

О. І. Давидовська, В. Ю. Денисов*, В. О. Нестеров

Институт ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна

*Відповідальний автор: denisov@kinr.kiev.ua

**ЯДЕРНО-ЯДЕРНИЙ ПОТЕНЦІАЛ, ПЕРЕРІЗИ ПРУЖНОГО РОЗСІЯННЯ
ТА ПІДБАР'ЄРНОГО ЗЛИТТЯ ДЛЯ СИСТЕМИ $^{40}\text{Ca} + ^{40}\text{Ca}$**

Досліджено ефективний ядерно-ядерний потенціал у рамках методу подвійної згортки, в якому додатково враховано внесок кінетичної енергії нуклонів. Одержано потенціали ядерно-ядерної взаємодії для системи $^{40}\text{Ca} + ^{40}\text{Ca}$ як з урахуванням, так і без урахування внутрішньої кінетичної енергії. Показано, що врахування внеску кінетичної енергії в потенціал дозволяє одночасно описати експериментальні перерізи підбар'єрного злиття та пружного розсіяння.

Ключові слова: ядро, потенціал взаємодії, густина розподілу нуклонів, переріз злиття, кінетична енергія, пружне розсіяння.

О. И. Давидовская, В. Ю. Денисов*, В. А. Нестеров

Институт ядерных исследований НАН Украины, Киев, Украина

*Ответственный автор: denisov@kinr.kiev.ua

**ЯДЕРНО-ЯДЕРНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ, СЕЧЕНИЯ УПРУГОГО РАССЕЯНИЯ
И ПОДБАРЬЕРНОГО СЛИЯНИЯ ДЛЯ СИСТЕМЫ $^{40}\text{Ca} + ^{40}\text{Ca}$**

Исследован эффективный ядерно-ядерный потенциал в рамках метода двойной свертки, в котором дополнительно учитывался вклад кинетической энергии нуклонов. Получены потенциалы ядерно-ядерного взаимодействия системы $^{40}\text{Ca} + ^{40}\text{Ca}$ как с учетом, так и без учета внутренней кинетической энергии. Показано, что учет вклада кинетической энергии в потенциал позволяет одновременно описать экспериментальные сечения подбарьерного слияния и упругого рассеяния.

Ключевые слова: ядро, потенциал взаимодействия, плотность распределения нуклонов, сечение слияния, кинетическая энергия, упругое рассеяние.

O. I. Davydovska, V. Yu. Denisov*, V. O. Nesterov

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

*Corresponding author: denisov@kinr.kiev.ua

**NUCLEUS-NUCLEUS POTENTIAL, THE ELASTIC SCATTERING
AND SUBBARRIER FUSION CROSS SECTIONS FOR THE SYSTEM $^{40}\text{Ca} + ^{40}\text{Ca}$**

Effective nucleus-nucleus potential is studied within the framework of the double folding approach, where the contribution of the kinetic energy of the nucleons is taken into account additionally. The potentials of nucleus-nucleus interaction for the system $^{40}\text{Ca} + ^{40}\text{Ca}$ with and without the internal kinetic energy of the nucleons are obtained. It is shown that the accounting of the contribution of kinetic energy to the potential allows to simultaneously describe the experimental cross sections of the subbarrier fusion and elastic scattering.

Keywords: nucleus, interaction potential, nucleon distribution density, fusion cross-section, kinetic energy, elastic scattering.

REFERENCES

1. R. Bass. *Nuclear Reactions With Heavy Ions* (Berlin: Springer-Verlag, 1980).
2. G.R. Satchler. *Direct Nuclear Reactions* (Oxford University, Oxford, 1983).
3. P. Frobrich, R. Lipperheide. *Theory of Nuclear Reactions* (Oxford: Clarendon Press, 1996).
4. В.Ю. Денисов, В.А. Плюйко. *Проблеми фізики атомного ядра і ядерних реакцій* (К.: Изд.-полиграф. центр «Київський університет», 2013); (V.Yu. Denisov, V.A. Plujko. *Problems of Nuclear Physics and Nuclear Reactions* (Kyiv: Publishing and Printing Center "Kyiv University", 2013)). (Rus)
5. Dao T. Khoa, W. von Oertzen, H.G. Bohlen. Double-folding model for heavy-ion optical potential: revised and applied to study ^{12}C and ^{16}O elastic scattering. *Phys. Rev. C* 49 (1994) 1652.
6. M.E. Brandan, G.R. Satchler. The interaction between light heavy-ions and what it tells us. *Phys. Rep.* 285 (1997)

7. Dao T. Khoa, W. von Oertzen. A nuclear matter study using the density dependent M3Y interaction. *Phys. Lett. B* 304 (1993) 8.
8. V.B. Soubbotin et al. Pauli distorted double folded potential. *Phys. Rev. C* 64 (2001) 014601.
9. A.A. Ogloblin et al. Pronounced Airy structure in elastic $^{16}\text{O} + ^{12}\text{C}$ scattering at $E_{\text{lab}} = 132$ MeV. *Phys. Rev. C* 57 (1998) 1797.
10. A. Ogloblin et al. New measurement of the refractive, elastic $^{16}\text{O} + ^{12}\text{C}$ scattering at 132, 170, 200, 230, and 260 MeV incident energies. *Phys. Rev. C* 62 (2000) 044601.
11. Dao T. Khoa et al. Study of diffractive and refractive structure in the elastic $^{16}\text{O} + ^{16}\text{O}$ scattering at incident energies ranging from 124 to 1120 MeV. *Nucl. Phys. A* 672 (2000) 387.
12. T. Khoa Dao et al. Nuclear rainbow scattering and nucleus-nucleus potential. *J. Phys. G* 34 (2007) R111.
13. V.Yu. Denisov, V.A. Nesterov. Potential of interaction between nuclei and nucleon-density distribution in nuclei. *Phys. Atom. Nucl.* 69 (2006) 1472.
14. K.A. Brueckner, J.R. Buchler, M.M. Kelly. New Theoretical Approach to Nuclear Heavy-Ion Scattering. *Phys. Rev. C* 173 (1969) 944.
15. J. Blocki et al. Proximity forces. *Ann. Phys. (N.Y.)* 105 (1977) 427.
16. V.Yu. Denisov. Interaction potential between heavy ions. *Phys. Lett. B* 526 (2002) 315.
17. V.Yu. Denisov, W. Norenberg, Entrance channel potentials in the synthesis of the heaviest nuclei. *Eur. Phys. J. A* 15 (2002) 375.
18. V.Yu. Denisov. Nucleus-nucleus potential with shell-correction contribution. *Phys. Rev. C* 91 (2015) 024603.
19. V.Yu. Denisov, V.A. Nesterov. Effect of the Pauli exclusion principle on the potential of nucleus-nucleus interaction. *Phys. At. Nucl.* 73 (2010) 1142.
20. V.A. Nesterov. Effect of the Pauli exclusion principle and the polarization of nuclei on the potential of their interaction for the example of the $^{16}\text{O} + ^{16}\text{O}$ system. *Phys. At. Nucl.* 76 (2013) 577; V.O. Nesterov. Influence of the Pauli exclusion principle and the polarization of nuclei on the nuclear part of the interaction potential in the $^{40}\text{Ca} + ^{40}\text{Ca}$ system. *Nucl. Phys. A* 974 (2018) 124.
21. S. Misicu, H. Esbensen. Signature of shallow potentials in deep sub-barrier fusion reactions. *Phys. Rev. C* 75 (2007) 034606.
22. T. Izumoto, S. Krewald, A. Faessler. Nuclear Matter Approach to the Heavy-Ion Optical Potential. *Nucl. Phys. A* 341 (1980) 319.
23. S. Hossain et al. Shallow folding potential for $^{16}\text{O} + ^{12}\text{C}$ elastic scattering. *Phys. Lett. B* 636 (2006) 248.
24. V.Yu. Denisov, O.I. Davidovskaya. Elastic scattering of heavy nuclei and nucleus-nucleus potential with repulsive core. *Phys. At. Nucl.* 73 (2010) 404.
25. В.Ю. Денисов, О.І. Давидовська. Пружне розсіяння $^{16}\text{O} + ^{16}\text{O}$ і ядерно-ядерний потенціал із відштовхувальним кором. *УФЖ* 54(7) (2009) 669; (V.Yu. Denisov, O.I. Davidovskaya. Elastic scattering of $^{16}\text{O} + ^{16}\text{O}$ and nucleus-nucleus potential with repulsive core. *Ukr. J. Phys.* 54(7) (2009) 669). (Ukr)
26. V.Yu. Denisov, O.I. Davidovskaya, V.O. Nesterov. Nucleus-nucleus potential with repulsive core and elastic scattering. Part 1. Nucleus-nucleus interaction potential. *Nucl. Phys. At. Energy* 11(1) (2010) 25.
27. V.Yu. Denisov, O.I. Davidovskaya, V.O. Nesterov. Nucleus-nucleus potential with repulsive core and elastic scattering. Part 2. The elastic scattering cross sections with and without core. *Nucl. Phys. At. Energy* 11(1) (2010) 33.
28. V.Yu. Denisov, O.I. Davidovskaya. Elastic scattering of heavy ions and nucleus-nucleus potential with a repulsive core. *Bull. Russ. Acad. Sci.: Physics* 74 (2010) 572.
29. V.Yu. Denisov, O.I. Davidovskaya. Elastic $^{16}\text{O} + ^{16}\text{O}$ scattering and nucleus-nucleus potential with repulsive core. *Ukr. J. Phys.* 55 (2010) 861.
30. O.I. Davidovskaya, V.Yu. Denisov, V.A. Nesterov. Effective nucleus-nucleus potential with the contribution of the kinetic energy of nucleons, and the cross-sections of elastic scattering and subbarrier fusion. *Ukr. J. Phys.* 62 (2017) 473.
31. M. Brack, C. Guet, H.B. Hakanson. Selfconsistent semiclassical description of average nuclear properties – a link between microscopic and macroscopic models. *Phys. Rep.* 123 (1985) 275.
32. M. Brack, R. K. Bhaduri. *Semiclassical Physics* (Addison-Wesley, 1997).
33. V.Yu. Denisov, V.A. Nesterov. Binding energies of nuclei and their density distributions in a nonlocal extended Thomas - Fermi approximation. *Phys. At. Nucl.* 65 (2002) 814.
34. T.H.R. Skyrme. The effective nuclear potential. *Nucl. Phys.* 9 (1959) 615.
35. O.B. Firsov. Interaction energy of atoms for small nuclear separations. *JETP* 5 (1957) 1192.
36. И.Г. Каплан. *Введение в теорию межмолекулярных взаимодействий* (Москва: Наука, 1982); (I.G. Kaplan. *Introduction to the Theory of Intermolecular Interactions* (Moskva: Nauka, 1982)). (Rus)
37. P. Ring, P. Schuck. *The Nuclear Many-Body Problem* (New York: Springer-Verlag, 1980).
38. J. Bartel et al. Towards a better parametrisation of Skyrme-like effective forces: a critical study of the SkM force. *Nucl. Phys. A* 386 (1982) 79.
39. K. Hagino, N. Rowley, A.T. Kruppa. A program for coupled-channel calculations with all order couplings for heavy-ion fusion reactions. *Comput. Phys. Commun.* 123 (1999) 143.

40. B. Pritychenko et al. Tables of E2 transition probabilities from the first 2+ states in even-even nuclei. [At. Data Nucl. Data Tabl. 107 \(2016\) 1](#).
41. T. Kibedi, R.H. Spear. Reduced electric-octupole transition probabilities, B(E3; 0 → 3)-an update. [At. Data Nucl. Data Tabl. 80 \(2002\) 35](#).
42. G. Montagnoli et al. Fusion of $^{40}\text{Ca} + ^{40}\text{Ca}$ and other Ca + Ca systems near and below the barrier. [Phys. Rev. C 85 \(2012\) 024607](#).
43. H. Doubre et al. Elastic scattering of ^{40}Ca by ^{40}Ca . [Phys. Rev. C 15 \(1977\) 693](#).

Надійшла 22.06.2018

Received 22.06.2018