

П. Беллі^{1,2}, Р. Бернабей^{1,2,*}, Ф. Каппелла^{3,4}, В. Караччіоло^{1,2}, Р. Черуллі^{1,2},
Ф. А. Даневич^{2,5}, А. Інчікчітті^{3,4}, Д. В. Касперович⁵, В. Р. Клавдієнко⁵, В. В. Кобичев⁵,
А. Леончіні^{1,2}, В. Мерло^{1,2}, О. Г. Поліщук^{3,5}, В. І. Третяк^{5,6}

¹ Факультет фізики Римського університету «Tor Vergata», Рим, Італія

² Національний інститут ядерної фізики, Римське відділення «Tor Vergata», Рим, Італія

³ Національний інститут ядерної фізики, Римське відділення, Рим, Італія

⁴ Факультет фізики Римського університету «La Sapienza», Рим, Італія

⁵ Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна

⁶ Національний інститут ядерної фізики, Національна лабораторія Гран-Сассо, Ассерджі, Італія

*Відповідальний автор: rita.bernabei@roma2.infn.it

НИЗЬКОФОНОВИЙ ЕКСПЕРИМЕНТ ПО ПОШУКУ ПОДВІЙНОГО БЕТА-РОЗПАДУ ¹⁰⁶Cd ІЗ СЦИНТИЛЯТОРОМ ¹⁰⁶CdWO₄

Експеримент з пошуку $2\varepsilon^-$, $\varepsilon\beta^+$ і $2\beta^+$ -розпадів ¹⁰⁶Cd з використанням сцинтиляційного кристала вольфрамату кадмію вагою 215 г, збагаченого до 66 % ¹⁰⁶Cd (¹⁰⁶CdWO₄), проводиться в підземній лабораторії Гран-Сассо (Італія). Події в детекторі ¹⁰⁶CdWO₄ реєструються в (анти)збігах з двома сцинтиляційними лічильниками CdWO₄ великого об'єму. Описано конструкцію детекторної системи, калібрування та фонові вимірювання, методи та результати аналізу даних для визначення основних характеристик детектора. Експериментальні дані порівнюються з результатами моделювання методом Монте-Карло для побудови моделі фону. Досліджено радіоактивне забруднення елементів установки. Чутливість експерименту наближається до рівня теоретичних передбачень для каналу $2\nu\varepsilon\beta^+$ -розпаду, тоді як для інших можливих каналів 2β -розпаду вона знаходиться на рівні $\lim T_{1/2} \sim 10^{21} - 10^{22}$ років.

Ключові слова: ¹⁰⁶Cd, подвійний бета-розпад, $2\varepsilon^-$, $\varepsilon\beta^+$ і $2\beta^+$, низький фон, сцинтиляційний детектор.

P. Belli^{1,2}, R. Bernabei^{1,2,*}, F. Cappella^{3,4}, V. Caracciolo^{1,2}, R. Cerulli^{1,2}, F. A. Danevich^{2,5},
A. Inchicchitti^{3,4}, D. V. Kasperovych⁵, V. R. Klavdiienko⁵, V. V. Kobychiev⁵,
A. Leoncini^{1,2}, V. Merlo^{1,2}, O. G. Polischuk^{3,5}, V. I. Tretyak^{5,6}

¹ Department of Physics, University of Rome "Tor Vergata", Rome, Italy

² National Institute for Nuclear Physics, "Tor Vergata", Rome, Italy

³ National Institute for Nuclear Physics, Rome, Rome, Italy

⁴ Department of Physics, University of Rome "La Sapienza", Rome, Italy

⁵ Institute for Nuclear Research, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

⁶ National Institute for Nuclear Physics, Gran Sasso National Laboratory, Assergi, Italy

*Corresponding author: rita.bernabei@roma2.infn.it

LOW-BACKGROUND EXPERIMENT TO SEARCH FOR DOUBLE BETA DECAY OF ¹⁰⁶Cd USING ¹⁰⁶CdWO₄ SCINTILLATOR

An experiment to search for $2\varepsilon^-$, $\varepsilon\beta^+$ and $2\beta^+$ -decays of ¹⁰⁶Cd, using a 215 g cadmium tungstate scintillation crystal enriched at 66 % by ¹⁰⁶Cd (¹⁰⁶CdWO₄) is carried out at the Gran Sasso underground laboratory (Italy). Events in the ¹⁰⁶CdWO₄ detector are recorded in (anti)coincidences with two large-volume CdWO₄ scintillation counters. The design of the detector system, calibration and background measurements, methods, and results of data analysis to determine key detector characteristics are described. The experimental data are compared with Monte Carlo simulation results, and a background model is constructed. The radioactive contamination of the setup components is studied. The sensitivity of the experiment approaches the level of theoretical predictions for the $2\nu\varepsilon\beta^+$ -decay channel, while for other possible 2β -decay channels it is already on the level of $\lim T_{1/2} \sim 10^{21} - 10^{22}$ years.

Keywords: ¹⁰⁶Cd, double beta decay, $2\varepsilon^-$, $\varepsilon\beta^+$, $2\beta^+$, low background, scintillation detector.

REFERENCES

1. A. Giuliani, A. Poves. Neutrinoless Double-Beta Decay. [AHEP 2012 \(2012\) 857016](#).
2. M. Agostini et al. Toward the discovery of matter creation with neutrinoless double-beta decay. [Rev. Mod. Phys. 95 \(2023\) 025002](#).
3. O. Cremonesi, M. Pavan. Challenges in Double Beta Decay. [AHEP 2014 \(2014\) 951432](#).
4. E. Bossio, M. Agostini. Probing Beyond the Standard Model Physics with Double-beta Decays. [arXiv:2304.07198v1 \[hep-ex\] \(2023\)](#).

5. S.M. Bilenky, C. Giunti. Neutrinoless double-beta decay: A probe of physics beyond the Standard Model. *Int. J. Mod. Phys. A* 30 (2015) 1530001.
6. S. Dell'Oro et al. Neutrinoless Double Beta Decay: 2015 Review. *AHEP* 2016 (2016) 2162659.
7. M.J. Dolinski, A.W.P. Poon, W. Rodejohann. Neutrinoless double beta decay: Status and prospects. *Annu. Rev. Nucl. Part. Sci.* 69 (2019) 219.
8. T. Asaka, M. Shaposhnikov. The ν MSM, dark matter and baryon asymmetry of the universe. *Phys. Lett. B* 620 (2005) 17.
9. F.F. Deppisch et al. Neutrinoless double beta decay and the baryon asymmetry of the Universe. *Phys. Rev. D* 98 (2018) 055029.
10. A.S. Barabash. Precise Half-Life Values for Two-Neutrino Double- β Decay: 2020 Review. *Universe* 6 (2020) 159.
11. R. Saakyan. Two-Neutrino Double-Beta Decay. *Annu. Rev. Nucl. Part. Sci.* 63 (2013) 503.
12. A.P. Meshik et al. Weak decay of ^{130}Ba and ^{132}Ba : Geochemical measurements. *Phys. Rev. C* 64 (2001) 035205.
13. M. Pujol et al. Xenon in Archean barite: Weak decay of ^{130}Ba , mass-dependent isotopic fractionation and implication for barite formation. *Geochim. Cosmochim. Acta* 73 (2009) 6834.
14. Yu.M. Gavriilyuk et al. Indications of $2\nu 2K$ capture in ^{78}Kr . *Phys. Rev. C* 87 (2013) 035501.
15. S.S. Ratkevich et al. Comparative study of the double-K-shell-vacancy production in single- and double-electron-capture decay. *Phys. Rev. C* 96 (2017) 065502.
16. E. Aprile et al. (XENON Collaboration). Search for new physics in electronic recoil data from XENONnT. *Phys. Rev. Lett.* 129 (2022) 161805.
17. P. Belli et al. Search for double- β decay processes in ^{106}Cd with the help of a $^{106}\text{CdWO}_4$ crystal scintillator. *Phys. Rev. C* 85 (2012) 044610.
18. M. Wang et al. The AME2020 atomic mass evaluation (II). Tables, graphs and references. *Chin. Phys. C* 45 (2021) 030003.
19. J. Meija et al. Isotopic composition of the elements 2013. (IUPAC Technical Report). *Pure Appl. Chem.* 88 (2016) 293.
20. P. Belli et al. Development of enriched $^{106}\text{CdWO}_4$ crystal scintillators to search for double β decay processes in ^{106}Cd . *Nucl. Instrum. Meth. A* 615 (2010) 301.
21. P. Belli et al. Search for 2β decay in ^{106}Cd with an enriched $^{106}\text{CdWO}_4$ crystal scintillator in coincidence with four HPGe detectors. *Phys. Rev. C* 93 (2016) 045502.
22. P. Belli et al. Search for Double Beta Decay of ^{106}Cd with an Enriched $^{106}\text{CdWO}_4$ Crystal Scintillator in Coincidence with CdWO_4 Scintillation Counters. *Universe* 6 (2020) 182.
23. D. De Frenne, A. Negret. Nuclear data sheets for $A = 106$. *Nucl. Data Sheets* 109 (2008) 943.
24. R. Bernabei et al. First results from DAMA/LIBRA and the combined results with DAMA/NaI. *Eur. Phys. J. C* 56 (2008) 333.
25. X. Mougeot. Reliability of usual assumptions in the calculation of β and ν spectra. *Phys. Rev. C* 91 (2015) 055504.
26. H. Primakoff, S.P. Rosen. Double beta decay. *Rep. Prog. Phys.* 22 (1959) 121.
27. L. Cadamuro et al. Characterization of the Hamamatsu R11265-103-M64 multi-anode photomultiplier tube. *Journal of Instrumentation* 9 (2014) 06021.
28. M. Calvi et al. Characterization of the Hamamatsu H12700A-03 and R12699-03 multi-anode photomultiplier tubes. *Journal of Instrumentation* 10 (2015) 09021.
29. L.T. Tsankov, M.G. Mitev. Response of a NaI(Tl) scintillation detector in a wide temperature interval. *Proceedings of the Technical University - Sofia* 56(1) (2006) 160.
30. I. Kawrakow et al. The EGSnrc Code System: Monte Carlo Simulation of Electron and Photon Transport. NRCC Report PIRS-701 (Ottawa, Canada, National Research Council of Canada, 2003) 323 p.
31. E. Gatti, F. De Martini. A new linear method of discrimination between elementary particles in scintillation counters. In: *Nuclear Electronics. Vol. II. Proc. of the Conf. on Nuclear Electronics, Belgrade, 15 - 20 May 1961 (Vienna, IAEA, 1962) p. 265.*
32. F.A. Danevich et al. Search for 2β decay of cadmium and tungsten isotopes: Final results of the Solotvina experiment. *Phys. Rev. C* 68 (2003) 035501.
33. V.I. Tretyak. Semi-empirical calculation of quenching factors for ions in scintillators. *Astropart. Phys.* 33 (2010) 40.
34. R.B. Firestone, C.M. Baglin, S.Y. Frank Chu. *Table of Isotopes*. 8th ed. (New York, John Wiley, 1996) and CD update (1998).
35. F.A. Danevich et al. α activity of natural tungsten isotopes. *Phys. Rev. C* 67 (2003) 014310.
36. A.S. Barabash et al. Final results of the Aurora experiment to study 2β decay of ^{116}Cd with enriched $^{116}\text{CdWO}_4$ crystal scintillators. *Phys. Rev. D* 98 (2018) 092007.
37. O.A. Ponkratenko, V.I. Tretyak, Y.G. Zdesenko. Event generator DECAF4 for simulating double-beta processes and decays of radioactive nuclei. *Phys. Atom. Nucl.* 63 (2000) 1282.
38. G.J. Feldman, R.D. Cousins. Unified approach to the classical statistical analysis of small signals. *Phys. Rev. D* 57 (1998) 3873.