



Федеральное государственное бюджетное учреждение
«Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова
Национального исследовательского центра «Курчатовский институт»

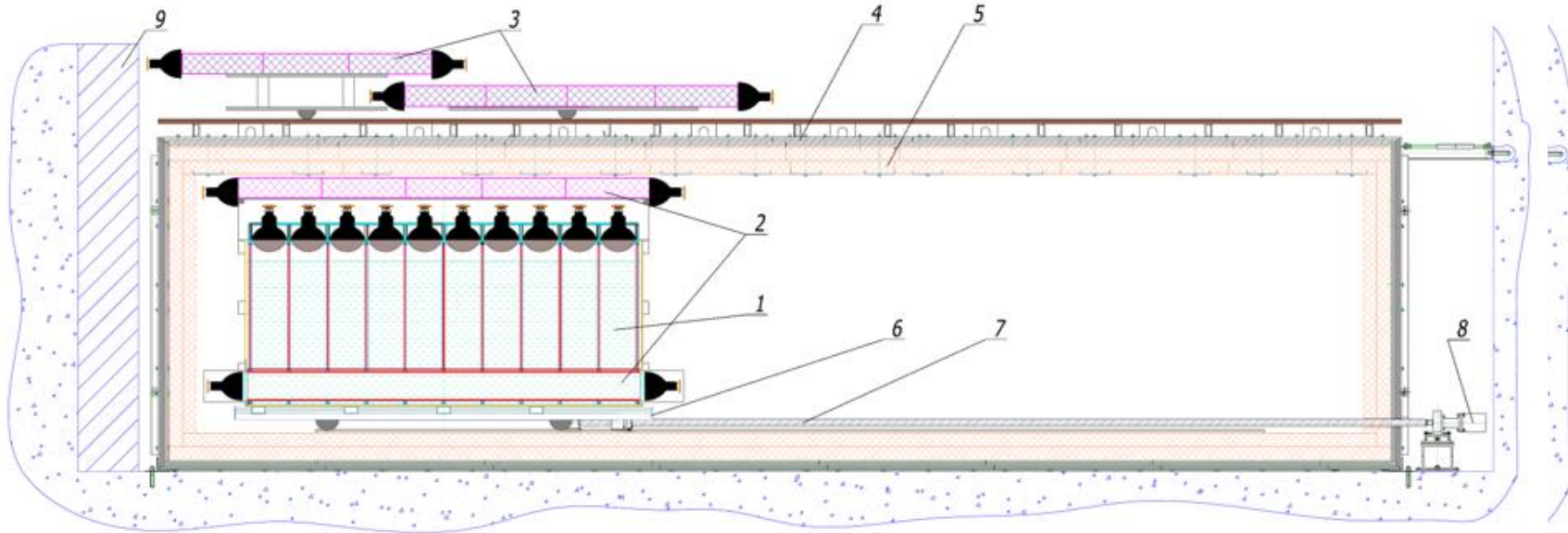


Подготовка эксперимента Нейтрино4+ на реакторе SM-3

А.П. Серебров, В.Г. Ивочкин, Р.М. Самойлов, А.К. Фомин, В.Г. Зиновьев, С.С. Волков,
В.Л. Головцов, Н.В. Грузинский, П.В. Неустроев, А.В. Васильев, В.В. Федоров, А.А. Герасимов,
М.Е. Зайцев, И.В. Паршин, Д. Якимов, М.Е. Чайковский, А.М. Гагарский, А.Л. Петелин,
А.Л. Ижутов, М.О. Громов, С.А. Сазонтов, А.А. Тузов, В.И. Рыкалин, Д.А. Макаренко, А.М. Немерюк

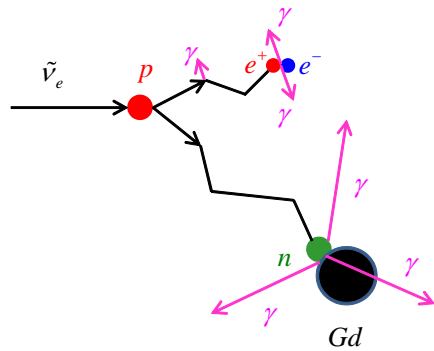
Научная сессия секции ядерной физики ОФН РАН
г. Дубна, ОИЯИ 2024, 03.04.2023

Подвижный спектрально-чувствительный детектор антинейтрино на реакторе СМ-3



1. detector (5x10 cells)
2. internal active shielding
3. external active shielding
4. steel and lead
5. borated polyethylene
6. moveable platform
7. feed screw
8. step motor
9. shielding

Диапазон измерений 6 - 12 метров.



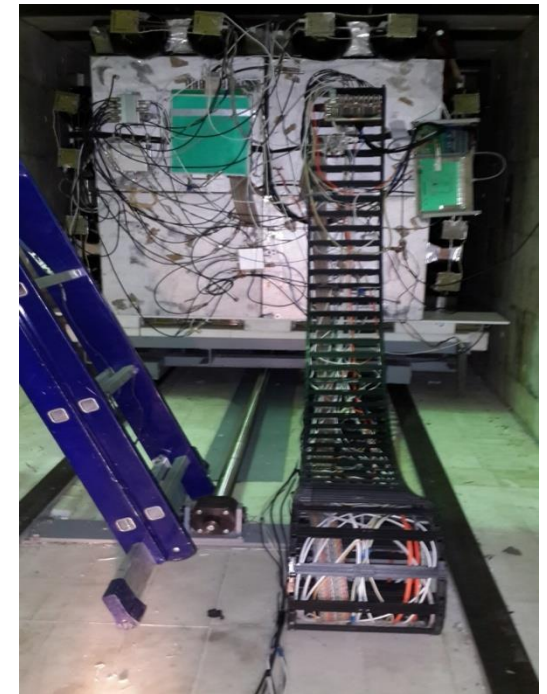
S/B ~ 0.5



Пассивная защита - 60 тонн

*Канал
нейтрино
← снаружи и
внутри →*

Детектор



*Сцинтилляционный детектор
50 секций 0,235x0,235x0,85м3*

Вероятность исчезновения антинейтрино

$$N(E_i, L_k)$$

число антинейтринных событий

$$P(\tilde{\nu}_e \rightarrow \tilde{\nu}_e) = 1 - \sin^2 2\theta_{14} \sin^2 \left(1.27 \frac{\Delta m_{14}^2 [\text{eV}^2] L [\text{m}]}{E_{\tilde{\nu}} [\text{MeV}]} \right)$$

Спектрально-независимый метод анализа экспериментальных данных

$$R_{i,k}^{\text{exp}} = \frac{N(E_i, L_k) L_k^2}{K^{-1} \sum_k N(E_i, L_k) L_k^2} = \frac{S(E) \mathcal{E}(E) [1 - \sin^2 2\theta_{14} \sin^2 (1.27 \Delta m_{14}^2 L_k / E_i)]}{S(E) \mathcal{E}(E) K^{-1} \sum_k [1 - \sin^2 2\theta_{14} \sin^2 (1.27 \Delta m_{14}^2 L_k / E_i)]} = R_{i,k}^{\text{th}}$$

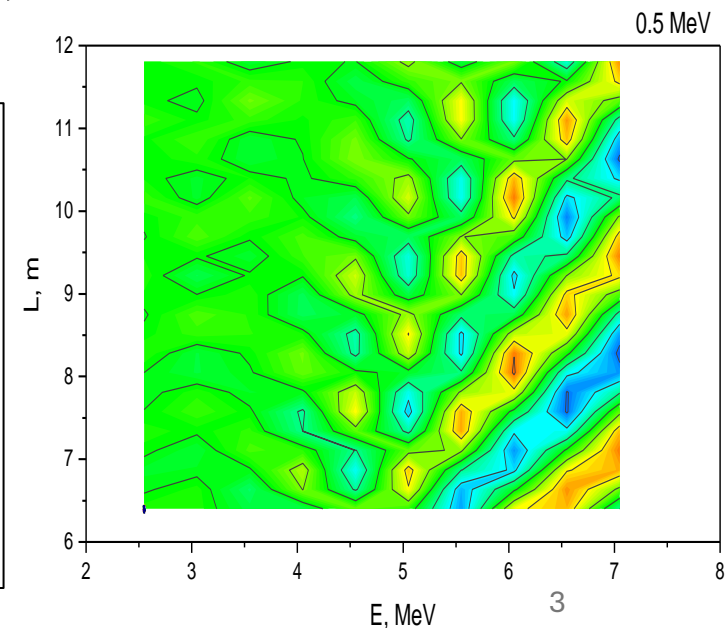
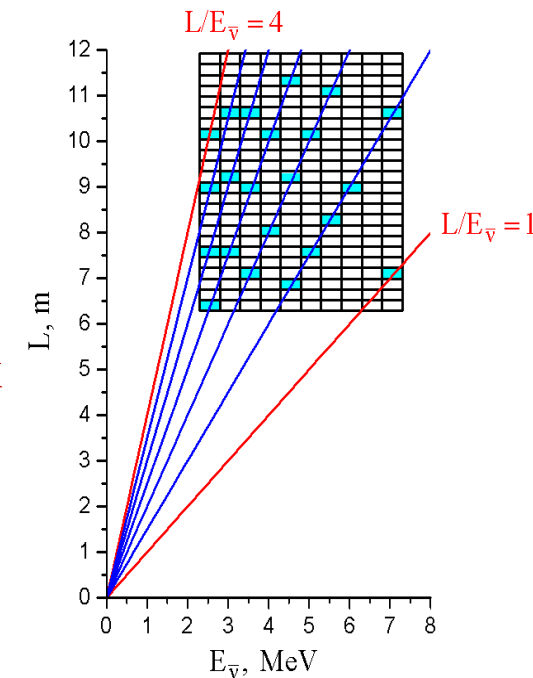
Знаменатель значительно упрощается при диапазоне расстояний измерения, значительно превышающем характерный период осцилляций:

$S(E)$ - Spectrum

$\mathcal{E}(E)$ - Detector efficiency

$$R_{ik}^{\text{th}} \approx \frac{1 - \sin^2 2\theta_{14} \sin^2 (1.27 \Delta m_{14}^2 L_k / E_i)}{1 - 1/2 \sin^2 2\theta_{14}} \xrightarrow{\theta_{14}=0} 1$$

Метод когерентного сложения данных с одинаковой фазой.

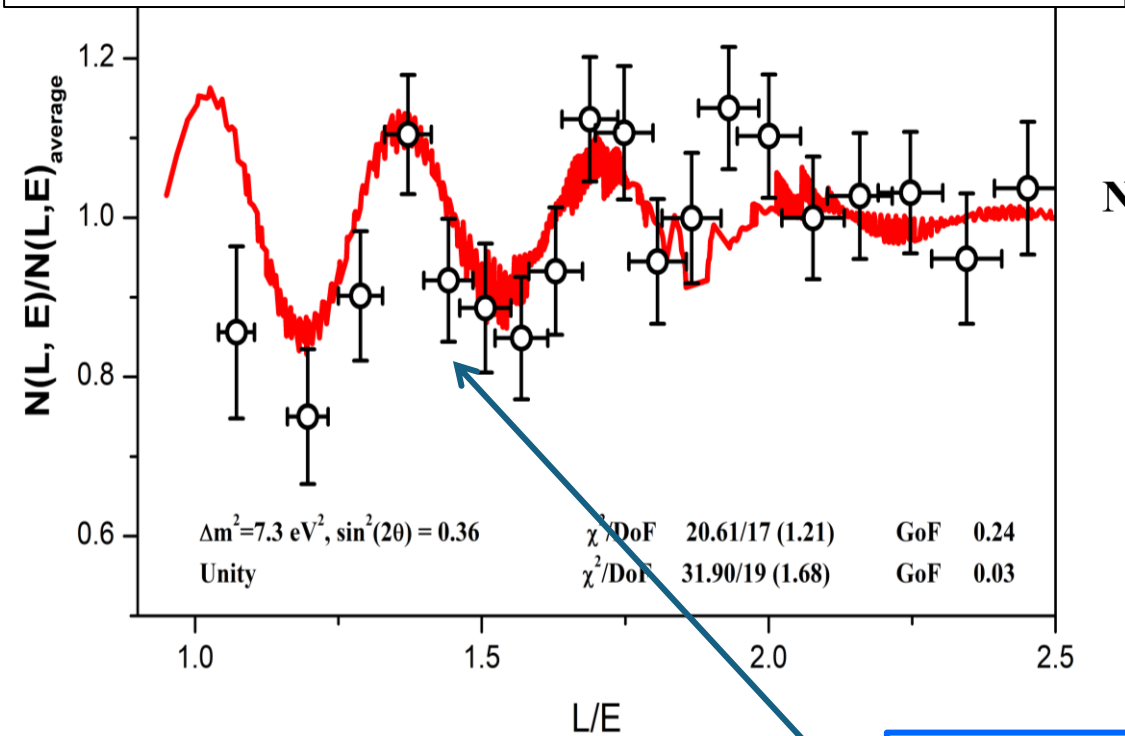


Эффект осцилляций в эксперименте «Нейтрино-4»

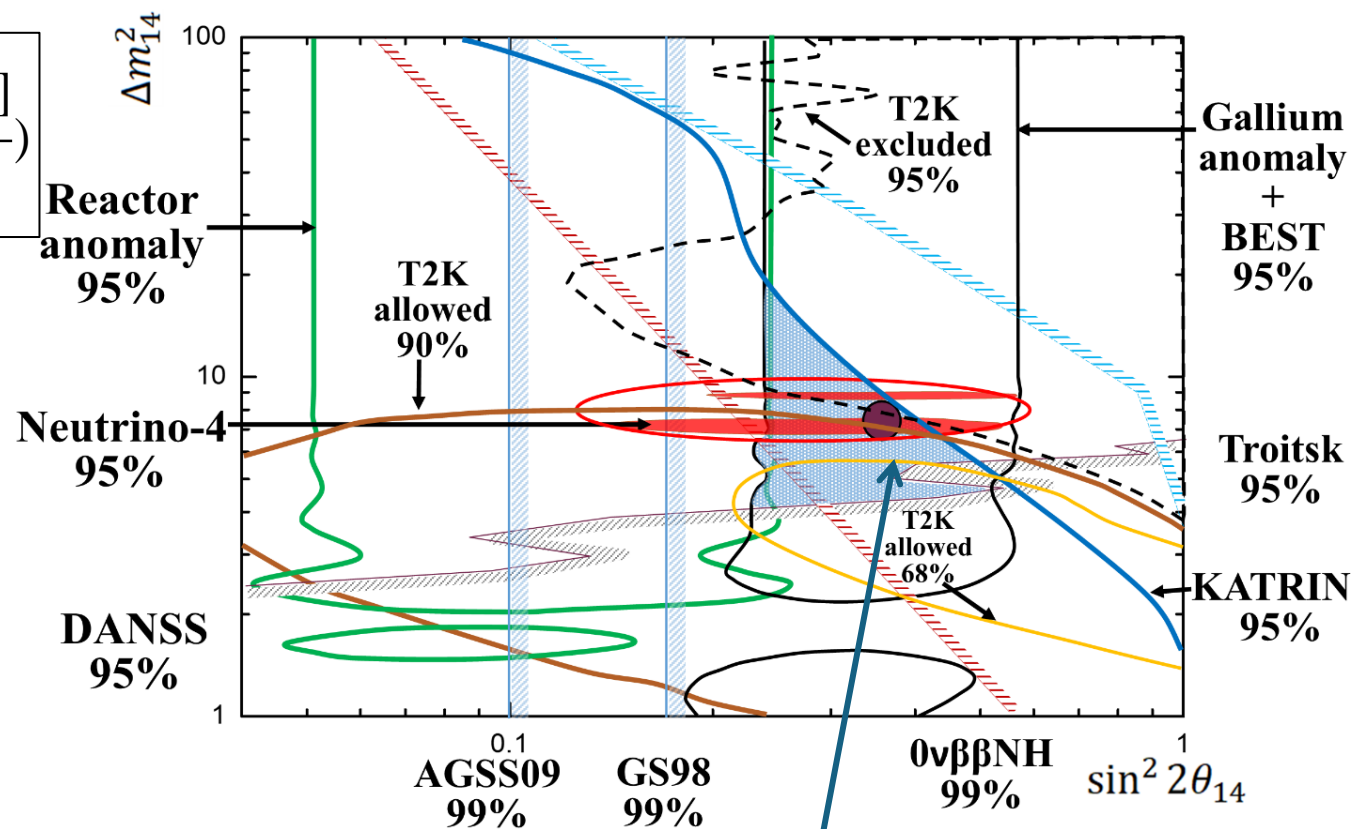
$$\Delta m_{14}^2 = (7.3 \pm 0.13_{st} + 1.16_{sys}) eV^2$$

$$\sin^2 2\theta_{14} = 0.36 \pm 0.12_{stat} (2.9\sigma).$$

$$P(\tilde{\nu}_e \rightarrow \tilde{\nu}_e) = 1 - \sin^2 2\theta_{14} \sin^2 \left(1.27 \frac{\Delta m_{14}^2 [eV^2] L [m]}{E_{\tilde{\nu}} [MeV]} \right)$$



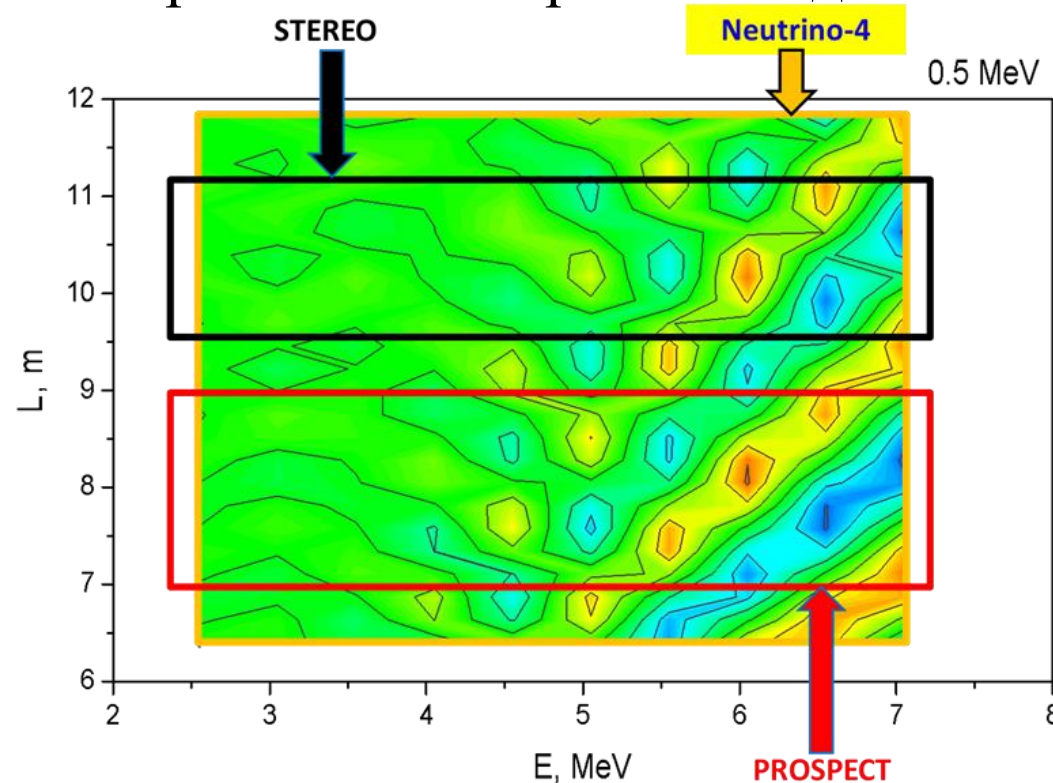
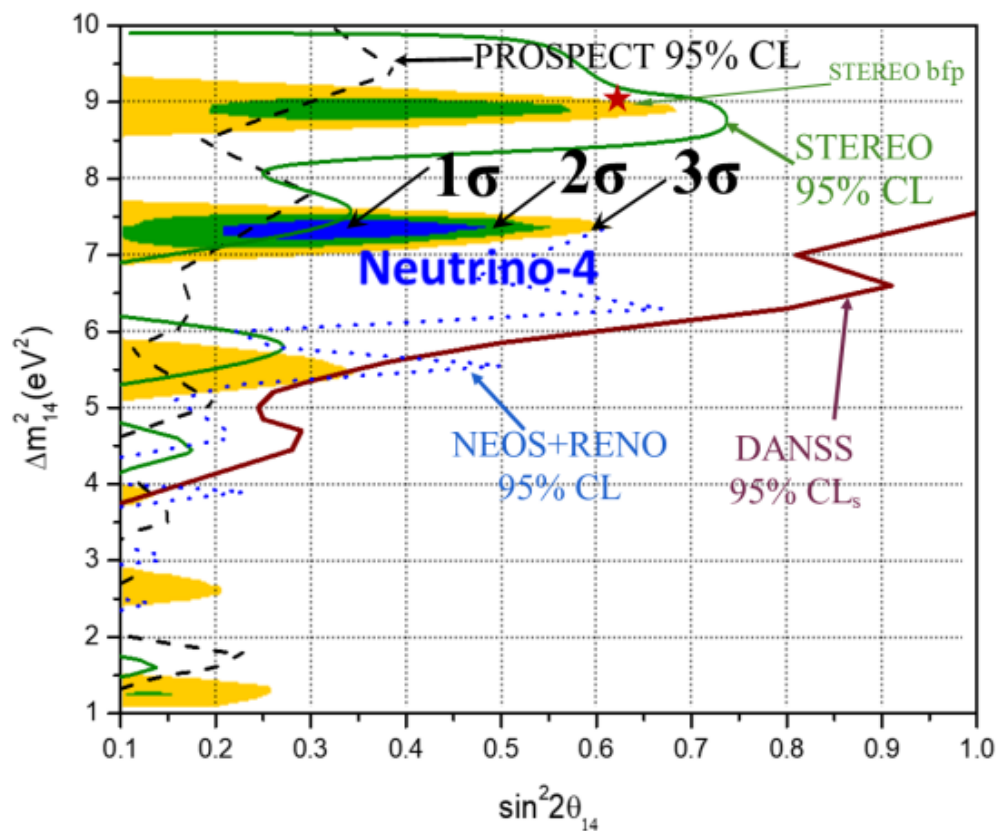
Сравнение результатов эксперимента «Нейтрино-4» с результатами других экспериментов



$$m_4 = 2.7 \pm 0.2 eV$$

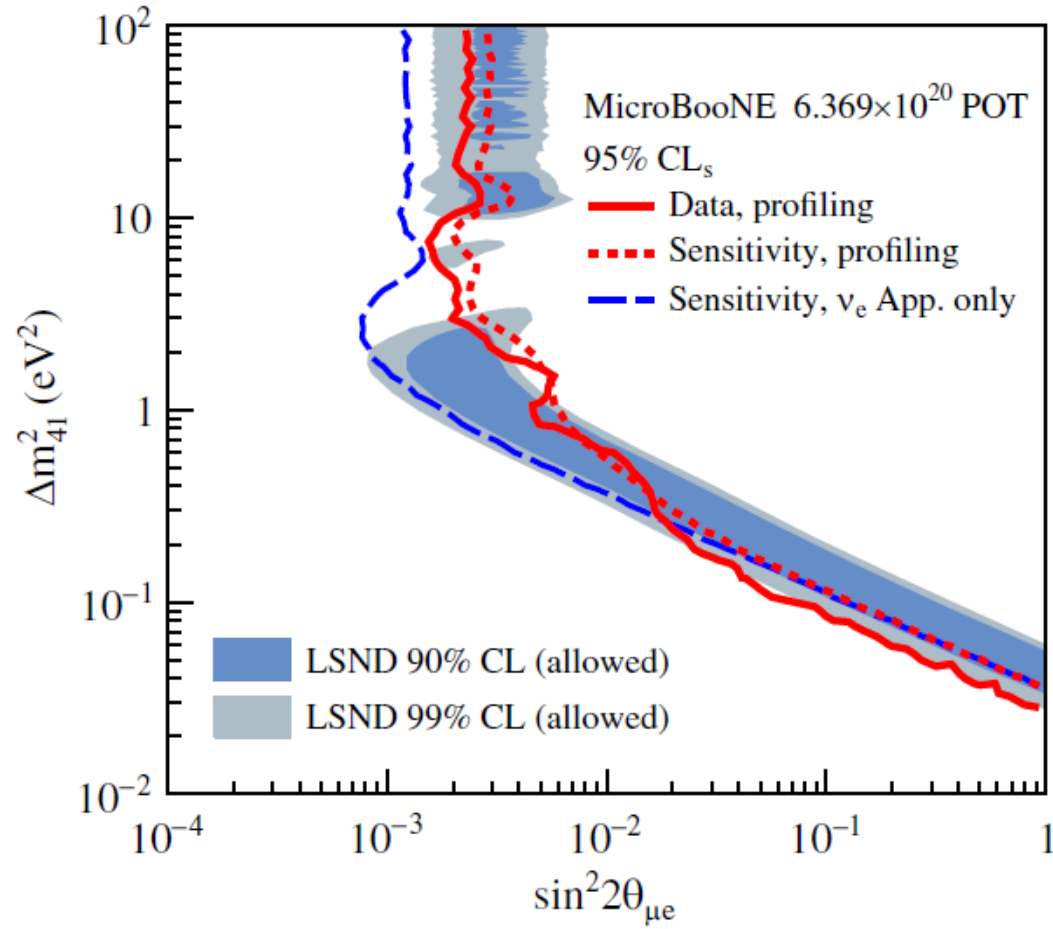
$$\Delta m_{14}^2 = 7.3 eV^2, \sin^2 2\theta_{14} = 0.36$$

Оснований говорить о закрытии результата эксперимента Нейтрино-4 недостаточно

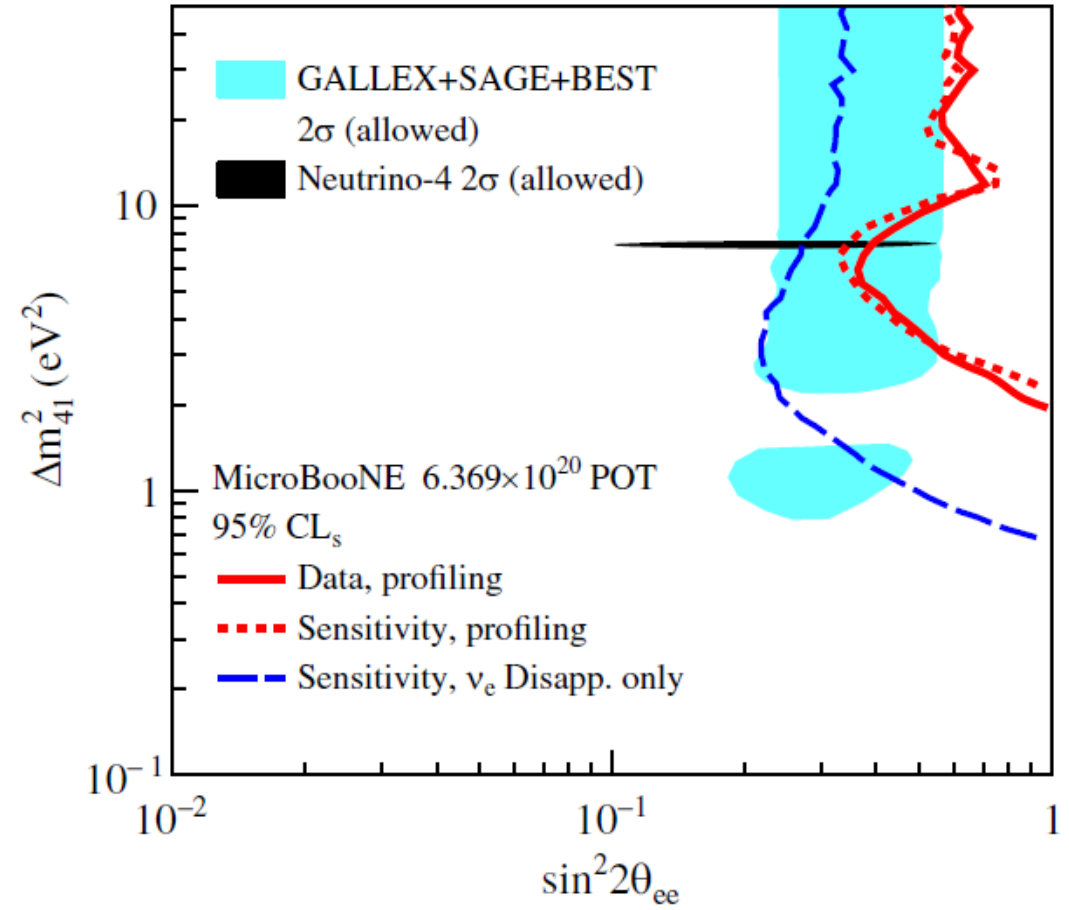


- Разная область наблюдений на плоскости (E, L) – у Нейтрино-4 шире «обзор»
- Разное представление данных – сравнение в терминах зависимости от L/E

PHYSICAL REVIEW LETTERS **130**, 011801 (2023)



(a)



(b)

KATRIN

$$m_{3\nu_e}^{\text{eff}} < 0.8 \text{ eV (90\%)}$$

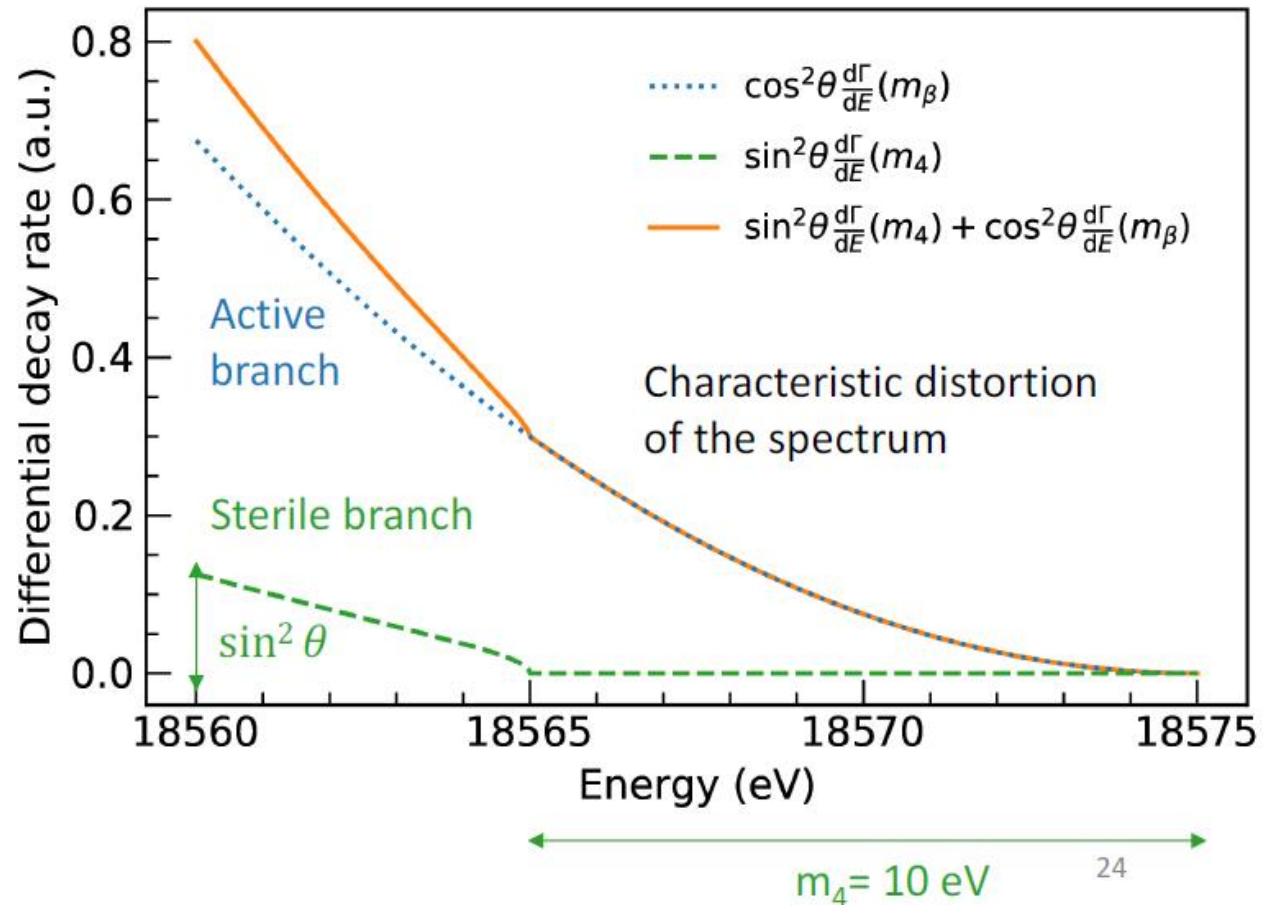
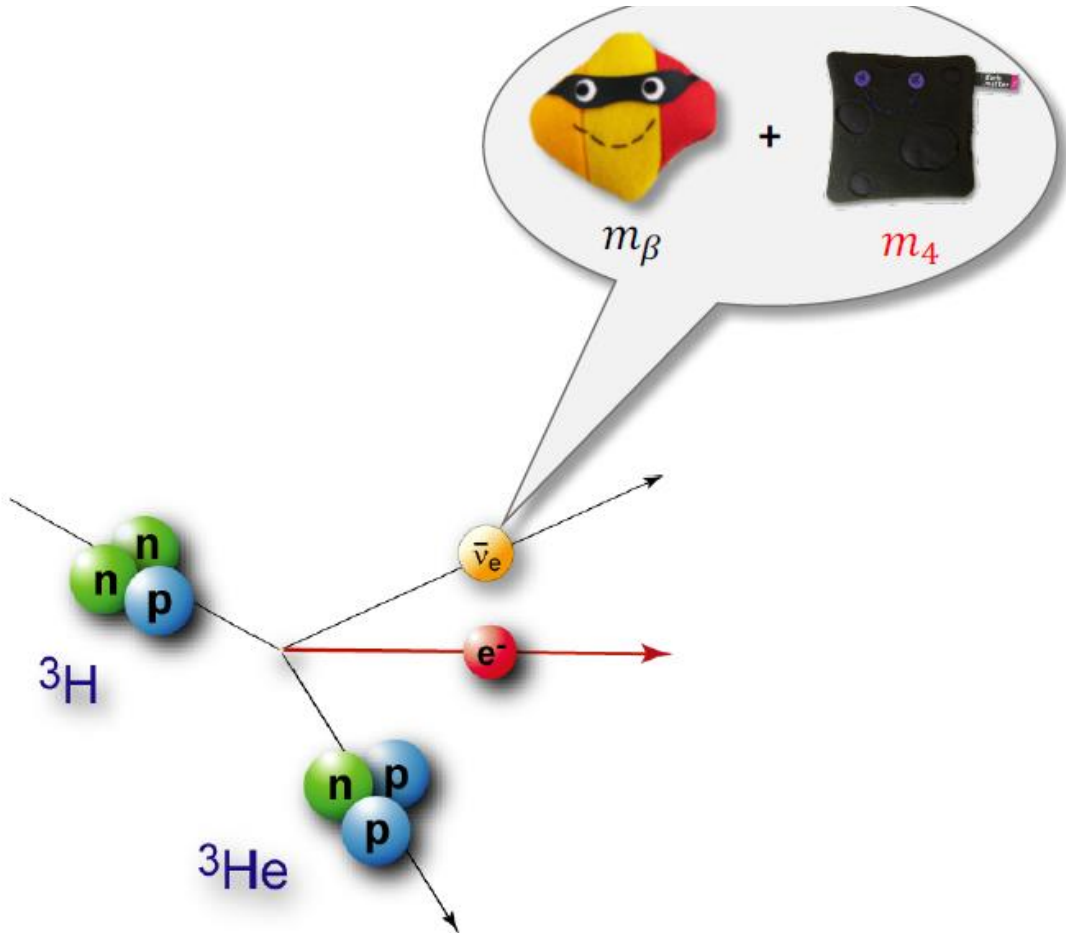
$$(m_{3\nu_e}^{\text{eff}})^2 = 0.26 \pm 0.34$$

$$m_{4\nu_e}^{\text{eff}2} = ?$$

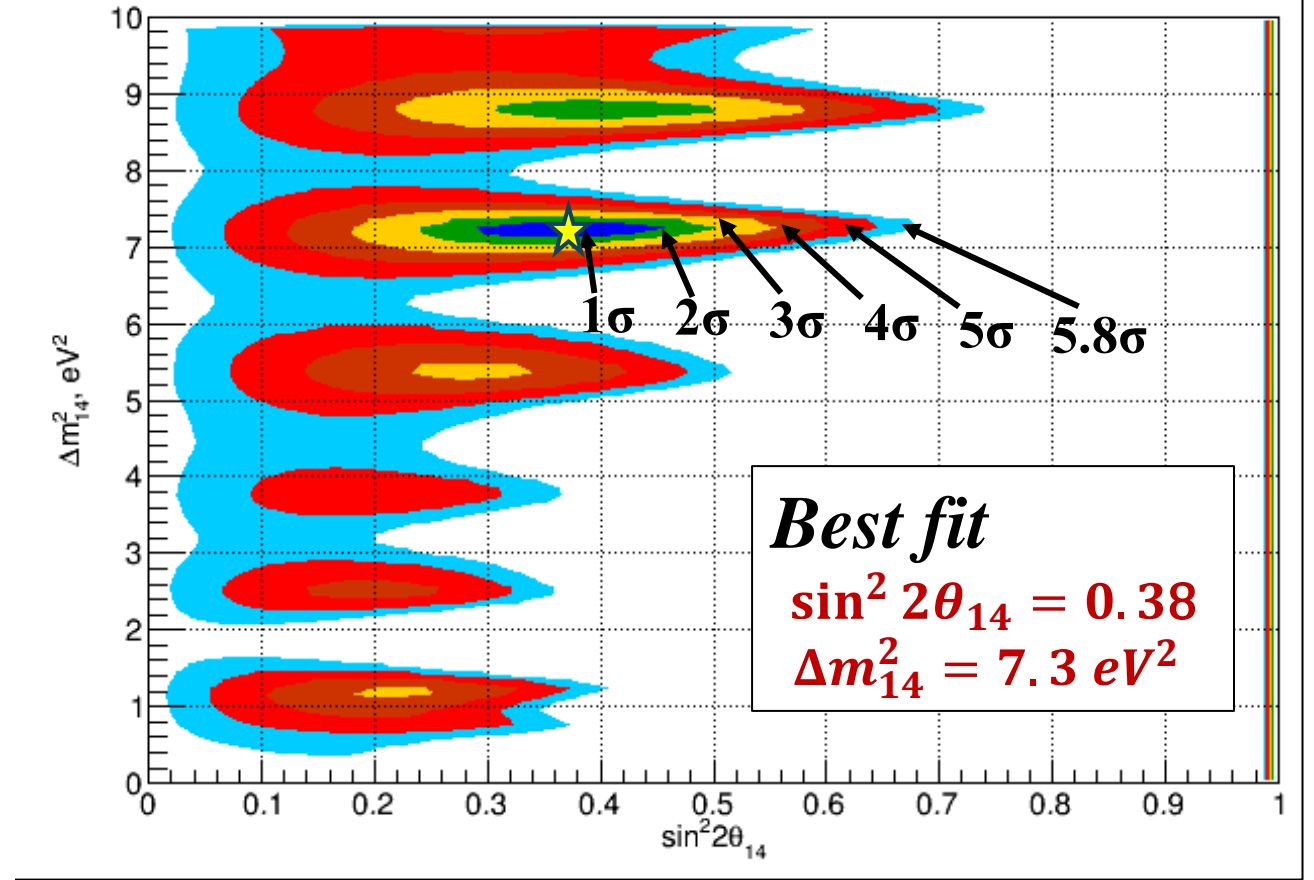
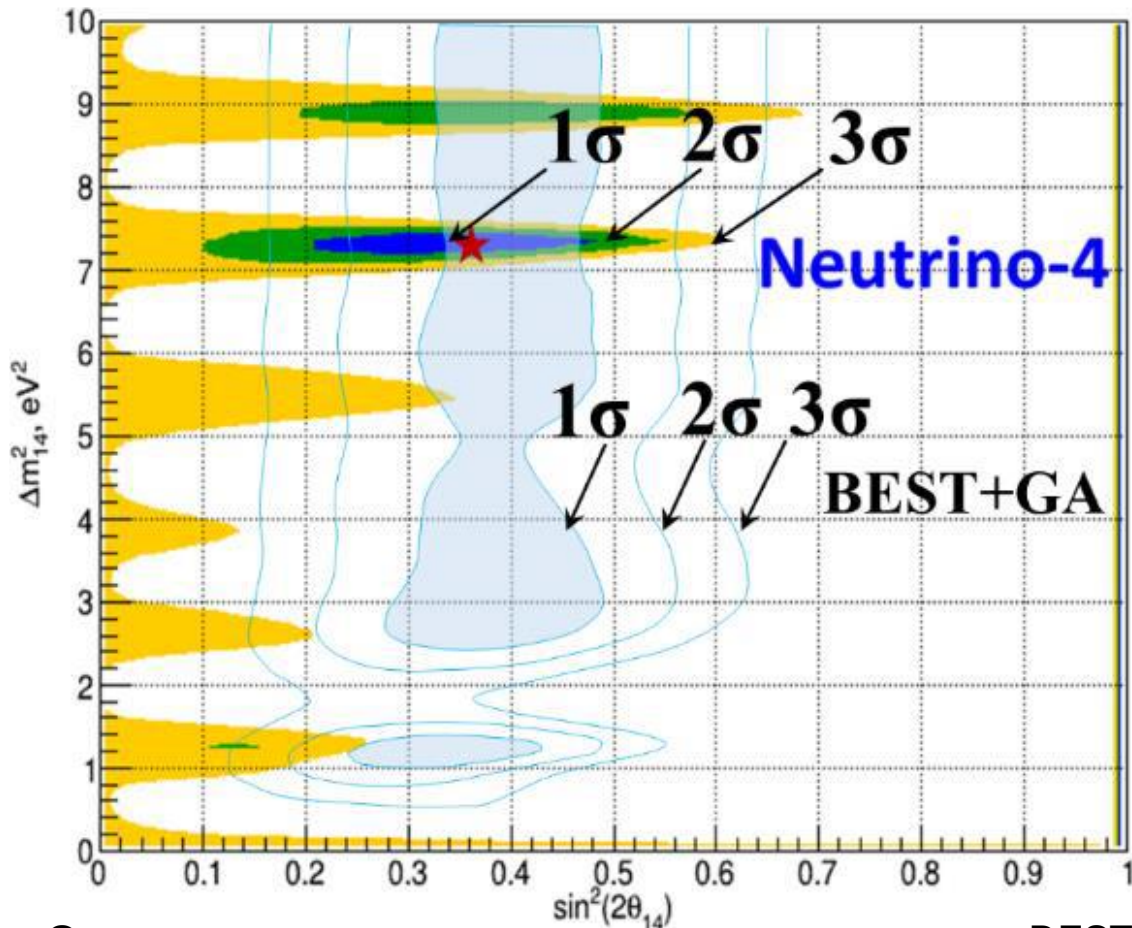
$$m_{4\nu_e}^{\text{eff}} = (0.82 \pm 0.18) \text{ eV}$$

Neutrino4

$$(m_{4\nu_e}^{\text{eff}})^2 = 0.68 \pm 0.29$$



Сравнение результатов эксперимента «Нейтрино-4» с галлиевой аномалией (ГА)

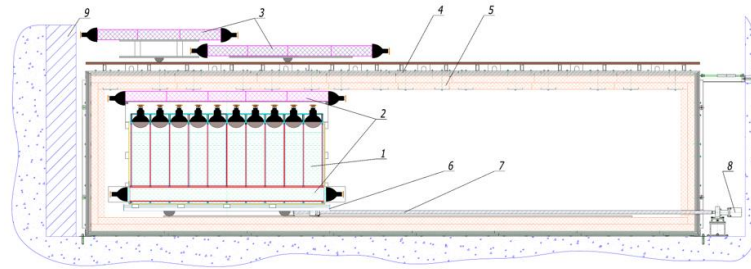


Слева – сравнение результата эксперимента BEST с ГА и результата эксперимента «Нейтрино-4». Справа – результат совместного анализа ГА, BEST и Neutrino-4, где синим цветом обозначена область с CL 1σ, зеленым – 2σ, желтым – 3σ, темно-красным – 4σ, красным – 5σ и синим – 5.8σ.

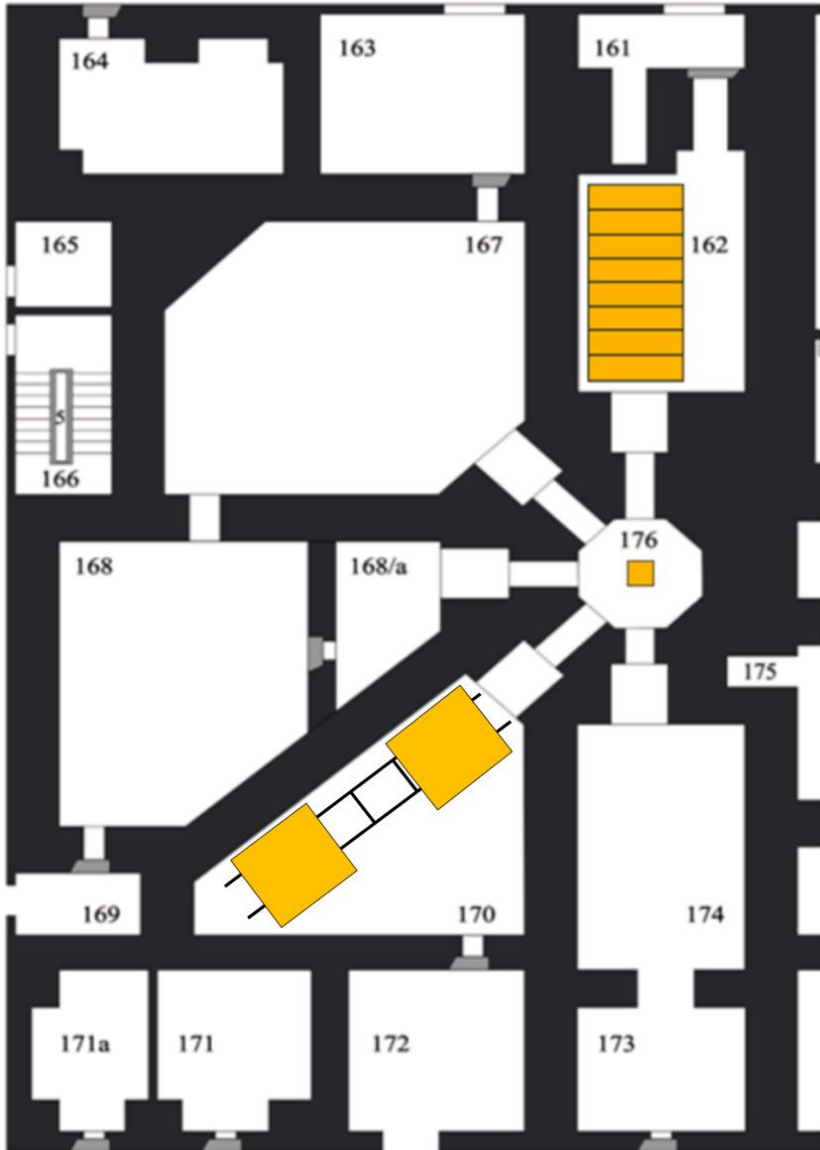
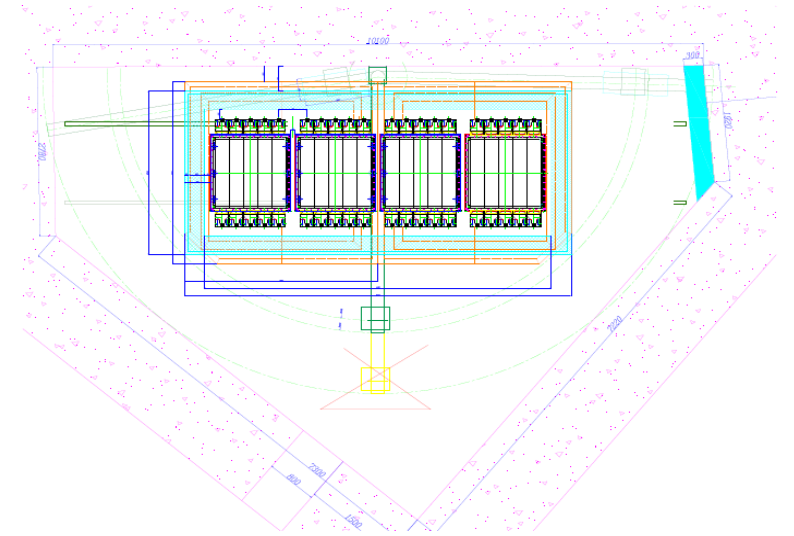
Результаты прямых экспериментов по поиску стерильных нейтрино – Neutrino-4 и BEST с GA указывают на существование стерильных нейтрино с осцилляционными параметрами: $\Delta m^2_{14} = 7.3 \text{ eV}^2$, $\sin^2 2\theta_{14} \approx 0.36$

Нейтрино4+ на реакторе СМ-3

Первая нейтринная лаборатория
в пом. 162



Вторая нейтринная лаборатория
в пом. 170

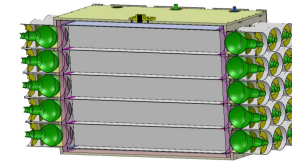


Состав установки

Лаборатория в пом. 162

Лаборатория в пом. 170

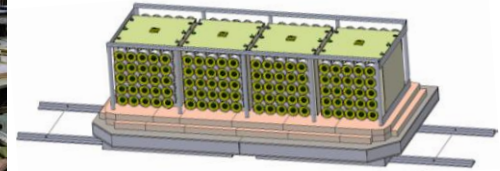
Детектор



Пассивная защита



Система передвижения



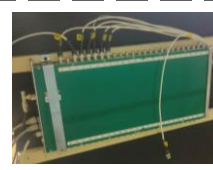
Активная защита



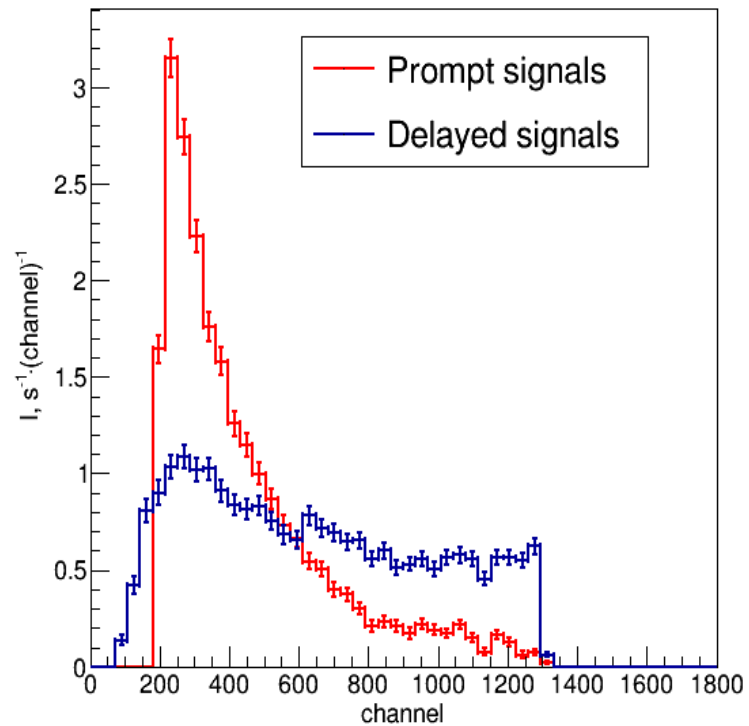
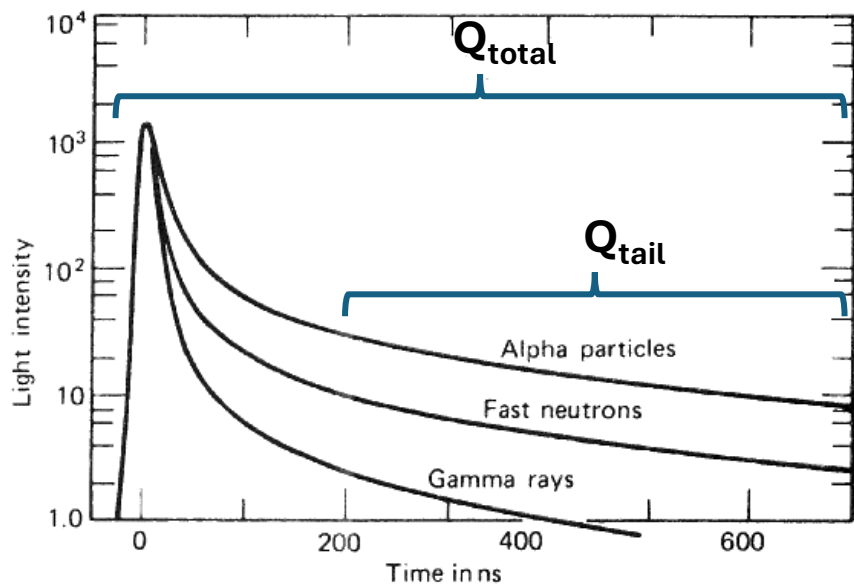
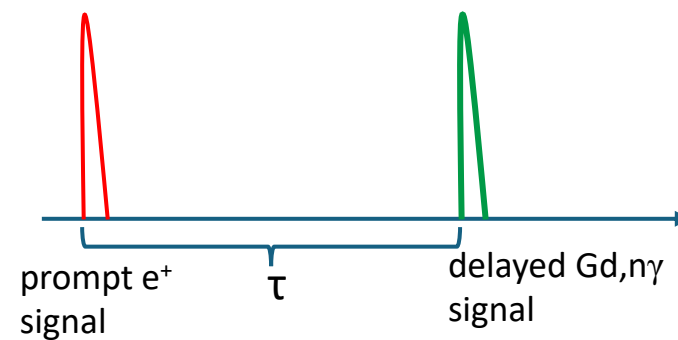
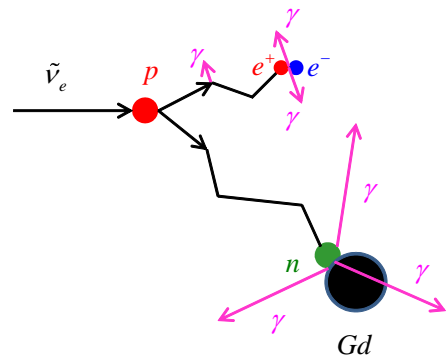
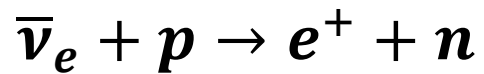
Система сбора данных



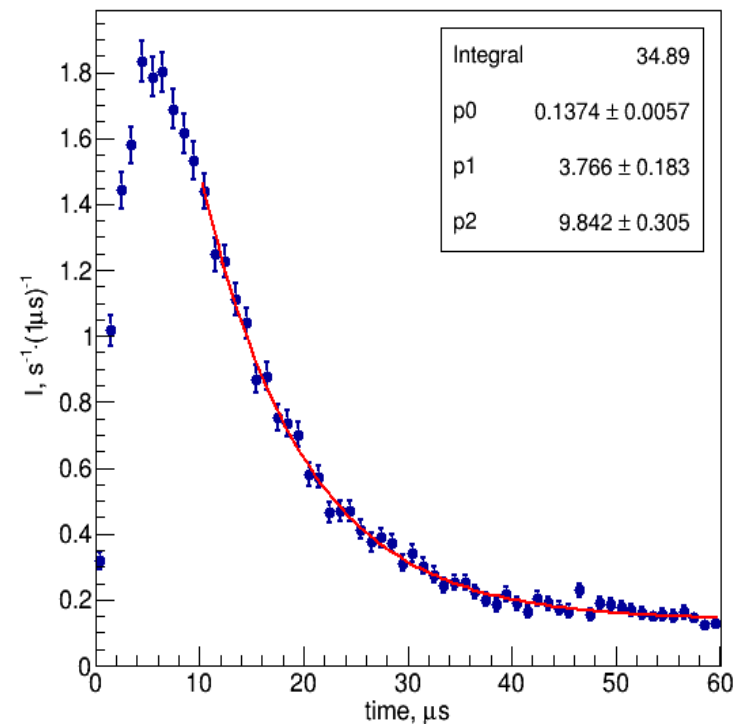
Высоковольтная система



Отбор событий обратного бета-распада

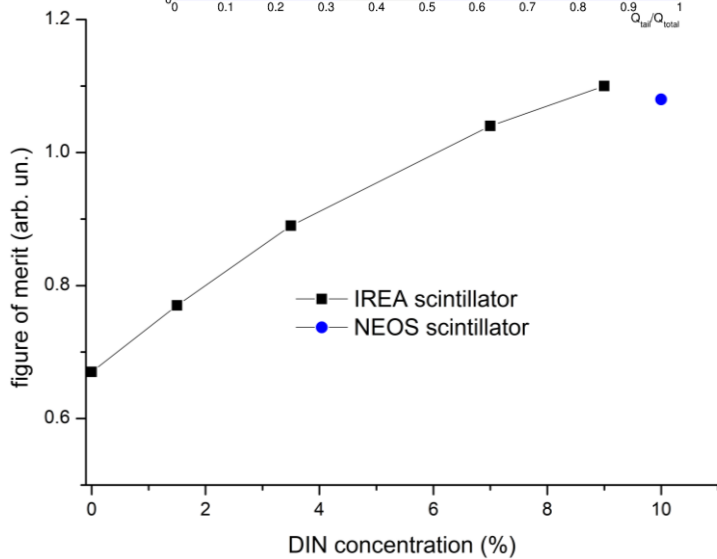
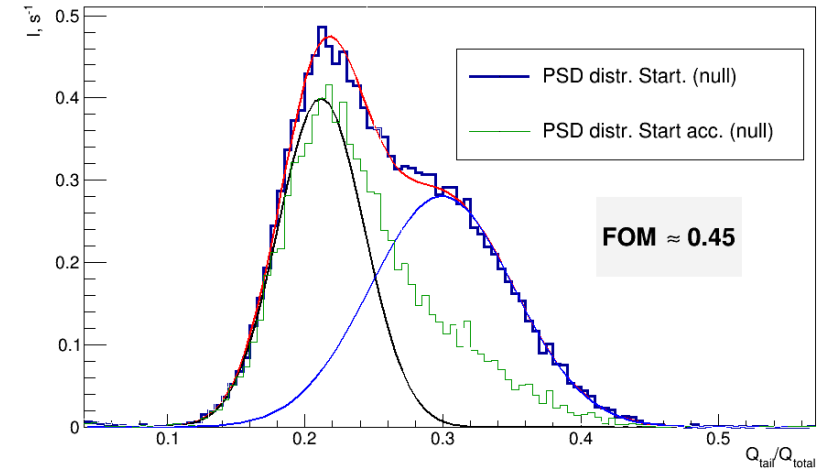
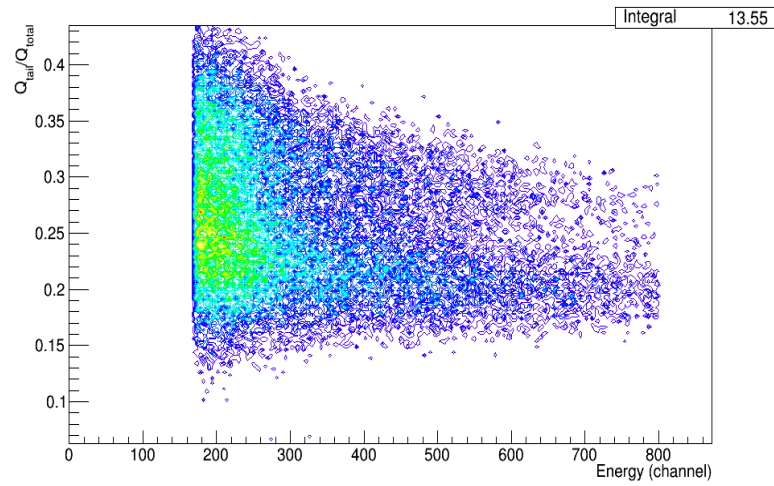
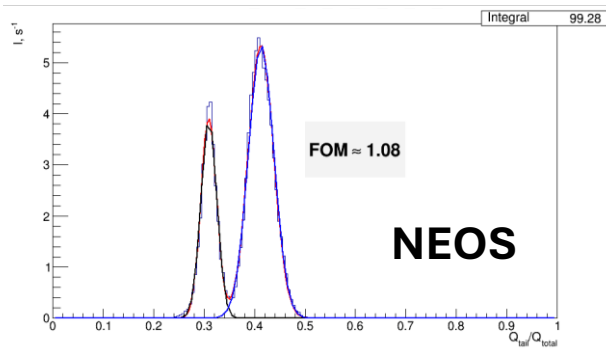
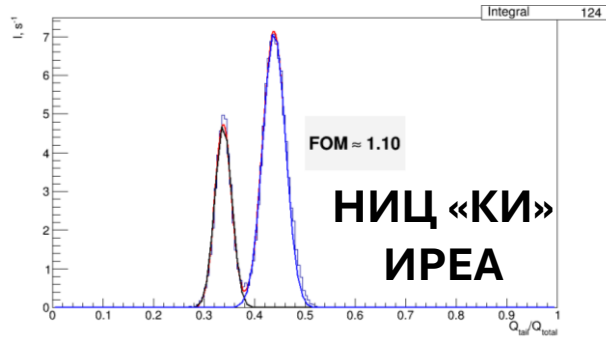


Time spectrum. Cr^{252} at the section center. Trigger mode.



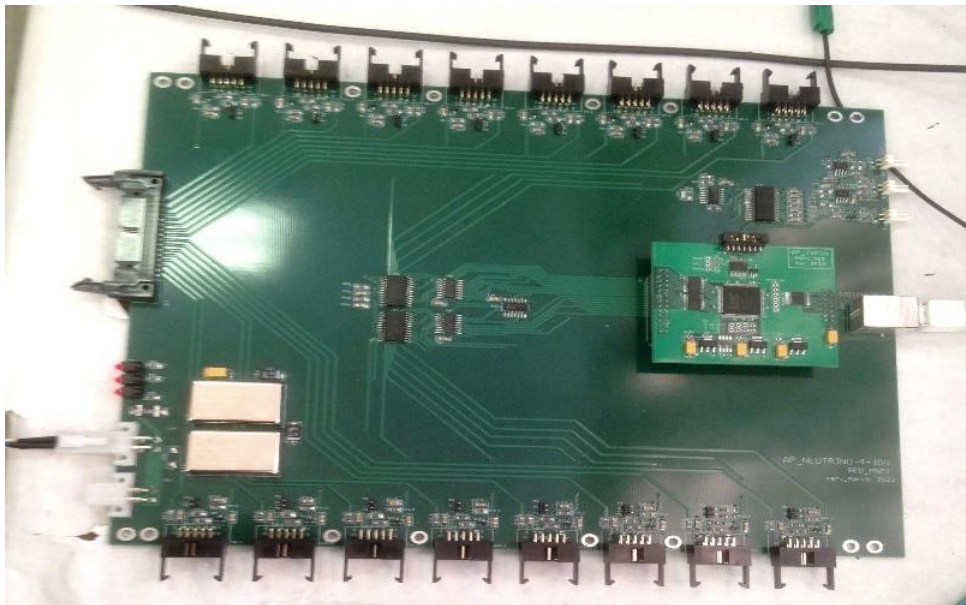
СЦИНТИЛЛЯТОР

Разрешение по Q_{tail}/Q_{total} на секции



Активная защита

- ✓ Каркас ГОТОВ
- ✓ Пластины ГОТОВЫ
- ✓ Электроника ГОТОВА

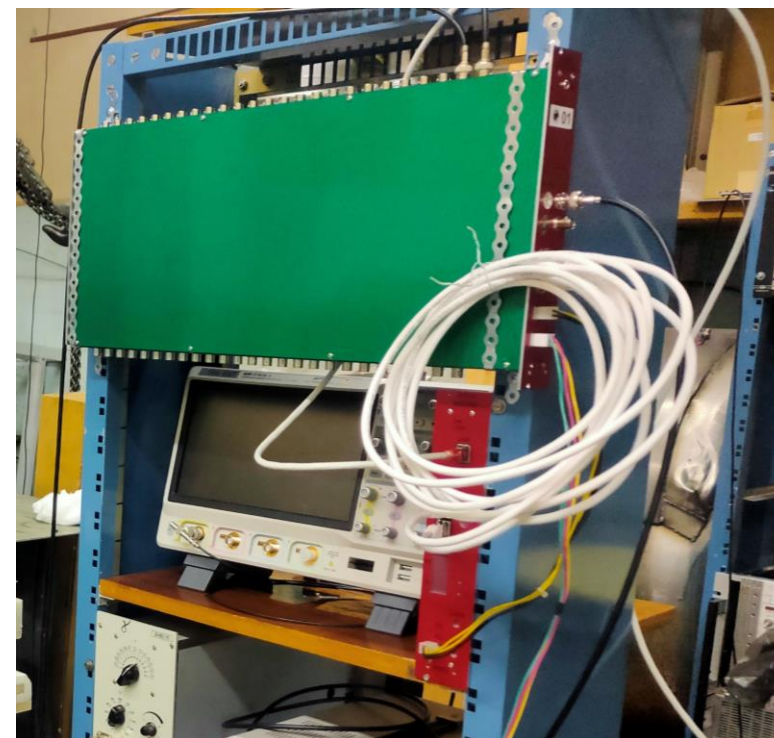
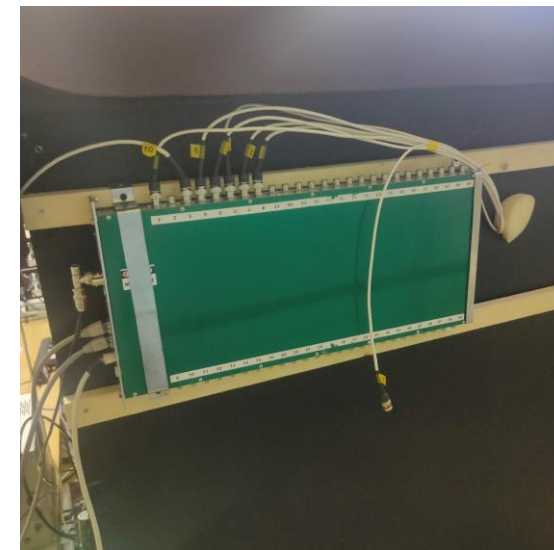


Высоковольтная система

- ✓ Master Interface
- ✓ 4 дистрибьютора

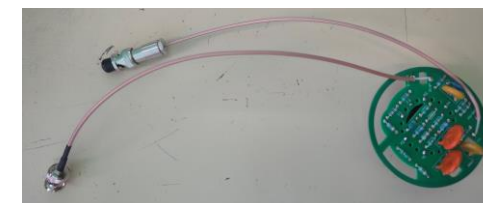
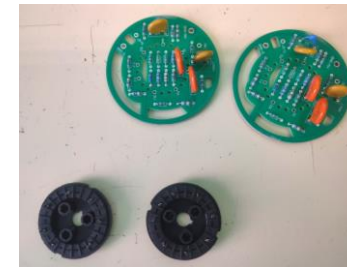
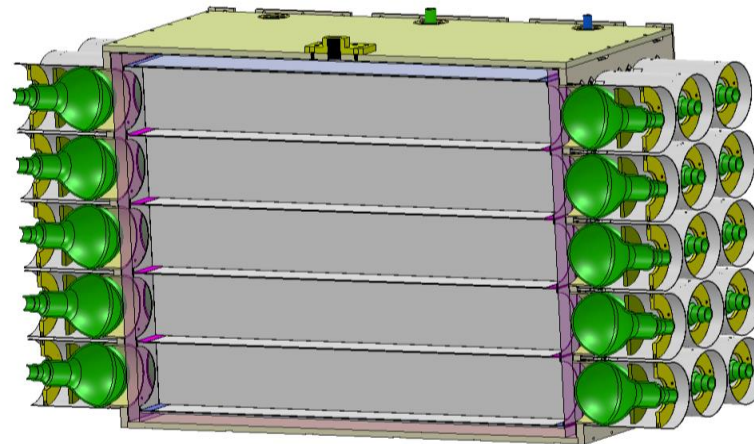
ГОТОВ

ГОТОВЫ

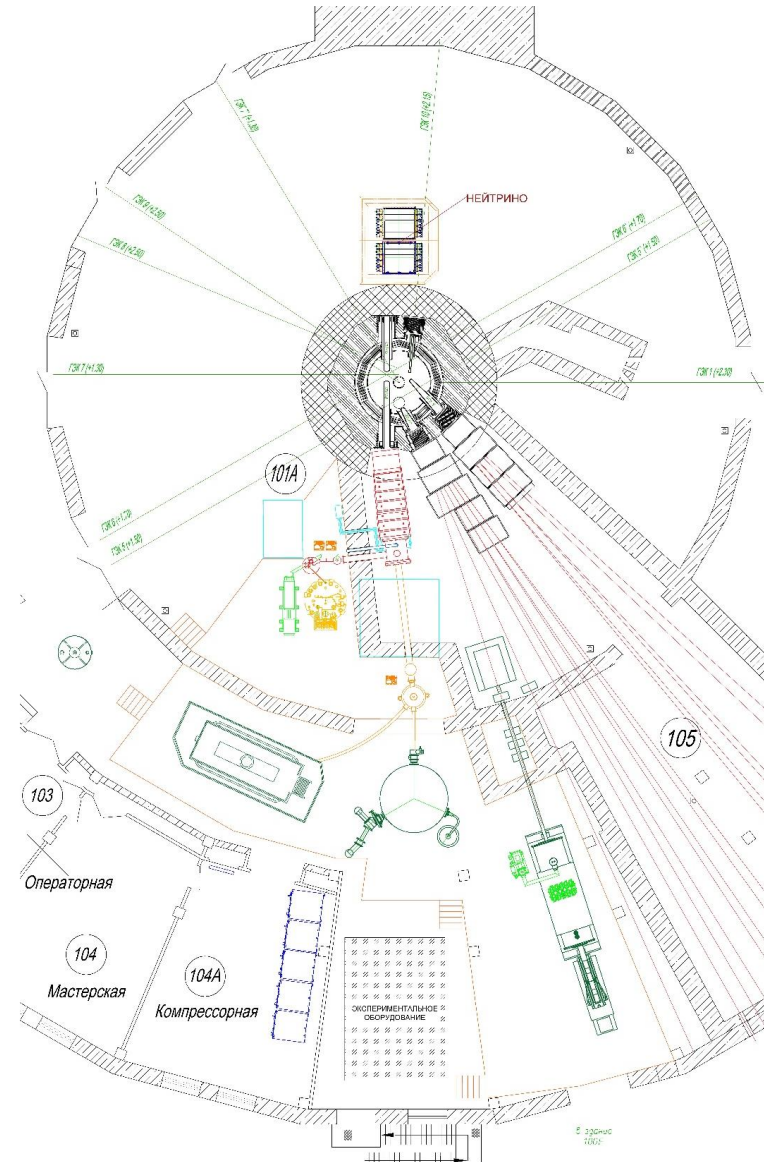
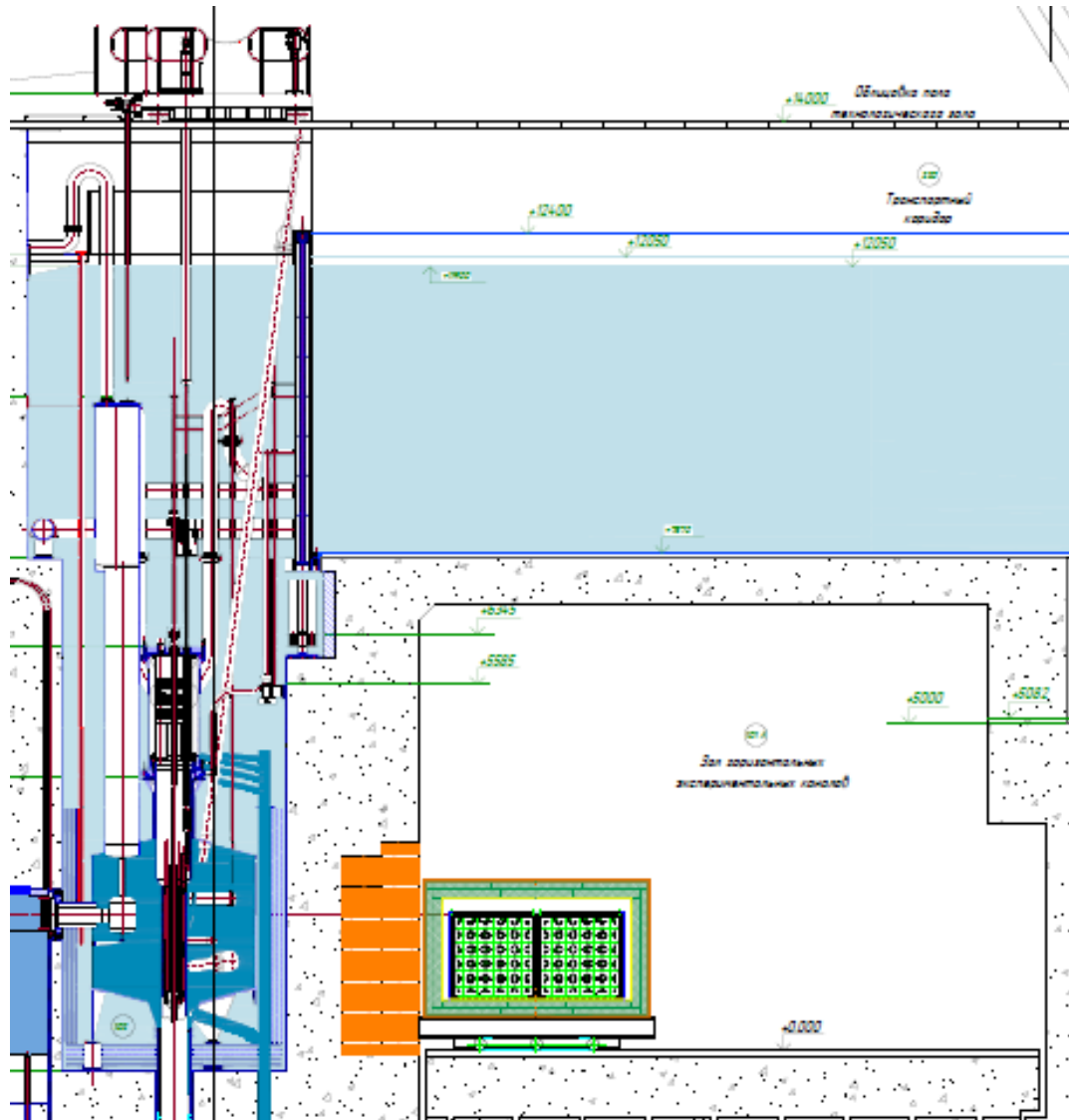


Детектор

- ✓ Корпуса ГОТОВЫ
- ✓ Электроника ГОТОВА
- ФЭУ настраиваются



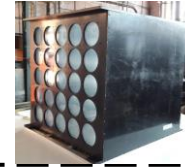
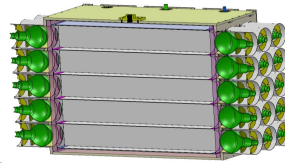
«Нейтрино» на реакторе ПИК



Состав установки

Лаборатория в пом. 170

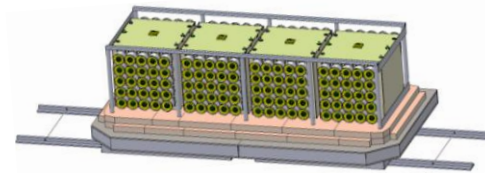
Детектор



Пассивная защита



Система передвижения



Активная защита



Система сбора данных



изготавливается

Высоковольтная система



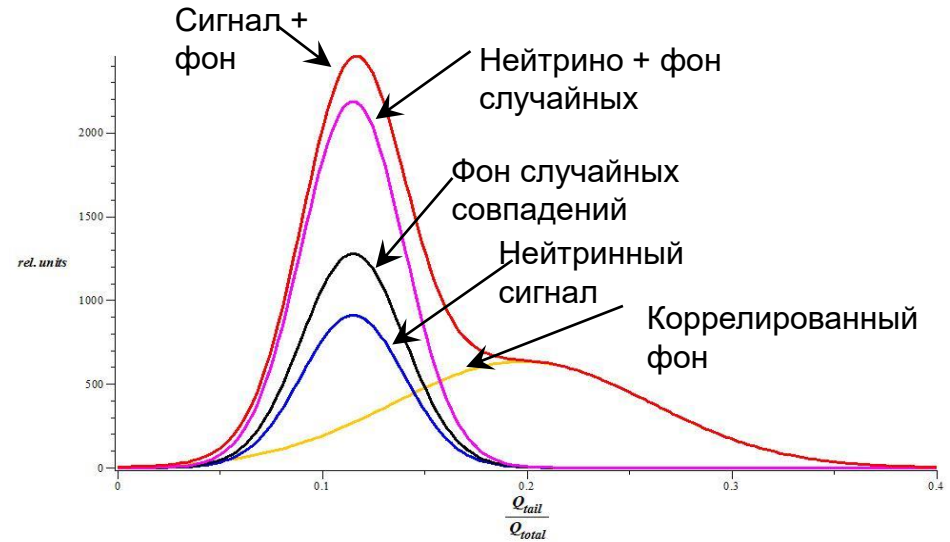
Модернизация первой лаборатории

Что нового?

- АЗ (почти 4π)
- Сцинтиллятор с PSD
- Система сбора данных

ИТОГИ

- Пассивная защита и система передвижения установлены
- Активная защита готова
- Высоковольтная система готова
- Все компоненты детектора готовы
- Начаты измерения в первой нейтринной лаборатории на модернизированном детекторе



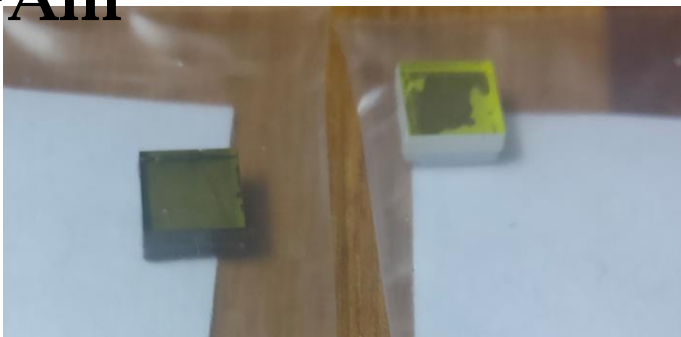
Метод	Последствие	Фактор
4 детектора	Увеличение объёма	1.6
Концентрация Gd	2x уменьшение фона случайных совпадений	1.3
Форма импульса	4x подавление коррелированного фона	1.3
Total		2.7

Спасибо за внимание!

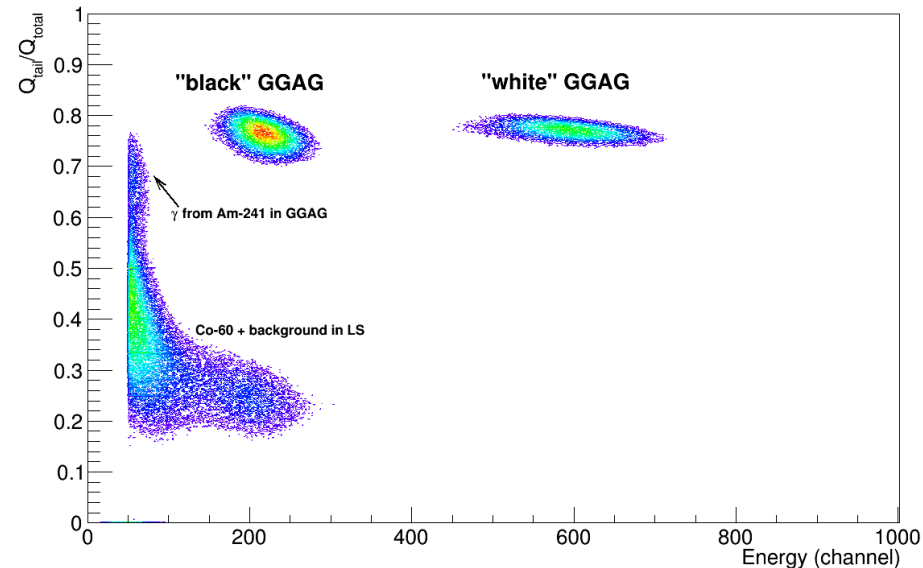
Backup

Система оптической калибровки и контроля

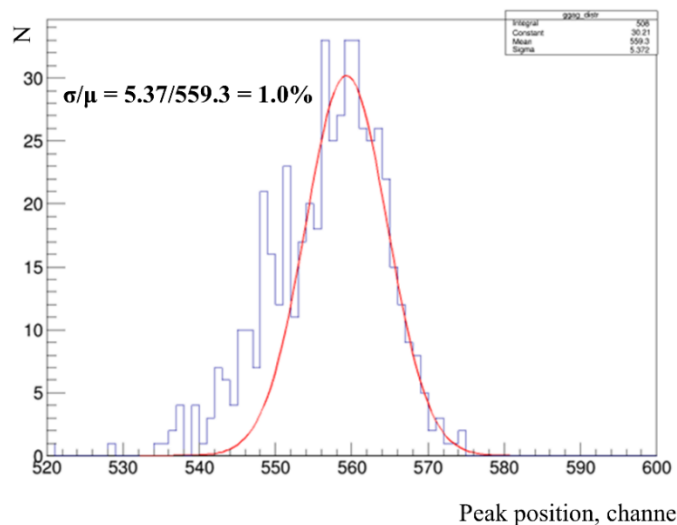
Кристаллы ГАГ (гадолиний галлиевый алюминиевый гранат) и ^{241}Am



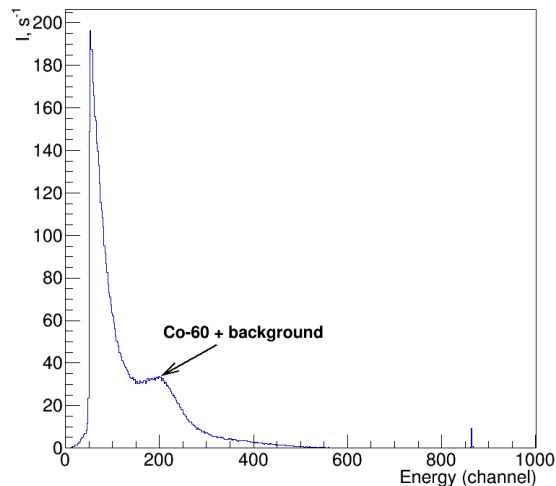
PSD-Energy. Co-60 in LS, "black" and "white" GGAG crystals with Am-241



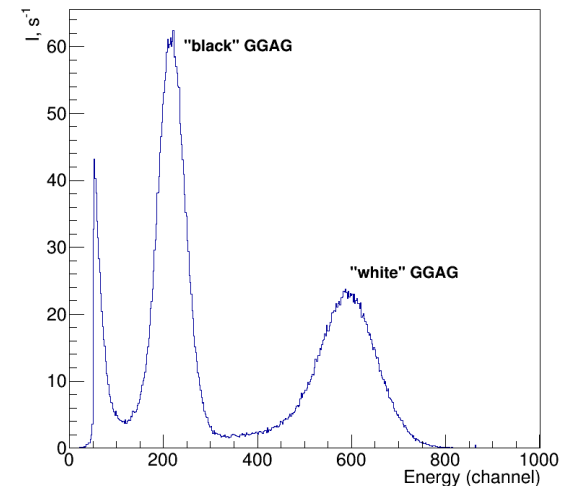
GGAG specimen Pu-238 peak pos distribution



Spectrum PSD < 0.60



Spectrum PSD > 0.60



ФОТОУМНОЖИТЕЛИ

Вместо Hamamatsu R5912
новые ФЭУ на МКП N6082

Уровень шумов, разрешение,
свойства PSD те же!



	MCP-PMT N6082			Hamamatsu R5912		
	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max
Spectral range	300-650			300-650		
Peak wavelength		380			420	
Cathode luminous		90		40	80	
Quantum efficiency		30		25 (390nm)		
Supply voltage	1500	1750	2000	1500	2000	
Gain		1×10^7		1×10^7		
Anode sensitivity		900		800		
Dark count rate		5	25	4		8
Peak to valley ratio	3	7		1.5	2.8	
Rise time		1.4		3.6		
TTS		1.5		2.4		

