

# ПЕРШИЙ РЕЗУЛЬТАТ ВИМІРЮВАНЬ 2 $\beta$ - РОЗПАДУ $^{150}\text{Nd}$ НА $0_1^+$ ЗБУДЖЕНИЙ СТАН $^{150}\text{Sm}$ У ПІДЗЕМНІЙ ЛАБОРАТОРІЇ ГРАН-САССО

Д.В. Касперович<sup>1</sup>, О.С. Барабаш<sup>2</sup>, П. Беллі<sup>3,4</sup>, Р. Бернабей<sup>3,4</sup>, Р.С. Бойко<sup>1,5</sup>, Ф.А. Даневич<sup>1,6</sup>,  
А. Інчікитті<sup>7,8</sup>, Ф. Каппелла<sup>7</sup>, В.Караччіоло<sup>9</sup>, В.В. Кобичев<sup>1</sup>, Р.В. Кобичев<sup>1</sup>, С.І. Коновалов<sup>2</sup>,  
М. Лаубенштейн<sup>9</sup>, Д.В. Пода<sup>1,6</sup>, О.Г. Поліщук<sup>1</sup>, В.І. Третьак<sup>1</sup>, Р. Черуллі<sup>3,4</sup>, В.І. Юматов<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна

<sup>2</sup> Інститут теоретичної і експериментальної фізики ім. А.І. Аліханова НДЦ «Курчатовський інститут», Москва, Росія

<sup>3</sup> НІЯФ, відділення у Римі «Тор Вергата», Рим, Італія

<sup>4</sup> Римський університет «Тор Вергата», Рим, Італія

<sup>5</sup> Національний університет біоресурсів і природокористування України, Київ, Україна

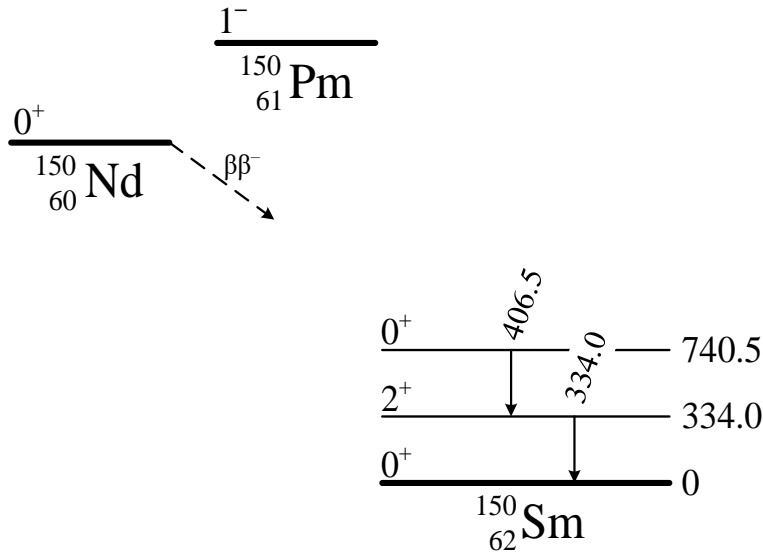
<sup>6</sup> Центр ядерної фізики та матеріалознавства, Орсе, Франція

<sup>7</sup> НІЯФ, відділення у Римі, Італія

<sup>8</sup> Римський університет «Ла Сапієнца», Рим, Італія

<sup>9</sup> Національна лабораторія Гран-Сассо, Ассерджі, Італія

# 2 $\beta$ -розпад ядра $^{150}\text{Nd}$



## Схема 2 $\beta$ -розпаду $^{150}\text{Nd}$

[1] V.S. Kolhinen et al., Phys. Rev. C 82 (2010) 022501.

[2] J. Meija et al., Pure Appl. Chem. 88 (2016) 293.

$^{150}\text{Nd}$  – одне із найперспективніших ядер для дослідження  $0\nu 2\beta$ -розпаду:

- Енергія подвійного бета розпаду

$$Q_{\beta\beta} = 3371,38(20) \text{ кеВ [1];}$$

- Вміст ізотопу у природній суміші

$$\delta = 5,638(28)\% [2];$$

- Можливість ізотопного збагачення;
- Можливість дослідження розпаду на збуджені стани дочірнього ядра методами HP Ge – спектрометрії.

# Попередні вимірювання $2\beta$ -розпаду $^{150}\text{Nd}$ на $0^+(740.5 \text{ кеВ})$ рівень $^{150}\text{Sm}$

Лабораторія та короткий опис експерименту	$T_{1/2}$ , $10^{19}$ років	Рік, джерело
Модан (Франція), 4800 м в.е., HP Ge 400 см <sup>3</sup> , 3046 г Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ( $\delta = 5.638\%$ ), 11321 год (одновимірний спектр)	$14^{+5}_{-4}$	2004 [1]
Повторна обробка результатів [1]	$13.3^{+4.5}_{-2.6}$	2009 [2]
Модан (Франція), 4800 м в.е., NEMO-3, фольга з 57.2 г $^{150}\text{Nd}_2\text{O}_3$ ( $\delta = 91\%$ ), 22193 h, енергії $e^-$ та $\gamma$ , треки $e^-$	$7.1 \pm 1.6$	2013 [3]
Кімбаллтон (США), 2 HP Ge, 50 г Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ( $\delta = 93.6\%$ ), 15427 год (одновимірні спектри та спектри збігів)	$10.7^{+5}_{-4}$	2014 [4]
Гран Сассо (Італія), 3600 м в.е., 4 HP Ge (близько 225 см <sup>3</sup> кожен), 2381 г пресованого $^{150}\text{Nd}_2\text{O}_3$ ( $\delta = 5.638\%$ ), 16375 h (одновимірні спектри та спектри збігів)	$8.7^{+6.0}_{-2.7}$	2018

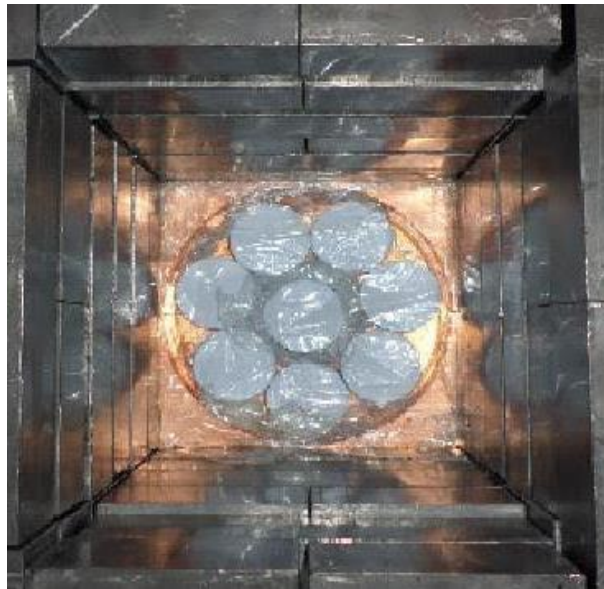
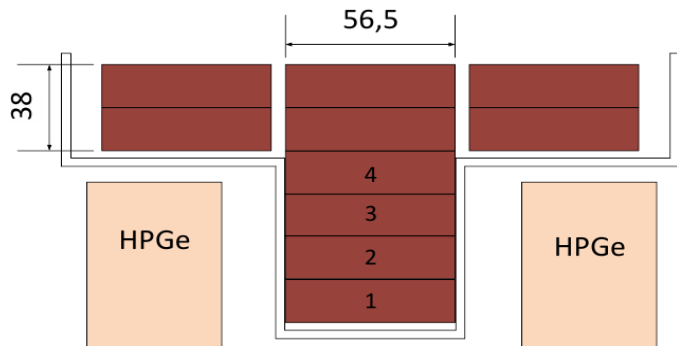
[1] A.S. Varabash et al., Phys. Atom. Nucl. 67 (2004) 1216.

[2] A.S. Varabash et al., Phys. Rev. C 79 (2009) 045501.

[3] S. Blondel, PhD thesis, LAL, Orsay, France, LAL 13-154 (2013).

[4] M.F. Kidd et al., Phys. Rev. C 90 (2014) 055501.

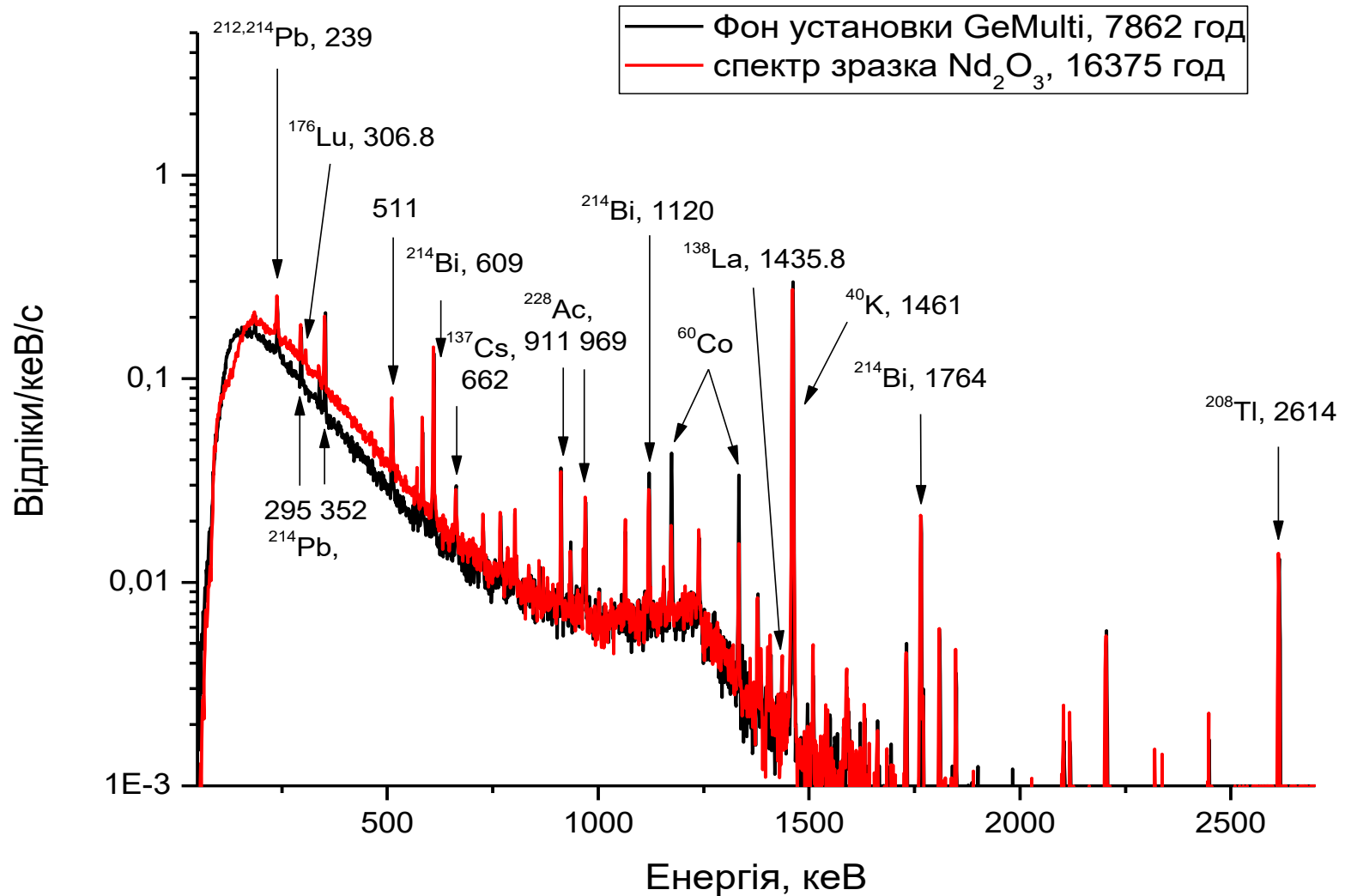
# Установка GeMulti



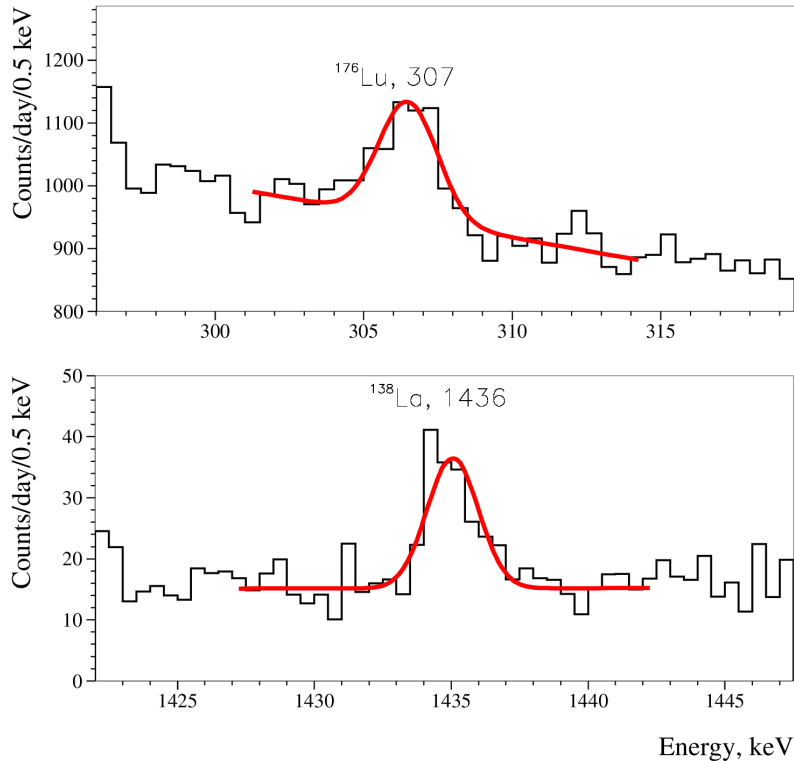
- 4 HP Ge детекторів (об'ємами 225.2, 225.0, 225.0, 220.7 см<sup>3</sup>, відповідно) у єдиному кріостаті з циліндричним колодязем у центрі
- Пасивний захист: мідь (10 см), свинець (20 см)
- Плексигласовий контейнер з постійним потоком високочистого азоту для витіснення радону

№ детектора	ПШПВ, кеВ (пік 1333 кеВ, <sup>60</sup> Co)
1	2.36(2)
2	2.01(2)
3	2.06(2)
4	4.01(4)

# Енергетичний спектр установки



# Радіоактивна забрудненість зразка



[1] A.S. Barabash et al., Phys. Atom. Nucl. 67 (2004) 1216.

[2] R.S. Boiko, Int. J. Modern Phys. A 32 (2017) 1743005.

Для вимірювань були використані зразки оксиду неодиму з натуральним ізотопним складом, що використовувалися раніше для подібного експерименту [1]. Перед вимірюваннями матеріал був додатково очищений [2], після чого порошок був спресований у 20 «таблеток» діаметром 56.5 мм та висотою близько 19 мм кожна. Загальна маса вимірюваних зразків становить 2380.7(4) г.

У енергетичних спектрах, окрім звичайного набору гамма-ліній, спостерігаються лінії 307 кеВ та 1436 кеВ, що відсутні у спектрі фону. Вони виникають в результаті наявності у досліджуваних зразках ізотопів  $^{176}\text{Lu}$  та  $^{138}\text{La}$ .

# Радіоактивна забрудненість зразка

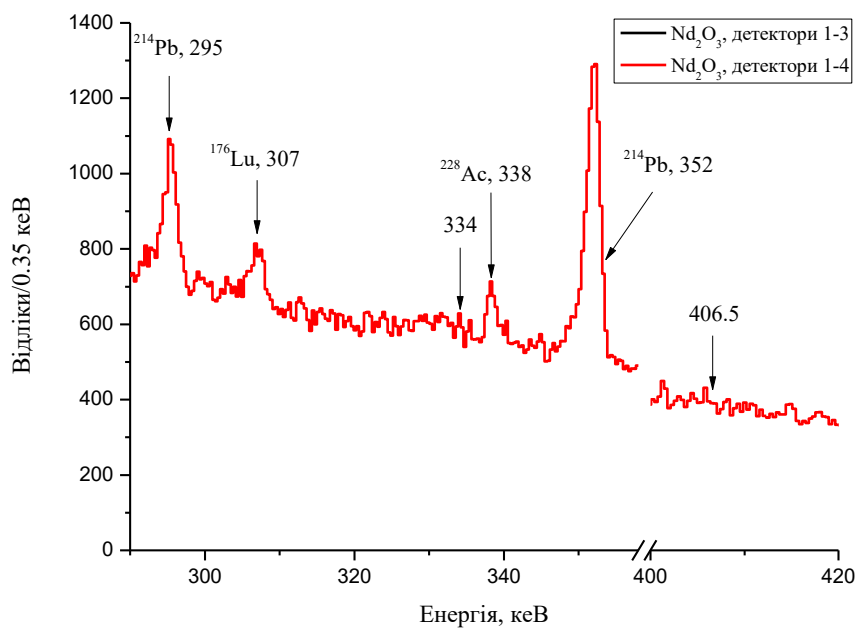
Радіоактивна забрудненість зразків була виміряна шляхом порівняння площі відповідних піків у спектрах фону зі зразком і без нього та розраховується за формулою

$$I = \frac{S}{t * \varepsilon * \eta}$$

Тут  $S$  – різниця площі у спектрі зі зразком та без зразка;  $t$  – час вимірювань;  $\varepsilon$  – ефективність реєстрації (розрахована в програмі TEFF – розробленій В.І. Третьяком),  $\eta$  – квантовий вихід гамма-квантів.

Енергія, кеВ	Ізотоп	Активність ізотопу, мБк/кг
306.8	$^{176}\text{Lu}$	0,26(5)
351.9	$^{214}\text{Pb}$	<0,19
609.3	$^{214}\text{Bi}$	<0,13
661.7	$^{137}\text{Cs}$	<0,03
911.2	$^{228}\text{Ac}$	0,12(11)
1001.0	$^{234\text{m}}\text{Pa}$	<0,05
1063.7	$^{207}\text{Bi}$	<0,07
1173.2	$^{60}\text{Co}$	<0,06
1435.8	$^{138}\text{La}$	0,054(13)
1460.8	$^{40}\text{K}$	<277,2
2614.5	$^{208}\text{Tl}$	0,040(26)

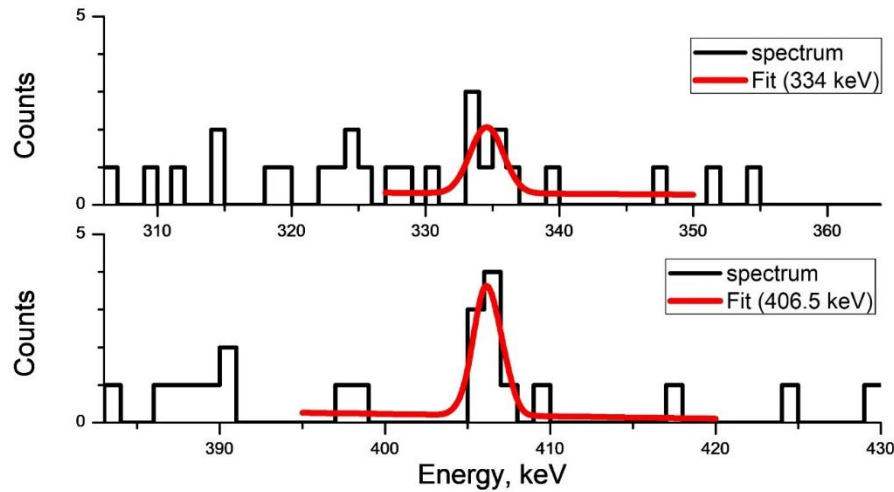
# Пошук $2\beta$ -розпаду $^{150}\text{Nd}$ на $0_1^+$ рівень $^{150}\text{Sm}$



У подвійному бета розпаді  $^{150}\text{Nd}$  на перший  $0^+$  збуджений рівень  $^{150}\text{Sm}$  відбувається перехід в основний рівень дочірнього ядра з каскадним випромінюванням двох гамма-квантів 334,0 кеВ та 406,5 кеВ. В одновимірному енергетичному спектрі шукані піки не виявлені. Таким чином, можна отримати лише обмеження на період напіврозпаду на рівні  $0.6 \times 10^{20}$  та  $1.0 \times 10^{20}$  років (для енергій 334 кеВ та 406.5 кеВ, відповідно).



# Пошук 2 $\beta$ -розпаду $^{150}\text{Nd}$ на $0_1^+$ рівень $^{150}\text{Sm}$



Крім одновимірних спектрів, були побудовані двовимірні спектри збігів між різними парами детекторів. У двовимірних спектрах були виявлені шукані піки, що дозволяє визначити період напіврозпаду за формулою:

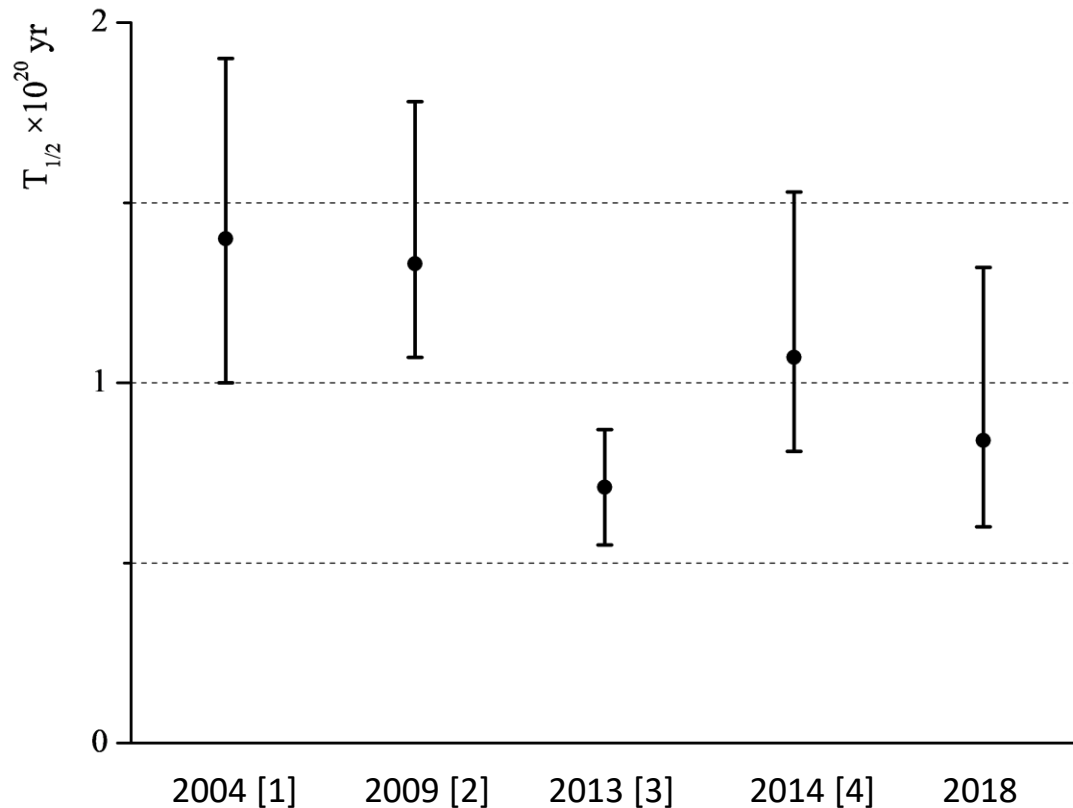
$$T_{1/2} = \frac{\ln 2 * N * \varepsilon * t}{S},$$

де  $S$  – площа піку;  $\varepsilon$  – ефективність реєстрації (розрахована в програмі TEFF);  $t$  – час вимірювання;  $N$  – кількість атомів  $^{150}\text{Nd}$  у зразку.

$$S = 5,7(2,3)$$

$$T_{1/2} = (8.7_{-2.5}^{+5.9}(\text{стат.}) \pm 0.9(\text{сист.})) \times 10^{19} \text{ років}$$

# Порівняння з іншими експериментами



Порівняння результатів вимірювань з даними, отриманими в інших експериментах.

Отримане значення періоду напіврозпаду добре узгоджується з отриманими раніше значеннями.

[1] A.S. Barabash et al., Phys. Atom. Nucl. 67 (2004) 1216.

[2] A.S. Barabash et al., Phys. Rev. C 79 (2009) 045501.

[3] S. Blondel, PhD thesis, LAL, Orsay, France, LAL 13-154 (2013).

[4] M.F. Kidd et al., Phys. Rev. C 90 (2014) 055501.

# Висновки

- Дослідження подвійного бета-розпаду ядра  $^{150}\text{Nd}$  на збуджені рівні  $^{150}\text{Sm}$  проводяться методом низькофонової гамма-спектрометрії за допомогою 4-кристального напівпровідникового детектора з надчистого германію у підземній лабораторії Гран Сассо.
- Визначено рівні радіоактивної забрудненості зразка оксиду неодиму.
- У одновимірному енергетичному спектрі, виміряному впродовж 16375 годин, піки гамма-квантів з енергіями 334 та 406.5 кеВ, що очікуються при подвійному бета-розпаді  $^{150}\text{Nd}$  на  $0_1^+$  збуджений рівень  $^{150}\text{Sm}$ , не виявлені.
- У спектрі збігів різних пар детекторів є шукані піки площею 5,7(2,3). Період напіврозпаду  $^{150}\text{Nd}$  відносно розпаду на  $0_1^+$  збуджений рівень  $^{150}\text{Sm}$  становить:

$$T_{1/2} = (8.7_{-2.5}^{+5.9}(\text{стат.}) \pm 0.9(\text{сист.})) \times 10^{19} \text{ років}$$

- Отримане значення добре узгоджується з попередніми експериментами. Подальші вимірювання дозволять зменшити статистичну похибку вимірювань і уточнити результат.