

А. Т. Рудчик^{1,*}, А. А. Рудчик¹, О. Е. Куцик¹, К. Русек², К. В. Кемпер³, Е. П'ясецькі², А. Столяж²,
А. Тщиньска², Вал. М. Пірнак¹, О. А. Понкратенко¹, І. Строк⁴, Є. І. Кошій⁵, Р. Сюдак⁶, С. Б. Сакута⁷,
В. А. Плюйко⁸, А. П. Ільїн¹, Ю. М. Степаненко¹, В. В. Улещенко¹, Ю. О. Ширма¹

¹ Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна

² Лабораторія важких іонів Варшавського університету, Варшава, Польща

³ Відділ фізики, Флоридський державний університет, Таллахасі, США

⁴ Національний центр ядерних досліджень, Варшава, Польща

⁵ Циклотронний інститут Техаського А&М університету, Техас, США

⁶ Інститут ядерної фізики ім. Г. Неводничанського, Краків, Польща

⁷ Національний дослідницький центр «Інститут Курчатова», Москва, Росія

⁸ Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

*Відповідальний автор: rudchik@kinr.kiev.ua

ПРУЖНЕ І НЕПРУЖНЕ РОЗСІЯННЯ ІОНІВ ¹⁵N ЯДРАМИ ¹²C ПРИ ЕНЕРГІЇ 81 МеВ

Отримано нові експериментальні дані диференціальних перерізів пружного і непружного розсіяння іонів ¹⁵N ядрами ¹²C при енергії $E_{\text{лаб}}(^{15}\text{N}) = 81$ МеВ. Експериментальні дані проаналізовано за методом зв'язаних каналів реакцій (МЗКР). Пружне і непружне розсіяння та найбільш важливі реакції передачі нуклонів і кластерів включалися у схему зв'язку каналів. У МЗКР-розрахунках використовувалися потенціал подвійної згортки (фолдинг-потенціал DF) взаємодії ядер ¹⁵N + ¹²C та потенціал Вудса - Саксона (WS). Визначено параметри потенціалу WS та деформації ядер ¹²C і ¹⁵N. Отримано відомості про внески реакцій одно- та двоступінчастих передачі нуклонів і кластерів у пружне і непружне розсіяння ядер ¹⁵N + ¹²C. Відомі з літератури дані пружного розсіяння ядер ¹⁵N + ¹²C при енергіях $E_{\text{лаб}}(^{15}\text{N}) = 22,4 - 31,4$ МеВ, поміряні на великих кутах, також було проаналізовано за МЗКР й отримано залежні від енергії параметри потенціалу WS взаємодії цих ядер. Порівнюючи дані пружного розсіяння ядер ¹⁵N + ¹²C і ¹⁴N + ¹²C та МЗКР-розрахунки (¹⁵N + ¹²C)-розсіяння з потенціалами WS цих двох пар ядер, виявлено значні відмінності як експериментальних даних, так і МЗКР-розрахунків, особливо на великих кутах, де крім потенціального розсіяння спостерігаються внески реакцій передачі. Це може бути інтерпретовано як прояв ізотопічних ефектів у розсіянні пар ядер ¹⁵N + ¹²C і ¹⁴N + ¹²C.

Ключові слова: розсіяння важких іонів, оптична модель, метод зв'язаних каналів реакцій, спектроскопічні амплітуди, оптичні потенціали, механізми реакцій.

А. Т. Рудчик^{1,*}, А. А. Рудчик¹, А. Э. Куцык¹, К. Русек², К. В. Кемпер³, Е. Пясецькі², А. Столяж²,
А. Тщиньска², Вал. М. Пірнак¹, О. А. Понкратенко¹, І. Строк⁴, Е. І. Кошій⁵, Р. Сюдак⁶, С. Б. Сакута⁷,
В. А. Плюйко⁸, А. П. Ільїн¹, Ю. М. Степаненко¹, В. В. Улещенко¹, Ю. О. Ширма¹

¹ Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна

² Лабораторія важких іонів Варшавського університету, Варшава, Польща

³ Відділ фізики, Флоридський державний університет, Таллахасі, США

⁴ Національний центр ядерних досліджень, Варшава, Польща

⁵ Циклотронний інститут Техаського А&М університету, Техас, США

⁶ Інститут ядерної фізики ім. Г. Неводничанського, Краків, Польща

⁷ Національний дослідницький центр «Інститут Курчатова», Москва, Росія

⁸ Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

*Ответственный автор: rudchik@kinr.kiev.ua

УПРУГОЕ И НЕУПРУГОЕ РАССЕЯНИЕ ИОНОВ ¹⁵N ЯДРАМИ ¹²C ПРИ ЭНЕРГИИ 81 МэВ

Получены новые экспериментальные данные дифференциальных сечений упругого и неупругого рассеяния ионов ¹⁵N ядрами ¹²C при энергии $E_{\text{лаб}}(^{15}\text{N}) = 81$ МэВ. Экспериментальные данные проанализированы по методу связанных каналов реакций (МСКР). Упругое и неупругое рассеяние ядер ¹⁵N + ¹²C и наиболее важные реакции передачи нуклонов и кластеров были включены в схему связи каналов. В МСКР-расчетах были использованы фолдинг-потенциал (DF) взаимодействия ядер ¹⁵N + ¹²C и потенциал Вудса - Саксона (WS). Определены параметры потенциала WS и деформации ядер ¹²C и ¹⁵N. Получены сведения о вкладах реакций одно- и двухступенчатых передач нуклонов и кластеров в упругое и неупругое рассеяние ядер ¹⁵N + ¹²C. Ранее опубликованные данные упругого рассеяния ядер ¹⁵N + ¹²C при энергиях $E_{\text{лаб}}(^{15}\text{N}) = 22,4 - 31,4$ МэВ, измеренные на больших углах, также были проанализированы по МСКР и получены зависимые от энергии параметры потенциала WS взаимодействия этих ядер. При сравнении данных по упругому рассеянию ядер ¹⁵N + ¹²C и ¹⁴N + ¹²C и МСКР-расчетов рассеяния с потенциалами WS для этих двух пар ядер были обнаружены

значительные различия как между экспериментальными данными, так и МСКР-расчетами, особенно на больших углах, где кроме потенциального рассеяния наблюдаются вклады реакций передач. Это может быть интерпретировано как проявление изотопических эффектов в рассеянии пар ядер $^{15}\text{N} + ^{12}\text{C}$ и $^{14}\text{N} + ^{12}\text{C}$.

Ключевые слова: рассеяние тяжелых ионов, оптическая модель, метод связанных каналов реакций, спектроскопические амплитуды, оптические потенциалы, механизмы реакций.

A. T. Rudchik^{1,*}, A. A. Rudchik¹, O. E. Kutsyk¹, K. Rusek², K. W. Kemper³, E. Piasecki², A. Stolarz²,
A. Trzczińska², Val. M. Pirnak¹, O. A. Ponkratenko¹, I. Strojek⁴, E. I. Koshchiy⁵, R. Siudak⁶, S. B. Sakuta⁷,
V. A. Plujko⁸, A. P. Ilyin¹, Yu. M. Stepanenko¹, V. V. Uleshchenko¹, Yu. O. Shyrma¹

¹ Institute for Nuclear Research, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

² Heavy Ion Laboratory, Warsaw University, Warsaw, Poland

³ Physics Department, Florida State University, Tallahassee, USA

⁴ National Institute for Nuclear Research, Warsaw, Poland

⁵ Cyclotron Institute, Texas A&M University, College Station, USA

⁶ H. Niewodniczanski Institute of Nuclear Physics, Krakow, Poland

⁷ National Research Centre "Kurchatov Institute", Moscow, Russia

⁸ Taras Shevchenko Kyiv National University, Kyiv, Ukraine

*Corresponding author: rudchik@kinr.kiev.ua

ELASTIC AND INELASTIC SCATTERING OF ^{15}N IONS BY ^{12}C NUCLEI AT ENERGY 81 MeV

New angular distributions of the $^{15}\text{N} + ^{12}\text{C}$ elastic and inelastic scattering were measured at the energy $E_{\text{lab}}(^{15}\text{N}) = 81$ MeV. The data were analyzed within the coupled-reaction-channels method (CRC). The elastic and inelastic scattering as well as the more important one- and two-step transfer reactions were included in the channels-coupling scheme. The $^{15}\text{N} + ^{12}\text{C}$ double folding-potential (DF) and that of Woods - Saxon form (WS) were used in the CRC-calculations. The WS potential parameters as well as deformation parameters of ^{12}C and ^{15}N were deduced. The contributions of one- and two-step transfers in the $^{15}\text{N} + ^{12}\text{C}$ elastic and inelastic scattering channels were obtained. The $^{15}\text{N} + ^{12}\text{C}$ elastic scatterings data, published previously at energies $E_{\text{lab}}(^{15}\text{N}) = 22 - 31$ MeV for the large angles, were also analyzed and energy dependence of the WS potential parameters were deduced. Comparing the data of elastic scattering data of the $^{15}\text{N} + ^{12}\text{C}$ and $^{14}\text{N} + ^{12}\text{C}$ nuclei and CRC calculations of the $^{15}\text{N} + ^{12}\text{C}$ scattering with WS potentials of these two nuclear pairs, considerable differences were observed as in the experimental data so in the CRC calculations, especially at the large angles where the transfer reactions contribute to the elastic scattering. By other words, the scattering isotopic effects were observed in scattering on nuclei $^{15}\text{N} + ^{12}\text{C}$ and $^{14}\text{N} + ^{12}\text{C}$.

Keywords: heavy-ion scattering, optical model, coupled-reaction-channels method, spectroscopic amplitudes, optical potentials, reaction mechanisms.

REFERENCES

1. M.E. Ortiz et al. Nonstatistical effects in the $^{12}\text{C}(^{15}\text{N}, \alpha)$ reaction. *Phys. Rev. C* **22** (1980) 1104.
2. V.A. Ziman et al. Channel couplings in the $^{12}\text{C}(^{14}\text{N}, X)$ reactions at $E(^{14}\text{N}) = 116$ MeV. *Nucl. Phys. A* **624** (1997) 459.
3. W. Von Oertzen et al. Direct Reactions Induced by ^{14}N on ^{12}C at 78 MeV. *Nucl. Phys. A* **143** (1970) 34.
4. E. Piasecki et al. *Project ICARE at HIL* (Warsaw: Heavy Ion Laboratory, 2007) 38 p.
5. I.J. Thompson. Coupled reaction channels calculations in nuclear physics. *Comp. Phys. Rep.* **7** (1988) 167.
6. J. Specht et al. Evidence for oblate shape of ^{12}C from inelastic α -particle scattering. *Nucl. Phys. A* **171** (1971) 65.
7. A.T. Rudchik et al. ^{15}N elastic and inelastic scattering by ^{11}B at 84 MeV. *Nucl. Phys. A* **939** (2015) 1.
8. Yu.F. Smirnov, Yu.M. Tchuvil'sky. Cluster spectroscopic factors for the p -shell nuclei. *Phys. Rev. C* **15** (1977) 84.
9. A.T. Rudchik, Yu.M. Tchuvil'sky. Spectroscopic amplitude calculations for different clusters in the $1p$ -shell nuclei (code DESNA). Preprint of the Institute for Nuclear Research AS UkrSSR (Kyiv, 1982) 27 p. (Rus)
10. A.T. Rudchik, Yu.M. Tchuvil'sky. Spectroscopic amplitudes of multinuclear clusters in the $1p$ -shell nuclei and multinuclear transfer reaction analysis. *Ukr. Fiz. Zh.* **30** (1985) 819. (Rus)
11. J. Cook. DF POT: a program for the calculation of double folded potentials. *Comp. Phys. Com.* **25** (1982) 125.
12. H. De Vries, C. W. De Jager, C. De Vries. Nuclear charge-density-distribution parameters from elastic electron scattering. *Atomic Data and Nuclear Data Tables* **36** (1987) 495.

Надійшла 04.06.2018

Received 04.06.2018