

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

*Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна*

\*Відповідальний автор: v.nest.v@gmail.com

**ПЕРЕРІЗИ ПРУЖНОГО РОЗСІЯННЯ РЕАКЦІЙ  $^{16,18}\text{O} + ^{120}\text{Sn}$ ,  
ОДЕРЖАНІ НА ОСНОВІ ПОТЕНЦІАЛУ МОДИФІКОВАНОГО  
МЕТОДУ ТОМАСА - ФЕРМІ З УРАХУВАННЯМ КОРА**

У рамках модифікованого методу Томаса - Фермі було розраховано густини розподілу нуклонів та потенціали ядерно-ядерної взаємодії для реакцій  $^{16,18}\text{O} + ^{120}\text{Sn}$ . При розрахунках враховано всі доданки з точністю до членів другого порядку по  $\hbar$  у квазікласичному розкладі кінетичної енергії. В якості нуклон-нуклонної взаємодії використовувалися сили Скірма, залежні від густини нуклонів. Використовуючи знайдені потенціали, розраховано перерізи пружного розсіяння, які добре описують відповідні експериментальні дані.

*Ключові слова:* модифікований метод Томаса - Фермі, ядерно-ядерний потенціал, переріз пружного розсіяння, кор відштовхування.

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

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

\*Corresponding author: v.nest.v@gmail.com

**ELASTIC SCATTERING CROSS-SECTIONS OF  $^{16,18}\text{O} + ^{120}\text{Sn}$  REACTIONS  
BASED ON THE POTENTIAL OF THE MODIFIED THOMAS - FERMI METHOD  
WITH CONSIDERATION OF THE CORE**

Nucleon density distributions and nucleus-nucleus interaction potentials for the reactions  $^{16,18}\text{O} + ^{120}\text{Sn}$  were obtained within the framework of the modified Thomas - Fermi method. In the calculations, all terms up to the second order in  $\hbar$  in the quasi-classical distribution of kinetic energy were taken into account. Density-dependent Skyrme forces were used as nucleon-nucleon interaction. Using the found potentials, cross-sections of elastic scattering were calculated, which well describe the corresponding experimental data.

*Keywords:* modified Thomas - Fermi method, nuclear-nuclear potential, elastic scattering cross-section, repulsion core.

**СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ / REFERENCES**

1. R. Bass. *Nuclear Reactions with Heavy Ions* (Berlin, Heidelberg, Springer-Verlag, 1980) 410 p.
2. G.R. Satchler. *Direct Nuclear Reactions* (Oxford, Clarendon Press, 1983) 833 p.
3. P. Fröbrich, 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) 432 с. / V.Yu. Denisov, V.A. Plujko. *Problems of Nuclear Physics and Nuclear Reactions* (Kyiv: Publishing and Printing Center "Kyiv University", 2013) 432 p. (Rus)
5. J. Blocki et al. Proximity forces. *Ann. Phys.* 105 (1977) 427.
6. W.D. Myers, W.J. Świątecki. Nucleus-nucleus proximity potential and superheavy nuclei. *Phys. Rev. C* 62 (2000) 044610.
7. V.Yu. Denisov, V.A. Nesterov. Potential of interaction between nuclei and nucleon-density distribution in nuclei. *Phys. At. Nucl.* 69 (2006) 1472.
8. V.Yu. Denisov. Interaction potential between heavy ions. *Phys. Lett. B* 526 (2002) 315.
9. H.J. Krappe, J.R. Nix, A.J. Sierk. Unified nuclear potential for heavy-ion elastic scattering, fusion, fission, and ground-state masses and deformations. *Phys. Rev. C* 20 (1979) 992.
10. V.Yu. Denisov, W. Nörenberg. Entrance channel potentials in the synthesis of the heaviest nuclei. *Eur. Phys. J. A* 15 (2002) 375.
11. V.Yu. Denisov. Nucleus-nucleus potential with shell correction contribution. *Phys. Rev. C* 91 (2015) 024603.
12. A. Winther. Dissipation, polarization and fluctuation in grazing heavy-ion collisions and the boundary to the chaotic regime. *Nucl. Phys. A* 594 (1995) 203.
13. V.Yu. Denisov, O.I. Davidovskaya. Elastic scattering of heavy nuclei and nucleus-nucleus potential with repulsive core. *Phys. At. Nucl.* 73 (2010) 404.
14. V.Yu. Denisov, O.I. Davidovskaya. Repulsive core potential and elastic heavy-ion collisions. *Ukr. J. Phys.* 54(7) (2009) 669.
15. K.A. Brueckner, J.R. Buchler, M.M. Kelly. New theoretical approach to nuclear heavy-ion scattering. *Phys. Rev.* 173 (1968) 944.

16. J. Fleckner, U. Mosel. Antisymmetrization effects in heavy ion potentials. *Nucl. Phys. A* 277 (1977) 170.
17. О.І. Давидовська, В.Ю. Денисов, В.О. Нестеров. Ядерно-ядерний потенціал із відштовхувальним кором і пружне розсіяння. Частина 1. Потенціал ядерно-ядерної взаємодії. *Ядерна фізика та енергетика* 11(1) (2010) 25. / O.I. Davidovskaya, V.Yu. Denisov, 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. (Ukr); О.І. Давидовська, В.Ю. Денисов, В.О. Нестеров. Ядерно-ядерний потенціал із відштовхувальним кором і пружне розсіяння. Частина 2. Перерізи пружного розсіяння з урахуванням і без урахування кора. *Ядерна фізика та енергетика* 11(1) (2010) 33. / O.I. Davidovskaya, V.Yu. Denisov, V.A. 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. (Ukr).
18. В.Ю. Денисов, О.І. Давидовская. Упругое рассеяние тяжелых ионов и ядерно-ядерный потенциал с отталкивающим кором. *Изв. РАН Сер. Физ.* 74(4) (2010) 611. / V.Yu. Denisov, O.I. Davidovskaya. Elastic scattering of heavy ions and the nucleus-nucleus potential with a repulsive core. *Bull. Rus. Ac. Sci.: Phys.* 74(4) (2010) 572. (Rus)
19. 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.
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.
21. 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.
22. O.I. Davidovskaya, V.Yu. Denisov. Elastic  $^{16}\text{O} + ^{16}\text{O}$  scattering and nucleus-nucleus potential with a repulsive core. *Ukr. J. Phys.* 55 (2010) 861.
23. О.І. Давидовська, В.Ю. Денисов, В.О. Нестеров. Ядерно-ядерний потенціал, перерізи пружного розсіяння та підбар'єрного злиття для системи  $^{40}\text{Ca} + ^{40}\text{Ca}$ . *Ядерна фізика та енергетика* 19 (2018) 203. / O.I. Davidovskaya, V.Yu. Denisov, V.O. Nesterov. Nucleus-nucleus potential, the elastic scattering and subbarrier fusion cross sections for the system  $^{40}\text{Ca} + ^{40}\text{Ca}$ . *Nucl. Phys. At. Energy* 19 (2018) 203. (Ukr)
24. O.I. Davidovskaya, V.Yu. Denisov, V.A. Nesterov. Comparison of the nucleus-nucleus potential evaluated in the double-folding and energy density approximations and the cross-sections of elastic scattering and fusion of heavy ions. *Nucl. Phys. A* 989 (2019) 214.
25. В.О. Нестеров, О.І. Давидовська, В.Ю. Денисов. Розрахунки перерізів підбар'єрного злиття та пружного розсіяння важких іонів за допомогою модифікованого підходу Томаса - Фермі із силами Скірма. *Ядерна фізика та енергетика* 20 (2019) 349. / V.O. Nesterov, O.I. Davidovskaya, V.Yu. Denisov. Calculation of the cross-sections of sub-barrier fusion and elastic scattering of heavy ions using the modified Thomas - Fermi approach with the Skyrme force. *Nucl. Phys. At. Energy* 20 (2019) 349. (Ukr)
26. P. Ring, P. Schuck. *The Nuclear Many-Body Problem* (Berlin, Heidelberg, Springer-Verlag, 1980) 718 p.
27. M. Brack, C. Guet, H.-B. Håkanson. Selfconsistent semiclassical description of average nuclear properties – a link between microscopic and macroscopic models. *Phys. Rep.* 123 (1985) 275.
28. M. Brack, R.K. Bhaduri. *Semiclassical Physics* (Boston, Addison-Wesley, 1997) 444 p.
29. V.M. Strutinsky, A.G. Magner, V.Yu. Denisov. Density distributions in nuclei. *Z. Phys. A* 322 (1985) 149.
30. J. Dobaczewski, W. Nazarewicz, P.-G. Reinhard. Pairing interaction and self-consistent densities in neutron-rich nuclei. *Nucl. Phys. A* 693 (2001) 361.
31. D. Vautherin, D.M. Brink. Hartree-Fock calculations with Skyrme's interaction. I. Spherical nuclei. *Phys. Rev. C* 5 (1972) 626.
32. 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.
33. S.A. Fayans et al. Nuclear isotope shifts within the local energy-density functional approach. *Nucl. Phys. A* 676 (2000) 49.
34. J.W. Negele. The mean-field theory of nuclear structure and dynamics. *Rev. Mod. Phys.* 54 (1982) 913.
35. T.H.R. Skyrme. The effective nuclear potential. *Nucl. Phys.* 9 (1958-1959) 615.
36. H. Feshbach. The optical model and its justification. *Ann. Rev. Nucl. Sci.* 8 (1958) 49.
37. V.A. Nesterov, O.I. Davidovskaya, V.Yu. Denisov. Elastic scattering cross-sections obtained on the basis of the potential of the modified Thomas-Fermi method and taking the core into account. *Ukr. J. Phys.* 67 (2022) 645.
38. O.I. Davidovskaya, V.A. Nesterov, V.Yu. Denisov. The nucleus-nucleus potential within the extended Thomas-Fermi method and the cross-sections of subbarrier fusion and elastic scattering for the systems  $^{16}\text{O} + ^{58,60,62,64}\text{Ni}$ . *Nucl. Phys. A* 1002 (2020) 121994.
39. B.C. Robertson et al. Elastic scattering of  $^{16,18}\text{O}$  by  $^{116,120}\text{Sn}$  at energies near the Coulomb barrier. *Phys. Rev. C* 4 (1971) 2176.
40. H.G. Bohlen et al. The ( $^{18}\text{O}$ ,  $^{16}\text{O}$ ) reaction on even tin isotopes. *Z. Phys. A* 273 (1975) 211.
41. K.E. Rehm et al. Inelastic scattering of heavy ions. *Phys. Rev. C* 12 (1975) 1945.