

**В. І. Третьак\***

*Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна*

\*Відповідальний автор: tretyak@kinr.kiev.ua

**СПОНТАННИЙ ПОДВІЙНИЙ АЛЬФА РОЗПАД:  
ПЕРШЕ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ОБМЕЖЕННЯ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ДОСЛІДЖЕНЬ**

Ядерні розпади з одночасним випромінюванням двох альфа частинок енергетично можливі для ряду нуклідів. Обговорюються перспективи пошуку такого розпаду для нуклідів, присутніх у природному ізотопному складі елементів. Отримано перше експериментальне обмеження на період напіврозпаду для  $2\alpha$  розпаду  $^{209}\text{Bi}$   $T_{1/2} > 2,9 \cdot 10^{20}$  р. при 90 % довірчій імовірності, з використанням даних роботи [P. de Marcillac et al. Nature 422 (2003) 876]. Також наводяться теоретичні оцінки  $T_{1/2}$  для такого процесу. Ці значення знаходяться на рівні  $10^{33}$  і більше років, з чого можна зробити висновок, що перспективи експериментального спостереження  $2\alpha$  розпаду дуже песимістичні.

*Ключові слова:* подвійний альфа розпад, експерименти з низьким фоном, теоретичні та експериментальні періоди напіврозпаду.

**V. I. Tretyak\***

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

\*Corresponding author: tretyak@kinr.kiev.ua

**SPONTANEOUS DOUBLE ALPHA DECAY:  
FIRST EXPERIMENTAL LIMIT AND PROSPECTS OF INVESTIGATION**

Nuclear decays with simultaneous emission of two alpha particles are energetically possible for a number of nuclides. Prospects of searching for such kind of decay for nuclides present in the natural isotopic composition of elements are discussed here. The first experimental limit on half-life for  $2\alpha$  decay is set for  $^{209}\text{Bi}$  as  $T_{1/2} > 2.9 \cdot 10^{20}$  y at 90 % C.L., using the data of work [P. de Marcillac et al. Nature 422 (2003) 876]. Theoretical  $T_{1/2}$  estimations for the process are also given. Using these values, which are on the level of  $10^{33}$  y or more, one can conclude that the prospects of experimental observation of  $2\alpha$  decay are very pessimistic.

*Keywords:* double alpha decay, low background experiments, theoretical and experimental half-lives.

REFERENCES

1. M. Goeppert-Mayer. Double beta-disintegration. *Phys. Rev.* 48 (1935) 512.
2. R. Saakyan. Two-neutrino double-beta decay. *Annu. Rev. Nucl. Part. Sci.* 63 (2013) 503.
3. K. Blaum et al. Neutrinoless double-electron capture. *Rev. Mod. Phys.* 92 (2020) 045007.
4. W.H. Furry. On transition probabilities in double beta-disintegration. *Phys. Rev.* 56 (1939) 1184.
5. M.J. Dolinski, A.W.P. Poon, W. Rodejohann. Neutrinoless double beta decay: Status and prospects. *Annu. Rev. Nucl. Part. Sci.* 69 (2019) 219.
6. M. Goeppert. Über die Wahrscheinlichkeit des Zusammenwirkens zweier Lichtquanten in einem Elementarakt. *Naturwissenschaften* 17 (1929) 932.
7. M. Goeppert-Mayer. Über Elementarakte mit zwei Quantensprungen. *Ann. Phys. (Leipz.)* 401 (1931) 273.
8. G. Sutter. Étude expérimentale de la double émission gamma dans les transitions monopolaires des noyaux  $^{16}\text{O}$ ,  $^{40}\text{Ca}$  et  $^{90}\text{Zr}$ . *Ann. Phys. (Paris)* 13 (1963) 323.
9. C. Walz et al. Observation of the competitive double-gamma nuclear decay. *Nature* 526 (2015) 406.
10. M. Pfutzner et al. Radioactive decays at limits of nuclear stability. *Rev. Mod. Phys.* 84 (2012) 567.
11. Yu.N. Novikov. Some features of nuclei close to the boundaries of nucleon stability. Int. Workshop on U-400 Program. JINR (1979) p. 15.
12. E.E. Berlovich, Yu.N. Novikov. One- and many-nucleon radioactivity of atomic nuclei. In: B.S. Dzhelepov (ed.). *Modern Methods of Nuclear Spectroscopy 1986* (Leningrad, Nauka, 1988) p. 107.
13. D.N. Poenaru, M. Ivascu. Two alpha, three alpha and multiple heavy-ion radioactivities. *J. Physique Lett.* 46 (1985) 591.
14. D.N. Poenaru, M.S. Ivascu. *Particle Emission from Nuclei, Vol. II. Alpha, Proton, and Heavy Ion Radioactivities (USA, CRC Press, 1989)* 271 p.
15. W. von Oertzen. Alpha-cluster condensations in nuclei and experimental approaches for their studies. In: C. Beck (ed.). *Clusters in Nuclei. Vol. 1.* (Germany, Springer, 2010) 328 p. (Lecture Notes in Physics 818).

16. M. Wang et al. The Ame2016 atomic mass evaluation. (II). Tables, graphs and references. *Chin. Phys. C* 41 (2017) 030003.
17. P. Belli et al. Experimental searches for rare alpha and beta decays. *Eur. Phys. J. A* 55 (2019) 140.
18. R. Bernabei et al. First model independent results from DAMA/LIBRA-phase2. *Yaderna Fizyka ta Energetyka (Nucl. Phys. At. Energy)* 19 (2018) 307.
19. E. Aprile et al. The XENON1T dark matter experiment. *Eur. Phys. J. C* 77 (2017) 881.
20. G. Alimonti et al. The Borexino detector at the Laboratori Nazionali del Gran Sasso. *Nucl. Instrum. Meth. A* 600 (2009) 568.
21. J. Meija et al. Isotopic compositions of the elements 2013 (IUPAC Technical Report). *Pure Appl. Chem.* 88 (2016) 293.
22. R.B. Firestone et al. *Table of Isotopes*. 8th ed. (USA, John Wiley & Sons, 1996) and CD update (1998).
23. D.N. Poenaru et al. Systematics of cluster decay modes. *Phys. Rev. C* 65 (2002) 054308.
24. V.I. Tretyak. Semi-empirical calculation of quenching factors for ions in scintillators. *Astropart. Phys.* 33 (2010) 40.
25. S. Pirro, P. Mauskopf. Advances in bolometer technology for fundamental physics. *Annu. Rev. Nucl. Part. Sci.* 67 (2017) 161.
26. P. de Marcillac et al. Experimental detection of  $\alpha$ -particles from the radioactive decay of natural bismuth. *Nature* 422 (2003) 876.
27. G.J. Feldman, R.D. Cousins. Unified approach to the classical statistical analysis of small signals. *Phys. Rev. D* 57 (1998) 3873.
28. G.W. Kim et al. Improved intensities for the  $\gamma$  transitions with  $E_\gamma > 3$  MeV from  $^{208}\text{Pb}^*$ . *Phys. Rev. C* 102 (2020) 064306.
29. V.I. Tretyak. Spontaneous double alpha decay: First experimental limit and prospects of investigation. [arXiv:2102.12005v1 \[nucl-ex\]](https://arxiv.org/abs/2102.12005v1) 24 Feb 2021.
30. F. Mercier et al. Microscopic description of  $2\alpha$  decay in  $^{212}\text{Po}$  and  $^{224}\text{Ra}$  isotopes. *Phys. Rev. Lett.* 127 (2021) 012501.

Надійшла/Received 05.02.2021