

**ПРУЖНЕ ТА НЕПРУЖНЕ РОЗСІЯННЯ ІОНІВ  $^{12}\text{C}$  ЯДРАМИ  $^{12}\text{C}$   
ПРИ ЕНЕРГІЇ  $E_{\text{лаб}} = 61 \text{ MeV}$**

**А. Т. Рудчик, В. М. Кир'янчук, В. А. Зіман, О. А. Момотюк,  
Г. В. Мохнач, О. А. Понкратенко, В. К. Чернісвський**

Отримано нові експериментальні дані пружного та непружного розсіяння  $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$  при енергії  $E_{\text{лаб}} = 61 \text{ MeV}$  для переходів в основний та перший збуджений ( $4,44 \text{ MeV}$  ( $2^+$ )) стани ядра  $^{12}\text{C}$ . З аналізу даних у рамках оптичної моделі й методу зв'язаних каналів реакцій визначено параметри потенціалу Вудса - Саксона й параметр деформації ядра  $^{12}\text{C}$ , які забезпечують задовільний опис кутових розподілів розсіяння  $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$ . Досліджено енергетичну залежність параметрів оптичного потенціалу для взаємодії  $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$ .

Сталий інтерес до розсіяння  $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$ , що існує протягом довгого часу, обумовлений пошуками в його кутових розподілах так званих квазімолекулярних резонансних компонент. З цією метою було виконано численні вимірювання кутових розподілів у діапазоні енергій  $E_{\text{с.ц.м.}} = 5 - 30 \text{ MeV}$  [1 - 5], де, в основному, спостерігалась значна енергетична залежність перерізів  $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$  розсіяння. Фазовий аналіз експериментальних даних та їх аналіз за оптичною моделлю (ОМ) підтвердили наявність у деяких з них резонансних компонент, які інтерпретувались як прояви квазімолекулярних станів системи  $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$ . Зауважимо, що діапазон енергій  $E_{\text{с.ц.м.}} = 5 - 30 \text{ MeV}$  належить до області порогових аномалій, які обумовлюють сильну енергетичну залежність взаємодії  $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$ , що приводить до певної енергетичної залежності кутових розподілів. Цьому фактору не приділялось належної уваги в попередніх дослідженнях. Вивченню цієї проблеми в рамках оптичної моделі та моделі зв'язаних каналів реакцій (МЗКР) присвячено дану працю. Крім відомих із літературних джерел експериментальних даних із пружного та непружного розсіяння  $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$ , в аналізі використовуються також поміряні нами кутові розподіли при енергії  $E_{\text{с.ц.м.}} = 30,5 \text{ MeV}$ . Непружні канали використовуються в аналізі для відбору оптичних потенціалів.

Вимірювання кутових розподілів пружного та непружного розсіяння  $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$  проводилось на київському циклотроні У-240 при енергії пучка іонів  $^{12}\text{C}$   $E_{\text{лаб}} = 61 \text{ MeV}$ . Розкид енергії частинок пучка не перевищував  $0,6 \%$ . У вимірюваннях використовувались  $\Delta E$ -Е-спектрометри з кремнійовими детекторами товщиною  $40 \text{ мкм}$  та  $0,5 \text{ мм}$  і стандартна електроніка. Спектрометрична інформація накопичувалась та зберігалась у вигляді двовимірних спектрів, з яких отримувались енергетичні спектри. Типовий енергетичний спектр розсіяних іонів  $^{12}\text{C}$  показано на рис. 1. Видно, що надійно ідентифікуються переходи до основного та першого збудженого станів ядра  $^{12}\text{C}$ .

Отримані експериментальні дані кутових розподілів пружного та непружного розсіяння іонів  $^{12}\text{C}$  ядрами  $^{12}\text{C}$  при енергії  $61 \text{ MeV}$  для переходів в основний та перший збуджений ( $4,44 \text{ MeV}$  ( $2^+$ )) стани ядра  $^{12}\text{C}$  показано на рис. 2. Ці експериментальні дані та дані при інших енергіях [1 - 5] проаналізовано за оптичною моделлю з використанням програми GENOA [6] та потенціалу Вудса - Саксона з об'ємною уявною частиною, а також на основі моделі зв'язаних каналів реакцій за допомогою програми FRESCO [7]. У схему зв'язку було включено канали пружного розсіяння та одно- і двоступінчасті переходи на збуджені рівні ядра  $^{12}\text{C}$ . У МЗКР-розрахунках ОМ потенціал деформувався з параметром квадрупольної деформації  $\delta_2 = -1,3 \text{ Фм}$  ( $\beta_2 = -0,51$ ). У табл. 1 подано параметри оптичного потенціалу, при яких досягнуто задовільного опису набору експериментальних даних для різних енергій. На рис. 2 показано кутові розподіли пружного та непружного розсіяння  $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$  при енергії  $E_{\text{лаб}} = 61 \text{ MeV}$  для переходу в основний стан ядра  $^{12}\text{C}$  та на рівень  $4,44 \text{ MeV}$  ( $2^+$ ). Штриховою кривою подано розрахунки за оптичною моделлю, а суцільною – МЗКР-розрахунки. Видно, що представлений у табл. 1 ОМ потенціал задовільно описує

експериментальні дані при цій енергії. Аналогічні задовільні описи експериментальних даних досягнуто й для інших енергій. Тільки при деяких енергіях поблизу  $\theta_{с.ц.м.} = 90^\circ$  спостерігались значні розбіжності розрахункових перерізів з експериментальними даними, що обумовлено вкладом резонансних процесів.

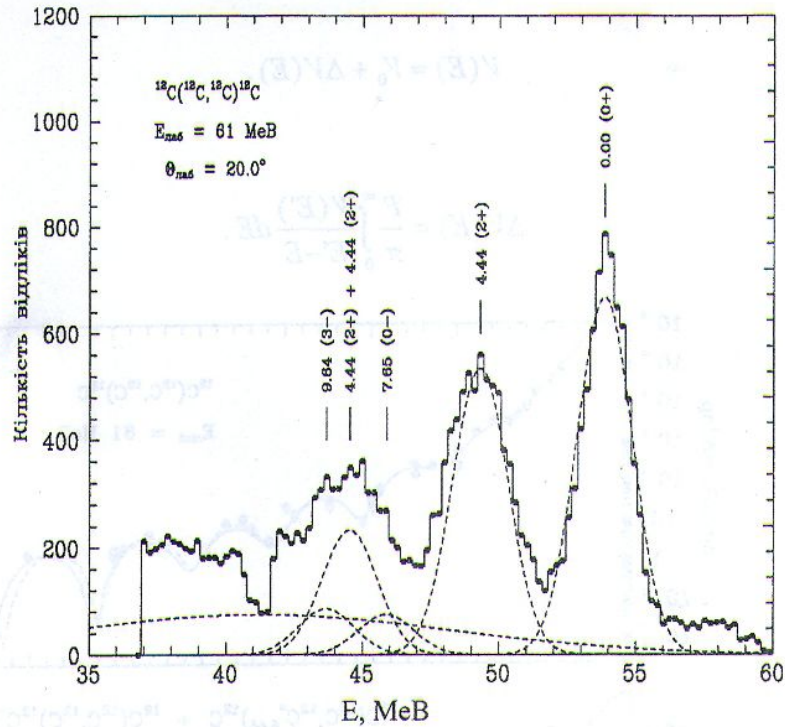


Рис. 1. Енергетичний спектр іонів  $^{12}\text{C}$  для кута  $\theta_{\text{лаб}} = 20^\circ$ . Штрихові криві – розклад спектра за функціями Гаусса для різних станів ядра  $^{12}\text{C}$ . Широка штрихова крива показує фон.

Таблиця 1. Параметри потенціалу Вудса - Саксона для розсіяння  $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$   
 $(R = r_i (A_T^{1/3} + A_P^{1/3}), i = V, W)$

$E_{с.ц.м.},$ MeV	$V,$ MeV	$r_V,$ ФМ	$A_V,$ ФМ	$W_S,$ MeV	$r_W,$ ФМ	$a_W,$ ФМ	$r_C,$ ФМ
6,00 [4]	94,5	1,626	0,330	0,35	2,061	0,330	1,250
6,44 [4]	98,8	1,601	0,100	0,2	2,089	0,100	1,250
6,99 [4]	109,1	1,571	0,380	0,35	2,058	0,100	1,250
7,00 [4]	107,1	1,632	0,380	0,6	2,037	0,100	1,250
10,00 [4]	145,7	1,406	0,482	1,0	1,919	0,115	1,250
14,60 [5]	195,5	1,154	0,484	3,2	1,624	0,209	1,250
19,99 [5]	223,5	0,975	0,550	8,2	1,436	0,227	1,250
20,30 [5]	209,3	1,040	0,490	8,0	1,395	0,223	1,250
30,50	196,2	0,994	0,590	9,7	1,415	0,257	1,250

Значення параметрів оптичного потенціалу розсіяння  $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$  (див. табл. 1), показано в енергетичній залежності на рис. 3. Видно значні зміни цих параметрів при енергіях  $E_{с.ц.м.} < 30$  MeV. Для опису енергетичної залежності параметрів OM потенціалу використано параметризовані функції з праці [8]

$$X_i = \begin{cases} X_i^{\max} - (X_i^{\max} - X_i^{\min})g(E, E_X, \Delta E_X) \\ X_i^{\min} + (X_i^{\max} - X_i^{\min})g(E, E_X, \Delta E_X) \end{cases}, \text{ де} \quad \begin{matrix} X_i = V_0, W_S, a_V, a_W, \\ X_i = r_V, r_W, \end{matrix} \quad (1)$$

де

$$E = E_{с.ц.м.}, g(E, E_X, \Delta E_X) = \left[ 1 - \exp\left(\frac{E - E_X}{\Delta E_X}\right) \right]^{-1},$$

та дисперсійне співвідношення [9]

$$V(E) = V_0 + \Delta V(E), \tag{2}$$

де

$$\Delta V(E) = \frac{P}{\pi} \int_0^\infty \frac{W(E')}{E' - E} dE'. \tag{3}$$

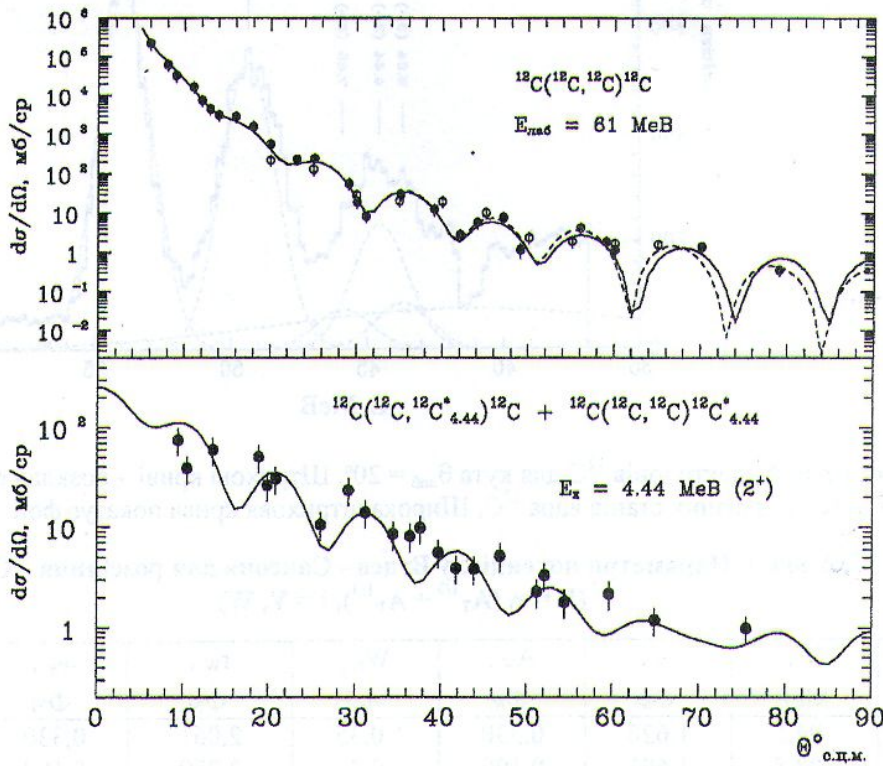


Рис. 2. Кутові розподіли пружного (вверху) та непружного (внизу) розсіяння  $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$  при енергії  $E_{\text{лаб}} = 61$  МеВ.

З рис. 3 видно, що вся сукупність значень параметрів ОМ потенціалів задовільно описується функціями (1) та (2). Параметри функцій (1), що описують енергетичну залежність параметрів оптичних потенціалів розсіяння  $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$ , наведено у табл. 2.

Таблиця 2. Енергетична залежність параметрів  $X_i$  оптичних потенціалів розсіяння  $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$

$X_i$	$V_0$ МеВ	$W_s$ МеВ	$\Gamma_V$ ФМ	$\Gamma_W$ ФМ	$a_V$ ФМ	$a_W$ ФМ
$X_i^{\min}$	0,0	0,0	0,801	1,390	0,040	0,060
$X_i^{\max}$	235,7	9,9	2,140	2,160	0,607	0,234
$E_{X_i}$ , МеВ	5,7	2,8	8,600	11,400	6,200	9,400
$\Delta X_i$ , МеВ	4,7	16,4	6,400	3,600	4,800	2,600

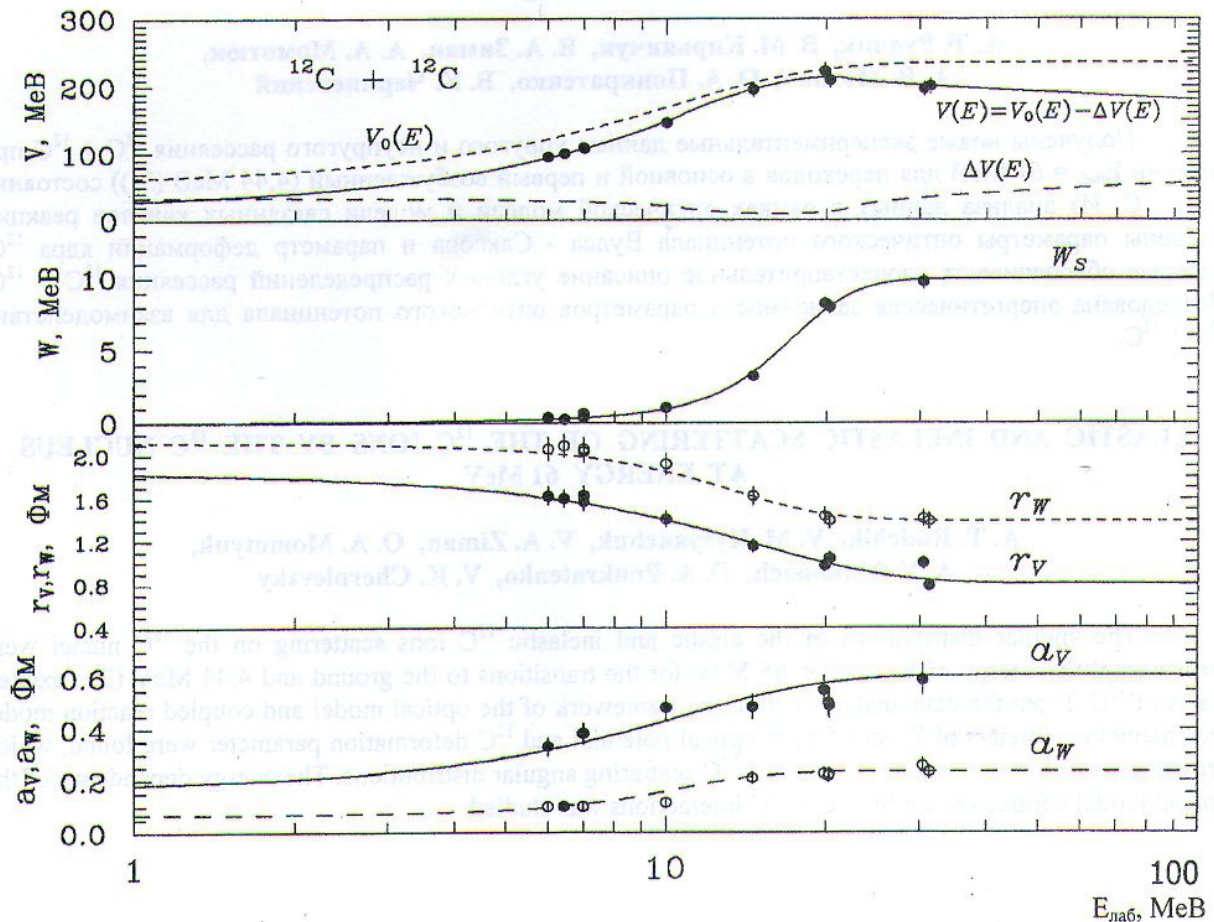


Рис. 3. Енергетична залежність параметрів оптичного потенціалу для розсіяння  $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$ .

На закінчення зазначимо основні результати праці. Отримано нові експериментальні дані пружного та непружного розсіяння  $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$  при енергії  $E_{\text{лаб}} = 61$  MeV. Виконано аналіз експериментальних даних у широкому енергетичному діапазоні за оптичною моделлю та методом зв'язаних каналів реакцій. Досліджено енергетичну залежність оптичного потенціалу Вудса - Саксона для розсіяння  $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$ .

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Liu M., Von Oertzen W., Jacmart I.C. et al. // Nucl. Phys. - 1971. - Vol. A165. - P. 118.
2. Wieland R., Gobbi A., Chua L. et al. // Phys. Rev. - 1973. - Vol. C8. - P. 37.
3. Emling H., Nowotny R., Pelte D. et al. // Nucl. Phys. - 1975. - A239. - P. 172.
4. Treu W., Fröhlich H., Galster W., Dück P. // Phys. Rev. - 1980. - Vol. C22. - P. 22.
5. Ledoux R. J., Bechara M.I., Ordonez C.E. et al. // Phys. Rev. - 1983. - Vol. C27. - P. 1103.
6. Nilsson B.S. SPI-GENOA: an Optical Model Search Code. - 1976. - (Niels Born Institute report).
7. Thompson I.J. // Comp. Phys. Rep. - 1988. - Vol. 7. - P. 167.
8. Rudchik A.T., Momotyuk O.A., Ziman V.A. et al. // Nucl. Phys. - 1999. - Vol. A662. - P. 44.
9. Mahaux C., Ngô H., Satchler G.R. // Nucl. Phys. - 1986. - Vol. A449. - P. 354.

**УПРУГОЕ И НЕУПРУГОЕ РАССЕЯНИЕ ИОНОВ  $^{12}\text{C}$  ЯДРАМИ  $^{12}\text{C}$   
ПРИ ЭНЕРГИИ  $E_{\text{лаб}} = 61 \text{ МэВ}$**

**А. Т. Рудчик, В. М. Кирьянчук, В. А. Зиман, А. А. Момотюк,  
А. В. Мохнач, О. А. Понкратенко, В. К. Черниевский**

Получены новые экспериментальные данные упругого и неупругого рассеяния  $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$  при энергии  $E_{\text{лаб}} = 61 \text{ МэВ}$  для переходов в основной и первый возбужденный (4,44 MeV ( $2^+$ )) состояния ядра  $^{12}\text{C}$ . Из анализа данных в рамках оптической модели и модели связанных каналов реакций найдены параметры оптического потенциала Вудса - Саксона и параметр деформации ядра  $^{12}\text{C}$ , которые обеспечивают удовлетворительное описание угловых распределений рассеяния  $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$ . Исследована энергетическая зависимость параметров оптического потенциала для взаимодействия  $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$ .

**ELASTIC AND INELASTIC SCATTERING OF THE  $^{12}\text{C}$  IONS BY THE  $^{12}\text{C}$  NUCLEUS  
AT ENERGY 61 MeV**

**A. T. Rudchik, V. M. Kyryanchuk, V. A. Ziman, O. A. Momotyuk,  
A. V. Mokhnach, O. A. Ponkratenko, V. K. Chernievsky**

The angular distributions of the elastic and inelastic  $^{12}\text{C}$  ions scattering on the  $^{12}\text{C}$  nuclei were measured at the energy of  $E_{\text{lab}}(^{12}\text{C}) = 65 \text{ MeV}$  for the transitions to the ground and 4,44 MeV ( $2^+$ ) excited states of  $^{12}\text{C}$ . From the data analysis within the framework of the optical model and coupled reaction model the channel parameters of Woods-Saxon optical potential and  $^{12}\text{C}$  deformation parameter were found, which provide satisfactory description of the  $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$  scattering angular distributions. The energy dependence of the optical model parameters for the  $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$  interactions was studied.