

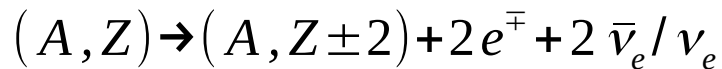
Дослідження подвійного бета-розпаду ядра ^{106}Cd з
використанням збагачених кристалів $^{106}\text{CdWO}_4$

Інститут ядерних досліджень, Київ, Україна

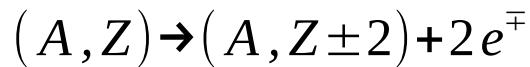
Зарицький Микола

Подвійний β -розпад ядра ^{106}Cd

Двонейтринний $2\beta^-$ -розпад:



Безнейтринний $2\beta^-$ -розпад:



Для ядра ^{106}Cd передбачаються наступні моди розпаду: $2\beta^+$, $\epsilon\beta^+$, 2ϵ

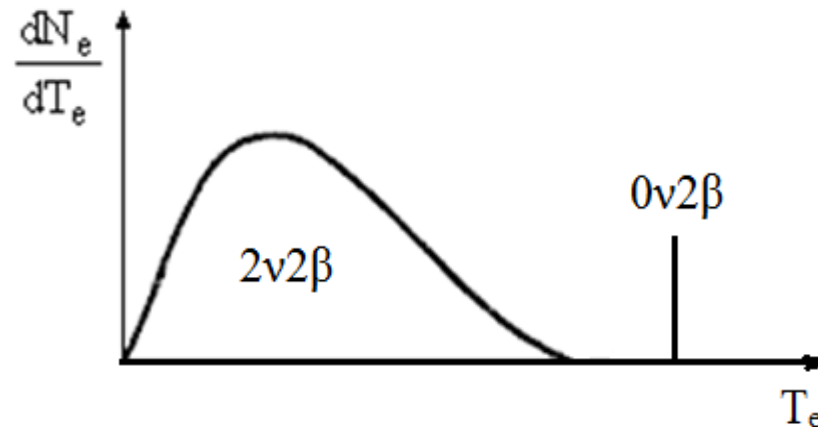
$T_{1/2} \sim 10^{21}$ - 10^{22} років

$T_{1/2}^{2\nu\epsilon\beta^+} \geq 1.1 \times 10^{21}$ років [1]

[1] PHYSICAL REVIEW C 93, 045502 (2016)

Ядро ^{106}Cd характеризується:

- достатньо високою енергією розпаду $Q = 2775.39(10)$ кеВ
- порівняно високою концентрацією у природній суміші ізотопів (1.25%)
- теорія передбачає високу вірогідність розпаду



Схематичний розподіл енергії електронів для $2\nu 2\beta$ та $0\nu 2\beta$ розпадів. ($\frac{dN_e}{dT_e}$ — ймовірність розподілу, T_e — кінетична енергія електронів).

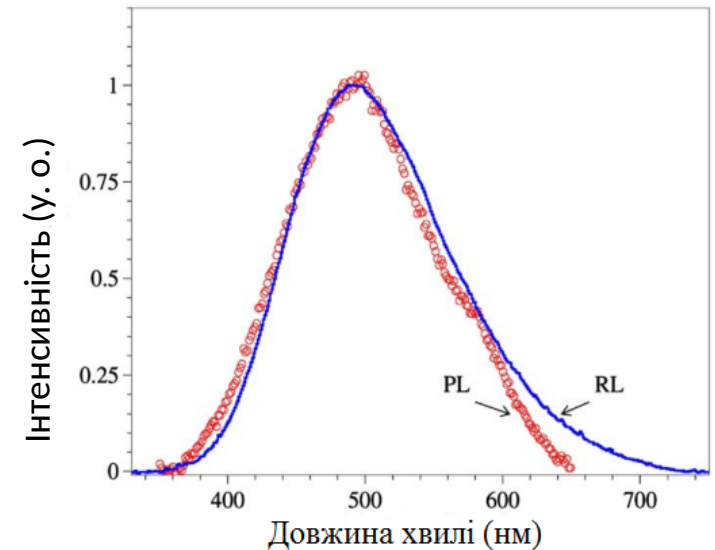
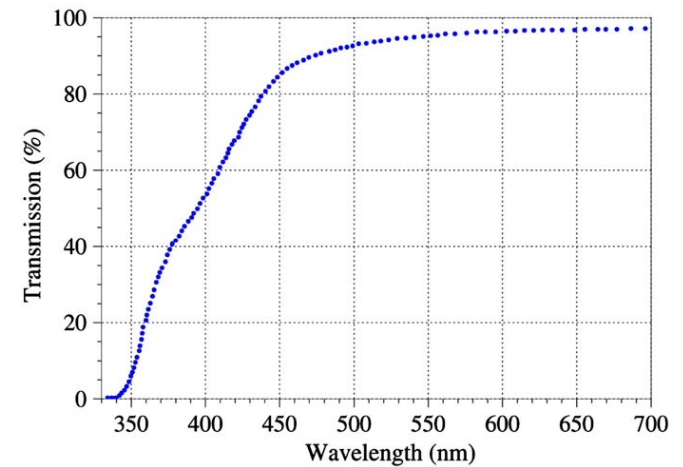
Характеристики кристалу $^{106}\text{CdWO}_4$

Створення кристалічного сцинтилятора $^{106}\text{CdWO}_4$ проходило в наступні етапи [1]:

- очищення ізотопічно збагаченого кадмію методом вакуумної дистиляції
- синтез сполук кристалу $^{106}\text{CdWO}_4$
- ріст кристалу методом Чохральського з низьким градієнтом температур



- Низька радіоактивна забрудненість
- Збагачення по ^{106}Cd до 66%
- Маса кристалу ~ 216 г



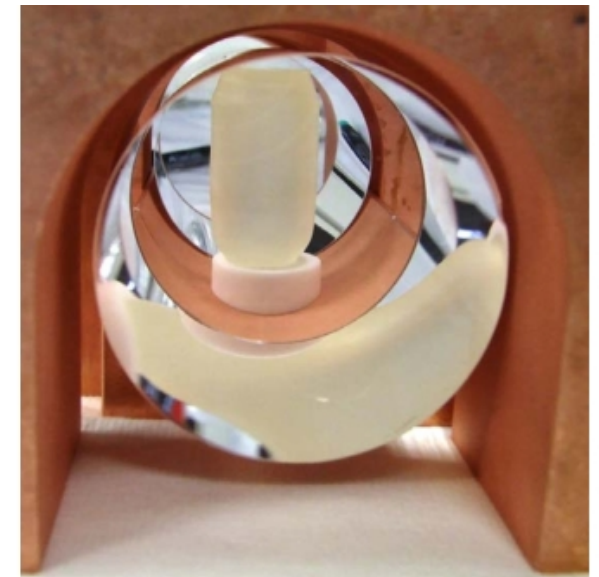
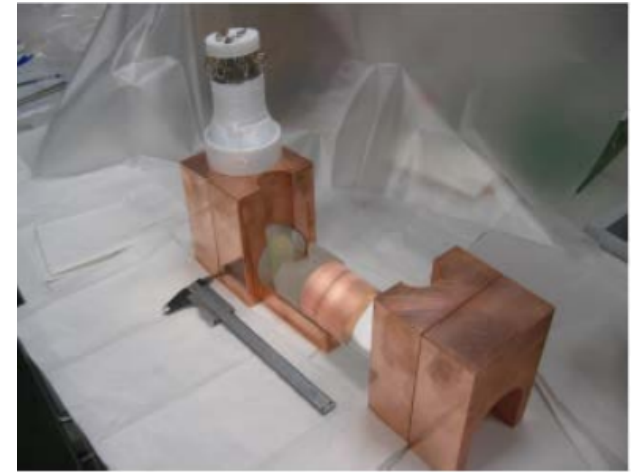
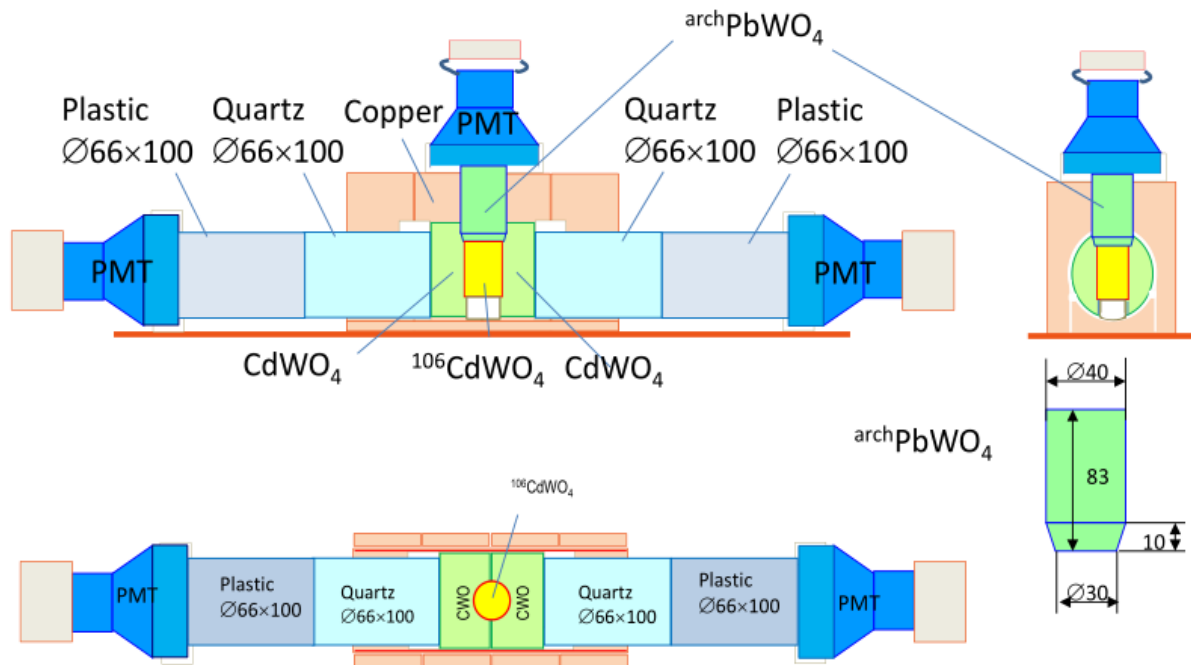
[1] Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 615 (2010) 301-306

Крива оптичного пропускання (зверху). Спектр випромінювання кристалу під дією ультрафіолетового (PL) та рентгенівського (RL) випромінювань (знизу)

Установка з детектором $^{106}\text{CdWO}_4$

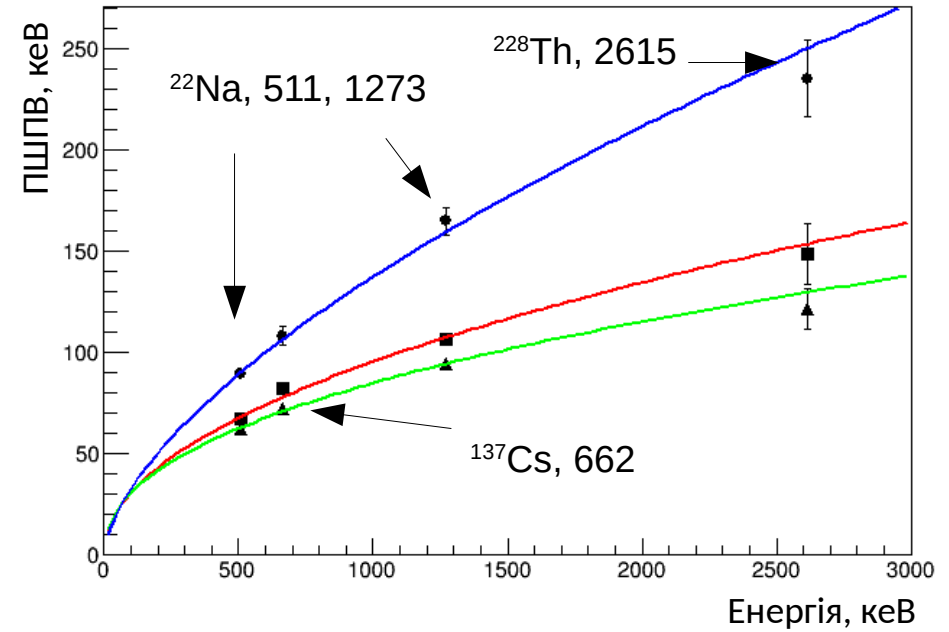
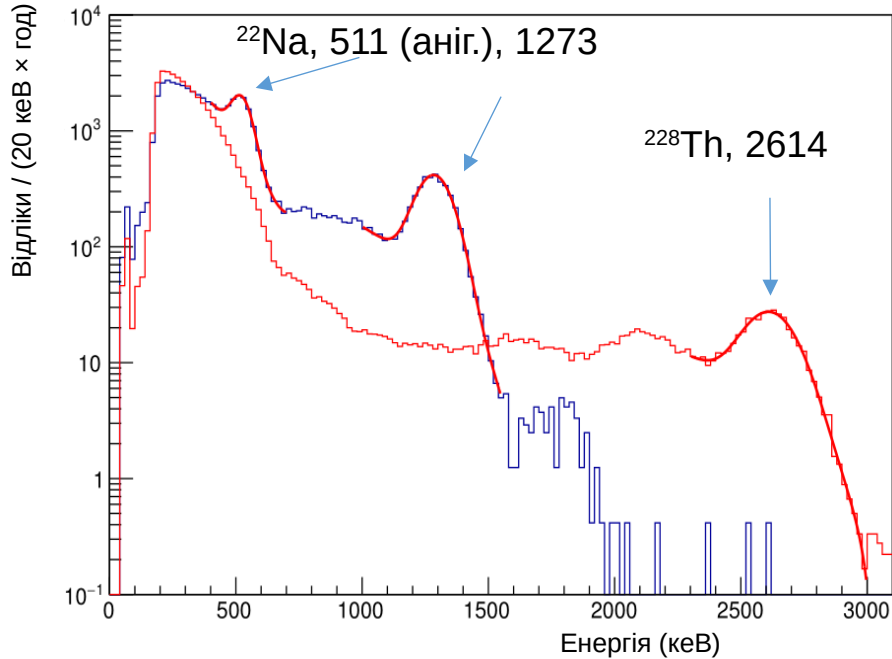
Експеримент проводиться у підземній лабораторії Гран-Сассо (Італія) на глибині 3600 м водного еквіваленту.

Детектор $^{106}\text{CdWO}_4$ працює у збігах з двома детекторами CdWO_4 з природнім складом кадмію



Фон набрано впродовж близько 15 тисяч годин

Енергетична роздільна здатність детектора $^{106}\text{CdWO}_4$



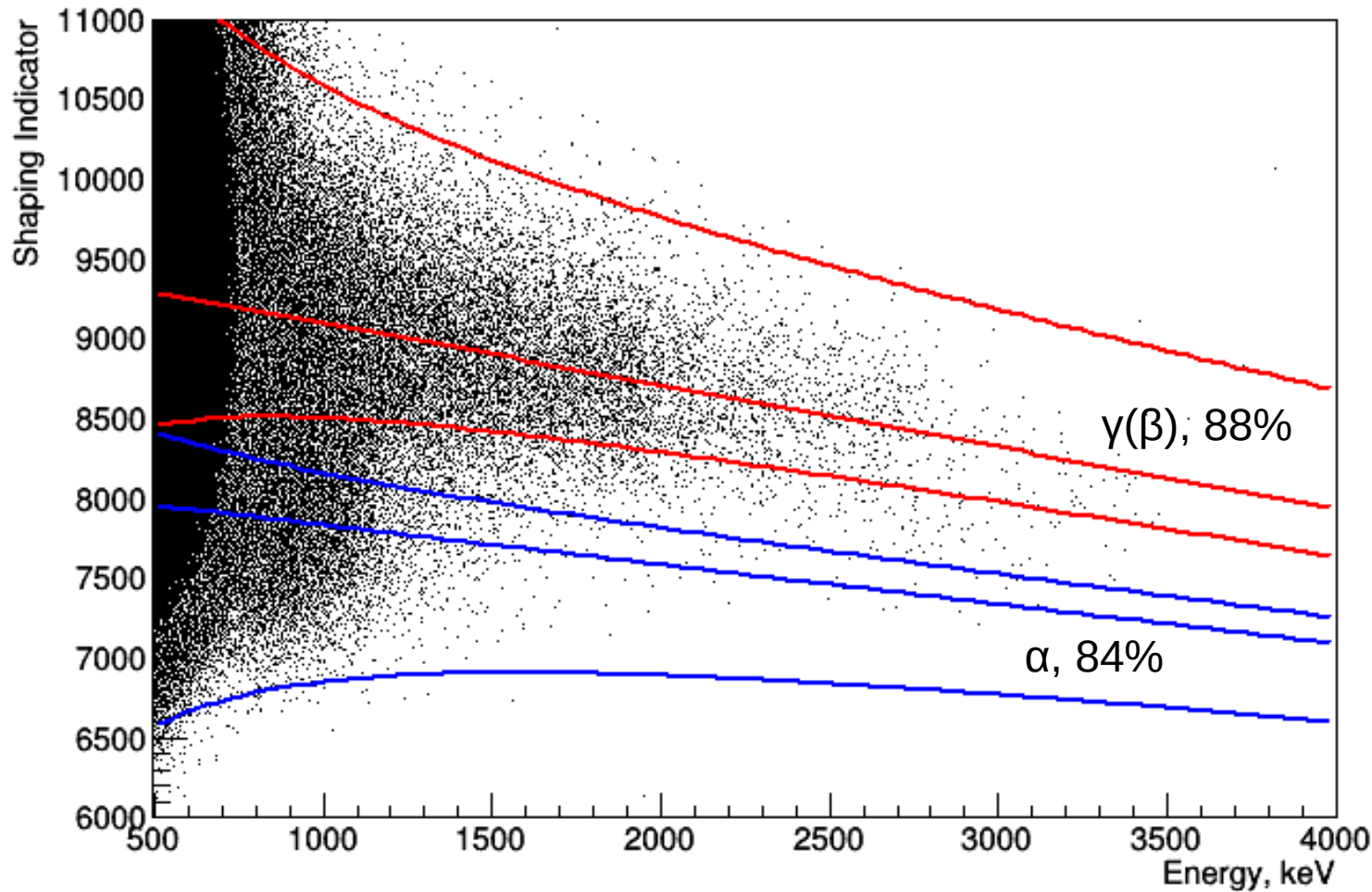
Енергетичні спектри калібрувальних джерел ^{22}Na та ^{228}Th , що набрані детектором $^{106}\text{CdWO}_4$

Енергетична роздільна здатність детекторів $^{106}\text{CdWO}_4$ та CdWO_4 становить відповідно $\approx 16\%$ та $\approx 12\%$ для гамма-квантів ^{137}Cs з енергією 662 кеВ.

$$FWHM = [p_1 \cdot E]^{p_2}$$

- Детектор $^{106}\text{CdWO}_4$
- Перший детектор CdWO_4
- ▲— Другий детектор CdWO_4

Розділення α - та $\gamma(\beta)$ -частинок за формою сигналу



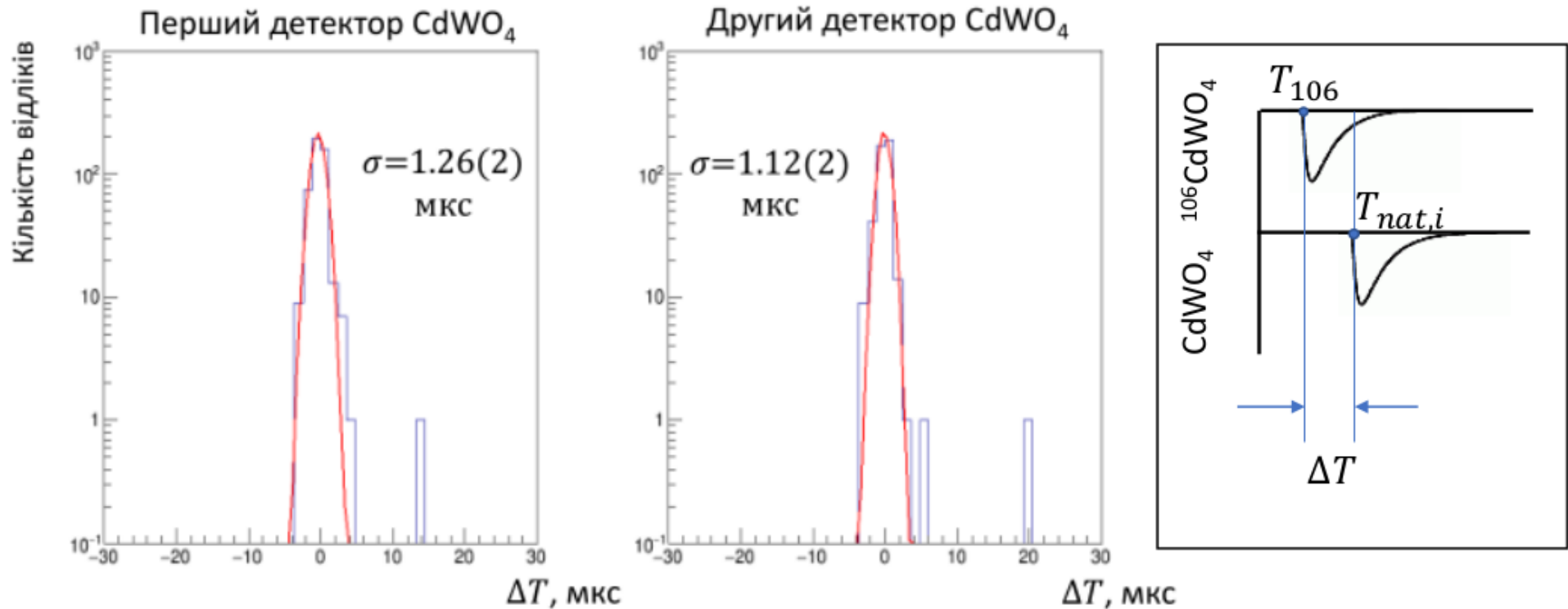
$$SI = \frac{\sum f(t_k) \times P(t_k)}{\sum f(t_k)}$$

$$P(t) = \frac{f_\alpha(t) - f_\beta(t)}{f_\alpha(t) + f_\beta(t)}$$

$f_\alpha(t)$ та $f_\beta(t)$ — це форми сигналів для α - та $\gamma(\beta)$ -частинок

$f(t_k)$ — форма сигналу в момент t_k

Розподіли часових інтервалів між сигналами в основному та допоміжних детекторах



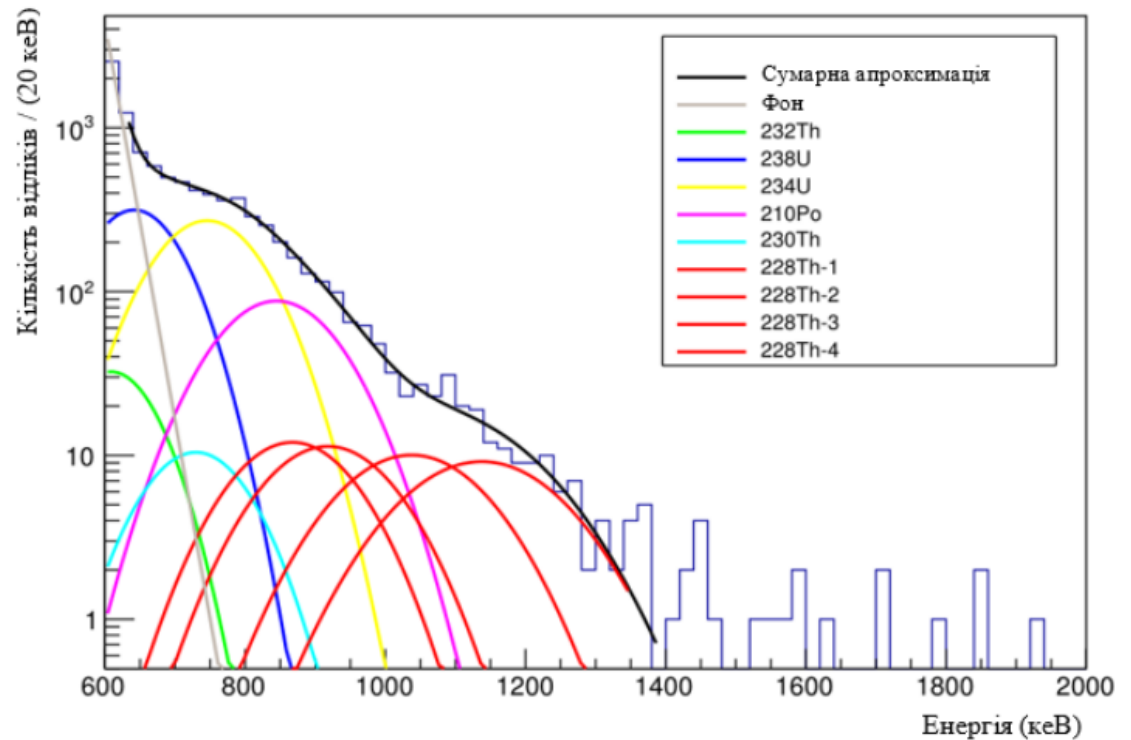
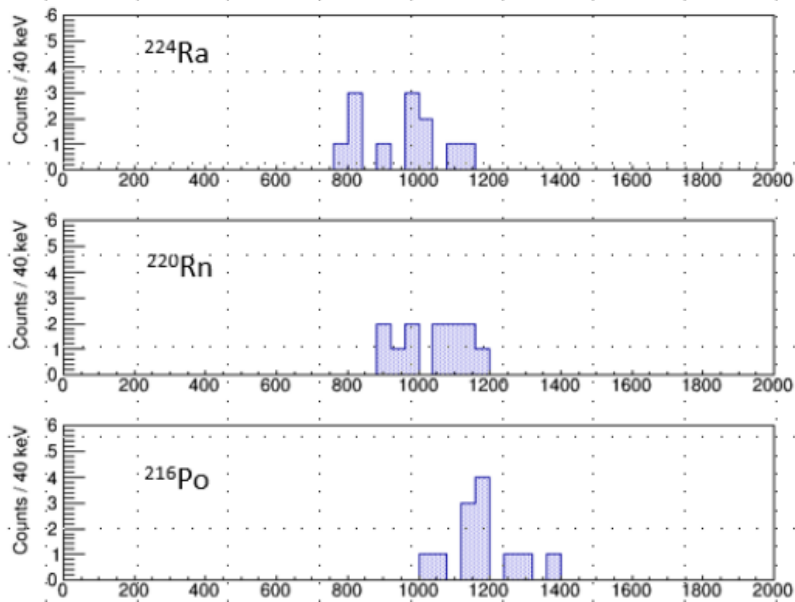
$$\Delta T = T_{nat,i} - T_{106}$$

$T_{nat,i}$ – початок сигналу в i -у детекторі CdWO_4
 T_{106} – початок сигналу в детекторі $^{106}\text{CdWO}_4$

Відбираються події в детекторі $^{106}\text{CdWO}_4$ з енергією 1273 кеВ у збігах з енергією 511 кеВ у допоміжних детекторах CdWO_4 . Використані дані вимірювань з джерелом ^{22}Na .

Визначення радіоактивної забрудненості детектора $^{106}\text{CdWO}_4$

Спектр альфа-частинок і його аналіз

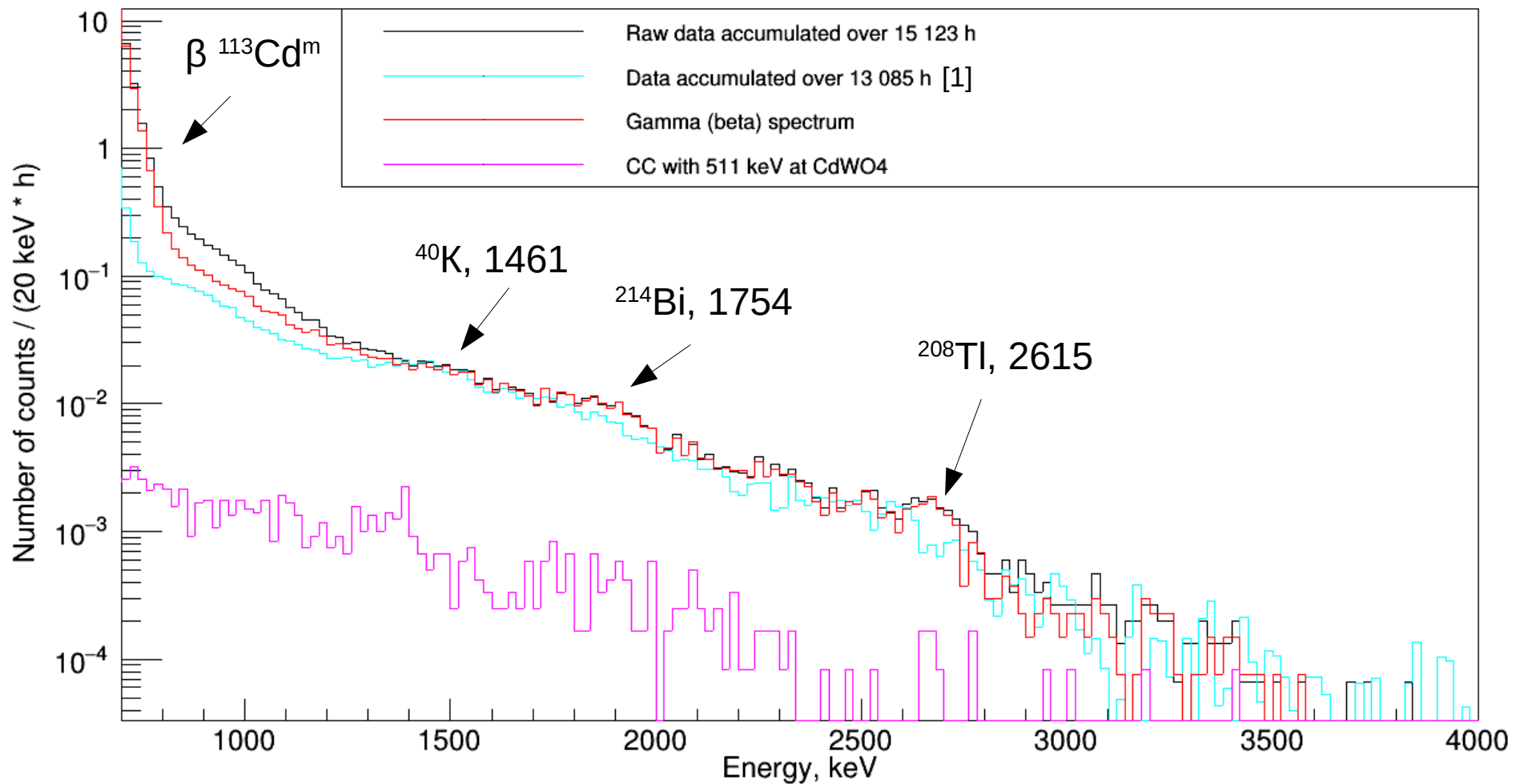


$^{232}\text{Th} \rightarrow \dots \rightarrow ^{228}\text{Th} (T_{1/2} = 1.91 \text{ років}) \rightarrow$
 $^{224}\text{Ra} (Q_\alpha = 5.79 \text{ MeV}, T_{1/2} = 3.66 \text{ днів}) \rightarrow$
 $^{220}\text{Rn} (Q_\alpha = 6.41 \text{ MeV}, T_{1/2} = 55.6 \text{ сек.}) \rightarrow$
 $^{216}\text{Po} (Q_\alpha = 6.91 \text{ MeV}, T_{1/2} = 0.145 \text{ сек.}) \rightarrow$
 $^{212}\text{Pb} \rightarrow \dots$

Активність ^{228}Th в сцинтиляторі $^{106}\text{CdWO}_4$ рівна:

$$A = 5(1) \text{ мкБк / кг}$$

Енергетичний спектр фону детектора $^{106}\text{CdWO}_4$



[1] PHYSICAL REVIEW C 93, 045502 (2016)

Висновки

- Ядро ^{106}Cd є перспективним об'єктом дослідження подвійного бета-розпаду
- Енергетична роздільна здатність детектора із сцинтиляційним кристалом $^{106}\text{CdWO}_4$ є порівняно низькою
- Відбір подій у детекторі $^{106}\text{CdWO}_4$ у збігах з CdWO_4 дозволяє знизити фон для пошуку 2β -процесів розпаду ^{106}Cd з випроміненням позитронів
- Набір даних та аналіз експерименту триває надалі
- Наступний етап аналізу: апроксимація фону моделями з метою отримати обмеження на період напіврозпаду різних мод і каналів подвійного β -розпаду ядра ^{106}Cd