

**С. Ю. Межевич<sup>1,\*</sup>, А. Т. Рудчик<sup>1</sup>, К. Русек<sup>2</sup>, К. В. Кемпер<sup>3</sup>,  
А. А. Рудчик<sup>1</sup>, О. А. Понкратенко<sup>1</sup>, Є. І. Кошій<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна

<sup>2</sup> Лабораторія важких іонів Варшавського університету, Варшава, Польща

<sup>3</sup> Відділ фізики Флоридського державного університету, Таллахассі, США

<sup>4</sup> Циклотронний інститут Техаського А&М університету, Колледж Стейшен, США

\*Відповідальний автор: sermezhev@gmail.com

**РЕАКЦІЯ  $^{14}\text{C}(^{11}\text{B}, ^{12}\text{C})^{13}\text{B}$  ПРИ ЕНЕРГІЇ  $E_{\text{лаб.}}(^{11}\text{B}) = 45$  МеВ,  
ВЗАЄМОДІЯ ЯДЕР  $^{13}\text{B} + ^{12}\text{C}$  ТА  $^{10,11,12}\text{B} + ^{12}\text{C}$**

Нещодавно отримані нові експериментальні дані диференціальних перерізів реакції  $^{14}\text{C}(^{11}\text{B}, ^{12}\text{C})^{13}\text{B}$  при енергії  $E_{\text{лаб.}}(^{11}\text{B}) = 45$  МеВ для основних станів ядер  $^{13}\text{B}$  та  $^{12}\text{C}$  проаналізовано за методом зв'язаних каналів реакцій (МЗКР), у схему зв'язку було включено канал пружного розсіяння ядер  $^{11}\text{B} + ^{14}\text{C}$  та канали одно- й двоступінчастих передач нуклонів і кластерів. Для вхідного каналу реакції необхідні параметри оптичного потенціалу Вудса - Саксона було використано з аналізу пружного розсіяння  $^{11}\text{B}$  з попередньої роботи, а параметри для взаємодії  $^{12}\text{C} + ^{13}\text{B}$  було отримано з підгонки МЗКР-розрахунків до експериментальних даних реакції  $^{14}\text{C}(^{11}\text{B}, ^{12}\text{C})^{13}\text{B}$ . Необхідні спектроскопічні амплітуди (фактори) для переданих нуклонів і кластерів було обчислено за трансляційно-інваріантною моделлю оболонки. Дані добре описуються прямою передачею протона, а вклади двоступінчастих реакцій передач виявились незначними. Проведено порівняння параметрів потенціалу Вудса - Саксона, визначених для взаємодії ядер  $^{13}\text{B} + ^{12}\text{C}$ , з параметрами цих потенціалів для систем  $^{10,11,12}\text{B} + ^{12}\text{C}$ . Спостерігається ефект ізотопічної відмінності цих взаємодій.

*Ключові слова:* ядерна реакція  $^{14}\text{C}(^{11}\text{B}, ^{12}\text{C})^{13}\text{B}$ , метод зв'язаних каналів реакцій, спектроскопічні амплітуди, оптичні потенціали, механізми реакцій.

**S. Yu. Mezhevych<sup>1,\*</sup>, A. T. Rudchik<sup>1</sup>, K. Rusek<sup>2</sup>, K. W. Kemper<sup>3</sup>,  
A. A. Rudchik<sup>1</sup>, O. A. Ponkratenko<sup>1</sup>, E. I. Koshchy<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> Institute for Nuclear Research, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

<sup>2</sup> Heavy Ion Laboratory of Warsaw University, Warsaw, Poland

<sup>3</sup> Physics Department, Florida State University, Tallahassee, USA

<sup>4</sup> Cyclotron Institute Texas A&M University, College Station, USA

\*Corresponding author: sermezhev@gmail.com

**REACTION  $^{14}\text{C}(^{11}\text{B}, ^{12}\text{C})^{13}\text{B}$  AT  $E_{\text{lab}}(^{11}\text{B}) = 45$  MeV,  
INTERACTION OF  $^{13}\text{B} + ^{12}\text{C}$  VERSUS THAT OF  $^{10,11,12}\text{B} + ^{12}\text{C}$**

New experimental data for differential cross-sections of the  $^{14}\text{C}(^{11}\text{B}, ^{12}\text{C})^{13}\text{B}$  reaction obtained recently at the energy  $E_{\text{lab}}(^{11}\text{B}) = 45$  MeV for the ground states of  $^{13}\text{B}$  and  $^{12}\text{C}$  were analyzed within the coupled reaction channels (CRC) method that included the  $^{11}\text{B} + ^{14}\text{C}$  elastic scattering channel as well as channels for one- and two-step transfers of nucleons in the coupling scheme. The necessary  $^{11}\text{B} + ^{14}\text{C}$  Woods - Saxon (WS) optical potential parameters for the entrance reaction channel were obtained from  $^{11}\text{B}$  elastic scattering in the previous work, while those for  $^{12}\text{C} + ^{13}\text{B}$  interaction were deduced from fitting the CRC calculations to the  $^{14}\text{C}(^{11}\text{B}, ^{12}\text{C})^{13}\text{B}$  reaction data. Needed spectroscopic amplitudes of transferred nucleons and clusters were calculated within the translational-invariant shell model. The data are well described by the direct transfer of a proton while contributions from two-step transfers were found to be negligible. The deduced  $^{13}\text{B} + ^{12}\text{C}$  WS optical potential parameters are compared with those of the  $^{10,11,12}\text{B} + ^{12}\text{C}$  nuclei interactions. The effect of isotopic differences in these interactions was observed.

*Keywords:* nuclear reaction  $^{14}\text{C}(^{11}\text{B}, ^{12}\text{C})^{13}\text{B}$ , coupled-reaction-channels method, spectroscopic amplitudes, optical potentials, reaction mechanisms.

REFERENCES

1. A. Estradé et al. Proton Radii of  $^{12-17}\text{B}$  Define a Thick Neutron Surface in  $^{17}\text{B}$ . *Phys. Rev. Lett.* 113 (2014) 132501.
2. R. Kalpakchieva et al. Spectroscopy of  $^{13}\text{B}$ ,  $^{14}\text{B}$ ,  $^{15}\text{B}$  and  $^{16}\text{B}$  using multi-nucleon transfer reactions. *Eur. Phys. J. A* 7 (2000) 451.
3. B.B. Back et al. First Experiment with HELIOS: The Structure of  $^{13}\text{B}$ . *Phys. Rev. Lett.* 104(13) (2010) 132501.
4. A.H. Wuosmaa et al. Stretched states in  $^{12,13}\text{B}$  with the (d,  $\alpha$ ) reaction. *Phys. Rev. C* 90 (2014) 061301.
5. C.J. Guess et al. Spectroscopy of  $^{13}\text{B}$  via the  $^{13}\text{C}(t, ^3\text{He})$  reaction at 115A MeV. *Phys. Rev. C* 80 (2009) 024305.
6. S. Bedoor et al. Structure of  $^{14}\text{C}$  and  $^{14}\text{B}$  from the  $^{14,15}\text{C}(d, ^3\text{He})^{13,14}\text{B}$  reactions. *Phys. Rev. C* 93(4) (2016) 044323.

7. H.Y. Lee et al. Experimental study of the  $^{11,12}\text{B}(n, \gamma)$  reactions and their influence on r-process nucleosynthesis of light elements. *Phys. Rev. C* **81** (2010) 015802.
8. S.Yu. Mezhevych et al.  $^{13}\text{C}(^{11}\text{B}, ^{12}\text{C})^{12}\text{B}$  reaction at 45 MeV,  $^{12}\text{C} + ^{12}\text{B}$  interaction versus that of  $^{12}\text{C} + ^{10,11}\text{B}$ . *Acta Phys. Pol. B* **51**(10) (2020) 1949.
9. A.T. Rudchik et al. The  $^{11}\text{B} + ^{12}\text{C}$  elastic and inelastic scattering at  $E_{\text{lab}}(^{11}\text{B}) = 49$  MeV and energy dependence of the  $^{11}\text{B} + ^{12}\text{C}$  interaction. *Nucl. Phys. A* **695** (2001) 51.
10. N. Burtebayev et al. Measurement and analysis of  $^{10}\text{B} + ^{12}\text{C}$  elastic scattering at energy of 41.3 MeV. *Int. J. Mod. Phys. E* **28** (2019) 1950028.
11. S.Yu. Mezhevych et al. Extracting the asymptotic normalization coefficient for the  $^{14}\text{C} \rightarrow ^{13}\text{B} + p$  overlap from the  $^{14}\text{C}(^{11}\text{B}, ^{12}\text{C})^{13}\text{B}$  reaction. *Phys. Rev. C* **105** (2022) 024615.
12. Yong-Li Xu et al. Applicability of  $^9\text{Be}$  global optical potential to description of  $^{8,10,11}\text{B}$  elastic scattering. *Chinese Physics C* **44**(3) (2020) 034101.
13. Suhel Ahmad, A.A. Usmani, Z.A. Khan. Matter radii of light proton-rich and neutron-rich nuclear isotopes. *Phys. Rev. C* **96** (2017) 064602.
14. S.Yu. Mezhevych et al. Reaction  $^{14}\text{C}(^{11}\text{B}, ^{10}\text{B})^{15}\text{C}$  at  $E_{\text{lab}} = 45$  MeV and  $^{10}\text{B} + ^{15}\text{C}$  optical potential. *Acta Phys. Pol. B* **52**(2) (2021) 109.
15. S.Yu. Mezhevych et al. The  $^{13}\text{C} + ^{11}\text{B}$  elastic and inelastic scattering and isotopic effects in the  $^{12,13}\text{C} + ^{11}\text{B}$  scattering. *Nucl. Phys. A* **724**(1-2) (2003) 29.
16. S.Yu. Mezhevych et al. Elastic and inelastic scattering of  $^{14}\text{C} + ^{11}\text{B}$  versus  $^{12,13}\text{C} + ^{11}\text{B}$ . *Eur. Phys. J. A* **50** (2014) 4.
17. S.Yu. Mezhevych et al. Excitation of  $^{14}\text{C}$  by 45 MeV  $^{11}\text{B}$  ions. *Nucl. Phys. A* **753** (2005) 13.
18. Yu.F. Smirnov, Yu.M. Tchuvil'sky. Cluster spectroscopic factors for the  $p$ -shell nuclei. *Phys. Rev. C* **15** (1977) 84.
19. A.T. Rudchik, Yu.M. Tchuvil'sky. Spectroscopic amplitudes of multinucleon clusters in  $1p$ -shell nuclei and analysis of multinucleon transfer reactions. *Ukrainian Journal of Physics* **30**(6) (1985) 819. (Rus)
20. A.T. Rudchik, Yu.M. Tchuvil'sky. Calculation of spectroscopic amplitudes for arbitrary associations of nucleus in  $1p$ -shell nuclei (program DESNA). Prepr. of the Institute for Nucl. Res., AS UkrSSR. KINR-82-12 (Kyiv, 1982) 27 p. (Rus)
21. A.N. Boyarkina. *The Structure of the  $1p$ -shell Nuclei* (Moskva: Moscow University, 1973) 62 p. (Rus)
22. I.J. Thompson. Coupled reaction channels calculations in nuclear physics. *Comp. Phys. Rep.* **7** (1988) 167.
23. S.Yu. Mezhevych, K. Rusek. Quadrupole deformation of  $^{11}\text{B}$  ( $3/2^-$ , 5.02 MeV) excited state from  $^{11}\text{B} + ^{12}\text{C}$  scattering. *Acta Phys. Pol. B* **34**(4) (2003) 2415.
24. G. Bertsch et al. Interactions for inelastic scattering derived from realistic potentials. *Nucl. Phys. A* **284**(3) (1977) 399.
25. J. Cook. DFPOT – A program for the calculation of double folded potentials. *Comput. Phys. Commun.* **25** (1982) 125.

Надійшла/Received 23.11.2021