу взаємодії ядер ${}^7\text{Be} + {}^{10}\text{Be}$, їх енергетичну залежність та досліджено ізотопічні відмінності потенціалів взаємодії ядер ${}^7\text{Be} + {}^9, {}^{10}\text{Be}$. Отриманий ${}^7\text{Be} + {}^{10}\text{Be}$ -потенціал порівнюється з відповідним фолдінг-потенціалом, обчисленим на основі розподілів нуклонів в ядрах ${}^7\text{Be}$ і ${}^{10}\text{Be}$.

Вступ

Реакції перезарядки нуклонів і ядер є ефективним засобом дослідження обмінної природи ядерних сил, якщо в них домінує прямий механізм нуклонної перезарядки через мезонний обмін. Проте в реакціях із складними частинками й важкими іонами з прямим процесом перезарядки конкурують процеси перезарядки через реакції передачі нуклонів і кластерів. Ці непрямі процеси перезарядки за певних умов можуть відігравати суттєву роль і потребують ретельного дослідження. Зокрема, у реакції ${}^{10}\text{B}({}^7\text{Li}, {}^7\text{Be}){}^{10}\text{Be}$ важливу роль можуть відігравати непрямі процеси перезарядки ${}^7\text{Li} \rightarrow {}^7\text{Be}$ через послідовні передачі нуклонів $n + p$ та $p + n$. Досконале дослідження ролі цих процесів за сучасними теоретичними моделями потребує експериментальних даних кутових розподілів продуктів реакції в широкому кутовому діапазоні, оскільки ці дані служать для визначення параметрів оптичного потенціалу взаємодії ядер ${}^7\text{Be} + {}^{10}\text{Be}$, поки що не встановленого з безпосереднього розсіяння цих нестабільних ядер. Про такі експерименти в даний час немає відомостей.

Диференціальні перерізи реакції ${}^{10}\text{B}({}^7\text{Li}, {}^7\text{Be}){}^{10}\text{Be}$ при енергії $E_{\text{лаб}}({}^7\text{Li}) = 39$ МеВ [1] експериментально досліджено лише у вузькому діапазоні малих кутів $\theta_{\text{с.п.м.}} < 50^\circ$, що суттєво звужує можливість вивчення ролі різних механізмів перезарядки в цій реакції. У даній роботі представлено результати вимірювань реакції ${}^7\text{Li}({}^{10}\text{B}, {}^{10}\text{Be}){}^7\text{Be}$ при енергії $E_{\text{лаб}}({}^{10}\text{B}) = 51$ МеВ

(21,0 МеВ у с.п.м.) у широкому кутовому діапазоні. Це уможливило дослідження ролі як прямої, так і непрямой перезарядки ядер ${}^{10}\text{B} \rightarrow {}^{10}\text{Be}$, ${}^7\text{Li} \rightarrow {}^7\text{Be}$.

Експериментальні дані обох реакцій досліджено методом борнівського наближення деформованих хвиль (МДХ) для прямої перезарядки та за методом зв'язаних каналів реакцій (МЗКР) для одно- і двоступінчастих передач нуклонів і кластерів. У праці [1] експериментальні дані реакції ${}^{10}\text{B}({}^7\text{Li}, {}^7\text{Be}){}^{10}\text{Be}$ аналізувались лише за МДХ без урахування можливих внесків реакцій передачі.

Експериментальні дані реакцій ${}^{10}\text{B}({}^7\text{Li}, {}^7\text{Be}){}^{10}\text{Be}$ і ${}^7\text{Li}({}^{10}\text{B}, {}^{10}\text{Be}){}^7\text{Be}$ було використано для визначення параметрів ${}^7\text{Be} + {}^{10}\text{Be}$ -потенціалу стандартним методом підгонки, оскільки для вхідного каналу цих реакцій був відомий оптичний ${}^7\text{Li} + {}^{10}\text{B}$ -потенціал, отриманий з аналізу даних пружного й непружного розсіяння ядер ${}^7\text{Li} + {}^{10}\text{B}$ [2, 3], а потрібні для МЗКР-розрахунків спектроскопічні амплітуди переданих у реакціях нуклонів і кластерів обчислювались за трансляційно-інваріантною моделлю оболонки (ТІМО) [4], яка позитивно зарекомендувала себе при аналізі багатьох експериментальних даних реакцій передачі за МЗКР.

У даній роботі досліджується також енергетична залежність ${}^7\text{Be} + {}^{10}\text{Be}$ -потенціалу з урахуванням дисперсійного співвідношення між дійсною та уявною частинами оптичного потенціалу [5], яка порівнюється з відповідними залежностями ${}^7\text{Li} + {}^{10}\text{B}$ - і ${}^7\text{Be} + {}^9\text{Be}$ -потенціалів [2, 6].

Завершується робота представленням результатів мікроскопічних розрахунків фолдінг-потенціалу взаємодії ядер ${}^7\text{Li} + {}^{10}\text{Be}$, який порівнюється з ${}^7\text{Be} + {}^{10}\text{Be}$ -потенціалом, отриманим шляхом підгонки.

Методика експерименту

Вимірювання диференціальних перерізів реакції ${}^7\text{Li}({}^{10}\text{B}, {}^{10}\text{Be}){}^7\text{Be}$ проводилось разом із пружним і непружним ${}^7\text{Li} + {}^{10}\text{B}$ -розсіянням на Варшавському циклотроні С-200Р при енергії $E_{\text{лаб.}}({}^{10}\text{B}) = 51 \text{ MeV}$ [2, 3]. Мішенню служила фольга природного літію (${}^7\text{Li} - 92,5 \%$, ${}^6\text{Li} - 7,5 \%$) товщиною $\sim 600 \text{ мкг/см}^2$. Розкид енергії пучка іонів ${}^{10}\text{B}$ на мішені становив $\sim 0,5 \%$. Типова ΔE - E -методика експерименту з двома типами ΔE - E -спектрометрів (кремнієві $\Delta E + E$ -детектори та іонізаційна камера (ΔE) + кремнієвий E -детектор) описана в працях [2, 3]. Тут наведено лише типовий $\Delta E(E)$ -спектр від спектрометра з двома кремнієвими детекторами (рис. 1) та енергетичні спектри ${}^{10}\text{Be}$ і ${}^7\text{Be}$ – продуктів реакції

${}^7\text{Li}({}^{10}\text{B}, {}^{10}\text{Be}){}^7\text{Be}$ (рис. 2), отримані з двовимірних $\Delta E(E)$ -спектрів проектуванням відповідних (A, Z)-смуг (локусів) на енергетичну вісь.

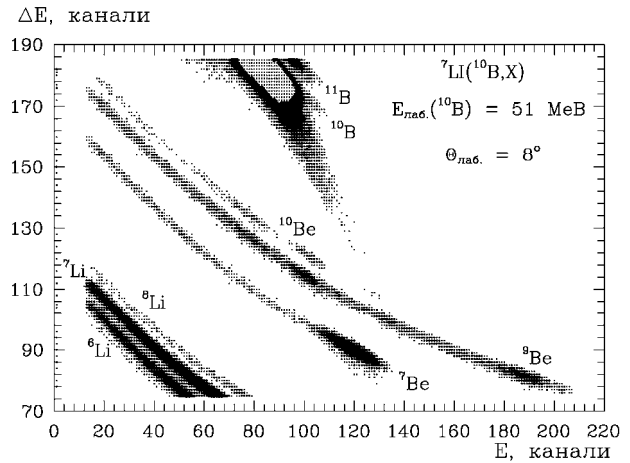
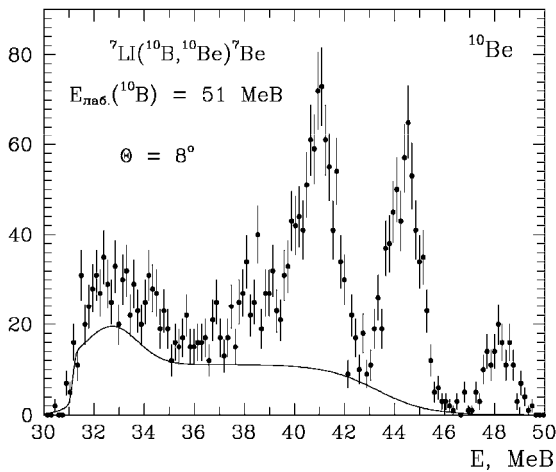
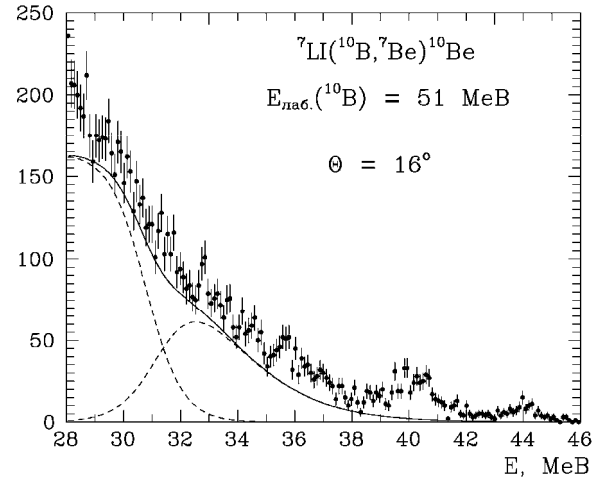


Рис. 1. Типовий $\Delta E(E)$ -спектр продуктів реакцій ${}^7\text{Li}({}^{10}\text{B}, X)$ при енергії $E_{\text{лаб.}}({}^{10}\text{B}) = 51 \text{ MeV}$ для кута реєстрації $\theta_{\text{лаб.}} = 8^\circ$.

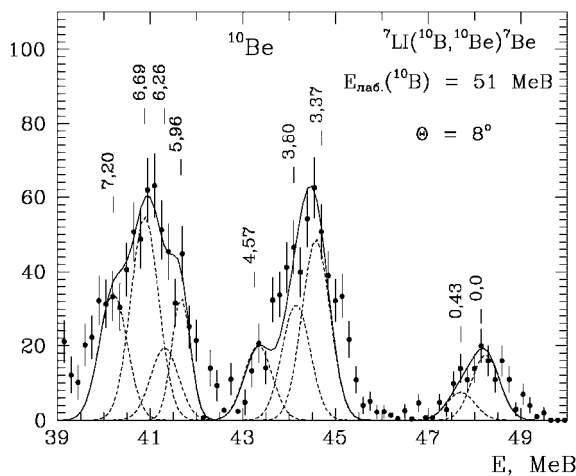
Число відліків



Число відліків



Число відліків



Число відліків

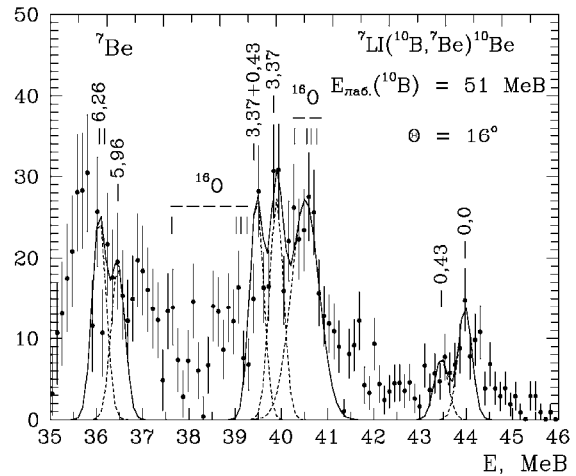


Рис. 2. Типові спектри ${}^{10}\text{Be}$ з реакції ${}^7\text{Li}({}^{10}\text{B}, {}^{10}\text{Be}){}^7\text{Be}$ (панелі зліва) та ${}^7\text{Be}$ з реакції ${}^7\text{Li}({}^{10}\text{B}, {}^7\text{Be}){}^{10}\text{Be}$ (панелі справа) при енергії $E_{\text{лаб.}}({}^{10}\text{B}) = 51 \text{ MeV}$ з фоном (уверху) та без нього (унизу). Штрихові криві на спектрах унизу – гауссіани відповідних рівнів ядер.

У верхньому ряду на рис. 2 представлено ^{10}Be - і ^7Be -спектри безпосереднього проектування відповідних локусів двовимірних спектрів. Видно, що в енергетичних спектрах спостерігаються неперервні фони, обумовлені багаточастинковими реакціями типу $^7\text{Li}(^{10}\text{B}, ^{10}\text{Be})\{at, nda\}$,

$$N(E) = N_0 \left[1 + \exp\left(-\frac{E - E_1 + E_2 / 2}{h_1}\right) \right]^{-1} \left\{ 1 - \left[1 + \exp\left(-\frac{E - E_1 - E_2 / 2}{h_2}\right) \right]^{-1} \right\} \quad (1)$$

шляхом підгонки параметрів E_1 , E_2 , h_1 і h_2 даної функції. Зразки такого опису показано суцільними та штриховими кривими на спектрах верхнього ряду рис. 2. Наближений неперервний фон віднімався з експериментальних енергетичних спектрів і залишкові спектри (нижній ряд рис. 2) наближувались сумою симетричних функцій Гаусса

$$N(E) = \sum_{i=1}^n N_{oi} \exp\left[-\frac{(E - E_{oi})^2}{h_i^2}\right], \quad (2)$$

де параметри N_{oi} , E_{oi} і h_i визначають амплітуду, положення й напівширину i -піка, що відповідає певному рівню ядра ^{10}Be чи ^7Be . Наближення експериментальних спектрів функціями (2) здійснювалось шляхом підгонки лише параметрів $d\sigma/d\Omega$, мб/ср

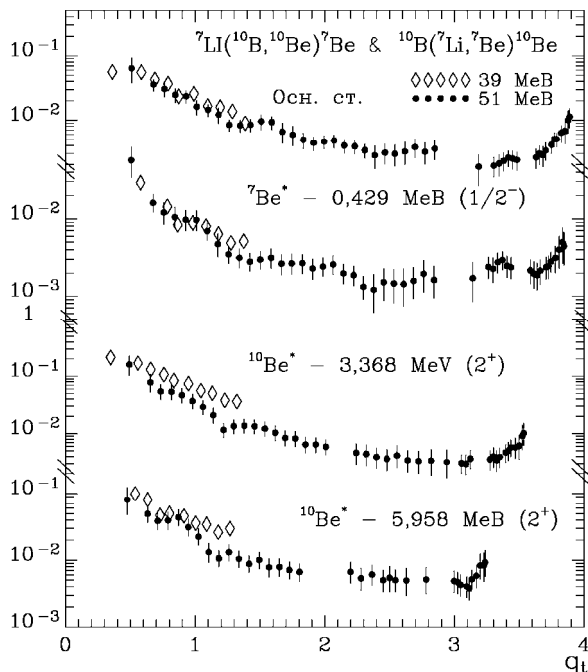


Рис. 3 Диференціальні перерізи реакції $^7\text{Li}(^{10}\text{B}, ^{10}\text{Be})^7\text{Be}$ при енергії $E_{\text{лаб.}}(^{10}\text{B}) = 51$ MeV (темні точки) та $^{10}\text{B}(^7\text{Li}, ^7\text{Be})^{10}\text{Be}$ при $E_{\text{лаб.}}(^7\text{Li}) = 39$ MeV (ромби) залежно від переданого імпульсу q_t .

$^7\text{Li}(^{10}\text{B}, ^7\text{Be})\{n^9\text{Be}, maa\}$ тощо. Ці фони як сукупності мінімальних значень чисел відліків $N(E)$ у спектрах наближувались за методом найменших квадратів параметризованими функціями асиметричної сигмоїдальної форми

N_{oi} . Параметри E_{oi} положень піків дорівнювали кінетичним енергіям продуктів реакцій. Параметри h_i покладались рівними напівширині ізольованого піка або природній напівширині відповідного рівня ядра. Площі піків використовувались для обчислення диференціальних перерізів реакції. Похибки в обчисленні площ ізольованих піків становили $\sim 15\%$. Для піків із значним перекриттям ця похибка дорівнювала $30 - 40\%$.

У спектрах ^7Be присутні також піки, що відповідають ^7Be з реакції $^{16}\text{O}(^{10}\text{B}, ^7\text{Be})^{19}\text{F}$. Ці піки на спектрі зверху підкреслено штриховою кривою ^{16}O .

Поміряні диференціальні перерізи реакції $^7\text{Li}(^{10}\text{B}, ^{10}\text{Be})^7\text{Be}$ при енергії $E_{\text{лаб.}}(^{10}\text{B}) = 51$ MeV для основних і збуджених станів ядер ^{10}Be і ^7Be показано на рис. 3 - 6.

$d\sigma/d\Omega$, мб/ср

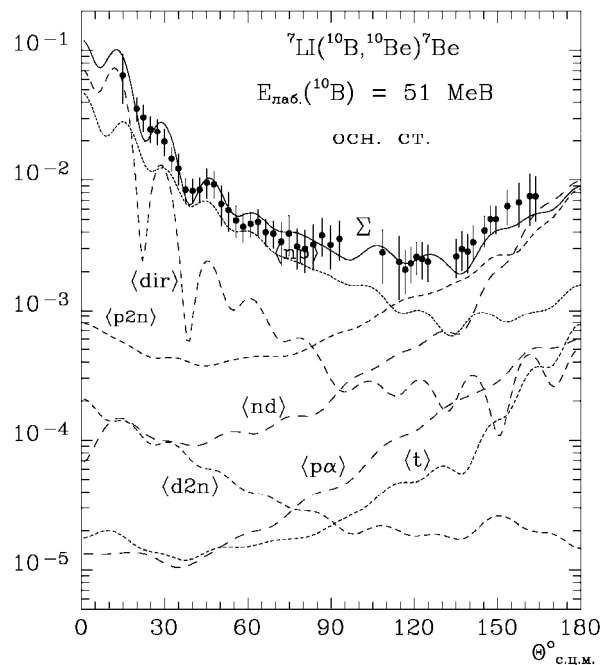


Рис. 4 Диференціальні перерізи реакції $^7\text{Li}(^{10}\text{B}, ^{10}\text{Be})^7\text{Be}$ при енергії $E_{\text{лаб.}}(^{10}\text{B}) = 51$ MeV для основних станів ядер ^{10}Be і ^7Be . Криві $\langle dir \rangle$ - перерізи прямої перезарядки. Інші криві - МЗКР-перерізи реакцій передачі нуклонів і кластерів. Крива Σ - сума перерізів усіх процесів.

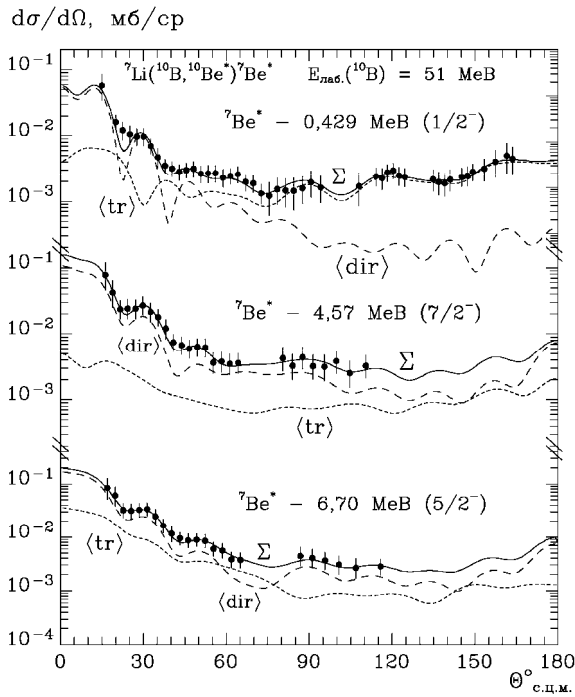


Рис. 5. Те ж саме, що на рис. 4, але для збуджених станів ${}^7\text{Be}$. Крива <tr> - когерентна сума перерізів усіх реакцій передач.

На рис. 3 представлено експериментальні дані реакцій ${}^7\text{Li}({}^{10}\text{B}, {}^{10}\text{Be}){}^7\text{Be}$ при енергії $E_{\text{лаб}}({}^{10}\text{B}) = 51 \text{ MeB}$ (21,0 MeB у с.ц.м.) та ${}^{10}\text{B}({}^7\text{Li}, {}^7\text{Be}){}^{10}\text{Be}$ при енергії $E_{\text{лаб}}({}^7\text{Li}) = 39 \text{ MeB}$ (22,94 MeB у с.ц.м.) [1] залежно від передаваного імпульсу q_t . Видно, що дані обох вимірювань добре узгоджуються.

Аналіз експериментальних даних

Розрахунки за МЗКР

Експериментальні дані реакцій аналізувались за МЗКР із використанням оптичних потенціалів Вудса - Саксона

$$U(r) = V_0 \left[1 + \exp\left(\frac{r - R_V}{a_V}\right) \right]^{-1} + iW_S \left[1 + \exp\left(\frac{r - R_W}{a_W}\right) \right]^{-1} \quad (3)$$

та кулонівських потенціалів рівномірно зарядженої кулі

$$V_C(r) = \begin{cases} Z_P Z_T e^2 (3 - r^2 / R_C^2) / 2R_C, & r \leq R_C \\ Z_P Z_T e^2 / r, & r > R_C \end{cases} \quad (4)$$

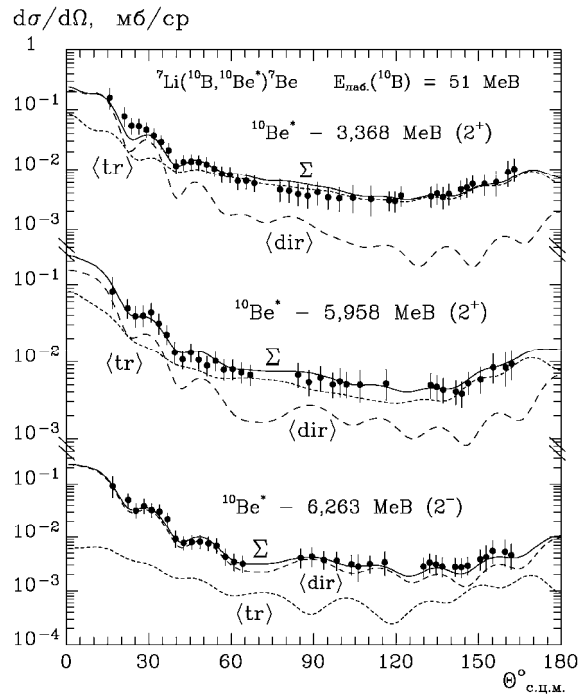


Рис. 6. Те ж саме, що на рис. 4, але для збуджених станів ${}^{10}\text{Be}$. Крива <tr> - когерентна сума перерізів усіх реакцій передач.

де A_P, Z_P та A_T, Z_T - маси й заряди іона P та мішені T відповідно; $R_i = r_i (A_P^{1/3} + A_T^{1/3})$, $i = V, W, C$. У розрахунках використовувалось значення параметра $r_C = 1,25 \text{ фм}$.

У систему зв'язку каналів МЗКР-розрахунків включались пружне розсіяння ядер ${}^7\text{Li} + {}^{10}\text{B}$ та найбільш важливі реакції передач, діаграми 2 - 10 яких представлено на рис. 7.

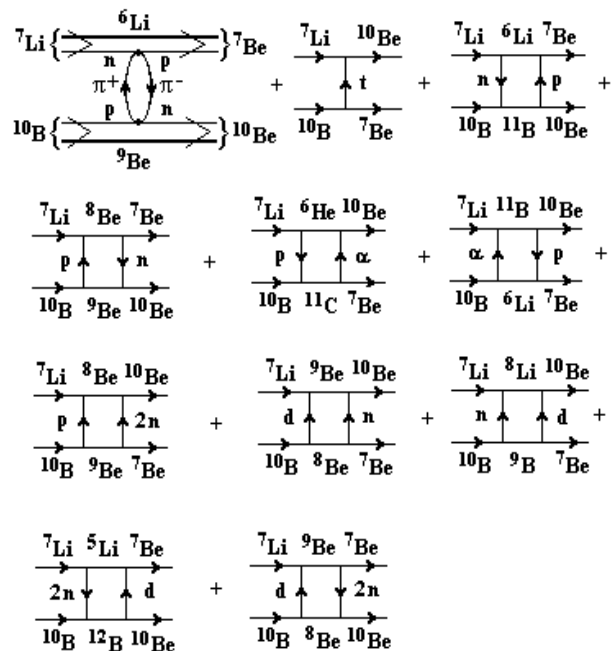


Рис. 7. Діаграми механізмів перезарядки в реакції ${}^7\text{Li}({}^{10}\text{B}, {}^{10}\text{Be}){}^7\text{Be}$.

Таблиця 1. Спектроскопічні амплітуди нуклонів і кластерів x у системах $A = C + x$

A	C	x	nL_J	S_x	A	C	x	nL_J	S_x
${}^7\text{Li}$	${}^6\text{He}$	p	$1P_{3/2}$	0,805				$1F_{7/2}$	-0,581 ^a
${}^7\text{Li}$	${}^5\text{Li}$	2n	$2S_0$	-0,738	${}^{10}\text{Be}_{5,958}$	${}^8\text{Li}$	d	$2S_1$	-0,582 ^a
			$1D_2$	0,467				$1D_1$	-0,340 ^a
${}^7\text{Li}$	${}^6\text{Li}$	n	$1P_{1/2}$	-0,657				$1D_2$	0,288
			$1P_{3/2}$	-0,735 ^a				$1D_3$	-0,364
${}^7\text{Li}$	${}^6\text{Li}^*_{2,19}$	n	$1P_{3/2}$	0,738 ^a	${}^{10}\text{Be}$	${}^8\text{Li}$	d	$1D_2$	0,884
${}^7\text{Be}$	${}^5\text{Li}$	d	$2S_1$	-0,674 ^a	${}^{10}\text{Be}_{3,368}$	${}^8\text{Li}$	d	$2S_1$	-0,582 ^a
			$1D_1$	-0,121 ^a				$1D_1$	-0,340 ^a
			$1D_3$	0,676 ^a				$1D_2$	0,288
${}^7\text{Be}^*_{0,43}$	${}^5\text{Li}$	d	$2S_1$	-0,852				$1D_3$	-0,364
			$1D_1$	0,191	${}^{10}\text{Be}$	${}^8\text{Be}$	2n	$2S_0$	-0,833
			$1D_2$	0,572 ^a	${}^{10}\text{Be}^*_{3,37}$	${}^8\text{Be}$	2n	$1D_2$	0,811
${}^7\text{Be}^*_{4,57}$	${}^5\text{Li}$	d	$1D_2$	-0,572	${}^{10}\text{Be}^*_{5,95}$	${}^8\text{Be}$	2n	$1D_2$	0,811
			$1D_3$	-0,700 ^a	${}^{10}\text{Be}^*_{6,18}$	${}^8\text{Be}$	2n	$2S_0$	-0,833
${}^7\text{Be}$	${}^6\text{Li}$	p	$1P_{1/2}$	-0,657	${}^{10}\text{Be}$	${}^9\text{Be}$	n	$1P_{3/2}$	1,406 ^a
			$1P_{3/2}$	-0,735 ^a	${}^{10}\text{Be}^*_{3,37}$	${}^9\text{Be}$	n	$1P_{1/2}$	0,968
${}^7\text{Be}^*_{0,43}$	${}^6\text{Li}$	p	$1P_{1/2}$	0,329 ^a				$1P_{3/2}$	0,968 ^a
			$1P_{3/2}$	0,930	${}^{10}\text{Be}^*_{5,95}$	${}^9\text{Be}$	n	$1P_{1/2}$	0,968
${}^7\text{Be}^*_{4,57}$	${}^6\text{Li}^*_{2,19}$	p	$1P_{1/2}$	-0,882				$1P_{3/2}$	0,968 ^a
			$1P_{3/2}$	-0,764 ^a	${}^{10}\text{Be}^*_{6,18}$	${}^9\text{Be}$	n	$1P_{3/2}$	1,406 ^a
${}^7\text{Be}^*_{6,69}$	${}^6\text{Li}^*_{2,19}$	p	$1P_{1/2}$	0,821 ^a	${}^{10}\text{B}$	${}^6\text{Li}$	α	$2D_2$	-0,125
			$1P_{3/2}$	-0,340	${}^{10}\text{B}$	${}^7\text{Be}$	t	$2P_{3/2}$	-0,419
${}^8\text{Li}$	${}^7\text{Li}$	n	$1P_{1/2}$	0,478				$1F_{5/2}$	0,104 ^a
${}^8\text{Be}$	${}^7\text{Li}$	p	$1P_{3/2}$	1,234 ^a				$1F_{7/2}$	-0,347
${}^8\text{Be}^*_{3,03}$	${}^7\text{Li}$	p	$1P_{1/2}$	-0,730	${}^{10}\text{B}$	${}^7\text{Be}^*_{0,43}$	t	$1F_{5/2}$	0,058
			$1P_{3/2}$	-0,730 ^a	${}^{10}\text{B}$	${}^7\text{Be}^*_{4,57}$	t	$1F_{7/2}$	-0,401 ^a
${}^8\text{Be}$	${}^7\text{Be}$	n	$1P_{3/2}$	-1,234 ^a				$2P_{1/2}$	0,401 ^a
${}^8\text{Be}$	${}^7\text{Be}^*_{0,43}$	n	$1P_{1/2}$	-0,873				$2P_{3/2}$	-0,347
${}^8\text{Be}^*_{3,03}$	${}^7\text{Be}^*_{4,57}$	n	$1P_{3/2}$	-0,626				$1F_{5/2}$	-0,396 ^a
${}^8\text{Be}^*_{3,03}$	${}^7\text{Be}^*_{6,69}$	n	$1P_{1/2}$	-0,478 ^a				$1F_{7/2}$	-0,569
			$1P_{3/2}$	0,256	${}^{10}\text{B}$	${}^8\text{Be}$	d	$1D_3$	0,811
${}^9\text{Be}$	${}^7\text{Li}$	d	$2S_1$	-0,226 ^a	${}^{10}\text{B}$	${}^8\text{Be}^*_{3,03}$	d	$2S_1$	-0,130
			$1D_1$	0,111 ^a				$1D_1$	0,200
			$1D_3$	-0,624 ^a				$1D_2$	-0,633 ^a
${}^9\text{Be}$	${}^7\text{Be}$	2n	$2S_0$	0,247	${}^{10}\text{B}$	${}^9\text{Be}$	p	$1D_3$	0,881
			$1D_2$	0,430	${}^{10}\text{B}$	${}^9\text{Be}$	p	$1P_{3/2}$	1,185
${}^9\text{Be}$	${}^7\text{Be}^*_{0,43}$	2n	$1D_2$	0,430 ^a	${}^{10}\text{B}$	${}^9\text{B}$	n	$1P_{3/2}$	-1,185
${}^9\text{Be}$	${}^7\text{Be}^*_{4,57}$	2n	$1D_2$	0,470	${}^{11}\text{B}$	${}^7\text{Li}$	α	$3S_0$	-0,638
${}^9\text{B}$	${}^7\text{Be}$	d	$2S_1$	-0,226 ^a				$2D_2$	-0,422
			$1D_1$	0,111 ^a	${}^{11}\text{B}$	${}^{10}\text{Be}$	p	$1P_{3/2}$	0,699
			$1D_3$	-0,624 ^a	${}^{11}\text{B}$	${}^{10}\text{Be}^*_{3,37}$	p	$1P_{1/2}$	-0,930 ^a
${}^9\text{B}$	${}^7\text{Be}^*_{0,43}$	d	$2S_1$	0,202				$1P_{3/2}$	0,930
			$2D_1$	0,124	${}^{11}\text{B}$	${}^{10}\text{Be}^*_{5,95}$	p	$1P_{1/2}$	-0,930 ^a
			$2D_2$	-0,303 ^a				$1P_{3/2}$	0,930
${}^9\text{B}$	${}^7\text{Be}^*_{4,57}$	d	$1D_2$	0,271	${}^{11}\text{B}$	${}^{10}\text{Be}^*_{6,18}$	p	$1P_{3/2}$	0,699
			$1D_3$	-0,332 ^a	${}^{11}\text{B}$	${}^{10}\text{B}$	n	$1P_{3/2}$	-1,347 ^a
${}^{10}\text{Be}$	${}^6\text{He}$	α	$3S_0$	-0,802	${}^{11}\text{C}$	${}^7\text{Be}$	α	$2D_2$	-0,422
${}^{10}\text{Be}$	${}^7\text{Li}$	t	$2P_{3/2}$	0,392 ^a				$3S_0$	-0,638
${}^{10}\text{Be}_{3,368}$	${}^7\text{Li}$	t	$2P_{1/2}$	-0,342	${}^{11}\text{C}$	${}^7\text{Be}_{0,429}$	α	$2D_2$	-0,422 ^a
			$2P_{3/2}$	-0,342 ^a	${}^{11}\text{C}$	${}^7\text{Be}_{4,57}$	α	$2D_2$	0,362
			$1F_{5/2}$	-0,237				$1G_4$	0,429
			$1F_{7/2}$	-0,581 ^a	${}^{11}\text{C}$	${}^{10}\text{B}$	p	$1P_{3/2}$	-1,347 ^a
${}^{10}\text{Be}_{5,958}$	${}^7\text{Li}$	t	$2P_{1/2}$	-0,342	${}^{12}\text{B}$	${}^{10}\text{B}$	2n	$1D_2$	-0,020
			$2P_{3/2}$	-0,342 ^a	${}^{12}\text{B}$	${}^{10}\text{Be}$	d	$1D_1$	0,380
			$1F_{5/2}$	-0,237					

^a $S_{\text{FRESKO}} = (-1)^{J_C+J-J_A} S_x = -S_x$.

Необхідні для МЗКР - розрахунків реакцій спектроскопічні амплітуди S_x кластерів та нуклонів x у системах $A = C + x$ обчислювались у рамках ТІМО [4] із використанням таблиць хвильових функцій роботи [7] за формулою

$$S_x = \begin{pmatrix} A \\ x \end{pmatrix}^{1/2} \langle \Psi_A | \Psi_C \Psi_x; \varphi_{xC} \rangle, \quad (5)$$

де Ψ_A , Ψ_C , Ψ_x – хвильові функції внутрішніх станів ядер A , C , x , а φ_{xC} – хвильова функція відносного руху x і C . Спектроскопічні амплітуди S_x наведено в табл. 1.

У МЗКР-розрахунках хвильові функції зв'язаних станів переданих нуклонів або кластерів обчислювались стандартним способом - підгонкою глибини V дійсного потенціалу Вудса - Саксона до енергії зв'язку нуклона чи кластера x у системі $A = C + x$ при значеннях параметрів $a_V = 0,65$ фм та $r_V = 1,25(C^{1/3} + x^{1/3})$ фм.

Спектроскопічні амплітуди обчислювались за допомогою програми DESNA [8, 9], а МЗКР-розрахунки - FRESCO [10].

Розрахунки прямої перезарядки ядер

У розрахунках амплітуди прямої перезарядки ядер $^{10}\text{B} = ^9\text{Be} + \mathbf{p} \rightarrow \mathbf{n} + ^9\text{Be} = ^{10}\text{Be}$, $^7\text{Li} = ^6\text{Li} + \mathbf{n} \rightarrow \mathbf{p} + ^6\text{Li} = ^7\text{Be}$ (діаграма 1 на рис. 7) потенціал нейтрон-протонної взаємодії

$$V(r) = [V_\tau^c + V_{\sigma\tau}^c(\sigma_n \sigma_p)](\tau_n \tau_p) g^c(r) + V_\tau^t S_{np}(\tau_n \tau_p) g^t(r), \quad (6)$$

де σ_n , τ_n і σ_p , τ_p – спіни та ізоспіни нейтрона і протона; V_τ^c , $V_{\sigma\tau}^c$ та V_τ^t – амплітуди центральних ізоспінової, спин-ізоспінової та тензорної взаємодій відповідно; $g^c(r)$ і $g^t(r)$ – потенціал Юкави:

$$g^c(r) = g^t(r) = \frac{\exp(-\mu r)}{\mu r}; \quad (7)$$

$$S_{np} = 3(\sigma_n \mathbf{r})(\sigma_p \mathbf{r}) - (\sigma_n \sigma_p). \quad (8)$$

У розрахунках використовувались $\mu = 0,7$ фм⁻¹ та $V_\tau^c = V_{\sigma\tau}^c = V_\tau^t = 10$ МеВ. Хвильові функції зв'язаних станів нуклонів обчислювались так само, як і у випадку МЗКР-розрахунків.

Розрахунки перерізів прямої перезарядки ядер $^{10}\text{B} \rightarrow ^{10}\text{Be}$, $^7\text{Li} \rightarrow ^7\text{Be}$ проводились за допомогою програми DWUCK4 [11].

Аналіз даних реакції $^7\text{Li}(^{10}\text{B}, ^{10}\text{Be})^7\text{Be}$

Передусім зазначимо, що в усіх розрахунках за МЗКР та МДХ для прямої перезарядки ядер для вхідного каналу реакцій $^7\text{Li}(^{10}\text{B}, ^{10}\text{Be})^7\text{Be}$ і $^{10}\text{B}(^7\text{Li}, ^7\text{Be})^{10}\text{Be}$ використовувались оптичні потенціали взаємодії ядер $^7\text{Li} + ^{10}\text{B}$, параметри яких було отримано з аналізу експериментальних даних пружного й непружного розсіяння цих ядер [2, 3]. Параметри оптичних потенціалів вихідних каналів цих реакцій визначались підгонкою теоретичних перерізів до експериментальних даних реакцій. Усі ці параметри оптичних потенціалів представлено в табл. 2.

Таблиця 2. Параметри оптичних потенціалів взаємодії ядер

Ядра	$E_{с.ц.м.},$ МеВ	$V_0,$ МеВ	$r_V,$ фм	$a_V,$ фм	$W_S,$ МеВ	$r_W,$ фм	$a_W,$ фм
$^7\text{Li} + ^{10}\text{B}$ [2, 3]	21,00	189,9	0,790	0,660	14,5	1,250	0,660
	22,94	191,8	0,790	0,660	14,8	1,250	0,660
$^7\text{Be} + ^{10}\text{Be}$	19,58	174,6	0,790	0,660	9,5	1,250	0,660
	21,52	173,0	0,790	0,660	9,5	1,250	0,660
$^7\text{Be}^*_{0,429} + ^{10}\text{Be}$	19,15	175,2	0,790	0,660	9,5	1,250	0,660
	21,09	173,3	0,790	0,660	9,5	1,250	0,660
$^7\text{Be} + ^{10}\text{Be}^*_{3,368}$	16,21	176,3	0,790	0,660	9,2	1,250	0,660
	18,15	175,9	0,790	0,660	9,4	1,250	0,660
$^7\text{Be}^*_{4,57} + ^{10}\text{Be}$	15,01	176,3	0,790	0,660	8,9	1,250	0,660
	$^7\text{Be} + ^{10}\text{Be}^*_{5,959}$	13,62	176,4	0,790	0,660	8,5	1,250
15,56		176,2	0,790	0,660	9,1	1,250	0,660
$^7\text{Be} + ^{10}\text{Be}^*_{6,263}$	13,32	176,2	0,790	0,660	7,8	1,250	0,660
	$^8\text{Be} + ^9\text{Be}$ [12]	31,67	171,4	0,788	0,760	11,0	1,600
33,61		176,4	0,788	0,760	11,2	1,600	0,760

Диференціальні перерізи реакції $^7\text{Li}(^{10}\text{B}, ^{10}\text{Be})^7\text{Be}$ для основних станів ядер ^7Be і ^{10}Be при енергії $E_{\text{лаб.}}(^{10}\text{B}) = 51$ МеВ представлено на рис. 4. Кривими показано МЗКР-розрахунки для передачі t-кластера (крива <t>) і послідовних

передач нуклонів $\mathbf{n} + \mathbf{p}$ і $\mathbf{p} + \mathbf{n}$ (крива <np>), $\mathbf{p} + 2\mathbf{n}$ (крива <p2n>), $\mathbf{n} + \mathbf{d}$ і $\mathbf{d} + \mathbf{n}$ (крива <nd>), $2\mathbf{n} + \mathbf{d}$ і $\mathbf{d} + 2\mathbf{n}$ (крива <d2n>), $\alpha + \mathbf{p}$ і $\mathbf{p} + \alpha$ (крива <pα>), а також МДХ-розрахунки для прямої перезарядки ядер (крива <dir>). Кривою Σ показано

сумарні перерізи всіх процесів. Видно, що прямий механізм перезарядки ядер домінує лише у вузькому інтервалі малих кутів. Серед непрямих механізмів перезарядки на кутах $\theta_{с.ц.м.} < 90^\circ$ найважливішу роль відіграють послідовні передачі $p + n$ і $n + p$. На великих кутах домінують послідовні передачі $p + 2n$, $n + d$ і $d + n$. Видно, що сумарні розрахункові перерізи прямої перезарядки ядер та непрямой перезарядки через передачі нуклонів і кластерів (крива Σ) задовільно описують експериментальні дані реакції ${}^7\text{Li}({}^{10}\text{B}, {}^{10}\text{Be}){}^7\text{Be}$ у всьому кутовому діапазоні. Отримані в результаті підгонки параметри ${}^7\text{Be} + {}^{10}\text{Be}$ -потенціалу наведено в табл. 2.

На рис. 5 і 6 представлено експериментальні та розрахункові диференціальні перерізи реакцій ${}^7\text{Li}({}^{10}\text{B}, {}^{10}\text{Be}){}^7\text{Be}^*$ та ${}^7\text{Li}({}^{10}\text{B}, {}^{10}\text{Be}^*){}^7\text{Be}$ при енергії при енергії $E_{\text{лаб.}}({}^{10}\text{B}) = 51 \text{ MeV}$ для збуджених станів ${}^7\text{Be}$ та ${}^{10}\text{Be}$ відповідно. Кривими $\langle \text{tr} \rangle$ показано когерентні суми перерізів усіх непрямих механізмів перезарядки ядер, а кривими $\langle \text{dir} \rangle$ - перерізи прямої перезарядки ядер. Видно, що домінують роль прямої перезарядки ядер на малих кутах спостерігається й для збуджених станів ядер ${}^7\text{Be}$ і ${}^{10}\text{Be}$. Більш того, для деяких високозбуджених станів ядер ${}^7\text{Be}$ і ${}^{10}\text{Be}$ прямий процес перезарядки ядер або домінує, або відіграє важливу роль і на великих кутах. Суми перерізів прямої й непрямой перезарядки ядер (криві Σ) задовільно описують експериментальні дані при використанні параметрів ${}^7\text{Be} + {}^{10}\text{Be}$ -потенціалу, наведених у табл. 2.

Аналіз даних реакції ${}^{10}\text{B}({}^7\text{Li}, {}^7\text{Be}){}^{10}\text{Be}$

Диференціальні перерізи реакції ${}^{10}\text{B}({}^7\text{Li}, {}^7\text{Be}){}^{10}\text{Be}$ при енергії $E_{\text{лаб.}}({}^7\text{Li}) = 39 \text{ MeV}$ [1] для основних і збуджених станів ядер ${}^7\text{Be}$ і ${}^{10}\text{Be}$ показано на рис. 8. Видно, що як прямий процес перезарядки ядер (криві $\langle \text{dir} \rangle$), так і перезарядка через реакції передач (криві $\langle \text{tr} \rangle$) відіграють майже однакову роль у діапазоні кутів помірних перерізів реакції. Сумарні перерізи прямої і непрямой перезарядки ядер (криві Σ) задовільно описують експериментальні дані реакції при значеннях параметрів ${}^7\text{Li} + {}^{10}\text{B}$ - і ${}^7\text{Be} + {}^{10}\text{Be}$ -потенціалів (див. табл. 2).

Енергетична залежність параметрів ${}^7\text{Be} + {}^{10}\text{Be}$ -потенціалу

Отримані з аналізу експериментальних даних реакцій ${}^7\text{Li}({}^{10}\text{B}, {}^{10}\text{Be}){}^7\text{Be}$ і ${}^{10}\text{B}({}^7\text{Li}, {}^7\text{Be}){}^{10}\text{Be}$ значення параметрів V і W_s оптичного ${}^7\text{Be} + {}^{10}\text{Be}$ -потенціалу (див. табл. 2) показано на рис. 9 залежно від енергії в с.ц.м. точками. Ці параметри наближено за методом найменших квадратів функціями $V(E)$ і $W_s(E)$, представленими у праці [2]

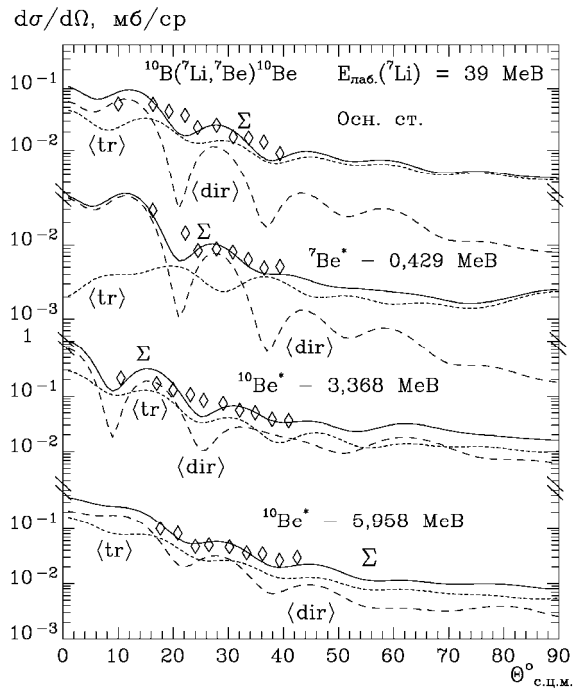


Рис. 8. Те ж саме, що на рис. 4 - 6, але для реакції ${}^{10}\text{B}({}^7\text{Li}, {}^7\text{Be}){}^{10}\text{Be}$ при енергії $E_{\text{лаб.}}({}^7\text{Li}) = 39 \text{ MeV}$ [1].

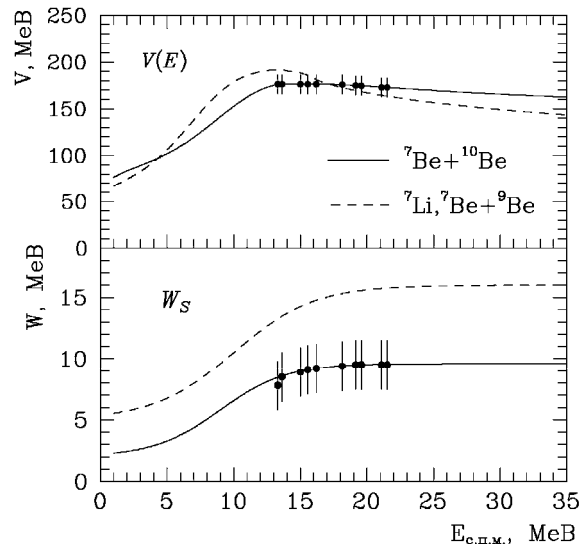


Рис. 9. Енергетична залежність параметрів потенціалів взаємодії ядер ${}^7\text{Be} + {}^{10}\text{Be}$ (точки й суцільні криві) та ${}^7\text{Li}, {}^7\text{Be} + {}^9\text{Be}$ (штрихові криві).

рівняннями (8) - (11) (суцільні криві). При цьому було враховано дисперсійне співвідношення між дійсною та уявною частинами оптичного потенціалу [5]. Для порівняння на цьому ж рисунку показано також енергетичну залежність параметрів ${}^7\text{Li}, {}^7\text{Be} + {}^9\text{Be}$ -потенціалів [6] (штрихові криві). Видно значну різницю між уявними частинами $W_s(E)$ цих потенціалів, що, напевне, обумовило різницю між їх дійсними частинами згідно з вищезгаданим дисперсійним співвідношенням.

Потенціали взаємодії ядер ${}^7\text{Be} + {}^{10}\text{Be}$ і ${}^7\text{Be} + {}^9\text{Be}$ порівнюються на рис. 10. Видно, що ${}^7\text{Be} + {}^9\text{Be}$ - потенціал має більш протяжну периферійну область, ніж ${}^7\text{Be} + {}^{10}\text{Be}$ - потенціал, що,

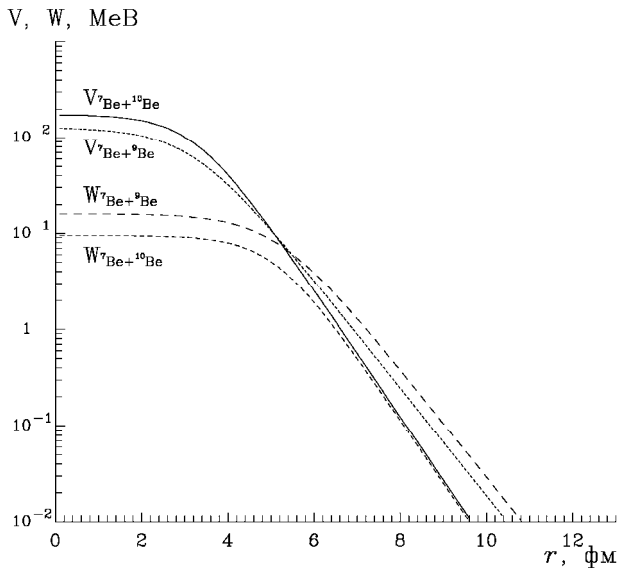


Рис. 10. Потенціали взаємодії ядер ${}^7\text{Be} + {}^{10}\text{Be}$ та ${}^7\text{Be} + {}^9\text{Be}$.

можливо, обумовлене більшим числом валентних (неспарених) нуклонів у ${}^7\text{Be} + {}^9\text{Be}$ -системі.

Про зв'язок ${}^7\text{Be} + {}^{10}\text{Be}$ -потенціалу із структурою взаємодіючих ядер можна дізнатись із мікроскопічних розрахунків відповідного фолдінг-потенціалу, що базуються на розподілі нуклонів в ядрах.

Фолдінг-потенціал взаємодії ядер ${}^7\text{Be} + {}^{10}\text{Be}$

Фолдінг-потенціал взаємодії ядер ${}^7\text{Be} + {}^{10}\text{Be}$ обчислювались за моделлю подвійної згортки (double folding) за формулою

$$V(\vec{R}) = \int \rho_P(\vec{r}_P) \rho_T(\vec{r}_T) \nu(\vec{R} + \vec{r}_T - \vec{r}_P) d^3r_P d^3r_T, \quad (9)$$

де $\rho_P(\vec{r}_P)$, $\rho_T(\vec{r}_T)$ - розподіли густин нуклонів у налітаючому іоні P (${}^7\text{Be}$) та ядрі мішені T (${}^{10}\text{Be}$) відповідно; $\nu(\vec{R} + \vec{r}_T - \vec{r}_P)$ - нуклон-нуклонний потенціал. У розрахунках використовувався модифікований трикомпонентний потенціал Юкави МЗУ (modified three-component Yukawa potential) нуклон-нуклонної взаємодії

$$\nu(r) = 7999 \frac{e^{-4r}}{4r} - 2134 \frac{e^{2,5r}}{2,5r} - 276 \left(1 - 0,005 \frac{E}{A}\right) \delta(r), \quad (10)$$

де E - енергія налітаючого іона у лабораторній системі; A - маса іона; $\delta(r)$ - дельта-функція.

При обчисленні потенціалу $V(r)$ взаємодії ядер ${}^7\text{Be} + {}^{10}\text{Be}$ використовувались розподіли нуклонів, отримані в працях [13] і [14] для ядер ${}^7\text{Li}({}^7\text{Be})$ і ${}^{10}\text{Be}$ відповідно. При цьому вважалось, що розподіли нуклонів в ядрах ${}^7\text{Li}$ і ${}^7\text{Be}$ однакові.

Фолдінг-потенціали обчислювались за допомогою програми DFPOT [15, 16].

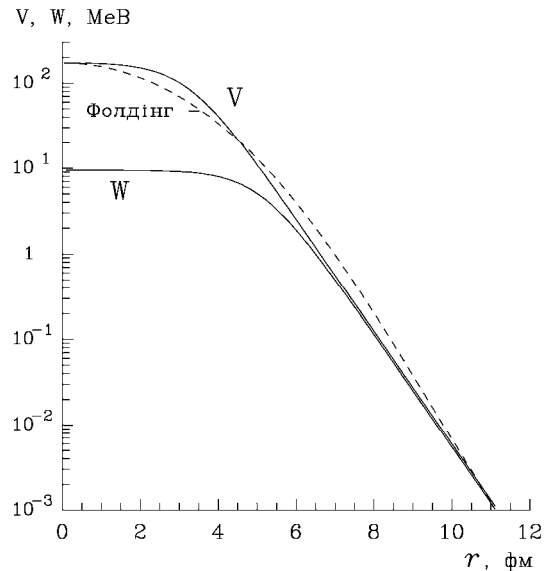


Рис. 11. Порівняння фолдінг-потенціалу взаємодії ядер ${}^7\text{Be} + {}^{10}\text{Be}$ (штрихова крива) з отриманим з аналізу даних реакції ${}^7\text{Li}({}^{10}\text{B}, {}^{10}\text{Be}){}^7\text{Be}$ (суцільні криві).

На рис. 11 фолдінг-потенціал взаємодії ядер ${}^7\text{Be} + {}^{10}\text{Be}$ порівнюється з отриманим в аналізі експериментальних даних реакції ${}^7\text{Li}({}^{10}\text{B}, {}^{10}\text{Be}){}^7\text{Be}$ при енергії $E_{\text{лаб.}}({}^{10}\text{B}) = 51$ MeV. Видно, що фолдінг-потенціал добре узгоджується з дійсною частиною V практично отриманого ${}^7\text{Be} + {}^{10}\text{Be}$ -потенціалу за глибиною ($r = 0$). Спостерігаються незначні відмінності потенціалів у формі поверхні. Проте обчислені за цими потенціалами диференціальних перерізів реакції ${}^7\text{Li}({}^{10}\text{B}, {}^{10}\text{Be}){}^7\text{Be}$ суттєво не відрізняються.

Основні результати та висновки

Поміряно диференціальні перерізи реакції перезарядки ${}^7\text{Li}({}^{10}\text{B}, {}^{10}\text{Be}){}^7\text{Be}$ при енергії $E_{\text{лаб.}}({}^{10}\text{B}) = 51$ MeV для основних та збуджених станів ядер ${}^7\text{Be}$ і ${}^{10}\text{Be}$ в повному кутовому діапазоні.

Нові експериментальні дані та єдині відомі дані реакції ${}^{10}\text{B}({}^7\text{Li}, {}^7\text{Be}){}^{10}\text{Be}$ при енергії $E_{\text{лаб.}}({}^7\text{Li}) = 39$ MeV [1] досліджено за МДХ для прямого π -мезонного механізму перезарядки ядер та за МЗКР для перезарядки ядер через реакції передачі нуклонів і кластерів. При цьому для вхідних каналів реакцій використовувались оптичні ${}^7\text{Li} + {}^{10}\text{B}$ -потенціали, параметри яких раніше визначено за даними пружного розсіяння цих ядер [2, 3], а необхідні спектроскопічні амплітуди нуклонів і кластерів було обчислено в рамках ТМО [4]. Ці обставини забезпечили можливість визначити параметри ${}^7\text{Be} + {}^{10}\text{Be}$ -потенціалу за даними реакцій ${}^7\text{Li}({}^{10}\text{B}, {}^{10}\text{Be}){}^8\text{Be}$ і ${}^{10}\text{B}({}^7\text{Li}, {}^7\text{Be}){}^{10}\text{Be}$ для основних і збуджених станів ядер ${}^7\text{Be}$, ${}^{10}\text{Be}$ та встановити їх енергетичну залежність. Цьому значно сприяла наявність експериментальних даних реакції ${}^7\text{Li}({}^{10}\text{B}, {}^{10}\text{Be}){}^7\text{Be}$ у

широкому кутовому інтервалі, оскільки розрахункові перерізи реакції на великих кутах дуже чутливі до параметрів оптичного ${}^7\text{Be} + {}^{10}\text{Be}$ -потенціалу, особливо до параметрів його уявної частини. Дані реакції ${}^{10}\text{B}({}^7\text{Li}, {}^7\text{Be}){}^{10}\text{Be}$ [1] відомо лише у вузькому інтервалі малих кутів, що ускладнює як встановлення внесків у реакцію процесів прямої й непрямой перезарядки ядер, так і визначення параметрів ${}^7\text{Be} + {}^{10}\text{Be}$ -потенціалу.

Установлено, що прямий механізм перезарядки ядер ${}^{10}\text{B} \rightarrow {}^{10}\text{Be}$, ${}^7\text{Li} \rightarrow {}^7\text{Be}$ домінує в кутових розподілах продуктів реакцій ${}^7\text{Li}({}^{10}\text{B}, {}^{10}\text{Be}){}^7\text{Be}$ і ${}^{10}\text{B}({}^7\text{Li}, {}^7\text{Be}){}^{10}\text{Be}$, в основному, на малих кутах. Для високозбуджених станів ядер ${}^7\text{Be}$ і ${}^{10}\text{Be}$ цей процес важливий також для великих кутів.

Процес перезарядки ядер через реакції передач нуклонів і кластерів у досліджуваних реакціях домінує, в основному, на середніх і великих кутах вильоту продуктів реакцій, проте його внесок важливий також для деяких станів ядер ${}^7\text{Be}$ і ${}^{10}\text{Be}$ і на малих кутах.

Виконано мікроскопічні розрахунки фолдінг-потенціалу взаємодії ядер ${}^7\text{Be} + {}^{10}\text{Be}$ за густиною розподілу нуклонів у цих ядрах. Виявлено, що дійсна частина оптичного ${}^7\text{Be} + {}^{10}\text{Be}$ -потенціалу, отриманого з аналізу даних досліджуваних реакцій, задовільно узгоджується з розрахованим фолдінг-потенціалом. Розрахунки перерізів реакцій ${}^7\text{Li}({}^{10}\text{B}, {}^{10}\text{Be}){}^7\text{Be}$ і ${}^{10}\text{B}({}^7\text{Li}, {}^7\text{Be}){}^{10}\text{Be}$ за обома потенціалами відрізняються несуттєво.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Etchegoyen A., Etchegoyen M. C., Izquierdo E. D. et al. ${}^{10}\text{B}({}^7\text{Li}, {}^7\text{Be}){}^{10}\text{Be}$ charge-exchange reaction // Phys. Rev. C. - 1988. - Vol. 38. - P. 2124 - 2133.
2. Рудчик А. Т., Романишин В. О., Коцый С. І. та ін. Пружне та непружне розсіяння ядер ${}^7\text{Li} + {}^{10}\text{B}$ // Ядерна фізика та енергетика. - 2007. - № 1 (19). - С. 72 - 82.
3. Rudchik A. T., Romanishyn V. O., Koshchy E. I. et al. Isotopic effects in the ${}^7\text{Li} + {}^{10,11}\text{B}$ elastic and inelastic scattering // Eur. Phys. J. A. - 2007. - Vol. 33. - P. 317 - 325.
4. Smirnov Yu. F., Tshuvil'sky Yu. M. Cluster spectroscopic factors for the p-shell nuclei // Phys. Rev. C. 1977. - Vol. 15. - P. 84 - 93.
5. Mahaux C., Ngõ H., Satchler G. R. Casuality and the threshold anomaly of the nucleus-nucleus potential // Nucl. Phys. A. - 1986. - Vol. 449. - P. 354 - 394.
6. Рудчик А. Т., Романишин В. О., Кир'янчук В. М. та ін. Механізми пружного розсіяння ядер ${}^7\text{Li}$, ${}^7\text{Be} + {}^9\text{Be}$ та оптичні потенціали їх взаємодії // Ядерна фізика та енергетика - 2008. - № 3 (25). - С. 45 - 52.
7. Бояркина А. Н. Структура ядер 1р-оболочки. - М.: Изд-во Москов. ун-та, 1973. - 62 с.
8. Рудчик А. Т., Чувильский Ю. М. Вычисление спектроскопических амплитуд для произвольных ассоциаций нуклонов в ядрах 1р-оболочки (программа DESNA). - Киев, 1982. - 27 с. - (Препр. /АН УССР.
9. Рудчик А. Т., Чувильский Ю. М. Спектроскопические амплитуды многонуклонных кластеров в ядрах 1р-оболочки и анализ реакций многонуклонных передач // УФЖ. - 1985. - Т. 30, № 6. - С. 819 - 825.
10. Thompson I. J. Coupled reaction channels calculations in nuclear physics // Comp. Phys. Rep. - 1988. - Vol. 7. - P. 167 - 212.
11. Kunz P. D. Distorted Wave Code DWUCK4. - Colorado, 1994. - 18 p. - (Colorado University Report).
12. Романишин В. О., Рудчик А. Т., Коцый С. І. та ін. Механізми реакцій ${}^7\text{Li}({}^{10}\text{B}, {}^9\text{Be}){}^8\text{Be}$, ${}^{10}\text{B}({}^7\text{Li}, {}^9\text{Be}){}^8\text{Be}$ та потенціал взаємодії ядер ${}^8\text{Be} + {}^9\text{Be}$ // Ядерна фізика та енергетика. - 2008. - № 2 (24). - С. 24 - 33.
13. Yao-song Shen, Zhongzhou Ren, Skyrme-Hartree-Fock calculation on He, Li, and Be isotopes // Phys. Rev. C. -1996. - Vol. 54. - P. 1158 - 1164.
14. Pieper Steven C., Varga K., Wiringa R. B. Quantum Monte Carlo calculations of $A = 9, 10$ nuclei // Phys. Rev. C. - 2002. - Vol. 66. - P. 044310-1 - 044310-15.
15. Cook J. DFPOТ - a program for the calculation of double folded potentials // Comp. Phys. Com. - 1982. - Vol. 25, Is. 2. - P. 125 - 139.
16. Cook J. DFPOТ - a program for the calculation of double folded potentials // Ibid. - 1984. - Vol. 35. - P. C - 775.

МЕХАНІЗМИ ПЕРЕЗАРЯДКИ В РЕАКЦІИ ${}^7\text{Li}({}^{10}\text{B}, {}^{10}\text{Be}){}^7\text{Be}$
І ПОТЕНЦІАЛ ВЗАЙМОДЕЙСТВИЯ ЯДЕР ${}^7\text{Be} + {}^{10}\text{Be}$

В. О. Романишин, А. Т. Рудчик, О. А. Понкратенко, Е. І. Коцый, С. Кличевски, К. Русек,
В. М. Кир'янчук, С. Ю. Межевич, Вал. М. Пирнак, А. А. Рудчик, А. Будзановски, И. Сквирчиньска,
Р. Сюдак, Б. Чех, А. Щурек, Я. Хоиньски, Л. Гловацка

Измерены дифференциальные сечения реакции ${}^7\text{Li}({}^{10}\text{B}, {}^{10}\text{Be}){}^7\text{Be}$ при энергии $E_{\text{лаб}}({}^{10}\text{B}) = 51$ МэВ для основных и возбужденных состояний ядер ${}^{10}\text{Be}$ и ${}^7\text{Be}$. Полученные экспериментальные данные реакции ${}^7\text{Li}({}^{10}\text{B}, {}^{10}\text{Be}){}^7\text{Be}$ и единственные известные из литературы данные реакции ${}^{10}\text{B}({}^7\text{Li}, {}^7\text{Be}){}^{10}\text{Be}$ при энергии $E_{\text{лаб}}({}^7\text{Li}) = 39$ МэВ проанализированы по методу искаженных волн для прямого механизма перезарядки ядер ${}^{10}\text{B} \rightarrow {}^{10}\text{Be}$, ${}^7\text{Li} \rightarrow {}^7\text{Be}$ и по методу связанных каналов реакций для механизмов перезарядки ${}^{10}\text{B} \rightarrow X \rightarrow {}^{10}\text{Be}$, ${}^7\text{Li} \rightarrow Y \rightarrow {}^7\text{Be}$ посредством одно- и двухступенчатых передач нуклонов и кластеров. Исследована роль различных механизмов в угловых распределениях продуктов реакций ${}^7\text{Li}({}^{10}\text{B}, {}^{10}\text{Be}){}^7\text{Be}$ и ${}^{10}\text{B}({}^7\text{Li}, {}^7\text{Be}){}^{10}\text{Be}$. Используя

данные этих реакций, при помощи стандартного способа подгонки определены параметры потенциала взаимодействия ядер ${}^7\text{Be} + {}^{10}\text{Be}$, их энергетическая зависимость и исследованы изотопические отличия потенциалов взаимодействия ядер ${}^7\text{Be} + {}^9, {}^{10}\text{Be}$. Полученный ${}^7\text{Be} + {}^{10}\text{Be}$ -потенциал сравнивается с соответствующим фолдинг-потенциалом, вычисленным на основании распределения нуклонов в ядрах ${}^7\text{Be}$ и ${}^{10}\text{Be}$.

**MECHANISM OF CHARGE-EXCHANGE IN THE ${}^7\text{Li}({}^{10}\text{B}, {}^{10}\text{Be}){}^7\text{Be}$ REACTION
AND POTENTIAL OF INTERACTION OF THE ${}^7\text{Be} + {}^{10}\text{Be}$ NUCLEI**

**V. O. Romanyshyn, A. T. Rudchik, O. A. Ponkratenko, E. I. Koshchy, S. Kliczewski, K. Rusek,
V. M. Kyryanchuk, S. Yu. Mezhevych, Val. M. Pirnak, A. A. Rudchik, A. Budzanowski, I. Skwirczyńska,
R. Siudak, B. Czech, A. Szczurek, J. Choiński, L. Głowacka**

Angular distributions of the ${}^7\text{Li}({}^{10}\text{B}, {}^{10}\text{Be}){}^7\text{Be}$ reaction were measured at the energy $E_{\text{lab}}({}^{10}\text{B}) = 51$ MeV for the transitions to the ground and excited states of ${}^{10}\text{Be}$ and ${}^7\text{Be}$ nuclei. The measured ${}^7\text{Li}({}^{10}\text{B}, {}^{10}\text{Be}){}^7\text{Be}$ reaction data as well as only known from the literature ${}^{10}\text{B}({}^7\text{Li}, {}^7\text{Be}){}^{10}\text{Be}$ reaction data at the energy $E_{\text{lab}}({}^7\text{Li}) = 39$ MeV were analyzed within DWBA method for the direct charge-exchange of the ${}^{10}\text{B} \rightarrow {}^{10}\text{Be}$, ${}^7\text{Li} \rightarrow {}^7\text{Be}$ nuclei and within the coupled-reaction-channels method for one- and two-step transfers of nucleons and clusters such as ${}^{10}\text{B} \rightarrow X \rightarrow {}^{10}\text{Be}$, ${}^7\text{Li} \rightarrow Y \rightarrow {}^7\text{Be}$. It was studied the contributions of different mechanisms to the angular distribution of the ${}^7\text{Li}({}^{10}\text{B}, {}^{10}\text{Be}){}^7\text{Be}$ and ${}^{10}\text{B}({}^7\text{Li}, {}^7\text{Be}){}^{10}\text{Be}$ reactions. Using data of these reactions, the parameters of the ${}^7\text{Be} + {}^{10}\text{Be}$ -potential as well as their energy dependence were deduced by standard fitting procedure. The deduced ${}^7\text{Be} + {}^{10}\text{Be}$ -potential is compared with the corresponding folding-potential calculated using nucleon distributions in ${}^7\text{Be}$ and ${}^{10}\text{Be}$.

Надійшла до редакції 09.01.09,
після доопрацювання - 05.03.09.