

**Р. Бернабей^{1,2,*}, П. Беллі^{1,2}, А. Буссолотті^{1,2}, Ф. Каппелла³, В. Караччоло^{1,2}, Р. Черуллі²,
Ц. Дж. Дай⁴, А. д'Анджело^{3,5}, А. Інчіккітті^{3,5}, А. Леончіні^{1,2}, С. Х. Ма⁴, А. Маттей^{3,5},
В. Мерло^{1,2}, Ф. Монтеккі^{1,2,6}, С. Д. Шен⁴, Ц. П. Йе⁷**

¹ *Фізичний факультет, Римський університет «Тор Вергата», Рим, Італія*

² *Національний інститут ядерної фізики, секція «Рим – Тор Вергата», Рим, Італія*

³ *Національний інститут ядерної фізики, Римська секція, Рим, Італія*

⁴ *Державна ключова лабораторія фізики елементарних частинок і астрофізики, Інститут фізики високих енергій, Китайська академія наук, Пекін, КНР*

⁵ *Фізичний факультет, Римський університет «Сапієнца», Рим, Італія*

⁶ *Факультет цивільної інженерії та комп'ютерної інженерії, Римський університет «Тор Вергата», Рим, Італія*

⁷ *Джінганшанський університет, Цзіань, провінція Цзянсі, КНР*

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

МОДЕЛЬНО-НЕЗАЛЕЖНІ РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ DAMA/LIBRA-PHASE2-EMPOWERED

Експеримент DAMA/LIBRA-phase2 був модернізований у 2021 р. для підвищення його чутливості через зниження програмного енергетичного порогу при збереженні високої ефективності. Нова конфігурація, що називається DAMA/LIBRA-phase2-empowered, накопичувала дані протягом трьох років. Нові дані розширюють дослідження давно відомого, модельно-незалежного ефекту річної модуляції, виявленого експериментальними установками DAMA з використанням сцинтиляційних детекторів NaI(Tl) з високою радіаційною чистотою у Національній лабораторії Гран-Сассо Національного інституту ядерної фізики в різних експериментальних конфігураціях. Програмний енергетичний поріг DAMA/LIBRA-phase2-empowered є нижчим 1 кеВ, а експозиція становить 0,541 т·рік. Додаючи ці нові результати до раніше опублікованих даних DAMA/LIBRA-phase2, експозиція становить 2,07 т·рік протягом 11 незалежних річних циклів, демонструючи наявність сигналу, який відповідає всім вимогам модельно-незалежної річної модуляційної сигнатури темної матерії з рівнем достовірності 13,9 σ в області енергій 1–6 кеВ. В інтервалі 2–6 кеВ, де також доступні дані DAMA/NaI та DAMA/LIBRA-phase1, комбінована експозиція досягає 3,40 т·рік, що відповідає рівню достовірності 15,3 σ . Немає жодного систематичного ефекту чи побічного процесу, здатного одночасно задовольнити всі характерні риси спостереженої річної модуляційної сигнатури темної матерії та врахувати спостережувану амплітуду модуляції.

Ключові слова: темна матерія, елементарні частинки, сцинтиляційні детектори.

**R. Bernabei^{1,2,*}, P. Belli^{1,2}, A. Bussolotti^{1,2}, F. Cappella³, V. Caracciolo^{1,2},
R. Cerulli², C. J. Dai⁴, A. d'Angelo^{3,5}, A. Incicchitti^{3,5}, A. Leoncini^{1,2}, X. H. Ma⁴,
A. Mattei^{3,5}, V. Merlo^{1,2}, F. Montecchia^{1,2,6}, X. D. Sheng⁴, Z. P. Ye⁷**

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

² *National Institute for Nuclear Physics, Rome Tor Vergata Section, Rome, Italy*

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

⁴ *State Key Laboratory of Particle Astrophysics, Institute of High Energy Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing, P. R. China*

⁵ *Department of Physics, Sapienza University of Rome, Rome, Italy*

⁶ *Department of Civil Engineering and Computer Engineering, University of Rome Tor Vergata, Rome, Italy*

⁷ *Jinggangshan University, Ji'an, Jiangxi, P.R. China*

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

MODEL-INDEPENDENT RESULTS FROM DAMA/LIBRA-PHASE2-EMPOWERED

The DAMA/LIBRA-phase2 experiment was upgraded in 2021 to enhance its sensitivity by lowering the software energy threshold while maintaining a large efficiency. The new configuration, referred to as DAMA/LIBRA-phase2-empowered, collected data for three years. This study extends the investigation of the long-standing, model-independent annual modulation effect pointed out by the DAMA highly radiopure NaI(Tl) experimental setups at the Gran Sasso National Laboratory of the National Institute for Nuclear Physics, using different experimental configurations. The software energy threshold of DAMA/LIBRA-phase2-empowered is below 1 keV, and the exposure is 0.541 t·yr. Adding these new results to the previously released DAMA/LIBRA-phase2, the exposure is 2.07 t·yr over 11 independent annual cycles, yielding evidence for a signal that fulfills all the requirements of the model-independent Dark Matter annual modulation signature at a confidence level of 13.9 σ in the 1–6 keV energy region. In the 2–6 keV

interval, where data from DAMA/NaI and DAMA/LIBRA-phase1 are also available, the combined exposure reaches 3.40 t-yr, corresponding to a confidence level of 15.3σ . No systematic effect or side process capable of simultaneously satisfying all the distinctive features of the exploited Dark Matter annual modulation signature and accounting for the observed modulation amplitude is available.

Keywords: Dark Matter, elementary particle processes, scintillation detectors.

REFERENCES

1. DAMA Collaboration. Publication list, <http://dama.web.roma2.infn.it>
2. R. Bernabei et al. The DAMA/LIBRA apparatus. *Nucl. Instrum. Methods A* 592 (2008) 297.
3. R. Bernabei et al. First results from DAMA/LIBRA and the combined results with DAMA/NaI. *Eur. Phys. J. C* 56 (2008) 333.
4. R. Bernabei et al. New results from DAMA/LIBRA. *Eur. Phys. J. C* 67 (2010) 39.
5. R. Bernabei et al. Performances of the new high quantum efficiency PMTs in DAMA/LIBRA. *JINST* 7 (2012) P03009.
6. R. Bernabei et al. Final model independent result of DAMA/LIBRA-phase1. *Eur. Phys. J. C* 73 (2013) 2648.
7. DAMA Collaboration. Special issue dedicated to DAMA Collaboration. *Int. J. of Mod. Phys. A* 31(31) (2016).
8. R. Bernabei et al. First model independent results from DAMA/LIBRA-phase2. *Nucl. Phys. At. Energy* 19 (2018) 307.
9. R. Bernabei et al. The DAMA project: Achievements, implications and perspectives. *Prog. Part. Nucl. Phys.* 114 (2020) 103810.
10. R. Bernabei et al. Further results from DAMA/LIBRA-phase2 and perspectives. *Nucl. Phys. At. Energy* 22 (2021) 329.
11. R. Bernabei et al. Performances of the ≈ 100 kg NaI(Tl) set-up of the DAMA experiment at Gran Sasso. *Il Nuovo Cim. A* 112 (1999) 545.
12. R. Bernabei et al. Dark Matter search. *Riv. Nuovo Cim.* 26(1) (2003) 1.
13. R. Bernabei et al. Dark matter particles in the galactic halo: Results and implications from DAMA/NaI. *Int. J. Mod. Phys. D* 13 (2004) 2127.
14. A.K. Drukier, K. Freese, D.N. Spergel. Detecting cold dark-matter candidates. *Phys. Rev. D* 33 (1986) 3495.
15. K. Freese, J. Frieman, A. Gould. Signal modulation in cold-dark-matter detection. *Phys. Rev. D* 37 (1988) 3388.
16. R. Bernabei et al. Status of DAMA/LIBRA-phase2 and its empowered stage. *Bled Workshops in Physics* 25 (2024) 1.
17. P. Belli. Annual modulation results from DAMA/LIBRA. Talk at the RICAP-2024 (The 9th edition of the Roma International Conference on AstroParticle Physics), Frascati, Sept 23-27, 2024. *EPJ Web of Confer.* 319 (2025) 10001.
18. R. Bernabei for DAMA activities. The DAMA project legacy. *Bled Workshops in Physics* 26 (2025) 44.
19. E. Aprile et al. (The XENON Collaboration). WIMP Dark Matter search using a 3.1 tonne-year exposure of the XENONnT experiment. *Phys. Rev. Lett.* 135 (2025) 221003.
20. M.F. Albakry et al. (The SuperCDMS Collaboration). Search for low-mass electron-recoil dark matter using a single-charge sensitive SuperCDMS-HVeV Detector. *Phys. Rev. D* 113 (2026) 032001.
21. N. Carlin et al. (The COSINE-100 Collaboration, ANAIS-112 Collaboration). Combined annual modulation Dark Matter search with COSINE-100 and ANAIS-112. *Phys. Rev. Lett.* 135 (2025) 121002.

Надійшла / Received 19.02.2026