

С. Ю. Межевич<sup>1,\*</sup>, О. А. Понкратенко<sup>1</sup>, Ю. М. Степаненко<sup>1</sup>, В. В. Улещенко<sup>1</sup>, А. А. Рудчик<sup>1</sup>,  
В. М. Кир'янчук<sup>2</sup>, Ю. О. Ширма<sup>1</sup>, Ю. С. Рознюк<sup>1</sup>, І. І. Вертегел<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup> *Відокремлений підрозділ «Науково-технічний центр» державного підприємства  
«Національна атомна енергогенеруюча компанія "Енергоатом"», Київ, Україна*

\*Відповідальний автор: [sermezhev@gmail.com](mailto:sermezhev@gmail.com)

## ВІДМІННІСТЬ ПОВЕРХНЕВОЇ СТРУКТУРИ ІЗОТОПІВ ВУГЛЕЦЮ, ЕФЕКТИ ЇЇ ВПЛИВУ НА РОЗРАХУНКИ ПЕРЕРІЗІВ РЕАКЦІЇ $^{13}\text{C}(^{11}\text{B}, ^{10}\text{B})^{14}\text{C}$

Нещодавно опубліковані експериментальні кутові розподіли реакції  $^{13}\text{C}(^{11}\text{B}, ^{10}\text{B})^{14}\text{C}$  при енергії  $E_{\text{лаб}}(^{11}\text{B}) = 45,0$  МеВ для переходів в основні стани ядер вихідного каналу, було проаналізовано за методом зв'язаних каналів реакцій (МЗКР), підставляючи для взаємодії  $^{10}\text{B} + ^{14}\text{C}$  потенціали для систем ядер  $^{10}\text{B} + ^{12-20}\text{C}$ , отримані за допомогою методу подвійної згортки (DF) з використанням змодельованих форм розподілів нуклонів в ядрах  $^{10}\text{B}$  та  $^{12-20}\text{C}$ . Метою дослідження була оцінка впливу поверхневої структури ізотопів  $^{12-20}\text{C}$ , відображеної відповідно у сконструйованих потенціалах для взаємодії  $^{10}\text{B} + ^{12-20}\text{C}$ , на результати МЗКР-розрахунків та їх порівнянні з експериментальними даними. Відмінність МЗКР-перерізів для прямої передачі нейтрона, як основного процесу, виявилася незначною при використанні DF-потенціалів, обчислених для систем ядер  $^{10}\text{B} + ^{12-16}\text{C}$ , у вихідному каналі цієї реакції. Тільки при використанні DF-потенціалів для систем  $^{10}\text{B} + ^{17-20}\text{C}$  у вихідному каналі реакції  $^{13}\text{C}(^{11}\text{B}, ^{10}\text{B})^{14}\text{C}$  МЗКР-перерізи помітно відрізняються від експериментальних даних та відповідних перерізів з DF-потенціалом для системи  $^{10}\text{B} + ^{14}\text{C}$ , що є наслідком більш широких поверхневих розподілів нуклонів в ядрах  $^{17-20}\text{C}$  порівняно з  $^{14}\text{C}$  з модельного розрахунку їх густин. Оскільки в МЗКР-розрахунках реакцій передач існує сильний зв'язок між різними каналами, який значно може погіршувати дослідження впливу таких тонких ефектів як невелика різниця форм DF-потенціалів в області взаємодії ядер, вимірювання, наскільки можливо, кутових розподілів пружного та непружного розсіяння нестабільних ізотопів  $^{15-20}\text{C}$  на різних мішенях є необхідним для дослідження як структури цих нестабільних ядер, так і їхніх ізотопічних відмінностей.

*Ключові слова:* метод зв'язаних каналів реакцій, оптичні потенціали, розподіли густини нуклонів.

S. Yu. Mezhevych<sup>1,\*</sup>, O. A. Ponkratenko<sup>1</sup>, Yu. M. Stepanenko<sup>1</sup>, V. V. Uleshchenko<sup>1</sup>, A. A. Rudchik<sup>1</sup>,  
V. M. Kyrianchuk<sup>2</sup>, Yu. O. Shyrma<sup>1</sup>, Yu. S. Roznyuk<sup>1</sup>, I. I. Vertegel<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup> *Scientific and Technical Center of National Nuclear Energy Generating Company "Energoatom", Kyiv, Ukraine*

\*Corresponding author: [sermezhev@gmail.com](mailto:sermezhev@gmail.com)

## THE DIFFERENCE OF THE SURFACE STRUCTURE OF CARBON ISOTOPES, ITS IMPACT ON THE CALCULATIONS OF THE $^{13}\text{C}(^{11}\text{B}, ^{10}\text{B})^{14}\text{C}$ REACTION CROSS SECTIONS

Recently published experimental angular distributions of the reaction  $^{13}\text{C}(^{11}\text{B}, ^{10}\text{B})^{14}\text{C}$  at  $E_{\text{лаб}}(^{11}\text{B}) = 45.0$  MeV for transitions to the ground states of exit channel nuclei, were analyzed within coupled-reaction-channels method (CRC), applying for  $^{10}\text{B} + ^{14}\text{C}$  interaction the potentials for systems  $^{10}\text{B} + ^{12-20}\text{C}$  that were obtained by means of the double-folding method (DF) using modelled shapes for the distributions of nucleons in  $^{10}\text{B}$  and  $^{12-20}\text{C}$  nuclei. This research aimed to investigate the influence of the surface structure of  $^{12-20}\text{C}$  isotopes, reflected accordingly in the constructed potentials for the interaction of  $^{10}\text{B} + ^{12-20}\text{C}$ , on the results of CRC-calculations and their agreement with experimental data. The difference of CRC cross sections for the direct transfer of a neutron, as the main reaction mechanism, was found to be small when applying DF-potentials calculated for systems  $^{10}\text{B} + ^{12-16}\text{C}$  in the exit channel of this reaction. Only with DF-potentials for  $^{10}\text{B} + ^{17-20}\text{C}$  systems used in the exit channel of the reaction  $^{13}\text{C}(^{11}\text{B}, ^{10}\text{B})^{14}\text{C}$  a more notable difference of CRC cross sections against the experimental data and those used for the system  $^{10}\text{B} + ^{14}\text{C}$  was observed, what originates from more diffuse density distributions of nucleons modelled on the surfaces of isotopes  $^{17-20}\text{C}$  in comparison with  $^{14}\text{C}$ . As CRC-calculations of transfer reactions are affected by strong couplings between different channels, what can deteriorate the investigation of the influence of slight differences in the shapes of DF-potentials in the interaction region, the measurements of angular distributions for the elastic and inelastic scattering of unstable  $^{15-20}\text{C}$  isotopes from different targets are desirable, as far as possible, for the investigation of their internal structure and isotopic differences.

*Keywords:* coupled-reaction-channels method, optical potentials, nucleon density distributions.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ / REFERENCES

1. A.A. Allami, A.A. Alzubadi. Study of the nuclear structure of some exotic nuclei using nonrelativistic and relativistic mean-field methods. *Int. J. Mod. Phys. E* 29 (12) (2020) 2050090.
2. A.N. Abdullah. Investigation of halo structure of neutron rich  $^{14}\text{B}$ ,  $^{15}\text{C}$ ,  $^{19}\text{C}$  and  $^{22}\text{N}$  nuclei in the two body model. *Int. J. Mod. Phys. E* 29(03) (2020) 2050015.
3. V.G. Távora et al. Strong coupling effects on near-barrier  $^{15}\text{C} + ^{208}\text{Pb}$  elastic scattering. *Phys. Lett. B* 855 (2024) 138770.
4. H.T. Fortune. Matter radii and configuration mixing in  $^{15-19}\text{C}$ . *Eur. Phys. J. A* 54 (2018) 73.
5. A.V. Dobrovolsky et al. Nuclear matter distributions in the neutron-rich carbon isotopes  $^{14-17}\text{C}$  from intermediate-energy proton elastic scattering in inverse kinematics. *Nucl. Phys. A* 1008 (2021) 122154.
6. Y. Jiang et al. Quadrupole deformation of  $^{16}\text{C}$  studied by proton and deuteron inelastic scattering. *Phys. Rev. C* 101 (2020) 024601.
7. Y.-S. Song et al. Quasielastic scattering of  $^{17}\text{C}$  from a carbon target at 40 MeV/nucleon. *Eur. Phys. J. A* 54 (2018) 35.
8. K. Hagino, N. Takahashi, H. Sagawa. Strong dineutron correlation in  $^8\text{He}$  and  $^{18}\text{C}$ . *Phys. Rev. C* 77 (2008) 054317.
9. T. Yamaguchi et al. Nuclear reactions of  $^{19,20}\text{C}$  on a liquid hydrogen target measured with the superconducting TOF spectrometer. *Nucl. Phys. A* 864 (2011) 1.
10. S. Ahmad, A.A. Usmani, Z.A. Khan. Matter radii of light proton-rich and neutron-rich nuclear isotopes. *Phys. Rev. C* 96 (2017) 064602.
11. S.Yu. Mezhevych et al. Potentials of interaction of  $^{10,11,12,13}\text{B}$  isotopes with  $^{12}\text{C}$ . *Nucl. Phys. At. Energy* 23 (2022) 164. (Ukr)
12. S.Yu. Mezhevych et al. Analysis of  $^{11}\text{B} + ^{13,14}\text{C}$  scattering and  $^{13}\text{C}(^{11}\text{B}, ^{10}\text{B})^{14}\text{C}$  reaction data at  $E_{\text{lab}}(^{11}\text{B}) = 45$  MeV using energy dependent optical model systematics for carbon isotopes. *Phys. Scr.* 99 (2024) 105316.
13. Y.-L. Xu et al. Description of elastic scattering induced by the unstable nuclei  $^{9,10,11,13,14}\text{C}$ . *Chin. Phys. C* 45 (2021) 114103.
14. 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 (2003) 29.
15. 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 (2020) 1949.
16. I.J. Thompson. Coupled reaction channels calculations in nuclear physics. *Comp. Phys. Rep.* 7 (1988) 167.
17. J. Cook. DFPOT – a program for the calculation of double folded potentials. *Comput. Phys. Commun.* 25 (1982) 125.
18. G. Bertsch et al. Interactions for inelastic scattering derived from realistic potentials. *Nucl. Phys. A* 284 (1977) 399.
19. S.Yu. Mezhevych et al. Cluster structure of  $^{17}\text{O}$ . *Phys. Rev. C* 95 (2017) 034607.
20. R. Kanungo et al. Proton distribution radii of  $^{12-19}\text{C}$  illuminate features of neutron halos. *Phys. Rev. Lett.* 117 (2016) 102501.

Надійшла / Received 30.12.2024