

**I. М. Каденко¹, В. А. Плюйко¹, Б. М. Бондар^{1,2},
О. М. Горбаченко¹, Б. Ю. Лещенко^{1,3}, К. М. Солодовник¹**

¹ Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ

² Всеукраїнський центр радіохірургії клінічної лікарні «Феофанія», Київ

³ Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Київ

МИТТЄВІ ГАММА-КВАНТИ ПРИ ПОГЛИНАННІ ШВИДКИХ НЕЙТРОНІВ ЯДРАМИ ^{nat}Ni

Проведено вимірювання спектрів миттєвих гамма-квантів при взаємодії нейтронів 14 MeV з ядрами ^{nat}Ni з використанням часопролітної методики. З амплітудного спектра відновлено диференціальні перерізи (n, γ) реакцій з оцінкою похибок. Експериментальні результати було порівняно з теоретичними розрахунками, виконаними в кодах Empire 3.2 та Talys 1.6. Досліджено чутливість обчислених величин перерізів до характеристик збуджених ядерних станів.

Ключові слова: реакції з нейтронами, часопролітна методика, гамма-спектр, статистична теорія Хаузера - Фешбаха, радіаційна силова функція, густина ядерних рівнів.

**И. Н. Каденко¹, В. А. Плюйко¹, Б. М. Бондар^{1,2},
А. Н. Горбаченко¹, Б. Е. Лещенко^{1,3}, Е. Н. Солодовник¹**

¹ Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Киев

² Всеукраинский центр радиохирургии клинической больницы «Феофанія», Киев

³ Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», Киев

МГНОВЕННЫЕ ГАММА-КВАНТЫ ПРИ ПОГЛОЩЕНИИ БЫСТРЫХ НЕЙТРОНОВ ЯДРАМИ ^{nat}Ni

Измерены спектры мгновенных гамма-квантов при взаимодействии 14 МэВ нейтронов с ядрами ^{nat}Ni с использованием времяпролетной методики. Из амплитудного спектра восстановлены дифференциальные сечения (n, γ) реакций и их погрешности. Экспериментальные результаты сравниваются с соответствующими теоретическими расчетами, выполненными с использованием кодов EMPIRE 3.2 и TALYS 1.6. Исследована чувствительность вычисленных спектров гамма-квантов к характеристикам возбужденных ядерных состояний.

Ключевые слова: реакции с нейтронами, времяпролетная методика, гамма-спектр, статистическая теория Хаузера - Фешбаха, радиационная силовая функция, плотность ядерных уровней.

**I. M. Kadenko¹, V. A. Plujko¹, B. M. Bondar^{1,2},
O. M. Gorbachenko¹, B. Yu. Leshchenko^{1,3}, K. M. Solodovnyk¹**

¹ Nuclear Physics Department, Taras Shevchenko National University, Kyiv

² All-Ukrainian Center for Radiosurgery of the Clinical Hospital "Feofania", Kyiv

³ National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv

PROMPT GAMMA-RAYS FROM FAST NEUTRON CAPTURE IN ^{nat}Ni

The yield of prompt γ -rays produced by interaction of 14 MeV neutrons with ^{nat}Ni was measured using the time-of-flight technique. A differential cross section from (n, γ) reactions was unfolded from amplitude spectrum. Experimental results were compared with theoretical calculations performed using EMPIRE 3.2 and TALYS 1.6 codes. The effect of average characteristics of nuclear excited states on calculated gamma ray spectrum was studied.

Keywords: fast neutrons, time-of-flight method, gamma-ray spectrum, Hauser - Feshbach model, photon strength function, nuclear level density

REFERENCES

1. Forrest R.A. Nuclear data for fusion applications // Proc. Int. Conference on Nuclear Data for Science and Technology (ND2007), May 22-27, 2007. - Nice, France, 2007. - P. 11 - 16.
2. Prokopets G.O., Leshchenko B.Yu., Onishchuk Yu.M., Basenko V.K. Differential cross sections of prompt γ -rays in reactions produced by 14 MeV neutrons // Bulletin of the Kiev University. Physical and mathematical Science. - 1997. - Vol. 3. - P. 423 - 434. (Ukr)
3. Onishchuk Yu.M., Leshchenko B.Yu. Problems with the processing of hardware gamma spectra of inelastic interaction of 14 MeV neutrons with nuclei // Zbirnyk naukovykh prats In-tu yadernykh doslidzhen. - 1999. - P. 127 - 129. (Ukr)
4. Onishchuk Yu.M., Leshchenko B.Yu. Methods of recovery from hardware gamma spectra cross section of

- gamma rays in a wide energy range by the interaction of 14.1 MeV neutrons with atomic nuclei // Materials of scientific-theoretical conference in honour of 165-th anniversary of the Kyiv National University (Natural Sciences). - Kyiv, Kyiv University, 1999. - P. 47 - 52 (Ukr)
5. Bondar V.M., Kadenko I.M., Leshchenko B.Yu. et al. Cross section of γ -rays irradiation in reactions of neutron absorption by iron // *Yaderna fizyka ta atomna enerhyetka* (Nucl. Phys. At. Energy). - 2008. - Vol. 1(23). - P. 16 - 23. (Ukr)
 6. Bondar V.M., Kadenko I.N., Leshchenko B.E. et al. Cross section of prompt gamma-ray production by fast neutrons on iron and bismuth nuclei // *Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics*. - 2009. - Vol. 73(11). - P. 1511 - 1514. (Rus)
 7. Bondar V.M., Gorbachenko O.M., Kadenko I.M. et al. Spectra of gamma-rays in (n, γ) reactions on ferrum and bismuth nuclei // *Yaderna fizyka ta atomna enerhyetka* (Nucl. Phys. At. Energy). - 2010. - Vol. 11(3). - P. 246 - 251.
 8. Bondar B.M., Bondar V.M., Gorbachenko O.M. et al. Cross sections of prompt γ -ray production induced by interactions of fast neutrons with cadmium // *Yaderna fizyka ta atomna enerhyetka* (Nucl. Phys. At. Energy). - 2011. - Vol. 12(2). - P. 129 - 136 (Ukr)
 9. Gurevich G.M., Mazur V.M., Solodukhov G.V. Apparatus function of scintillation γ -spectrometer based on large NaI(Tl) detector // *Instruments and Experimental Techniques*. - 1975. - Vol. 2. - P. 59 - 62. (Rus)
 10. Gardner R.P., Carnesale A. Conway J.T. The solid angle subtended at a point by a circular disk // *Nuclear instruments and methods*. - 1969. - Vol. 73. - P. 228 - 230.
 11. Van Patter D.M., Nath N., Shafroth S.M. et al. Gamma Rays from Inelastic Neutron Scattering in Chromium // *Phys. Rev.* - 1962. - Vol. 128 - P. 1248 - 1267.
 12. Berger M.J., Hubbell J.H., Seltzer S.M. et al. XCOM: Photon Cross Section Database (version 3.1) // <http://physics.nist.gov/xcom> - Gaithersburg, National Institute of Standards and Technology, 2010.
 13. Conway J.T. Geometric efficiency for a circular detector and a ring source of arbitrary orientation and position // *Nuclear instruments and methods in physics research*. - 2011. - Vol. A640. - P. 99 - 109.
 14. Jovanovic S., Dlabac A., Mihaljevic N. ANGLE v2.1 - New version of the computer code for semiconductor detector gamma-efficiency calculations // *Nuclear instruments and methods in physics research*. - 2010. - Vol. A622. - P. 385 - 391.
 15. Heath R.L. Scintillation Spectrometry: Gamma-ray Spectrum Catalogue / Revised edition of IDO - 16880-1, Original issued: August 1964, Rev. Electronic report update: February 1997. - Vol. 1.
 16. Tikhonov A.N., Goncharov A.V., Stepanov V.V. et al. Numerical methods for the solution of ill-posed problems. - Moscow, 1995. - 253 p.
 17. Drake D.M., Arthur E.D., Silbert M.G. Cross section for gamma-ray production by 14-MeV neutrons// *Nuclear Science and Engineering*. - 1978. - Vol. 65. - P. 49 - 64. EXFOR subentry #10684010.
 18. Prud'homme J.T., Morgan I.L., McCrary J.H. et al. A study of neutrons and gamma rays from neutron induced reactions in several elements // Rept: Air Force Spec. Weap. Center, Kirtland A.F.B.Reports. - 1960 - No. 60 - P. 30. EXFOR subentry #11183010.
 19. Shin K., Hasegawa T., Hyodo T. (n, γ) and (n, xn) cross sections of molybdenum, titanium and nickel for 15-MeV neutrons // *Jour. Nuclear Science and Technology*. - 1980. - Vol. 17, Iss. 7. - P. 531 - 538. EXFOR subentry #21727004.
 20. Nefedov Yu.Ya., Nagornyj V.I., Semenov V.I. et al. Gamma-ray production cross-section and spectrum measurement results for inelastic interaction of 14 MeV neutrons with nuclei of Na, S, Cl, Ti, V, Cr, Ni, Zn, Ge, Nb, Cd, In, Sn, Bi, ^{235}U and ^{238}U // *Problems of Atomic Science and Technology. Series: Nuclear Constants*. - 2000 - Iss. 1. - P. 7. (Rus). EXFOR subentry #41379008.
 21. Herman M., Capote R., Carlson B.V. et al. EMPIRE: Nuclear Reaction Model Code System for Data Evaluation // *Nuclear Data Sheets*. - 2007. - Vol. 108. - P. 2655 - 2715; <http://www.nndc.bnl.gov/empire/>
 22. Koning A.J., Hilaire S., Duijvestijn M. C. TALYS-1.0 // *Proc. of the Intern. Conf. on Nuclear Data for Science and Technology, ND2007, April 22 - 27, 2007, Nice, France*. - 2007. - P. 211 - 214; <http://www.talys.eu/>.
 23. Koning A.J., Delaroche J.P. Local and global nucleon optical models from 1 keV to 200 MeV // *Nucl. Phys.* - 2003. - Vol. A713. - P. 231 - 310.
 24. Capote R., Herman M., Oblozinsky P. et al. Parameters for calculation of nuclear reactions of relevance for energy and non-energy nuclear applications // *Nuclear Data Sheets* - 2009 - Vol. 110 - P. 3107 - 3214; <http://www-nds.iaea.org/RIPL-3/>.
 25. Plujko V.A., Capote R., Gorbachenko O.M. Giant Dipole Resonance parameters with uncertainties from photonuclear cross sections // *Atomic Data and Nuclear Data Tables*. - 2011. - Vol. 97. - P. 567 - 589.
 26. Plujko V.A., Gorbachenko O.M., Rovenskykh E.P., Zheltonozhskii V.A. Average description of dipole gamma transitions in hot atomic nuclei // *Nuclear Data Sheets*. - 2014. - Vol. 118. - P. 237 - 239.
 27. Plujko V.A., Gorbachenko O.M., Bondar B.M., Rovenskykh E.P. Nuclear level density within extended superfluid model with collective state enhancement // *Nuclear Data Sheets*. - 2014. - Vol. 118. - P. 240 - 242.