

**В. В. Улещенко^{1,*}, К. Кемпер^{2,3}, Є. І. Кощій⁴, С. М. Лук'янов⁵, О. А. Понкратенко¹,
А. А. Рудчик¹, А. Т. Рудчик¹, К. Русек², Ю. М. Степаненко¹, Ю. О. Ширма¹**

¹ Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна

² Лабораторія важких іонів Варшавського університету, Варшава, Польща

³ Університет штату Флорида, Таллахассі, США

⁴ Циклотронний інститут, Техаський А&М університет, Коледж Стейшин, США

⁵ Лабораторія ядерних реакцій імені Г. М. Фльорова, ОІЯД, Дубна, Росія

*Відповідальний автор: vuleshch@kinr.kiev.ua

ЕНЕРГЕТИЧНА ЗАЛЕЖНІСТЬ ПРУЖНОГО РОЗСІЯННЯ ДЕЙТРОНІВ З ЕНЕРГІЯМИ $E_d = 1 \div 28$ МеВ НА ІЗОТОПАХ БЕРИЛІЮ

Виконано систематичний аналіз пружного розсіяння дейтронів на ізотопах берилію $^{7,9,10,11}\text{Be}$ в діапазоні енергій $E_d = 1 \div 28$ МеВ. Побудовано енергетично залежний потенціал для системи $d + ^9\text{Be}$, що забезпечує якісний опис експериментальних даних з урахуванням характеристик зміни дифракційної картини розсіяння з ростом енергії. За допомогою порівняльного аналізу характеристик диференціальних перерізів розсіяння дейтронів на різних ізотопах продемонстровано загальну регулярну поведінку пружного розсіяння в таких системах з плавною зміною картини розсіяння при зміні енергії зіткнення чи маси мішені. Виявлено відхилення від такої регулярної поведінки в експериментальних результатах розсіяння в системі $d + ^{11}\text{Be}$ при $E_d = 5,6$ МеВ.

Ключові слова: пружне розсіяння, оптична модель, енергетична залежність.

**В. В. Улещенко^{1,*}, К. Кемпер^{2,3}, Е. І. Кощій⁴, С. М. Лукьянов⁵, О. А. Понкратенко¹,
А. А. Рудчик¹, А. Т. Рудчик¹, К. Русек², Ю. М. Степаненко¹, Ю. О. Ширма¹**

¹ Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна

² Лабораторія важких іонів Варшавського університету, Варшава, Польща

³ Університет штату Флорида, Таллахассі, США

⁴ Циклотронний інститут, Техаський А&М університет, Коледж Стейшин, США

⁵ Лабораторія ядерних реакцій імені Г. Н. Фльорова, ОІЯД, Дубна, Росія

*Ответственный автор: vuleshch@kinr.kiev.ua

ЕНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЗАВИСИМОСТЬ УПРУГОГО РАССЕЯНИЯ ДЕЙТРОНОВ С ЭНЕРГИЯМИ $E_d = 1 \div 28$ МэВ НА ИЗОТОПАХ БЕРИЛЛИЯ

Выполнен систематический анализ упругого рассеяния дейтронов на изотопах бериллия $^{7,9,10,11}\text{Be}$ в диапазоне энергий $E_d = 1 \div 28$ МэВ. Получен энергетически зависимый потенциал для системы $d + ^9\text{Be}$, который обеспечивает удовлетворительное описание экспериментальных данных, в том числе корректно передает изменения дифракционной картины рассеяния с ростом энергии. Также продемонстрировано регулярное плавное поведение дифференциальных сечений рассеяния дейтронов при изменении энергии или массы мишени. В одном случае, а именно в экспериментальных результатах упругого рассеяния $d + ^{11}\text{Be}$ при $E_d = 5,6$ МэВ, наблюдается отклонение от такого регулярного поведения.

Ключевые слова: упругое рассеяние, оптическая модель, энергетическая зависимость.

**V. V. Uleshchenko^{1,*}, K. Kemper^{2,3}, E. I. Koshchi⁴, S. M. Lukyanov⁵, O. A. Ponkratenko¹,
A. A. Rudchik¹, A. T. Rudchik¹, Yu. M. Stepanenko¹, Yu. O. Shyrma¹**

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

² Heavy Ion Laboratory, University of Warsaw, Warsaw, Poland

³ Florida State University, Tallahassee, USA

⁴ Cyclotron Institute, Texas A&M University, College Station, USA

⁵ Flerov Laboratory of Nuclear Reaction, JINR, Dubna, Russia

*Corresponding author: vuleshch@kinr.kiev.ua

ENERGY DEPENDENCE OF THE ELASTIC $1 \div 28$ MeV DEUTERON SCATTERING ON BERYLLIUM ISOTOPES

A systematic analysis of the elastic scattering of deuterons by beryllium isotopes $^{7,9,10,11}\text{Be}$ in the energy range $E_d = 1 \div 28$ MeV is performed. The energy-dependent potential for the $d + ^9\text{Be}$ system is built, which provides a good

enough description of the experimental data, considering also changes of the diffractive scattering picture with energy increasing. A regular energy-dependent behavior and a regular target-dependent behavior of the differential cross sections of the deuteron scattering is demonstrated. Deviations from such a regular behavior is only observed in the experimental data for the $d + {}^{11}\text{Be}$ elastic scattering at $E_d = 5.6$ MeV.

Keywords: elastic scattering, optical model, energy dependence.

REFERENCES

1. M. Cavallaro et al. Investigation of the ${}^{10}\text{Li}$ shell inversion by neutron continuum transfer reaction. *Phys. Rev. Lett.* **118** (2017) 012701.
2. J.M. Lohr, W. Haeberli. Elastic scattering of 9 - 13 MeV vector polarized deuterons. *Nucl. Phys. A* **232** (1974) 381.
3. W.W. Daehnick, J.D. Childs, Z. Vrcelj. Global optical model potential for elastic deuteron scattering from 12 to 90 MeV. *Phys. Rev. C* **21** (1980) 2253.
4. Haixia An, Chonghai Cai. Global deuteron optical model potential for the energy range up to 183 MeV. *Phys. Rev. C* **73** (2006) 054605.
5. Yinlu Han, Yuyang Shi, Qingbiao Shen. Deuteron global optical model potential for energies up to 200 MeV. *Phys. Rev. C* **74** (2006) 044615.
6. Y. Zhang, D.Y. Pang, J.L. Lou. Optical model potential for deuteron elastic scattering with 1p-shell nuclei. *Phys. Rev. C* **94** (2016) 014619.
7. J.G. Johansen et al. Study of bound states in ${}^{10}\text{Be}$ by one-neutron removal reactions of ${}^{11}\text{Be}$. *J. Phys. G: Nucl. Part. Phys.* **44** (2017) 044009.
8. A.T. Rudchik et al. Comparison of the ${}^7\text{Li}({}^{18}\text{O}, {}^{17}\text{N}){}^8\text{Be}$ and ${}^{18}\text{O}(d, {}^3\text{He}){}^{17}\text{N}$ reactions. *Phys. Rev. C* **83** (2011) 024606.
9. O.A. Ponkratenko et al. Comparative analysis of the light nuclei diffractive scattering on ${}^{12}\text{C}$. *Acta Physica Polonica B* **49** (2018) 313.
10. F. Machali et al. Elastic scattering of deuterons by ${}^9\text{Be}$ and ${}^{28}\text{Si}$. *Atomkernenergie* **13** (1968) 29.
11. A.S. Deineko et al. Elastic Scattering of Vector-Polarized Deuterons on ${}^9\text{Be}$ for $E(d) = 2.0 - 2.8$ MeV. *Bull. Acad. Sci. USSR, Phys. Ser.* **47** (1983) 179; *Izv. Akad. Nauk SSSR, Ser. Fiz.* **47** (1983) 2271.
12. L.N. Generalov et al. Cross sections for ${}^9\text{Be}(dp_{01})$ and ${}^9\text{Be}(dt_0)$ reactions. *Bull. Rus. Acad. Sci. Phys.* **64** (2001) 352; *Izv. Rus. Akad. Nauk, Ser. Fiz.* **64** (2000) 440.
13. D.L. Powell et al. Deuteron-induced reactions in ${}^6\text{Li}$, ${}^9\text{Be}$ and ${}^{10}\text{B}$ at bombarding energies of 4.5 to 6.0 MeV. *Nucl. Phys. A* **147** (1970) 65.
14. A. Djalois et al. Tensor polarization and differential cross section for the ${}^9\text{Be}(d, d){}^9\text{Be}$ elastic scattering at low energies. *Nucl. Phys. A* **163** (1971) 131.
15. A. Szczurek et al. Mechanism of reactions induced by 7 MeV deuterons on ${}^9\text{Be}[(d, p), (d, d), (d, t), (d, {}^4\text{He})]$. *Z. Phys. A* **333** (1989) 271.
16. W. Fitz et al. Scattering and pick-up reactions with deuterons on Be, B, C, N and O at 11.8 MeV. *Nucl. Phys. A* **101** (1967) 449.
17. A. Strzalkowski. Problems of the statistic scattering of deuterons on atomic nuclei. Angular distributions for elastic scattering of deuterons. *Nukleonika* **8** (1963) 301.
18. V.A. Matusevich et al. Backward Scattering of Deuterons by Light Nuclei. *Yad. Fiz.* **15** (1972) 670, *Sov. J. Nucl. Phys.* **15** (1972) 375.
19. A.N. Vereshchagin et al. Investigation of elastic scattering of 13.6 MeV deuterons on light nuclei. *Bull. Acad. Sci. USSR, Phys. Ser.* **32** (1968) 623; *Izv. Akad. Nauk SSSR, Ser. Fiz.* **32** (1968) 573.
20. D.-C. Nguyen. Elastic and Inelastic Scattering of Deuterons from ${}^9\text{Be}$, ${}^{12}\text{C}$, ${}^{14}\text{N}$ and ${}^{16}\text{O}$. *J. Phys. Soc. Japan* **21** (1966) 2462.
21. S.E. Darden et al. The ${}^9\text{Be}(d, d){}^9\text{Be}$, ${}^9\text{Be}(d, p){}^{10}\text{Be}$, ${}^9\text{Be}(d, t){}^8\text{Be}$ and ${}^9\text{Be}(p, d){}^8\text{Be}$ reactions at 15 MeV. *Nucl. Phys. A* **266** (1976) 29.
22. A.A. Cowley et al. Elastic and inelastic scattering of 15.8 MeV deuterons. *Nucl. Phys.* **86** (1966) 363.
23. R.G. Summers-Gill. Scattering of 12-MeV protons, 24-MeV deuterons, and 48-MeV alpha particles by beryllium. *Phys. Rev.* **109** (1958) 1591.
24. R.G. Slobodrian. Scattering of 27.7 MeV deuterons on beryllium and boron. *Nucl. Phys.* **32** (1962) 684.
25. K.T. Schmitt et al. Reactions of a ${}^{10}\text{Be}$ beam on proton and deuteron targets. *Phys. Rev. C* **88** (2013) 064612.
26. J. Johansen et al. Transfer reactions using a low-energy ${}^{11}\text{Be}$ beam. *AIP Conf. Proc.* **1377** (2011) 368.
27. J. Chen et al. Low-lying states in ${}^{12}\text{Be}$ using one-neutron transfer reaction. *Phys. Rev. C* **98** (2018) 014616.
28. J.J. Das et al. Astrophysical $S_{17}(0)$ factor from a measurement of the ${}^2\text{H}({}^7\text{Be}, {}^8\text{B})n$ reaction at $E_{c.m.} = 4.5$ MeV. *Phys. Rev. C* **73** (2006) 015808.
29. C.F. Powell et al. Study of the $d({}^7\text{Be}, {}^8\text{B})n$ reaction. *AIP Conf. Proc.* **455** (1998) 908.
30. L. Grassi et al. Elastic scattering studies of ${}^{16}\text{C}$ at 50 MeV/A on proton and deuteron targets with CHIMERA multidetector at INFN-LNS. *J. Phys. Conf. Ser.* **381** (2012) 012088.
31. I. J. Thompson. Coupled reaction channels calculations in nuclear physics. *Comput. Phys. Rep.* **7** (1988) 167.

32. O.A. Ponkratenko et al. Analysis of the dependence parametrization of the allocations of heavy ions on light nuclei elastic scattering diffraction maxima from the projectile energy. [Yaderna Fizyka ta Energetyka \(Nucl. Phys. At. Energy\) 16\(3\) \(2015\) 223.](#) (Ukr)
33. J. Cook. Global optical model potentials for the elastic scattering of ${}^6\text{Li}$ projectiles. [Nucl. Phys. A 388 \(1982\) 153.](#)
34. O.A. Ponkratenko et al. Energy dependent optical potential for diffractive ${}^{12}\text{C} + {}^{16}\text{O}$ -scattering in the energy range from 1 up to 100 MeV/nucleon. [NNC RK Bulletin 1\(65\) \(2016\) 93.](#)

Надійшла/Received 11.11.2019