

А. Т. Рудчик<sup>1,\*</sup>, А. А. Рудчик<sup>1</sup>, Л. М. Муравинець<sup>1</sup>, К. В. Кемпер<sup>2</sup>, К. Русек<sup>3</sup>, Є. І. Кошій<sup>4</sup>,  
Е. Пясецькі<sup>3</sup>, А. Трчінська<sup>3</sup>, Вал. М. Пірнак<sup>1</sup>, О. А. Понкратенко<sup>1</sup>, В. А. Плюйко<sup>5</sup>, І. Строек<sup>6</sup>,  
А. Столяж<sup>3</sup>, С. Б. Сакута<sup>7</sup>, А. П. Ільїн<sup>1</sup>, Ю. М. Степаненко<sup>1</sup>, В. В. Улещенко<sup>1</sup>, Ю. О. Ширма<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup> Флоридський державний університет, відділ фізики, Таллахассі, США

<sup>3</sup> Лабораторія важких іонів Варшавського університету, Варшава, Польща

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

<sup>5</sup> Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

<sup>6</sup> Національний центр ядерних досліджень, Варшава, Польща

<sup>7</sup> Національний дослідний центр «Курчатівський інститут», Москва, Росія

\*Відповідальний автор: rudchik@kinr.kiev.ua

### РЕАКЦІЯ ${}^7\text{Li}({}^{15}\text{N}, {}^{14}\text{C}){}^8\text{Be}$ ТА ВЗАЄМОДІЯ ЯДЕР ${}^{13,14}\text{C} + {}^8\text{Be}$

Отримано нові експериментальні дані диференціальних перерізів реакції  ${}^7\text{Li}({}^{15}\text{N}, {}^{14}\text{C}){}^8\text{Be}$  при енергії  $E_{\text{лаб.}}({}^{15}\text{N}) = 81$  МеВ для основних та збуджених станів ядер  ${}^{14}\text{C}$  і  ${}^8\text{Be}$  у вихідному каналі реакції. Експериментальні дані проаналізовано за методом зв'язаних каналів реакцій (МЗКР) із включенням у схему зв'язків каналів пружного й непружного розсіювання ядер  ${}^7\text{Li} + {}^{15}\text{N}$  та найпростіших реакцій одно- і двоступінчастих передач нуклонів і кластерів. У розрахунках перерізів реакції для вхідного каналу використано потенціал взаємодії ядер  ${}^7\text{Li} + {}^{15}\text{N}$  типу Вудса - Саксона, параметри якого визначено з аналізу даних пружного розсіювання іонів  ${}^{15}\text{N}$  ядрами  ${}^7\text{Li}$  при енергії  $E_{\text{лаб.}}({}^{15}\text{N}) = 81$  МеВ. Спектроскопічні амплітуди нуклонів і кластерів розраховано в рамках трансляційно-інваріантної моделі оболонки. Досліджено механізми реакції. Установлено, що домінуючим процесом у даній реакції є передача протона. Параметри потенціалу взаємодії ядер  ${}^{14}\text{C} + {}^8\text{Be}$  типу Вудса - Саксона визначено методом підгонки МЗКР-перерізів реакції  ${}^7\text{Li}({}^{15}\text{N}, {}^{14}\text{C}){}^8\text{Be}$  до експериментальних даних. Досліджено ізотопічні відмінності параметрів потенціалу взаємодії ядер  ${}^{14}\text{C} + {}^8\text{Be}$  від параметрів потенціалу взаємодії ядер  ${}^{13}\text{C} + {}^8\text{Be}$ , раніше отриманого з аналізу реакції  ${}^9\text{Be}({}^{12}\text{C}, {}^{13}\text{C}){}^8\text{Be}$ .

*Ключові слова:* реакції з важкими іонами, метод зв'язаних каналів реакцій, спектроскопічні амплітуди, оптичні потенціали, механізми реакцій.

А. Т. Рудчик<sup>1,\*</sup>, А. А. Рудчик<sup>1</sup>, Л. М. Муравинець<sup>1</sup>, К. В. Кемпер<sup>2</sup>, К. Русек<sup>3</sup>, Є. І. Кошій<sup>4</sup>,  
Э. Пясецькі<sup>3</sup>, А. Трчінська<sup>3</sup>, Вал. Н. Пірнак<sup>1</sup>, О. А. Понкратенко<sup>1</sup>, В. А. Плюйко<sup>5</sup>, И. Строек<sup>6</sup>,  
А. Столяж<sup>3</sup>, С. Б. Сакута<sup>7</sup>, А. П. Ильин<sup>1</sup>, Ю. Н. Степаненко<sup>1</sup>, В. В. Улещенко<sup>1</sup>, Ю. О. Ширма<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup> Флоридський державний університет, відділ фізики, Таллахассі, США

<sup>3</sup> Лабораторія важких іонів Варшавського університету, Варшава, Польща

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

<sup>5</sup> Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

<sup>6</sup> Національний центр ядерних досліджень, Варшава, Польща

<sup>7</sup> Національний дослідний центр «Курчатівський інститут», Москва, Росія

\*Ответственный автор: rudchik@kinr.kiev.ua

### РЕАКЦІЯ ${}^7\text{Li}({}^{15}\text{N}, {}^{14}\text{C}){}^8\text{Be}$ И ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЯДЕР ${}^{13,14}\text{C} + {}^8\text{Be}$

Получены новые экспериментальные данные дифференциальных сечений реакции  ${}^7\text{Li}({}^{15}\text{N}, {}^{14}\text{C}){}^8\text{Be}$  при энергии  $E_{\text{лаб.}}({}^{15}\text{N}) = 81$  МэВ для основных и возбужденных состояний ядер  ${}^{14}\text{C}$  и  ${}^8\text{Be}$  в выходном канале реакции. Экспериментальные данные проанализированы по методу связанных каналов реакций (МСКР) с включением в схему связи каналов упругого и неупругого рассеяния ядер  ${}^7\text{Li} + {}^{15}\text{N}$  и простейших реакций одно- и двухступенчатых передач нуклонов и кластеров. В расчетах сечений реакции для входного канала использован потенциал взаимодействия ядер  ${}^7\text{Li} + {}^{15}\text{N}$ , параметры которого определены при анализе данных упругого рассеяния ионов  ${}^{15}\text{N}$  ядрами  ${}^7\text{Li}$  при энергии  $E_{\text{лаб.}}({}^{15}\text{N}) = 81$  МэВ. Спектроскопические амплитуды нуклонов и кластеров вычислены по трансляционно-инвариантной модели оболочек. Исследованы механизмы реакции. Установлено, что доминирующим процессом в этой реакции является передача протона. Параметры потенциала взаимодействия ядер  ${}^{14}\text{C} + {}^8\text{Be}$  определены методом подгонки МСКР-сечений реакции  ${}^7\text{Li}({}^{15}\text{N}, {}^{14}\text{C}){}^8\text{Be}$  к экспериментальным данным. Исследованы изотопические отличия потенциала взаимодействия ядер  ${}^{14}\text{C} + {}^8\text{Be}$  от потенциала взаимодействия ядер  ${}^{13}\text{C} + {}^8\text{Be}$ , ранее полученного из анализа реакции  ${}^9\text{Be}({}^{12}\text{C}, {}^{13}\text{C}){}^8\text{Be}$ .

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

A. T. Rudchik<sup>1\*</sup>, A. A. Rudchik<sup>1</sup>, L. M. Muravynets<sup>1</sup>, K. W. Kemper<sup>2</sup>, K. Rusek<sup>3</sup>, E. I. Koshchy<sup>4</sup>,  
E. Piasecki<sup>3</sup>, A. Trzecińska<sup>3</sup>, Val. M. Pirnak<sup>1</sup>, O. A. Ponkratenko<sup>1</sup>, V. A. Plujko<sup>5</sup>, I. Strojek<sup>6</sup>,  
A. Stolarz<sup>3</sup>, S. B. Sakuta<sup>7</sup>, A. P. Ilyin<sup>1</sup>, Yu. M. Stepanenko<sup>1</sup>, V. V. Uleshchenko<sup>1</sup>, Yu. O. Shyrma<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup> Physics Department, Florida State University, Tallahassee, USA

<sup>3</sup> Heavy Ion Laboratory of Warsaw University, Warsaw, Poland

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

<sup>5</sup> Taras Shevchenko National University, Kyiv, Ukraine

<sup>6</sup> National Institute for Nuclear Research, Warsaw, Poland

<sup>7</sup> National Research Center "Kurchatov Institute", Moscow, Russia

\*Corresponding author: rudchik@kinr.kiev.ua

## <sup>7</sup>Li(<sup>15</sup>N, <sup>14</sup>C)<sup>8</sup>Be REACTION AND <sup>13,14</sup>C + <sup>8</sup>Be NUCLEI INTERACTIONS

Angular distributions of the <sup>7</sup>Li(<sup>15</sup>N, <sup>14</sup>C)<sup>8</sup>Be reaction were measured at the energy  $E_{\text{lab}}(^{15}\text{N}) = 81$  MeV. The reaction data were analyzed within coupled-reaction-channels (CRC) method. The <sup>7</sup>Li + <sup>15</sup>N elastic and inelastic scattering and the more important one-and two-step transfers of this reaction were included in the channels-coupling scheme. Previously the <sup>7</sup>Li + <sup>15</sup>N optical potential parameters were deduced from the CRC analysis of the <sup>7</sup>Li + <sup>15</sup>N elastic scattering data at  $E_{\text{lab}}(^{15}\text{N}) = 81$  MeV. The spectroscopic amplitudes needed for CRC-calculations of the reaction were calculated within the translational invariant shell model (TISM). CRC analysis of the <sup>7</sup>Li(<sup>15</sup>N, <sup>14</sup>C)<sup>8</sup>Be reaction data showed the p-transfer dominants in this reaction. The parameters of the <sup>14</sup>C + <sup>8</sup>Be optical potential were deduced from CRC analysis of the reaction data and were compared with that of the <sup>13</sup>C + <sup>8</sup>Be potential parameters deduced previously from CRC analysis of <sup>9</sup>Be(<sup>12</sup>C, <sup>13</sup>C)<sup>8</sup>Be reaction data. The isotopic differences are observed.

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

### REFERENCES

1. A.T. Rudchik et al. Elastic and inelastic scattering of <sup>15</sup>N ions by <sup>7</sup>Li at 81 MeV versus that of <sup>14</sup>N ions by <sup>7</sup>Li at 80 and 110 MeV. *Nucl. Phys. A* **958** (2017) 234.
2. Yu.F. Smirnov, Yu.M. Tchuvil'skiy. Cluster spectroscopic factors for the p-shell nuclei. *Phys. Rev. C* **15**(1) (1977) 84.
3. A.T. Rudchik et al. Energy dependence of the <sup>8</sup>Be + <sup>13</sup>C interaction. *Nucl. Phys. A* **660** (1999) 267.
4. A.A. Rudchik et al. Mechanism of the <sup>12</sup>C(<sup>11</sup>B, <sup>15</sup>N)<sup>8</sup>Be reaction and <sup>8</sup>Be + <sup>15</sup>N optical-model potential. *Eur. Phys. J. A* **23** (2005) 445.
5. V.O. Romanyshyn et al. <sup>8</sup>Be scattering potentials from reaction analyses. *Phys. Rev. C* **79** (2009) 054609.
6. A.T. Rudchik et al. Comparison of the <sup>7</sup>Li(<sup>18</sup>O, <sup>17</sup>N)<sup>8</sup>Be and <sup>18</sup>O(d, <sup>3</sup>He)<sup>17</sup>N reactions. *Phys. Rev. C* **83** (2011) 024606.
7. K. Bodek et al. Nuclear reactions in the <sup>13</sup>C + <sup>9</sup>Be system at CM energies around 11.6 MeV. *J. Phys. G: Nucl. Phys.* **6** (1980) 1017.
8. E. Piasecki et al. *Annual report 2006. Warsaw University, Heavy Ion Laboratory (Warsaw, 2007)* p. 20, 38.
9. I.J. Thompson, Coupled reaction channels calculations in nuclear physics. *Comput. Phys. Rep.* **7** (1988) 167.
10. J. Cook. DF POT – a program for the calculation of double folded potentials. *Comp. Phys. Com.* **25**(2) (1982) 125.
11. 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.
12. A.T. Rudchik, Yu.M. Chuvil'skiy. Calculation of spectroscopic amplitudes for arbitrary associations of nucleons in nuclei of the 1p shell (DESNA program). Preprint / Institute for Nuclear Research, AS of USSR; КИЯИ-82-12) (Kyiv, 1982) 27 p. (Rus)
13. A.T. Rudchik, Yu.M. Chuvil'skiy. Spectroscopic amplitudes of multinucleon clusters in 1p shell nuclei and analysis of multinucleon transmission reactions. *UFZH* **30**(6) (1985) 819. (Rus)

Надійшла 25.05.2017

Received 25.05.2017