



# Современное состояние исследований упругого когерентного рассеяния реакторных антинейтрино на ядре

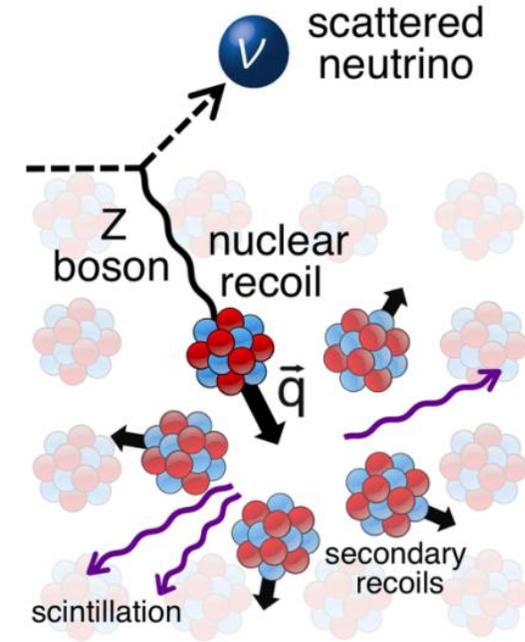
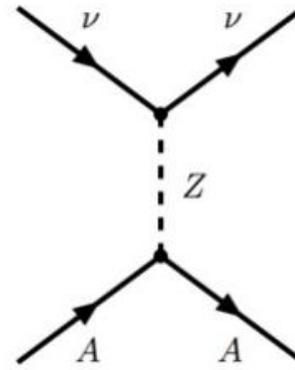
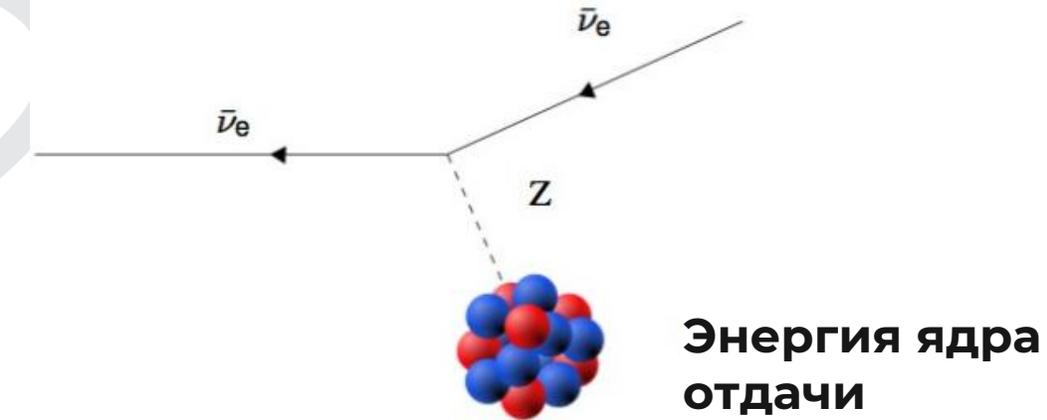
Научный руководитель: Литвинович Е.А.  
(доц., к.ф.-м.н.)

Студент: Крапля В.М.

Москва, 2024



# Введение – УКРН



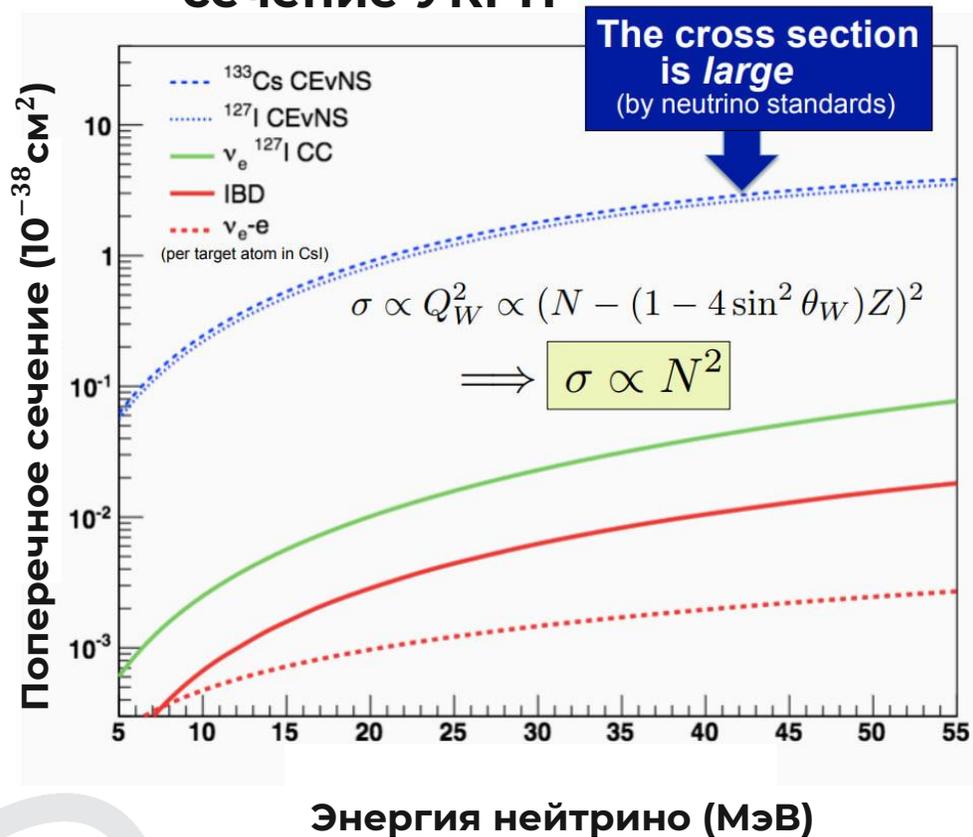
**УКРН** позволяет решать ряд **фундаментальных** (поиск нестандартных взаимодействий нейтрино, изучение э/м свойств нейтрино и др.) и **прикладных задач**

# Введение

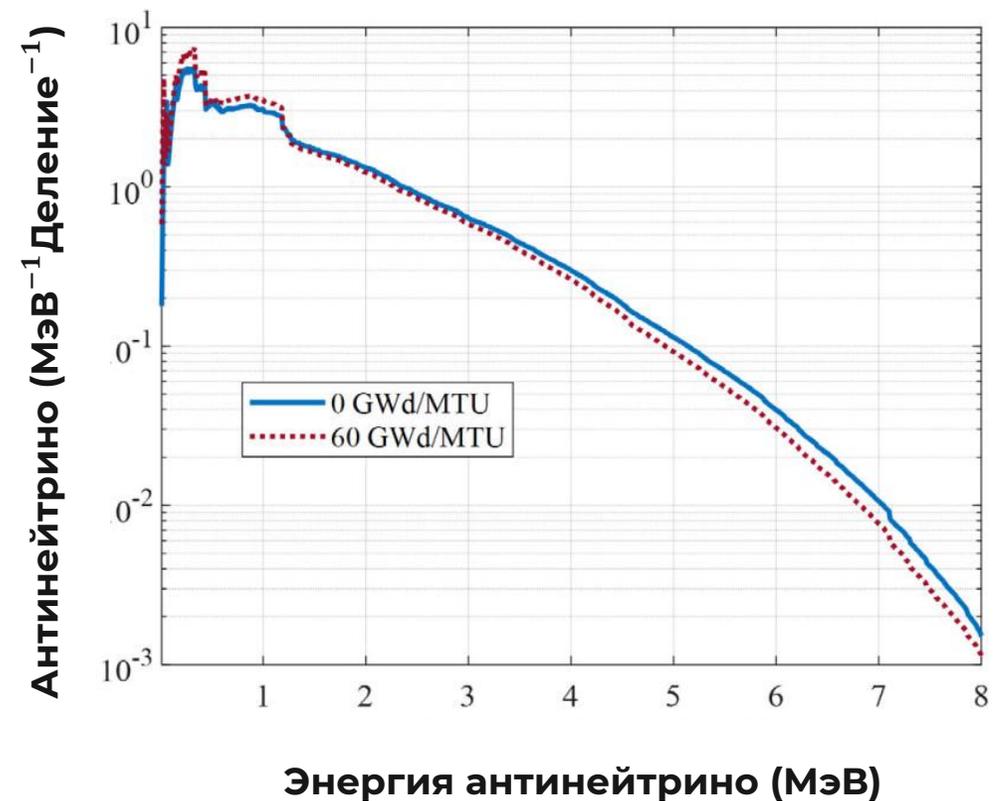
Реакторные электронные антинейтрино это инструмент для:

- Контроля мощности ЯР
- Мониторинга (в т.ч. «аварийный») состояния ЯР
- Мониторинга относительного изотопного состава топлива

## Поперечное сечение УКРН



## Суммарный спектр реакторных электронных антинейтрино



# Цель и задачи

## Цель

Обзор современного состояния исследований упругого когерентного рассеяния реакторных антинейтрино на ядре.

## Задачи

1. Изучение существующих методик регистрации для фиксации УКР реакторного электронного антинейтрино.
2. Изучение существующих экспериментов по поиску упругого когерентного рассеяния реакторных антинейтрино.
3. Систематизация результатов достигнутых современными экспериментами по поиску УКРН на ядрах атома от реакторных электронных антинейтрино.

# Результаты

Систематизация информации по всем детекторам на момент 2024 года



Название	Тип детектора	Порог измерений	Уровень фона*	ROI
РЭД100	2-ух фазовый эмиссионный детектор на благородном газе	1.0кэВ	$5.22 \frac{\text{событий}}{\text{кг} \times \text{д}}$ **	события в 1 электрон ионизации
NEON	Кристал. сцинтиллятор NaI[Tl]	0.2кэВ	$7 \frac{\text{событий}}{\text{кг} \times \text{д}}$	0.2-0.5кэВ
CONUS	Полупроводниковый детектор (Ge - 3×1,5кг)	0.21кэВ	$10 \frac{\text{событий}}{\text{кг} \times \text{д} \times \text{кэВ}}$	0.21-1.00кэВ
TEXONO	Полупроводниковый детектор (Ge - 1,06кг)	0.2кэВ	$9 \frac{\text{событий}}{\text{кг} \times \text{д} \times \text{кэВ}}$	0.2-0.4кэВ
CONNIE	ПЗС-матрицы из Si (52г)	0.015кэВ- 22% <i>ef</i> , 0.1кэВ- 100% <i>ef</i>	$5 \frac{\text{событий}}{\text{кг} \times \text{д}}$	0.15-0.50кэВ
Dresden2	Полупроводниковый детектор (Ge - 3кг)	0.2кэВ	$267 \frac{\text{событий}}{\text{кг} \times \text{д} \times \text{кэВ}}$	0.2-1.5кэВ
$\nu$ Gen	Полупроводниковый детектор (Ge - 1,4кг)	0.25кэВ	$60 \frac{\text{событий}}{\text{кг} \times \text{д} \times 1 \text{кэВ}}$	0.32-0.36кэВ

\* речь идет о фоновых событиях в области интереса (ROI)

\*\* при регистрации 4 электронов ионизации

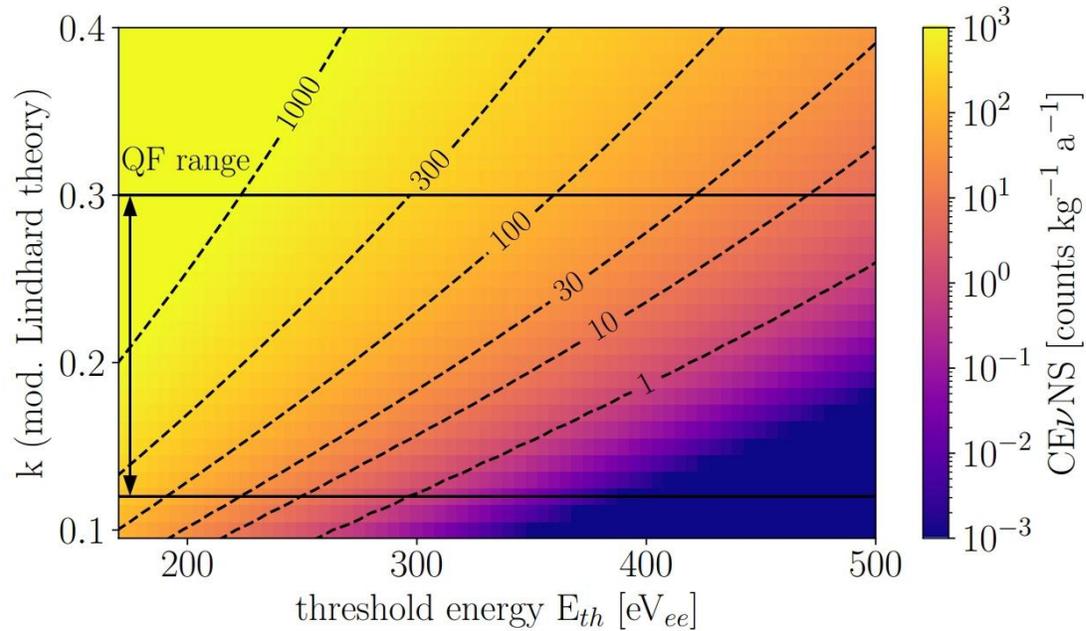
# Результаты

Название	Разрешение(FWHM)	Доп. информация
РЭД100	-	Верхний предел амплитуды рассеяния в 15-20 раз больше предсказаний CM
NEON	0.25кэВ при 0.30кэВ	-
CONUS	0.07кэВ при 0.21кэВ	Верхний предел ожидаемого количества событий в 2 раза меньше чем предсказывает CM( $0.34 \frac{\text{событий}}{\text{кг}\cdot\text{д}}$ )
TEXONO	0.07кэВ при 0.20кэВ	Верхний предел отношения экспериментального сечения к сечению CM $\rho < 4.7$
Dresden2	0.16кэВ при 1.29кэВ	-
$\nu$ Gen	0.10кэВ при 1.05кэВ	Верхний предел отношения экспериментального сечения к сечению CM $\rho = 4.3$

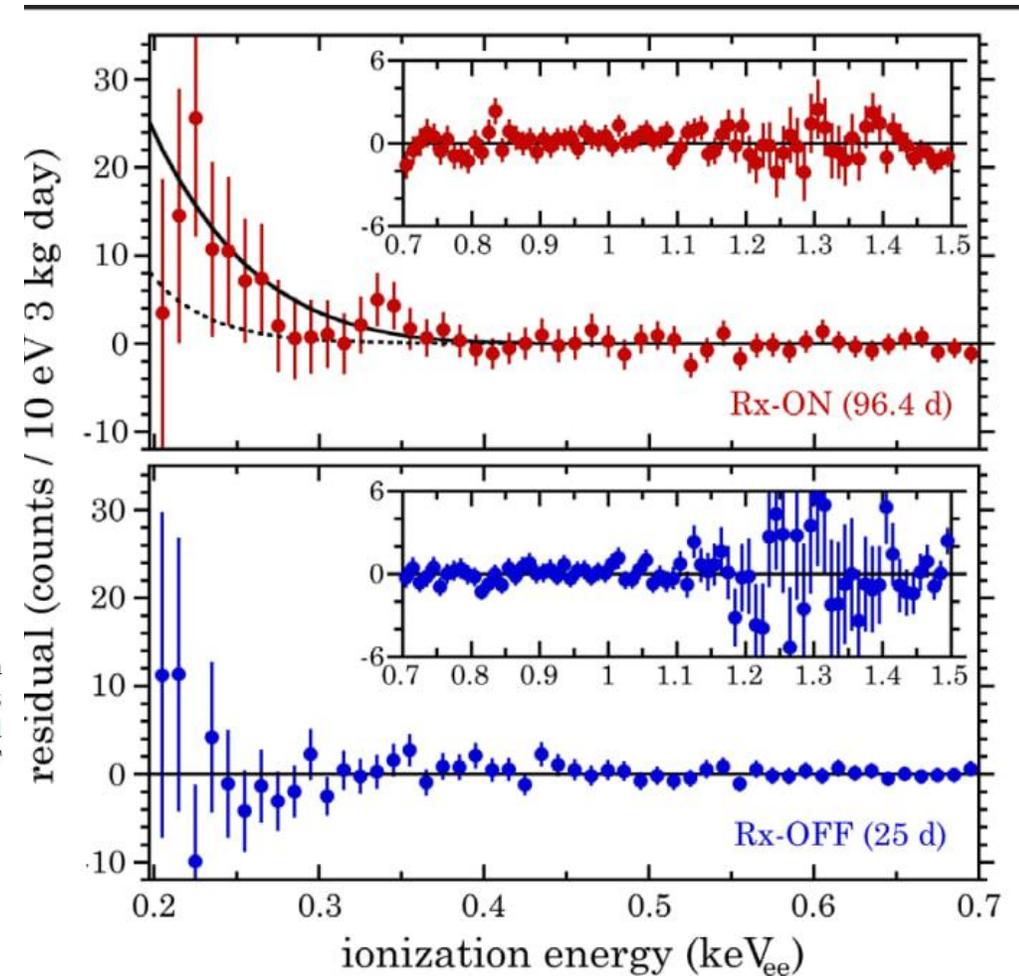
# Заключение

- На данный момент **УКР реакторных антинейтрино** все ещё **не зафиксировано** ни на одном из 8 реализованных экспериментов.
- Причиной этого являются недостаточно низкие пороги детекторов и **высокие шумы от внешних и внутренних источников** в диапазоне энергий от 0 до 1кэВ.
- Лучший достигнутый **порог** у ПЗС-матриц эксперимента **CONNIE – 100 эВ**.
- **Низкотемпературные болометры** способны конкурировать с детекторами на ПЗС-матрицах, и имеют большой потенциал к масштабированию количества активного вещества.
- **Детекторы на неорганической мишени** являются перспективными для промышленных устройств по нейтринному мониторингу ввиду общей простоты своей конструкции.

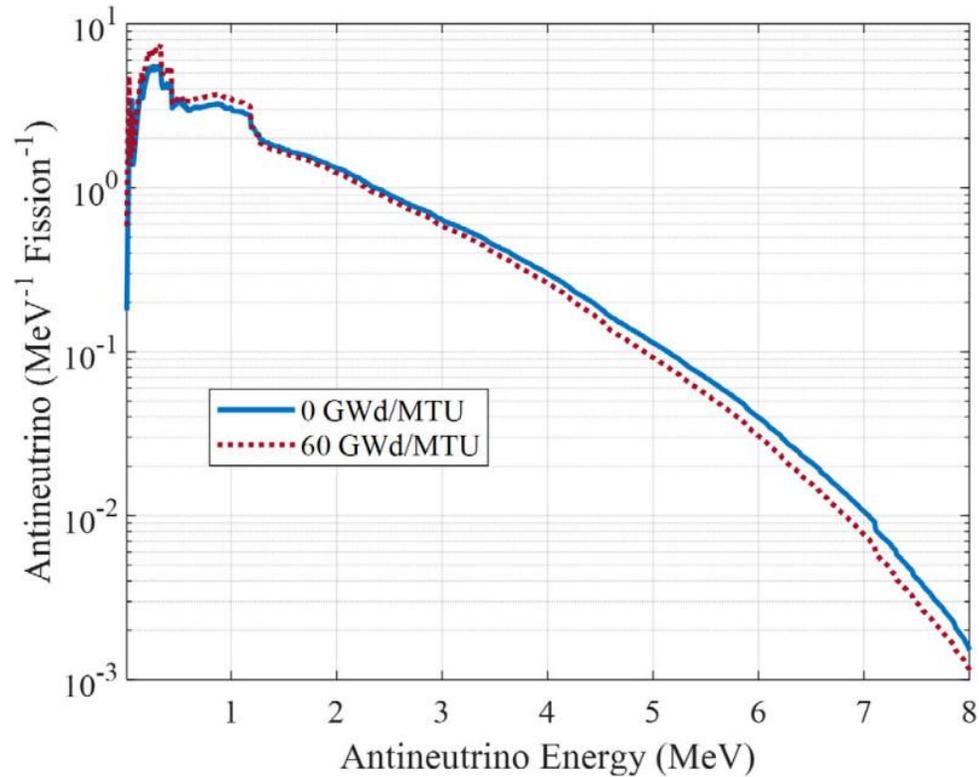
# Проблемы регистрации УКРН



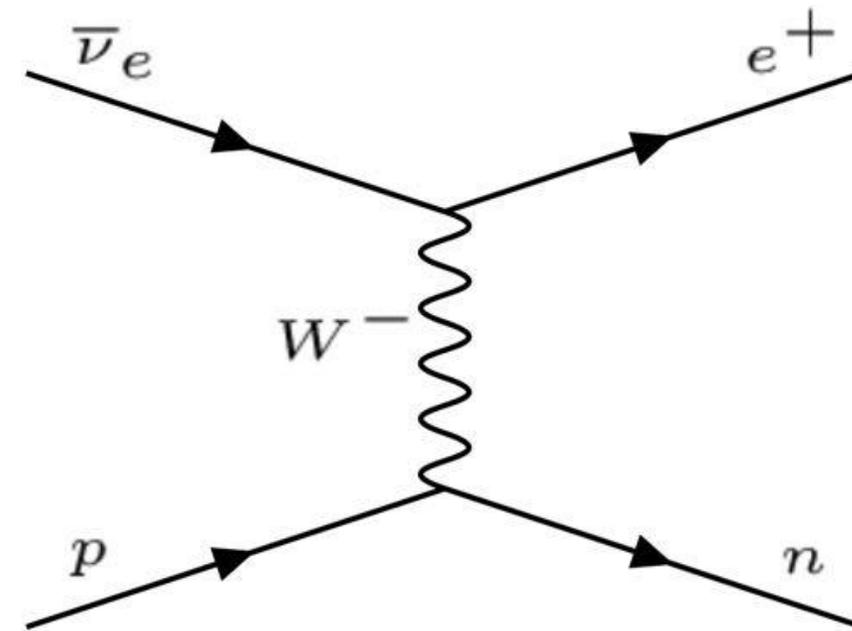
**Figure 1:** Expected  $CE\nu NS$  signal rate in CONUS detectors at 17.1m distance from the reactor core with maximum thermal power  $P_{th}$  of 3.9GW: the signal rate is depicted as function of i) the lower bound of the region of interest and thus the energy threshold, and ii) the experimentally not well known quenching factor (QF). Within the modified Lindhard theory, QF is described by the  $k$  parameter. The black horizontal lines confine the range of measured QF values reported in literature.



# Реакторные электронные антинейтрино

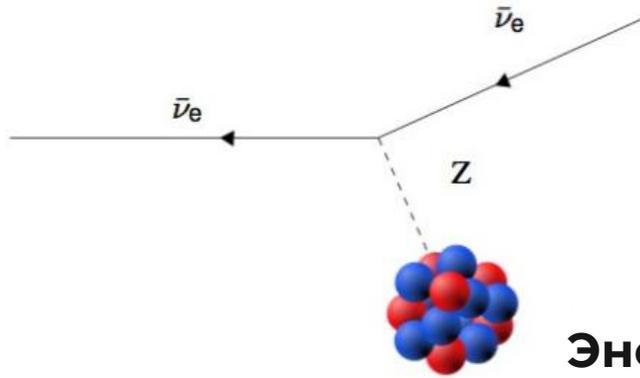


**Суммарный спектр реакторных  
электронных антинейтрино**

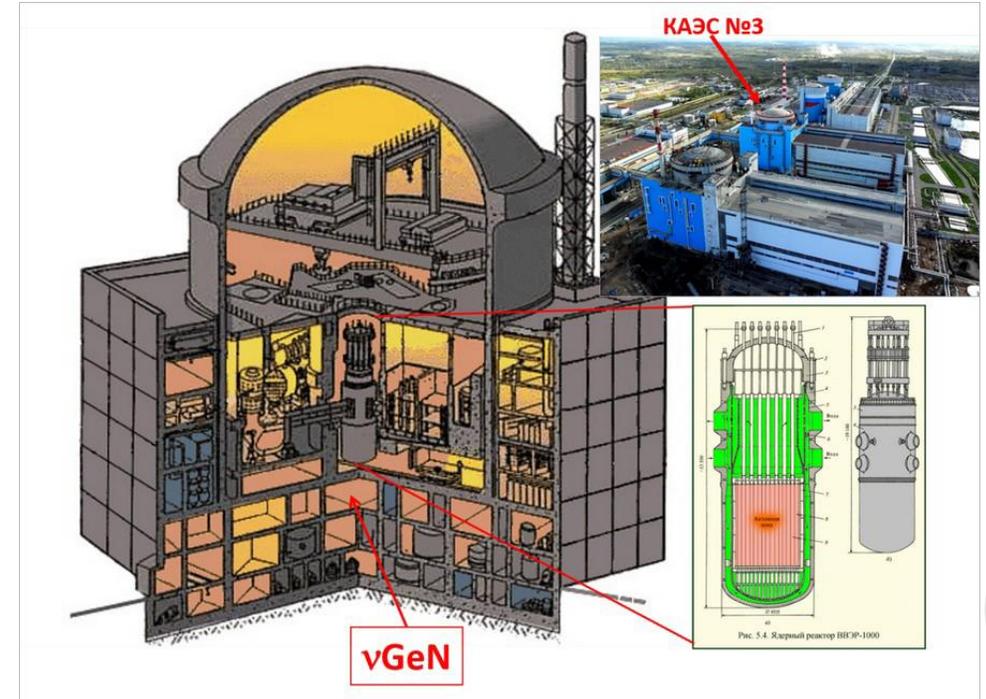
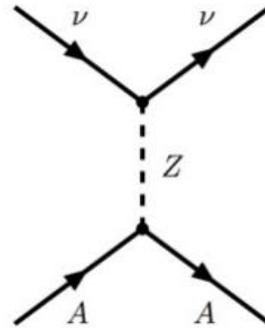


**Обратный бета-распад**

$5.5 \times 10^{20} \bar{\nu}_e / \text{сек}$  от ядерного реактора тепловой мощностью 3ГВт



Энергия ядра  
отдачи



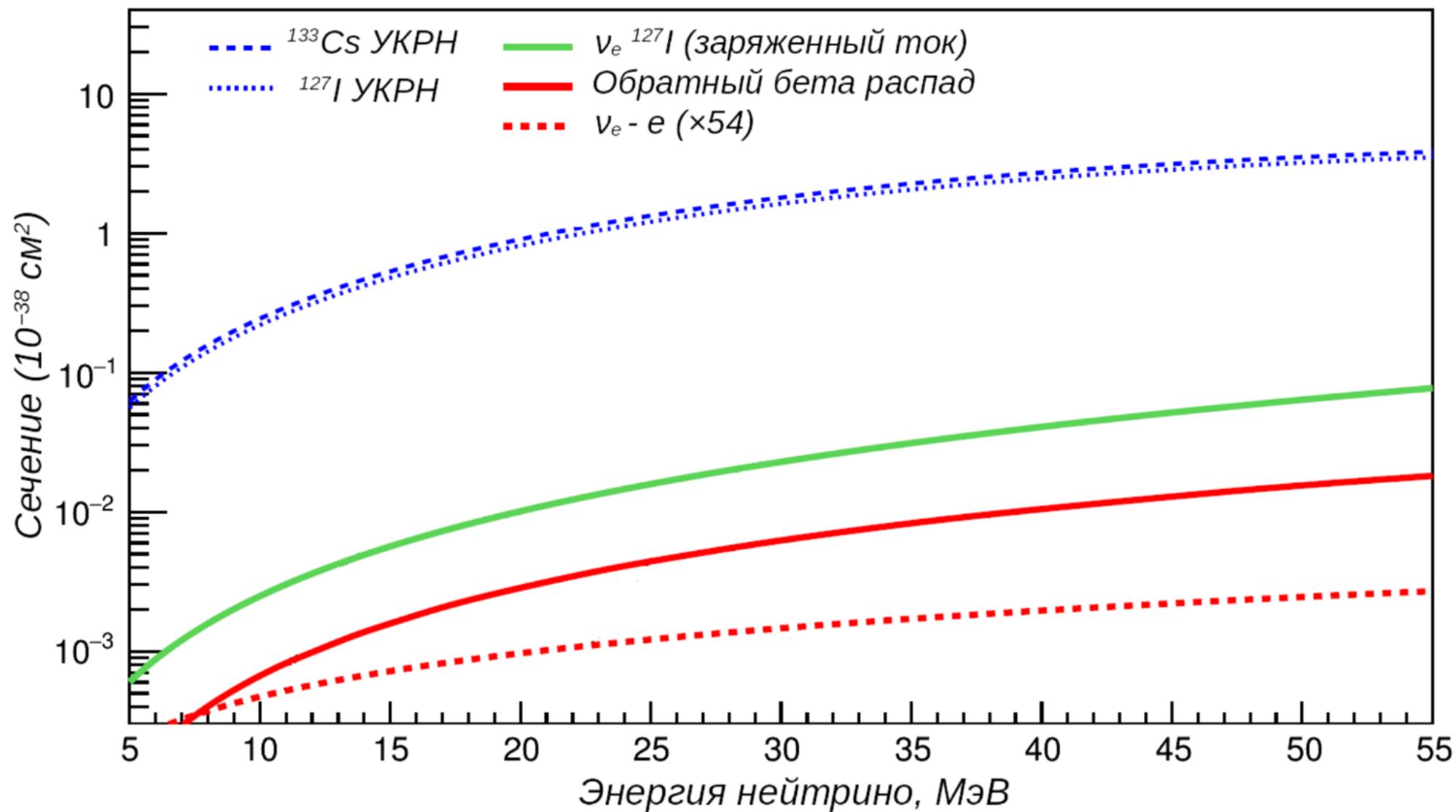
$$\sigma \propto Q_W^2 \propto (N - (1 - 4 \sin^2 \theta_W)Z)^2$$

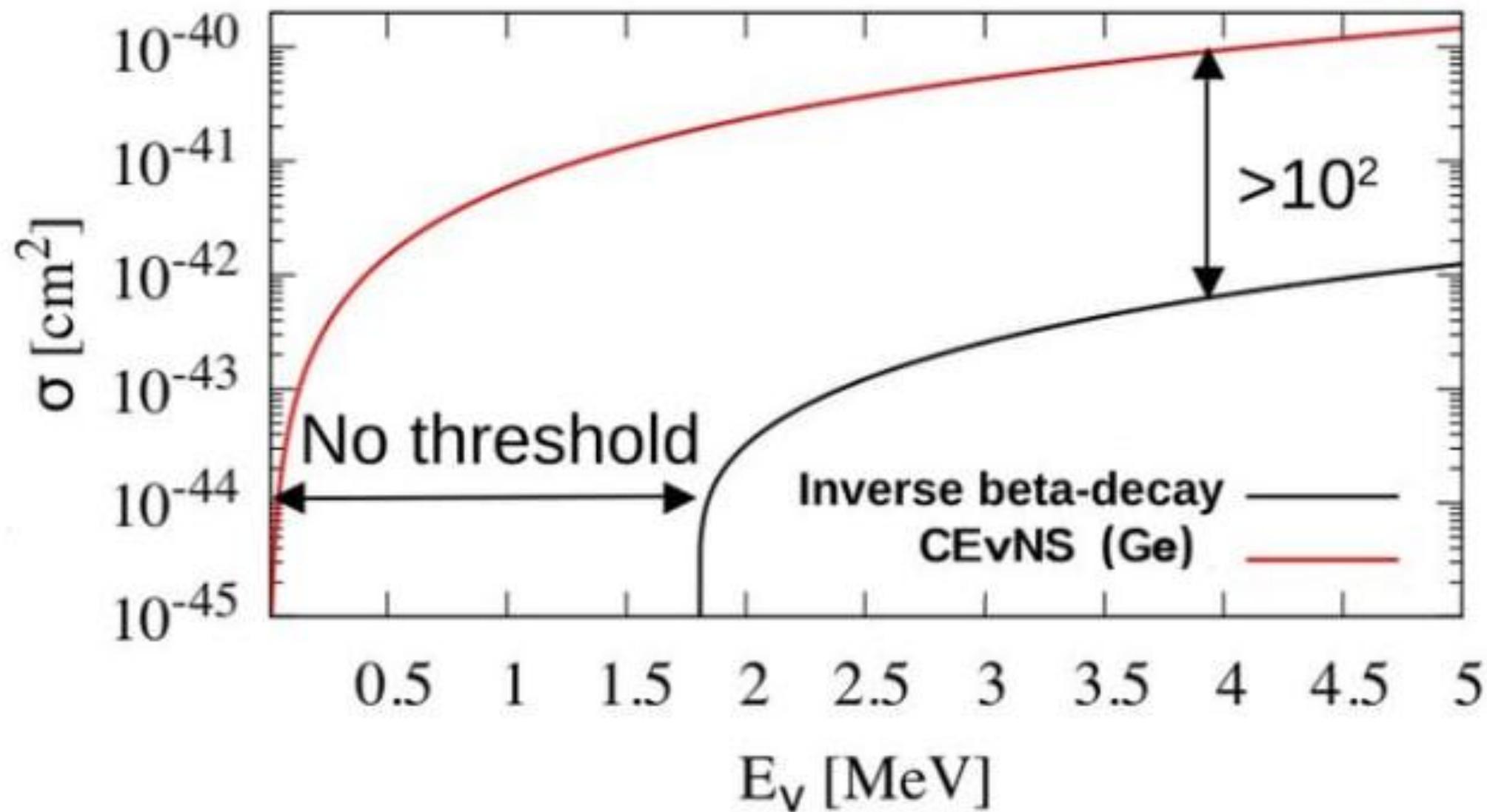
$$\sigma \approx 0,4 \times 10^{-44} N^2 (E)^2 \quad [\text{cm}^2]$$

Поперечное сечение реакции УКРН

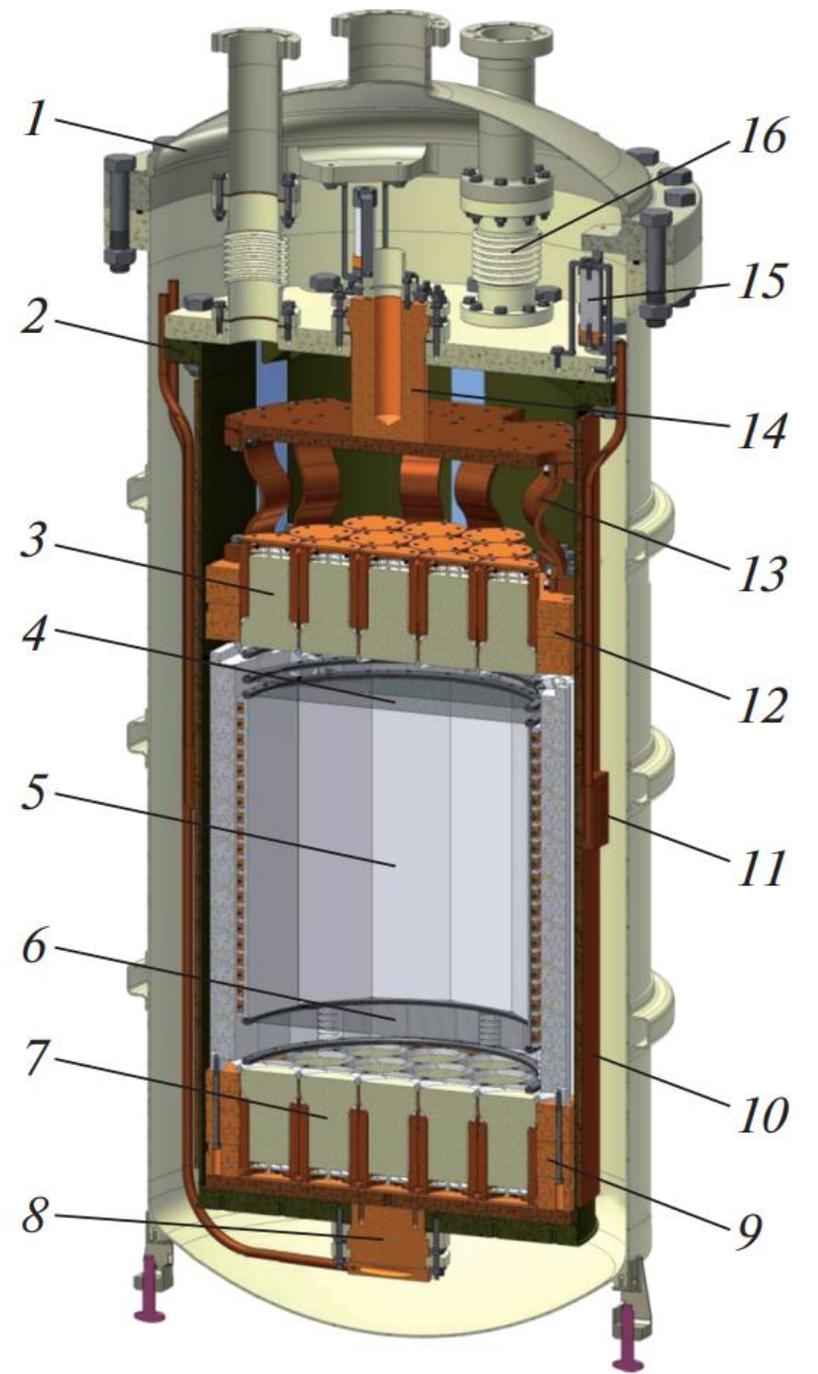
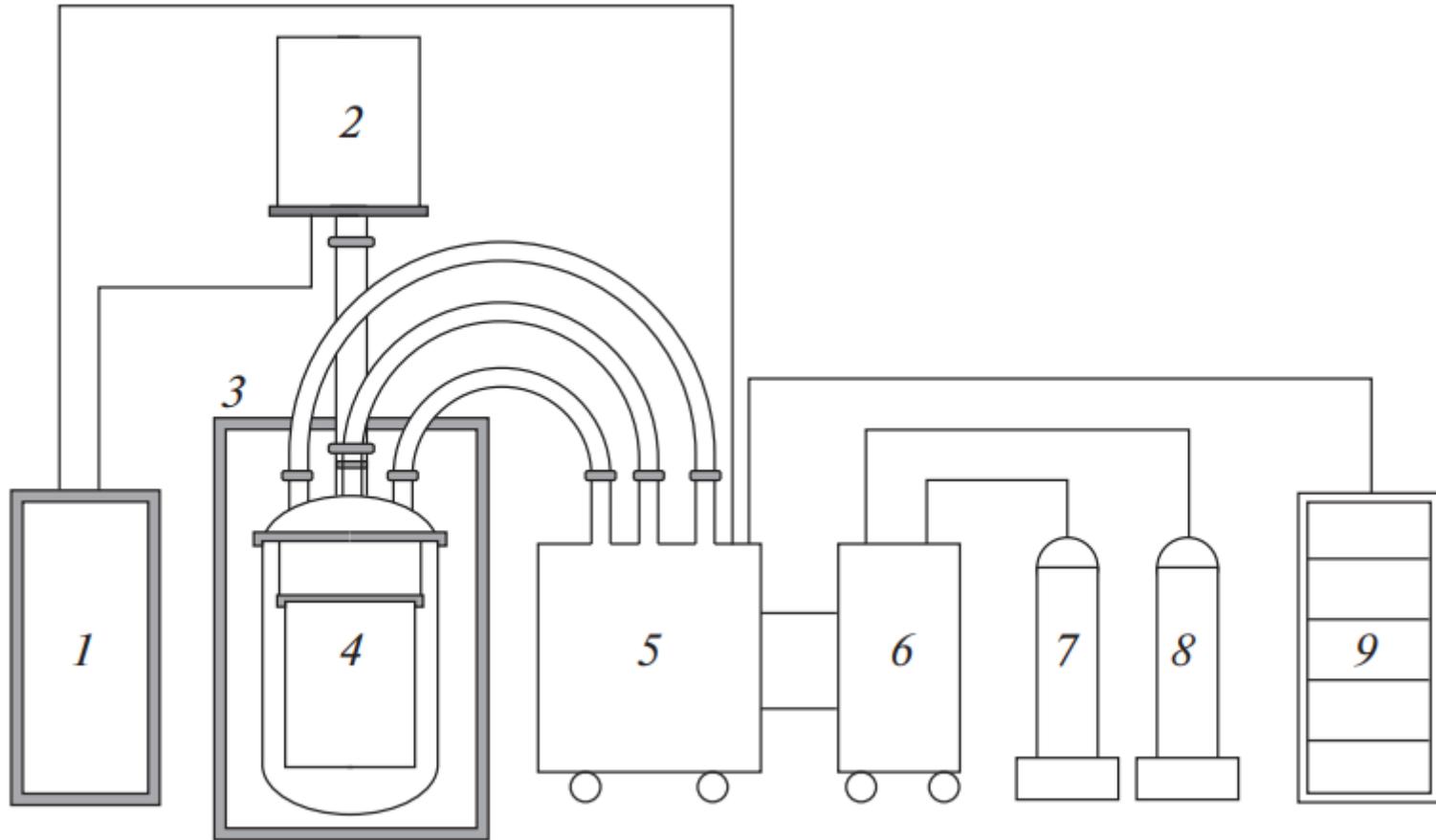
$$qR \ll 1$$

Условие когерентности взаимодействия  
нейтрино с ядром

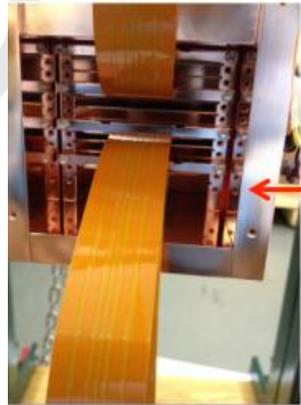




# РЭД100



# CONNIE



Installed in 2014  
Upgraded in 2016

← CCDs in  
copper box

→ ViB readout board  
(signal transport)

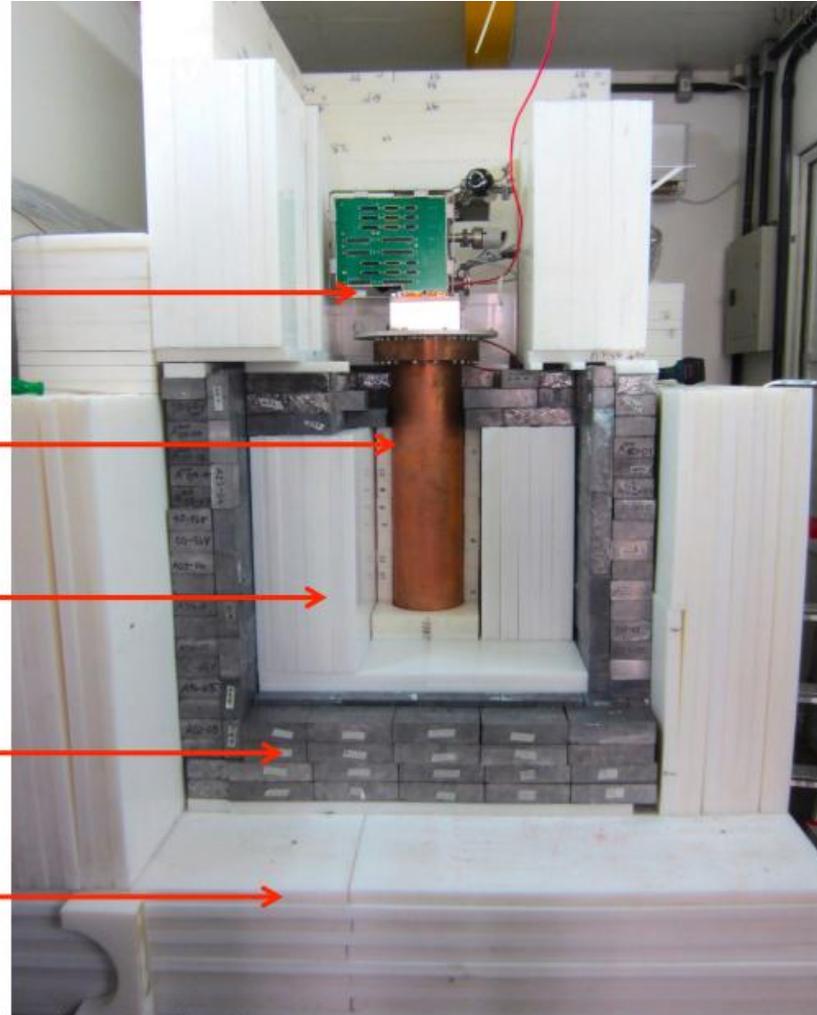
Engineering run:  
JINST 11 (2016) P07024

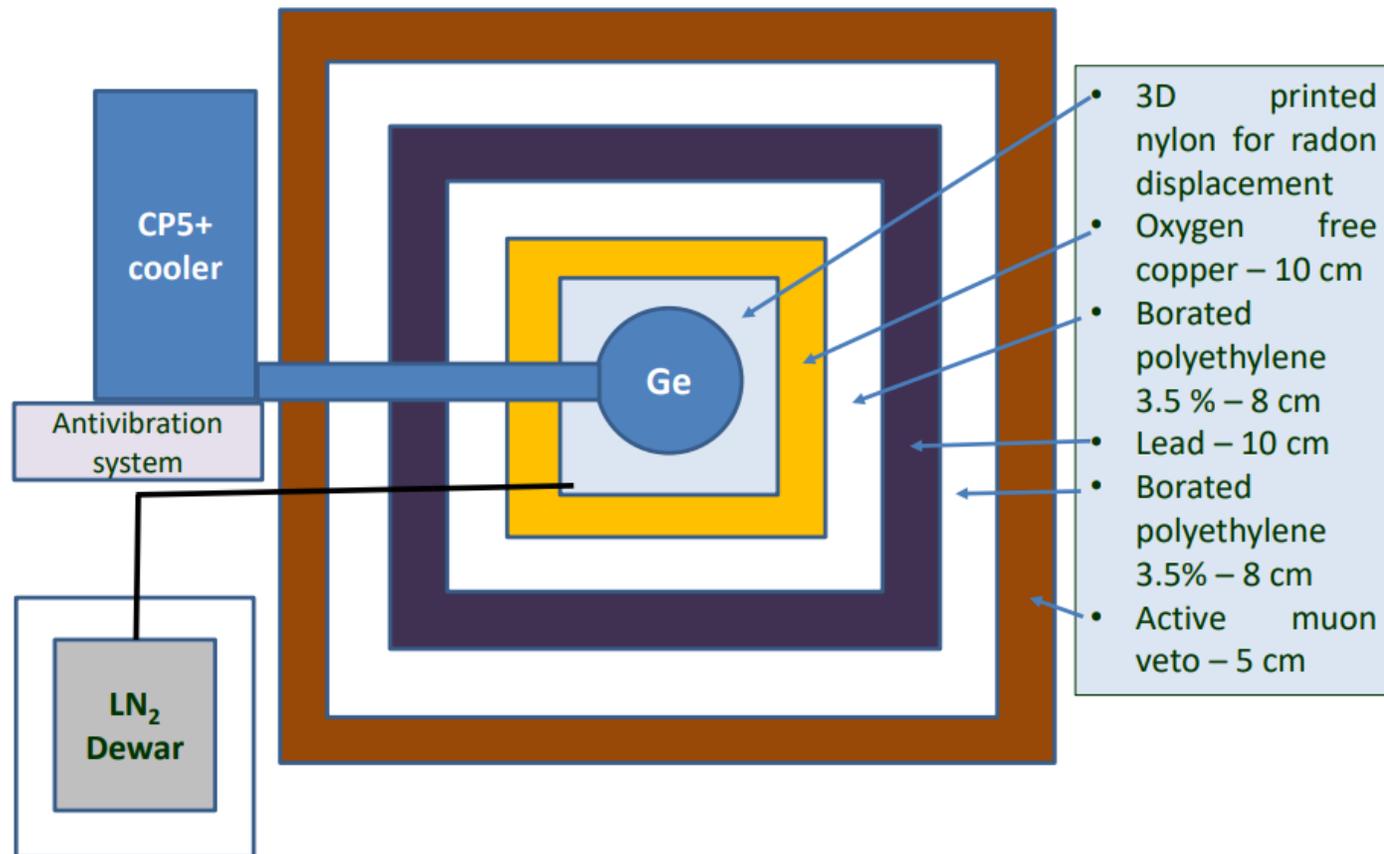
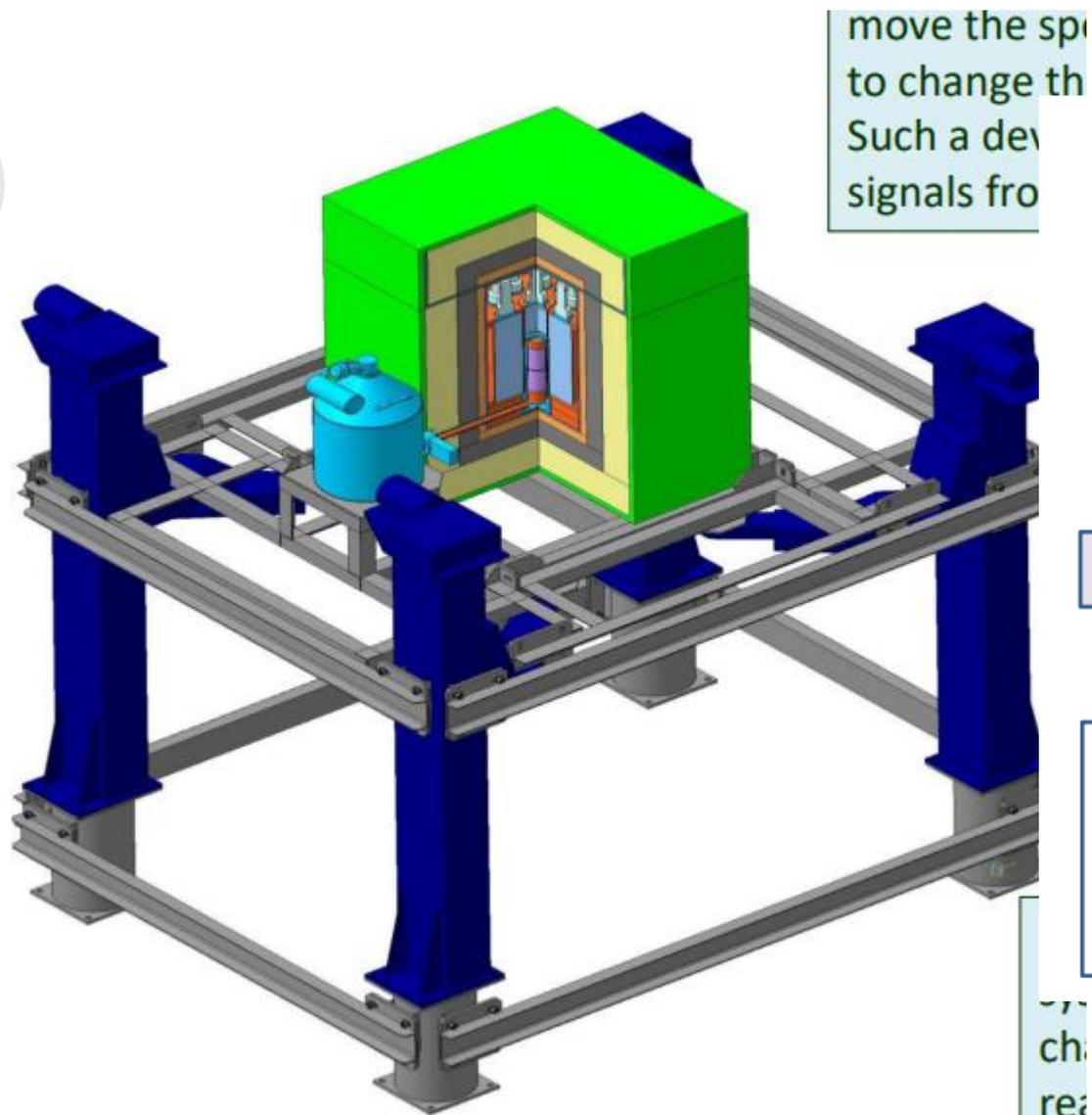
→ Dewar  
(vacuum)

→ Inner Polyethylene - 30 cm  
(neutrons)

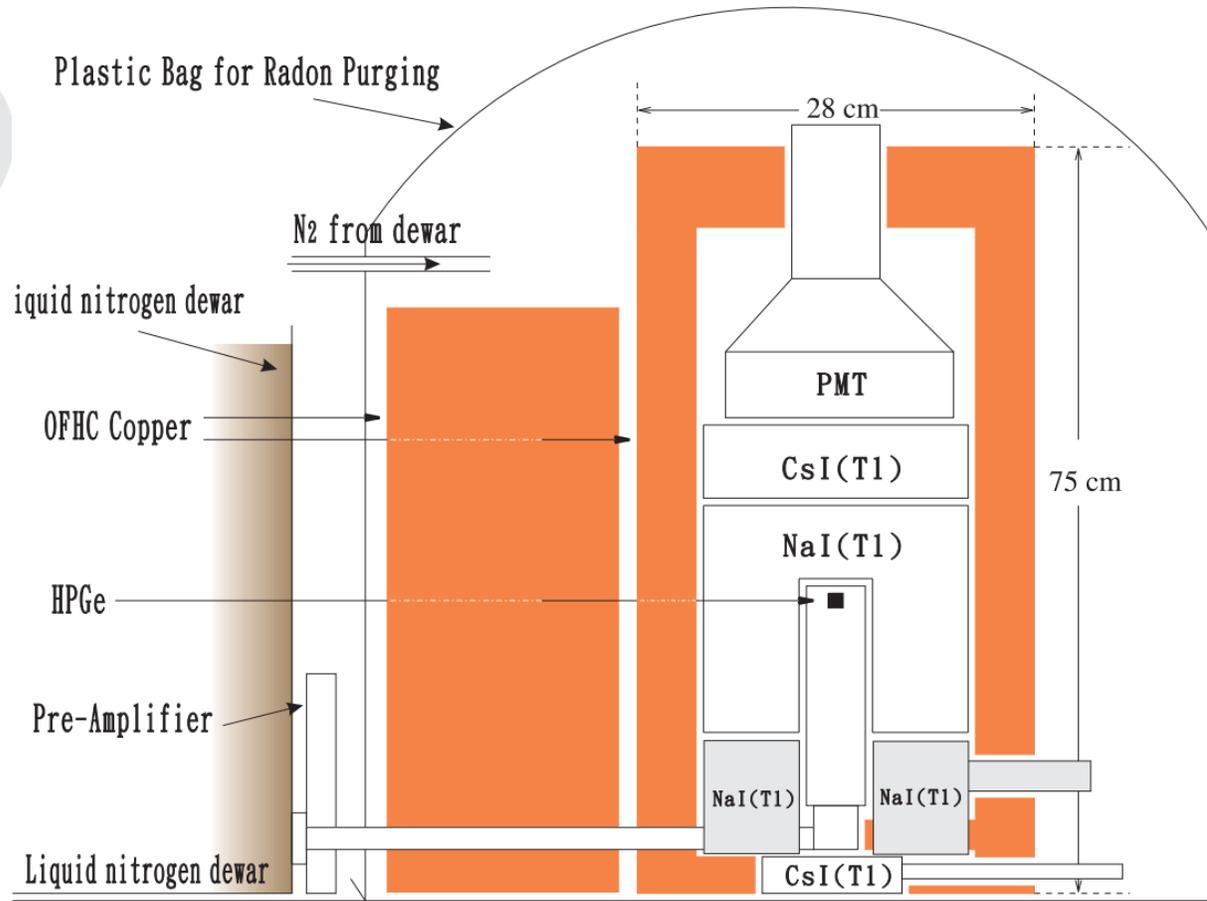
→ Lead - 15 cm  
(gamma)

→ Outer Polyethylene - 30 cm  
(neutrons)

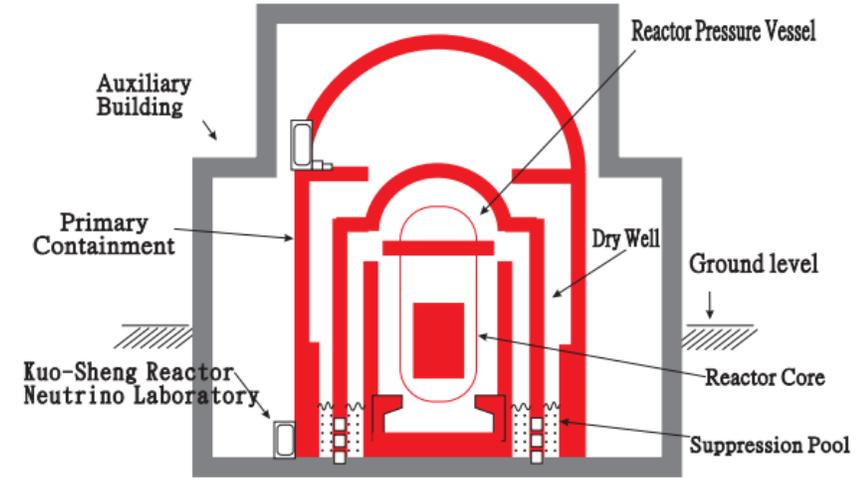




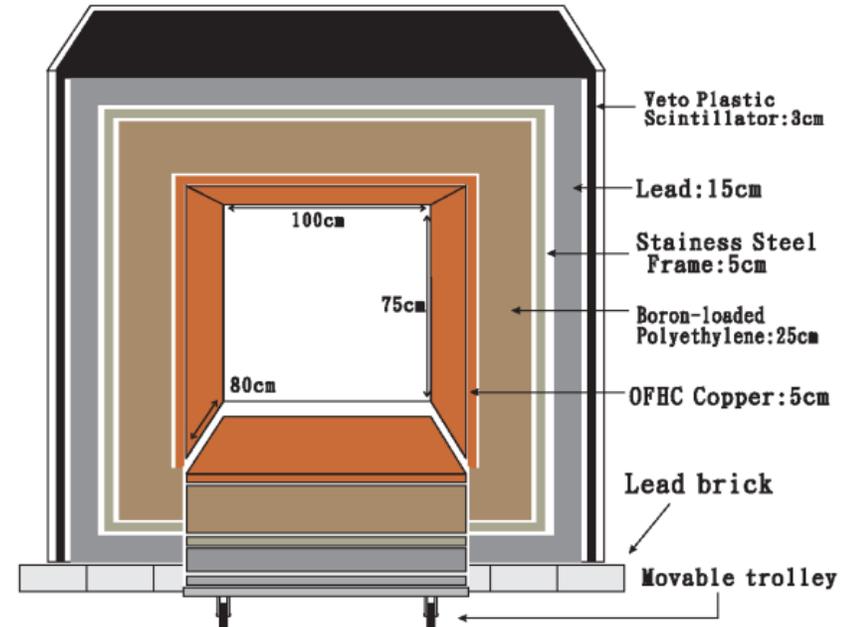
ch  
rea



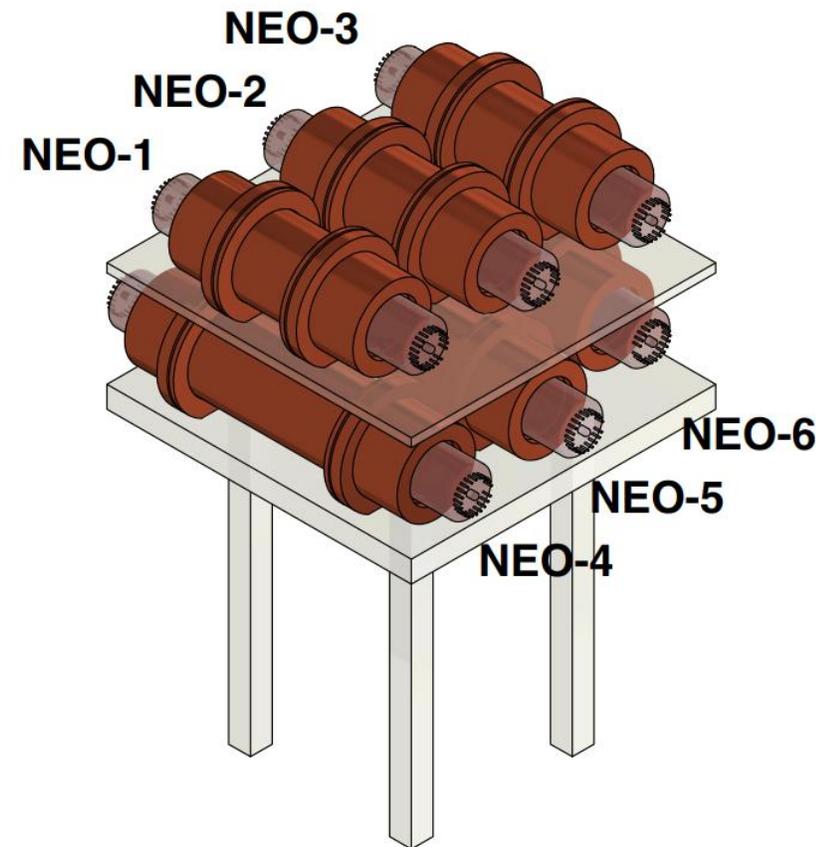
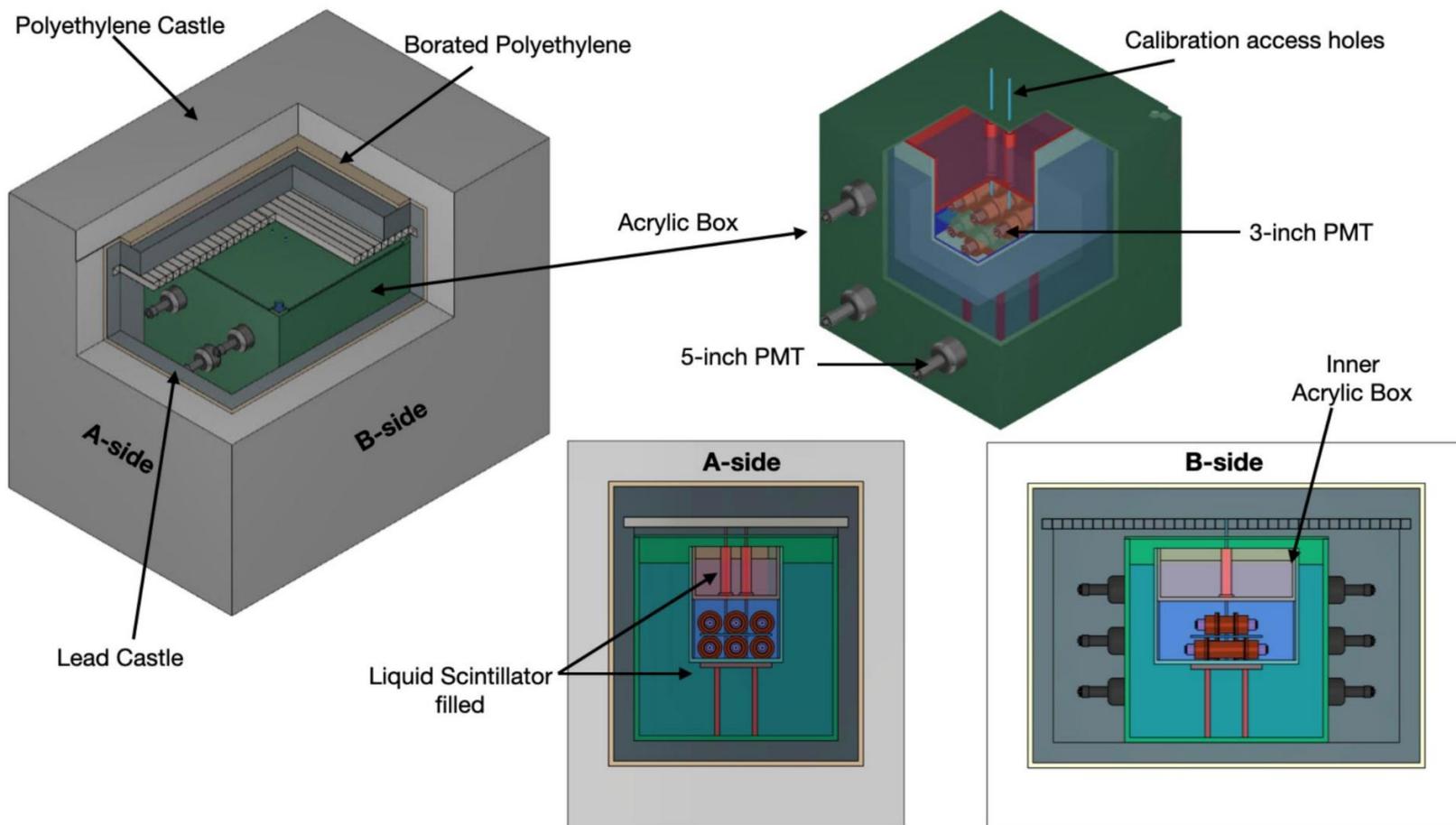
(a)  
Kuo-Sheng Nuclear Power Station : Reactor Building

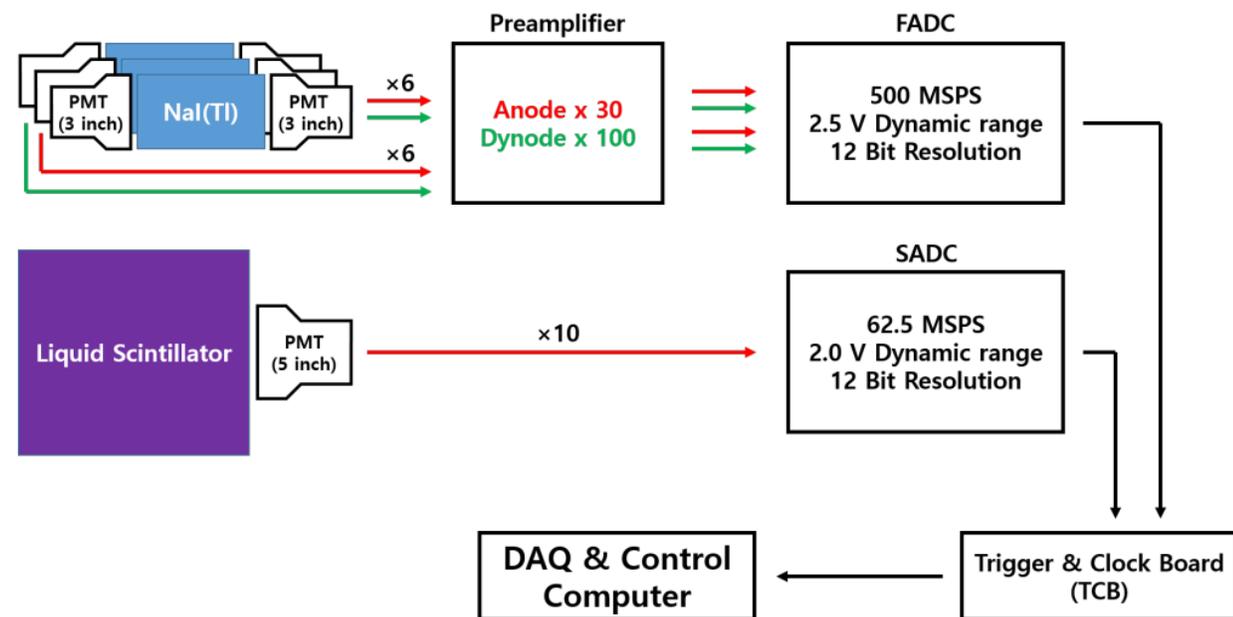
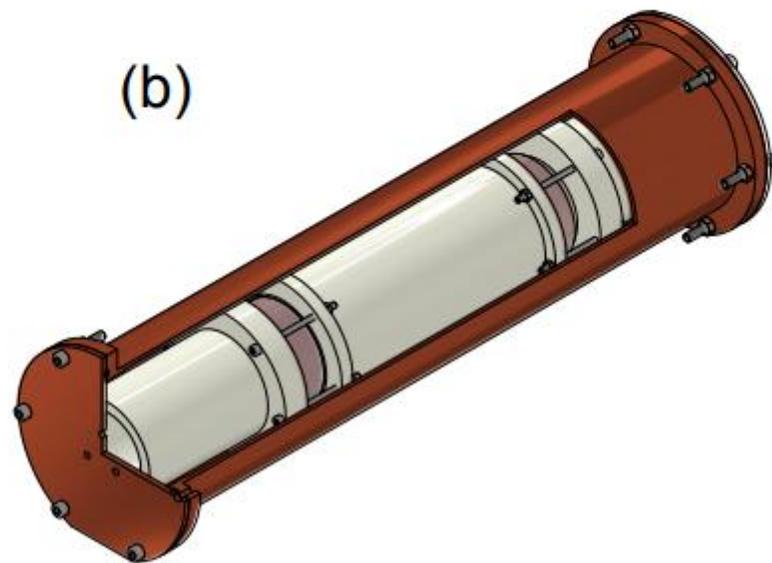
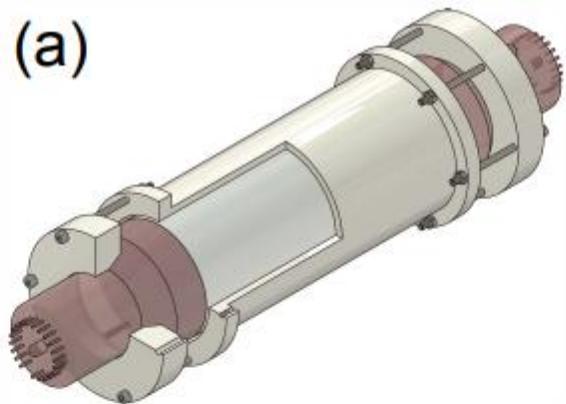


(b)

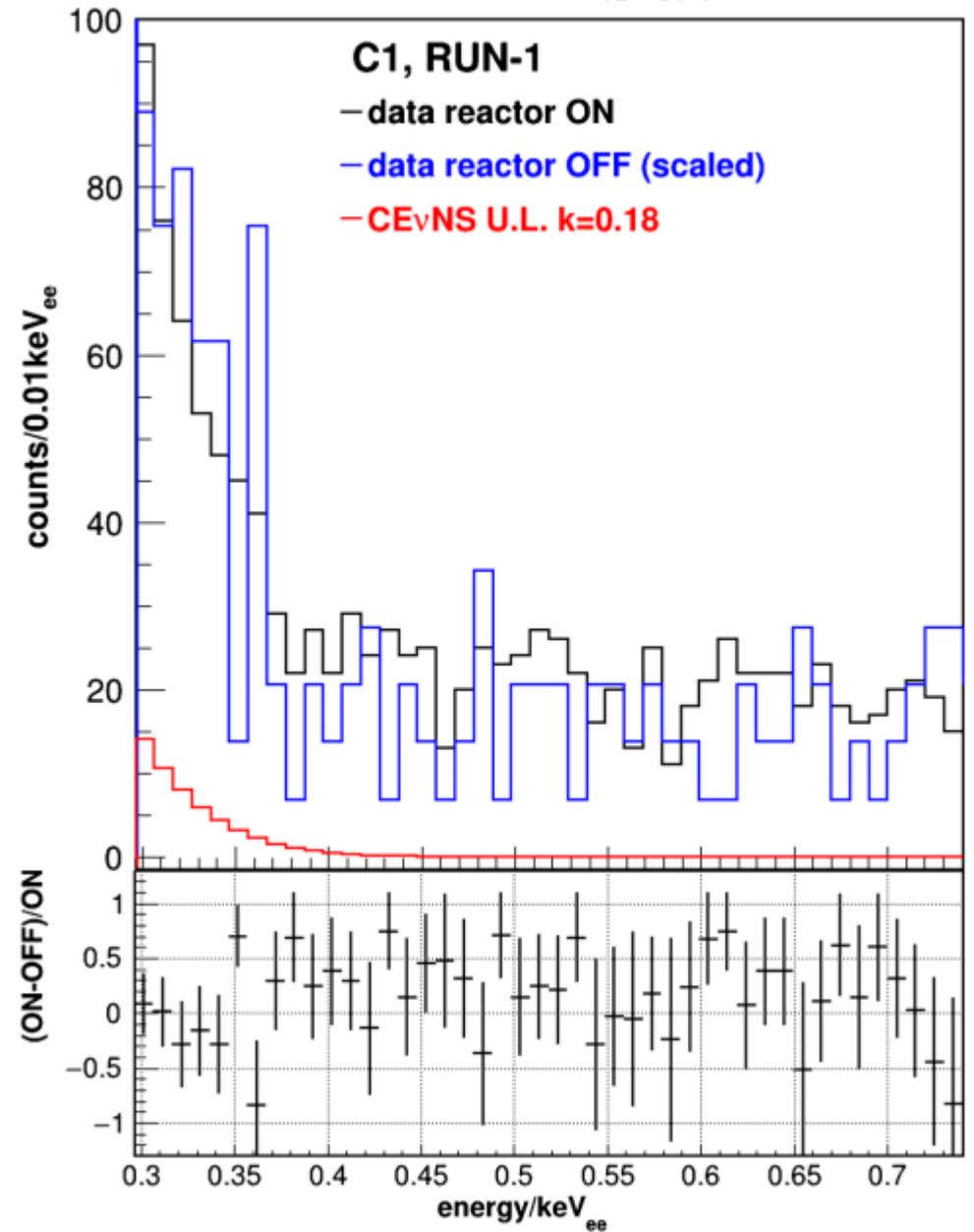
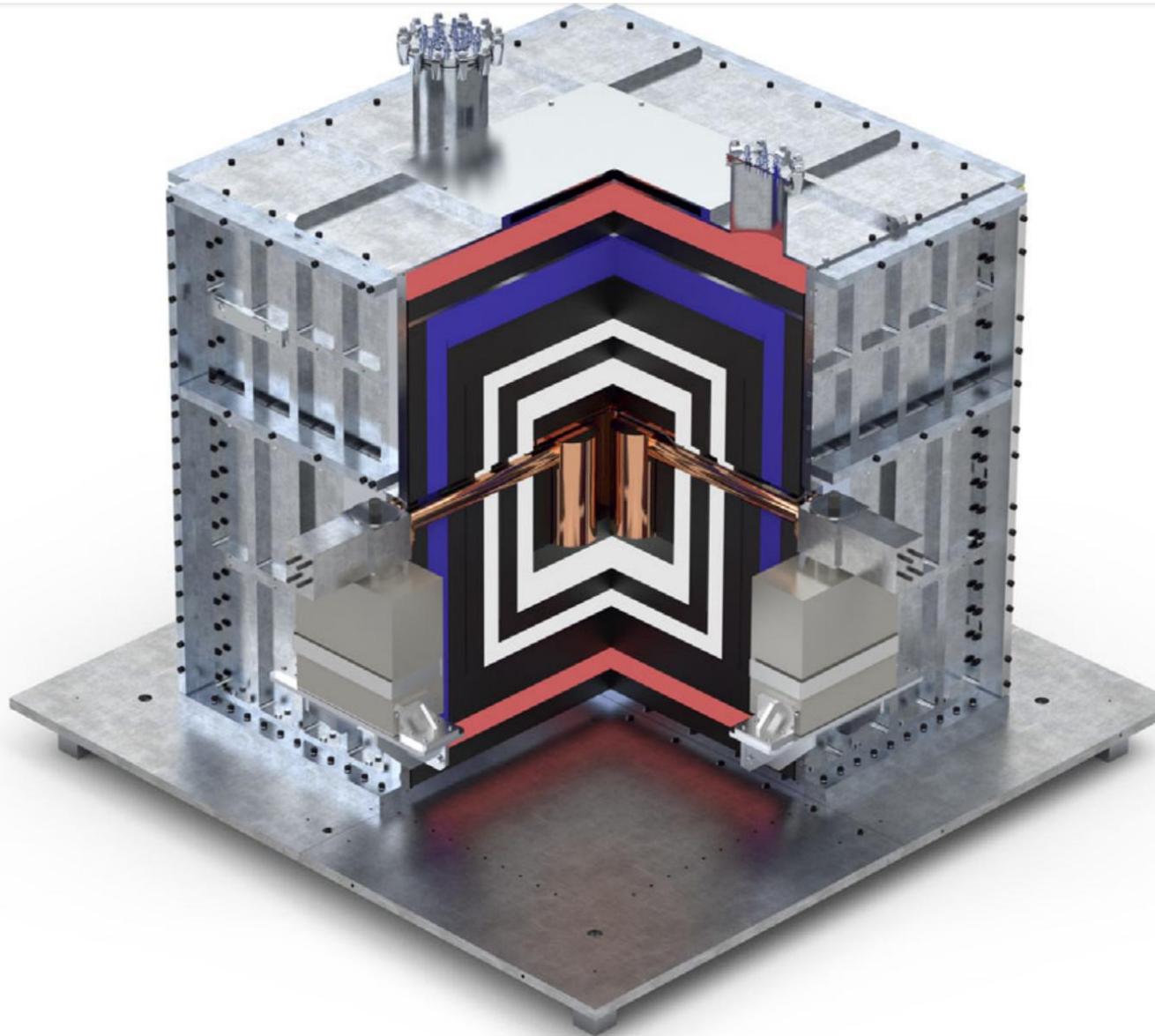


# NEON

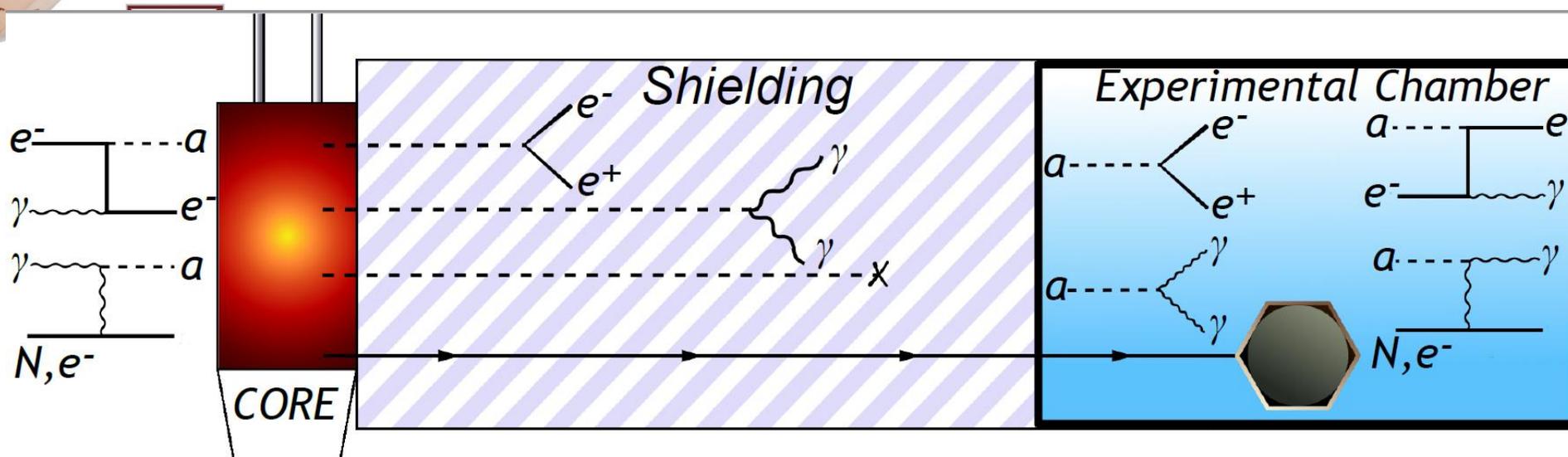
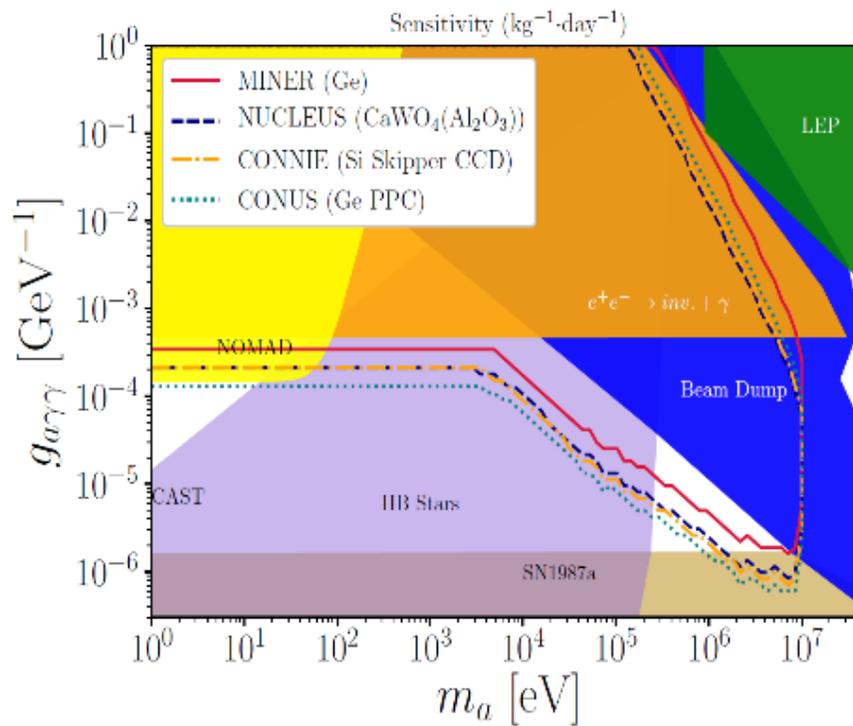


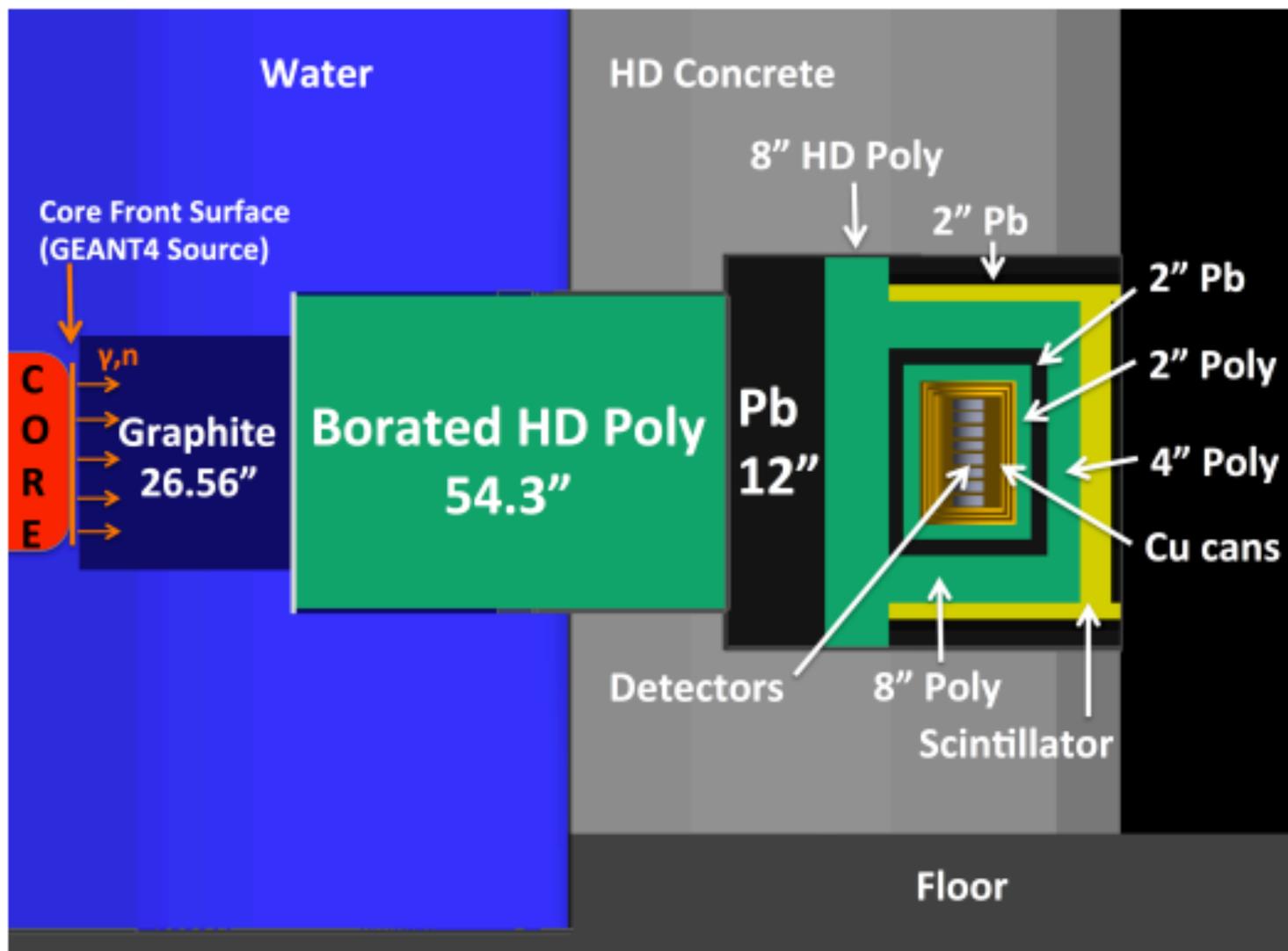


# CONUS

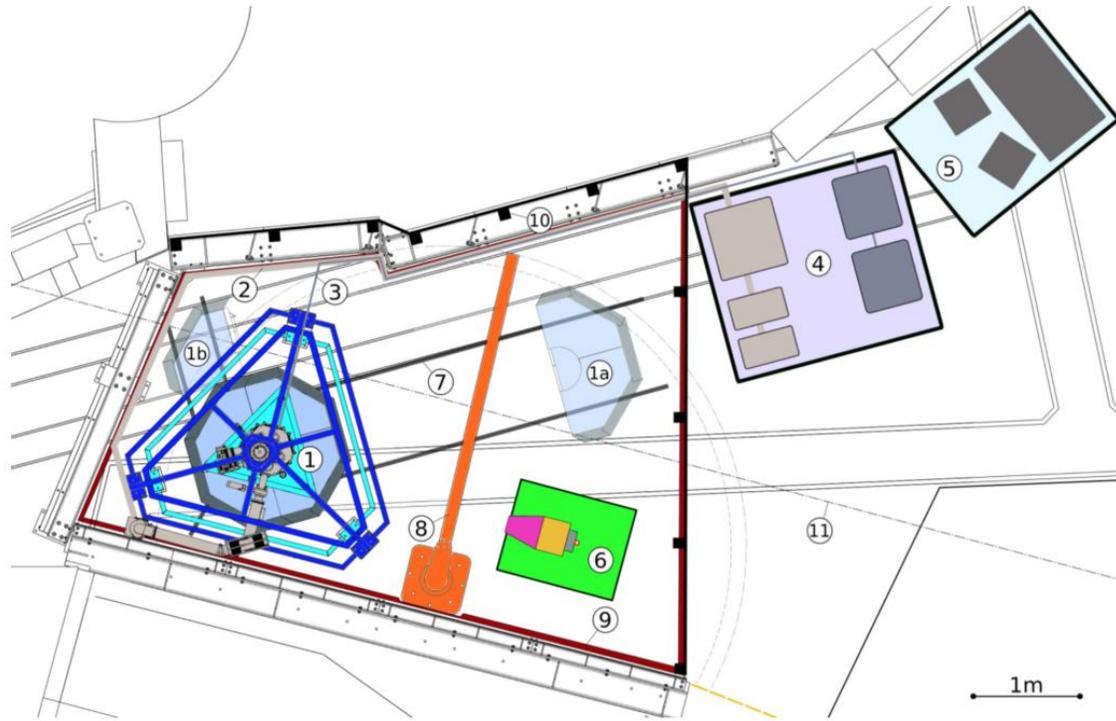


# MINER



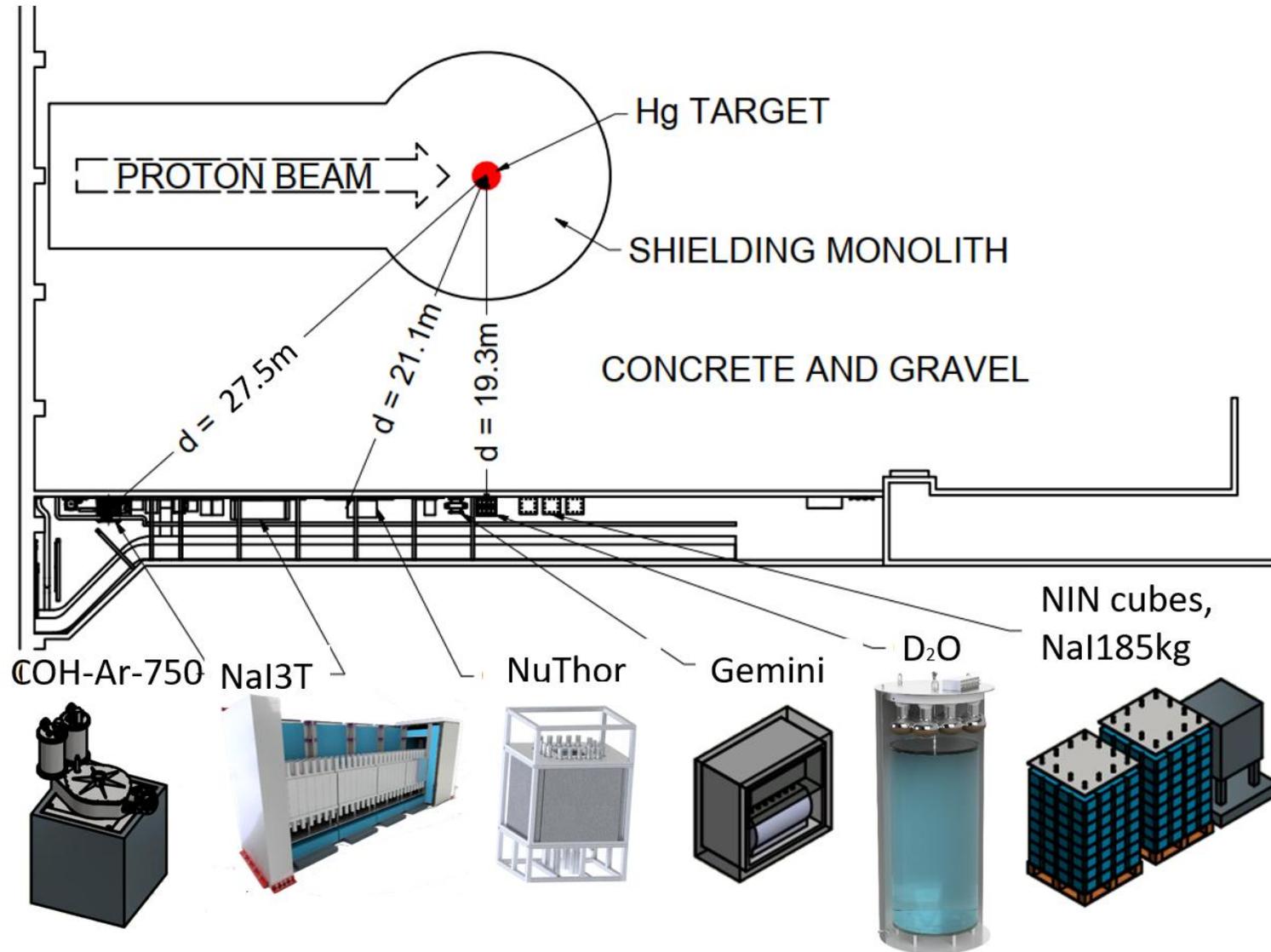


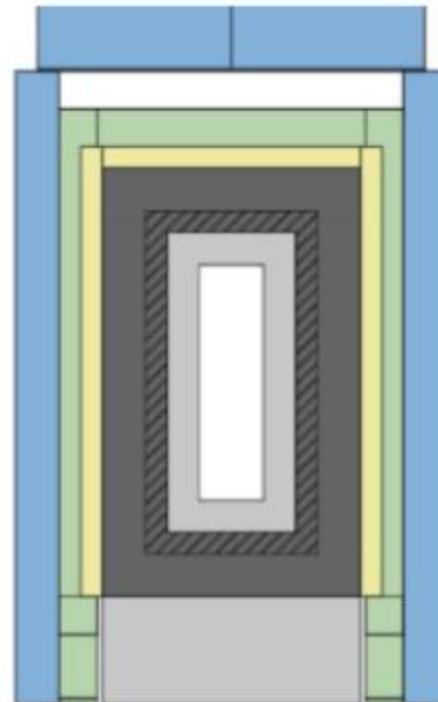
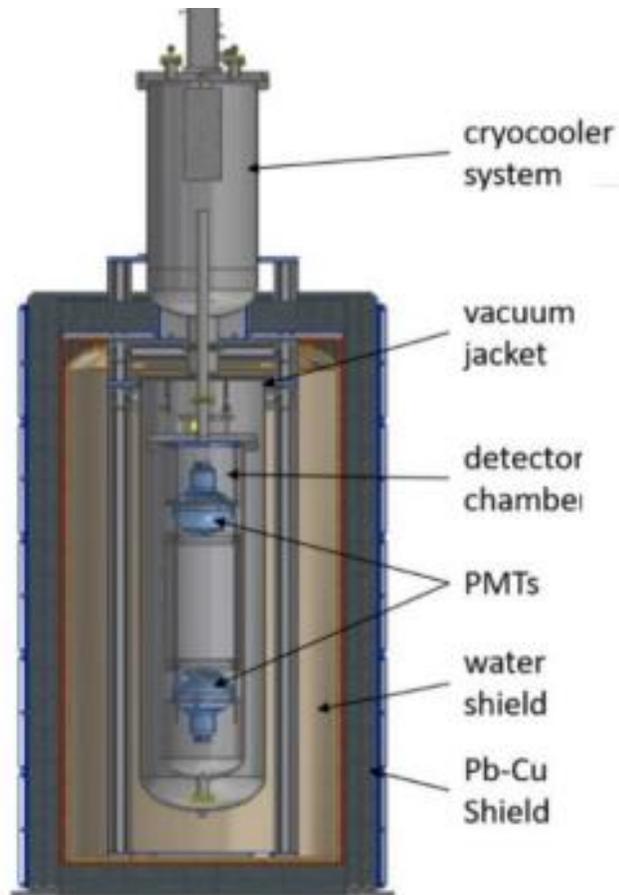
# RICOCHET



**Fig. 2** Schematic of the RICOCHET installation in the H7 experimental area: 1) cryostat with shielding, electronics and double frame, 2) supply and primary vacuum lines, 3) data readout lines, 4) technical cabin for cryostat infrastructure and data acquisition servers, 5) control cabin, 6) pulsed neutron source (storage position), 7) rail system, 8) local 1-t crane, 9) retention walls, 10) light RICOCHET casemate, 11) limit of reactor transfer channel. The muon veto (not shown) is located above and around the cryostat and shielding.

# COHERENT





## Shielding design

- Veto to tag cosmic events
- Lead to shield from gammas
- Water and plastic to moderate neutrons