

Д. Канбула^{1*}, Б. Канбула²

¹ Факультет технологій альтернативних енергетичних ресурсів,
Університет Маніси Челал Баяр, Маніса, Туреччина

² Факультет комп'ютерної інженерії, Університет Маніси Челал Баяр, Маніса, Туреччина

*Відповідальний автор: deniz.canbula@cbu.edu.tr

РОЗРАХУНКИ ПОПЕРЕЧНИХ ПЕРЕРІЗІВ РЕАКЦІЙ ФОТОПОДІЛУ ДЛЯ ІЗОТОПІВ ^{238,239,240,241,242,244}Pu З ВИКОРИСТАННЯМ ГУСТИНИ ЯДЕРНИХ РІВНІВ

Поперечні перерізи фотоподілу ізоотопів ^{238,239,240,241,242,244}Pu теоретично розраховано за допомогою колективної напівкласичної моделі газу Фермі (CSCFGM) за допомогою комп'ютерного коду Talys у діапазоні енергій 1 - 30 МеВ. Густина ядерних рівнів має важливе значення для визначення структурних властивостей ядер. CSCFGM – це модель густини ядерних рівнів, що включає колективні (обертальні та вібраційні) ефекти, а також ефекти спарювання та оболонки, і використовується для аналізу реакцій (γ, f) ізоотопів плутонію. Експериментальні дані для всіх реакцій узяті з бібліотеки EXFOR. Теоретичні розрахунки узгоджуються з експериментальними даними, результатами за кодом Talys без зміни вхідних даних і оціненими даними ядерних поперечних перерізів із бібліотеки TENDL 2021.

Ключові слова: реакція фотоподілу, Talys, густина ядерних рівнів, ізоотопи плутонію.

D. Canbula^{1*}, B. Canbula²

¹ Department of Alternative Energy Resources Technology, Manisa Celal Bayar University, Manisa, Turkey

² Department of Computer Engineering, Manisa Celal Bayar University, Manisa, Turkey

*Corresponding author: deniz.canbula@cbu.edu.tr

CROSS-SECTION CALCULATIONS OF PHOTOFISSION REACTIONS FOR ^{238,239,240,241,242,244}Pu ISOTOPES USING NUCLEAR LEVEL DENSITY

Photofission cross-sections of ^{238,239,240,241,242,244}Pu isotopes are theoretically investigated with the collective semi-classical Fermi gas model (CSCFGM) by using Talys computer code in the energy range 1 - 30 MeV. Nuclear level density has significant importance to define the structural properties of nuclei. CSCFGM is a nuclear level density model, that includes collective (rotational and vibrational) effects as well as the pairing and shell effects, and is used to analyse the (γ, f) reactions of plutonium isotopes. The experimental data for all reactions are taken from EXFOR library. The theoretical predictions are in agreement with the experimental data, Talys code without changing the input, and the evaluated nuclear cross-section data from TENDL 2021 library.

Keywords: photofission reaction, Talys, nuclear level density, plutonium isotopes.

REFERENCES

1. Handbook on Photonuclear Data for Applications Cross Sections and Spectra. Final Report of a Co-ordinated Research Project 1996 - 1999. IAEA-TECDOC-1178 (Vienna: IAEA, 2000) 284 p.
2. B. Canbula. Collective effects in deuteron induced reactions of aluminum. *Nucl. Inst. Meth. B* 391 (2017) 73.
3. D. Canbula. Cross section analysis of proton-induced nuclear reactions of thorium. *Nucl. Inst. Meth. B* 478 (2020) 229.
4. D.L. Clark et al. Plutonium. In: *The Chemistry of the Actinide and Transactinide Elements*. L.R. Morss, N.M. Edelstein, J. Fuger (Eds). Ch. 7 (Netherlands: Springer, 2016) p. 813.
5. V.S. Mallela, V. Ilankumaran, N.S. Rao. Trends in cardiac pacemaker batteries. *Indian Pacing Electrophysiol. J.* 4(4) (2004) 201.
6. S.P. Kapitza et al. Photofission of even-even nuclei and structure of the fission barrier. *JETP Lett. (USSR) (Eng. transl.)* 9 (1969) 73.
7. A. Shapiro, W.F. Stubbins. Photofission cross section of plutonium-238 and plutonium-239. *Nucl. Sci. Eng.* 45(1) (1971) 47.
8. A.S. Soldatov. Photofission cross-section of plutonium-238, plutonium-240 and plutonium-242 in the energy region from 5 to 10 MeV. In: *Progress report. January 1997 - December 1998*. B. Kuzminov (Ed.) INDC(CCP)-420 (Russian Federation, Obninsk, 1998) p. 31.
9. A.S. Soldatov et al. Photofission of ²³⁸Pu, ²⁴⁰Pu, and ²⁴²Pu in the energy range 5 - 10 MeV. *Phys. At. Nucl.* 63 (2000) 31.
10. L. Katz, A.P. Baerg, F. Brown. Photofission in heavy elements. A/CONF. 15/P/200. (Chalk River, Ontario, Atomic Energy of Canada Ltd., 1958).

11. V.E. Zhuchko et al. Investigation of probability of Th, U, Np, Pu, Am isotope fission near threshold by bremsstrahlung gamma quanta. *Yadernaya Fizika (USSR)* 28(5) (1978) 602.
12. Yu.B. Ostapenko et al. Yields and Cross Sections of Photofission for Isotopes Th, U, Np, and Am in Energy Range from 4.5 MeV to 7.0 MeV. *Voprosy Atomnoy Nauki i Tekhniki. Seriya Yadernye Konstanty* 3 (1978) 3.
13. B.L. Berman et al. Photofission and photoneutron cross sections and photofission neutron multiplicities for ^{233}U , ^{234}U , ^{237}Np , and ^{239}Pu . *Phys. Rev. C* 34(6) (1986) 2201.
14. M. Antonio, P.V. De Moraes. M.F. Cesar. Photofission cross sections of ^{233}U and ^{239}Pu near threshold induced by gamma rays from thermal neutron capture. *Nucl. Inst. Meth. A* 277 (1989) 467.
15. A.S. Soldatov, G.N. Smirenkin. Results of relative measuring of photofission yields and cross sections for nuclei $^{233,235}\text{U}$, ^{237}Np , $^{239,241}\text{Pu}$ and ^{241}Am in the energy region 5 - 11 MeV. *Yadernaya Fizika (USSR)* 55 (1992) 3153.
16. A.S. Soldatov, G.N. Smirenkin. Yield and cross section for fission of odd nuclei by γ rays with energies up to 11 MeV. *Phys. At. Nucl.* 55 (1992) 1757.
17. M. Antonio, P.V. De Moraes. M.F. Cesar. Photonuclear cross sections of Pu-239 using neutron capture gamma rays, near threshold. *Physica Scripta* 47(4) (1993) 519.
18. H. Thierens et al. Kinetic energy and fragment mass distributions for $^{240}\text{Pu}(\text{s.f.})$, $^{239}\text{Pu}(\text{n}_{\text{th}}, f)$, and $^{240}\text{Pu}(\gamma, f)$. *Phys. Rev. C* 23(5) (1981) 2104.
19. H. Thierens et al. Fragment mass and kinetic energy distributions for $^{242}\text{Pu}(\text{sf})$, $^{241}\text{Pu}(\text{n}_{\text{th}}, f)$, and $^{242}\text{Pu}(\gamma, f)$. *Phys. Rev. C* 29(2) (1984) 498.
20. M. Wallenius, K. Mayer. Age determination of plutonium material in nuclear forensics by thermal ionisation mass spectrometry. *Fresenius J. Anal. Chem.* 366(3) (2000) 234.
21. S.R. Winkler et al. Anthropogenic ^{244}Pu in the environment. *New Astronomy Reviews* 48(1-4) (2004) 151.
22. H. Thierens et al. Kinetic energy and fragment mass distributions for the spontaneous and photon-induced fission of ^{244}Pu . *Phys. Rev. C* 27(3) (1983) 1117.
23. A.J. Koning, S. Hilaire, M.C. Duijvestijn. TALYS-1.0. In: *Int. Conf. on Nucl. Data for Sci. and Techn., Nice, France, April 22 - 27, 2007 (EDP Sciences, 2007)* p. 211.
24. H.A. Bethe. Nuclear physics B. Nuclear dynamics, theoretical. *Rev. Mod. Phys.* 9 (1937) 69.
25. P. Demetriou, S. Goriely. Microscopic nuclear level densities for practical applications. *Nucl. Phys. A* 695 (2001) 95.
26. W. Dilg et al. Level density parameters for the back-shifted Fermi gas model in the mass range $40 < A < 250$. *Nucl. Phys. A* 217(2) (1973) 269.
27. A. Gilbert, A.G.W. Cameron. A composite nuclear-level density formula with shell corrections. *Can. J Phys.* 43(8) (1965) 1446.
28. S. Hilaire, S. Goriely. Global microscopic nuclear level densities within the HFB plus combinatorial method for practical applications. *Nucl. Phys. A* 779 (2006) 63.
29. J.A. Holmes et al. Tables of thermonuclear-reaction-rate data for neutron-induced reactions on heavy nuclei. *At. Data Nucl. Data Tables* 18 (1976) 305.
30. B. Krusche, K.P. Lieb. Dipole transition strengths and level densities in $A \leq 80$ odd-odd nuclei obtained from thermal neutron capture. *Phys. Rev. C* 34(6) (1986) 2103.
31. B. Nerlo-Pomorska et al. Nuclear level densities within the relativistic mean-field theory. *Phys. Rev. C* 66(5) (2002) 051302.
32. B. Nerlo-Pomorska, K. Pomorski. Pairing energy obtained by folding in the nucleon number space. *Int. J. Mod. Phys. E* 15(2) (2006) 471.
33. B. Nerlo-Pomorska, K. Pomorski, J. Bartel. Shell energy and the level-density parameter of hot nuclei. *Phys. Rev. C* 74(3) (2006) 034327.
34. T.D. Newton. Shell effects on the spacing of nuclear levels. *Can. J. Phys.* 34(8) (1956) 804.
35. T. Von Egidy, H.H. Schmidt, A.N. Behkani. Nuclear level densities and level spacing distributions: Part II. *Nucl. Phys. A* 481 (1988) 189.
36. T. Ericson. The statistical model and nuclear level densities. *Advan. Phys.* 9(36) (1960) 425.
37. B. Canbula et al. A Laplace-like formula for the energy dependence of the nuclear level density parameter. *Nucl. Phys. A* 929 (2014) 54.
38. A. Bohr, B.R. Mottelson. *Nuclear structure. Vol. 1* (London: World Scientific, 1998) 492 p.
39. W.D. Myers, W.J. Swiatecki. Nuclear Masses and Deformations. *Nucl. Phys.* 81 (1966) 1.
40. B. Canbula et al. Effects of single-particle potentials on the level density parameter. *Eur. Phys. J. A* 50 (2014) 178.
41. R. Capote et al. RIPL - Reference Input Parameter Library for Calculation of Nuclear Reactions and Nuclear Data Evaluations. *Nucl. Data Sheets* 110(12) (2009) 3107.
42. A.J. Koning et al. TENDL: Complete Nuclear Data Library for Innovative Nuclear Science and Technology. *Nucl. Data Sheets* 155 (2019) 1.