



Изучение свойств нейтрино с помощью низкофонового германиевого спектрометра GEMMA-III

Участники от ЛЯП, ОИЯИ:

Белов В.В., Бруданин В.Б., Егоров В.Г., Фомина М.В., Лубашевский А.В.,
Медведев Д.В., Пономарев Д.В., Ширченко М.В., Розов С.В., Розова И.Е.,
Житников И.В., Якушев Е.А., Зинатулина Д.Р.

ИТЭФ:

Беда А.Г., Старостин А.С.

МИФИ:

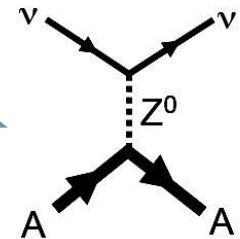
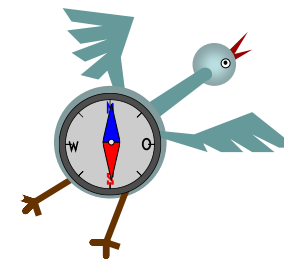
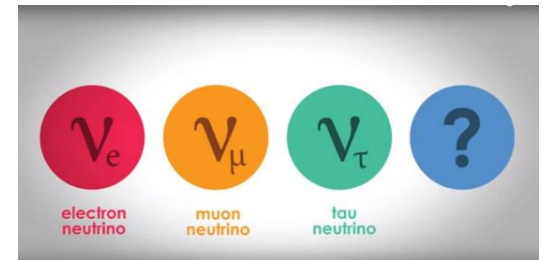
Гуров Ю.Б.

МОТИВАЦИЯ

С момента первого детектирования нейтрино уже прошло более 60 лет, однако многие свойства этой частицы до сих пор неизвестны. Интерес к изучению свойств данной частицы только возрастает в последние годы, так как она имеет важное значение для физики частиц, астрофизики и космологии.

Проект GEMMA-III является продолжением предыдущих проектов GEMMA-II и ν GEN. Этот проект нацелен на изучение свойств нейтрино, в частности планируется:

- Поиск **магнитного момента нейтрино** (планируемая чувствительность $\sim 9 \cdot 10^{-12} \mu_B$)
- Впервые зарегистрировать **когерентное рассеяние нейтрино** от реактора и исследовать этот процесс:
 - Поиск стерильного нейтрино
 - Исследование нестандартных взаимодействий нейтрино.
 - Мониторинг реакторов и др.



Магнитный момент ν (ММН)

В минимально расширенной Стандартной Модели (μ_B - магнетон Бора)

$$\mu_\nu \sim 10^{-19} \mu_B \times (m_\nu / 1\text{eV})$$

В различных расширениях СМ магнитный момент нейтрино ожидается в пределах:

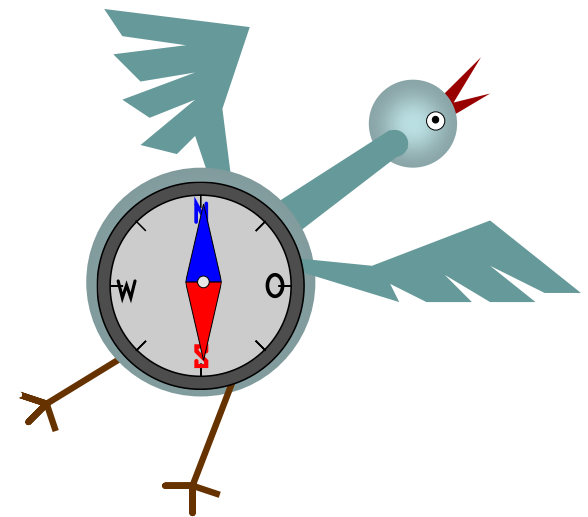
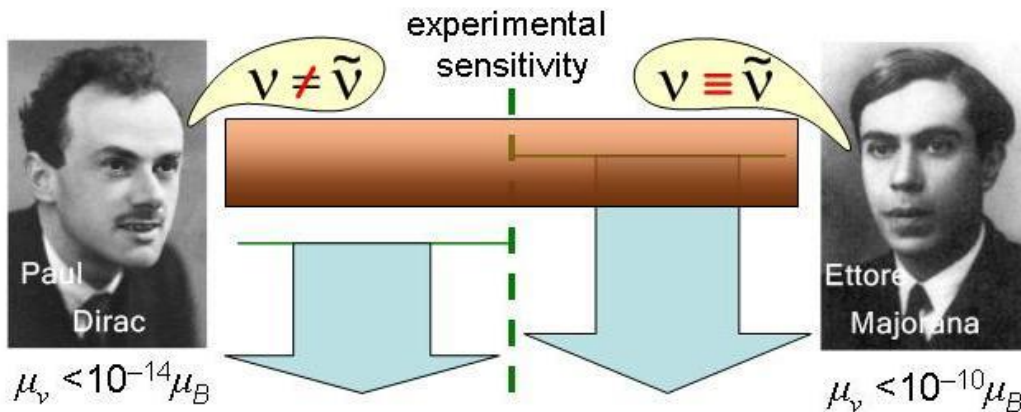
для нейтрино Майорана:

$$\mu_\nu = (10^{-11} \div 10^{-12}) \mu_B$$

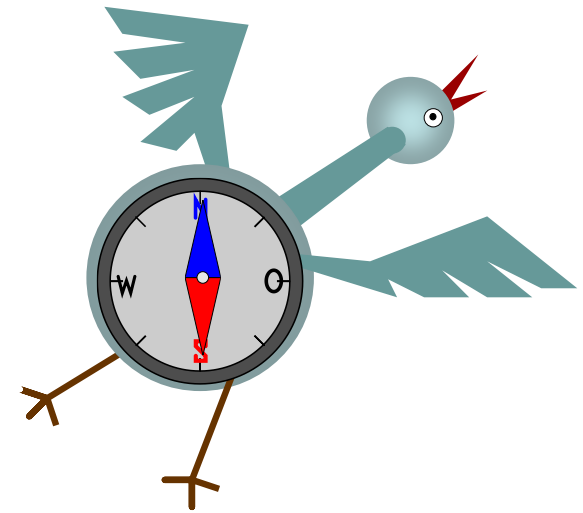
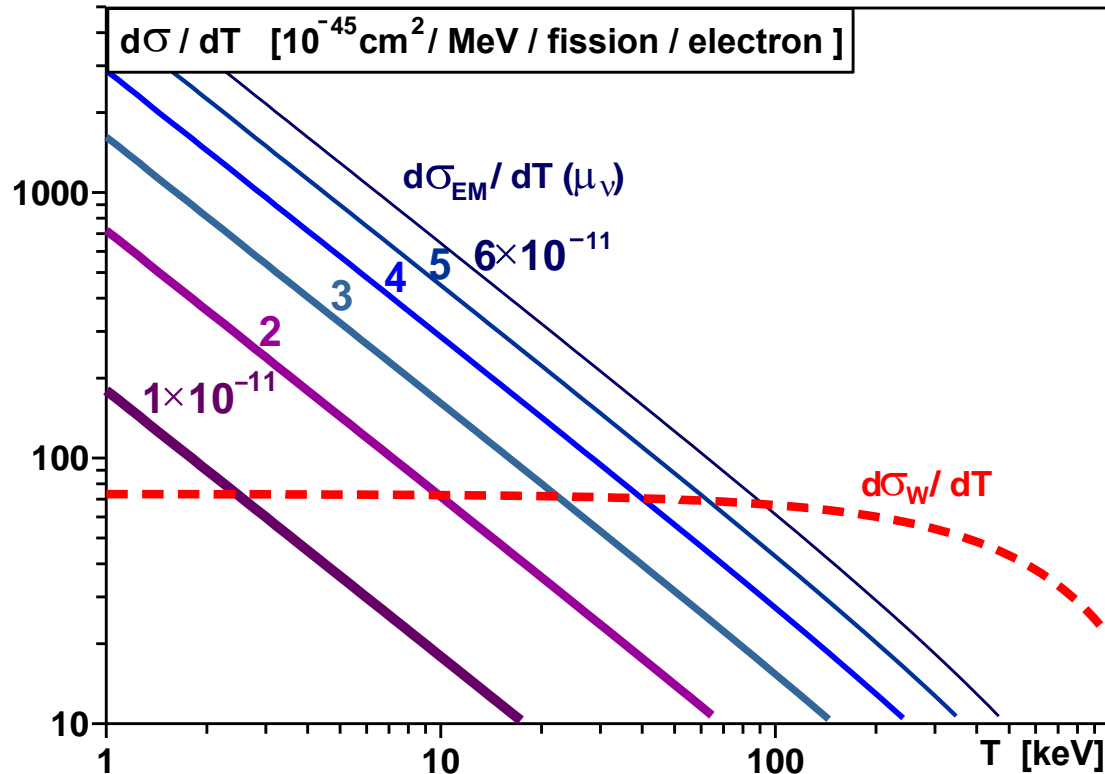
для нейтрино Дирака:

$$\mu_\nu < 10^{-14} \mu_B$$

Обнаружение магнитного момента нейтрино будет однозначно свидетельствовать о новой физике за пределами Стандартной Модели.



Магнитный момент ν



Сечение ЭМ рассеяния (анти)нейтрино на электронах:

$$\frac{d\sigma_{EM}}{dT} = \pi r_0^2 \left(\frac{\mu_\nu}{\mu_B} \right) \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{E_\nu} \right)$$

где $\pi r_0^2 = 2.495 \cdot 10^{-25} \text{ cm}^2$,
 E_ν – энергия нейтрино

$$\mu_B = \frac{e \hbar}{2m_e}$$

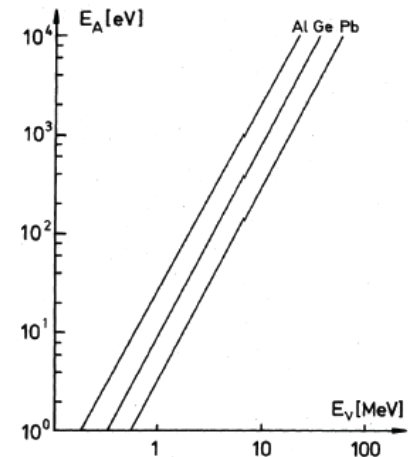
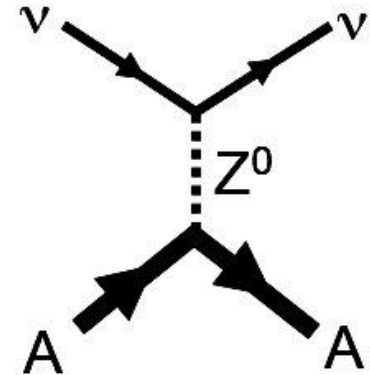
В эксперименте GEMMA-I было поставлено
 лучшее лабораторное ограничение $\mu_\nu < 2.9 \cdot 10^{-11} \mu_B$

Когерентное рассеяние ν (КРН)

Когерентное упругое рассеяние нейтрино на ядрах вещества - это процесс разрешенный в Стандартной Модели.

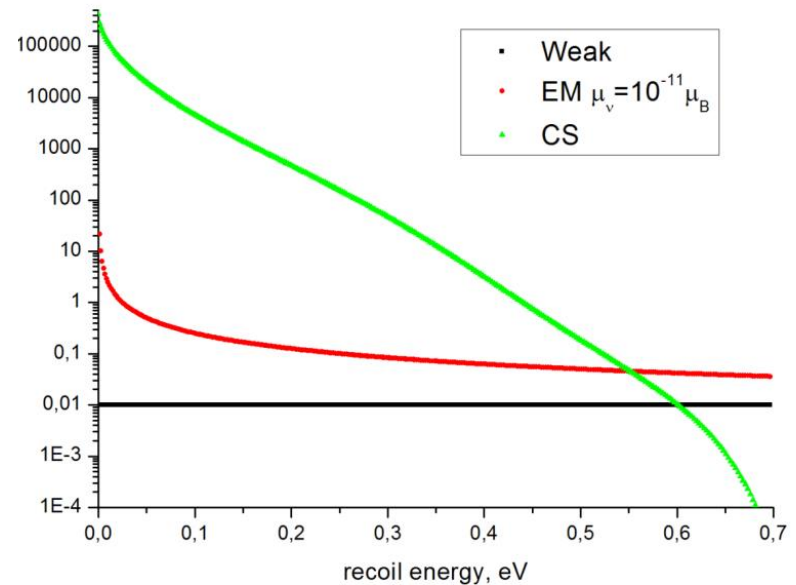
Исследование имеет большое значение для:

- Астрофизики и космологии. Является фоном для экспериментов по поиску темной материи.
 - Хороший инструмент для поиска нестандартных взаимодействий нейтрино.
 - Может использоваться для поиска стерильных нейтрино.
 - Возможно практическое применение - мониторинг потока нейтрино от реакторов.
 - Проверить результаты эксперимента COHERENT.
- $E_\nu < 50$ МэВ (полная когерентность ~ 30 МэВ)
 - Сечение КРН пропорционально квадрату числа нейтронов мишени.
 - Сечение на несколько порядков выше обычного рассеяния ν .
 - Энергия отдачи очень мала (обычно меньше нескольких кэВ).
 - Более того, зачастую возможно детектирование только части отданной энергии (в германиевом детекторе $\sim 20\%$)



Детектирование ν

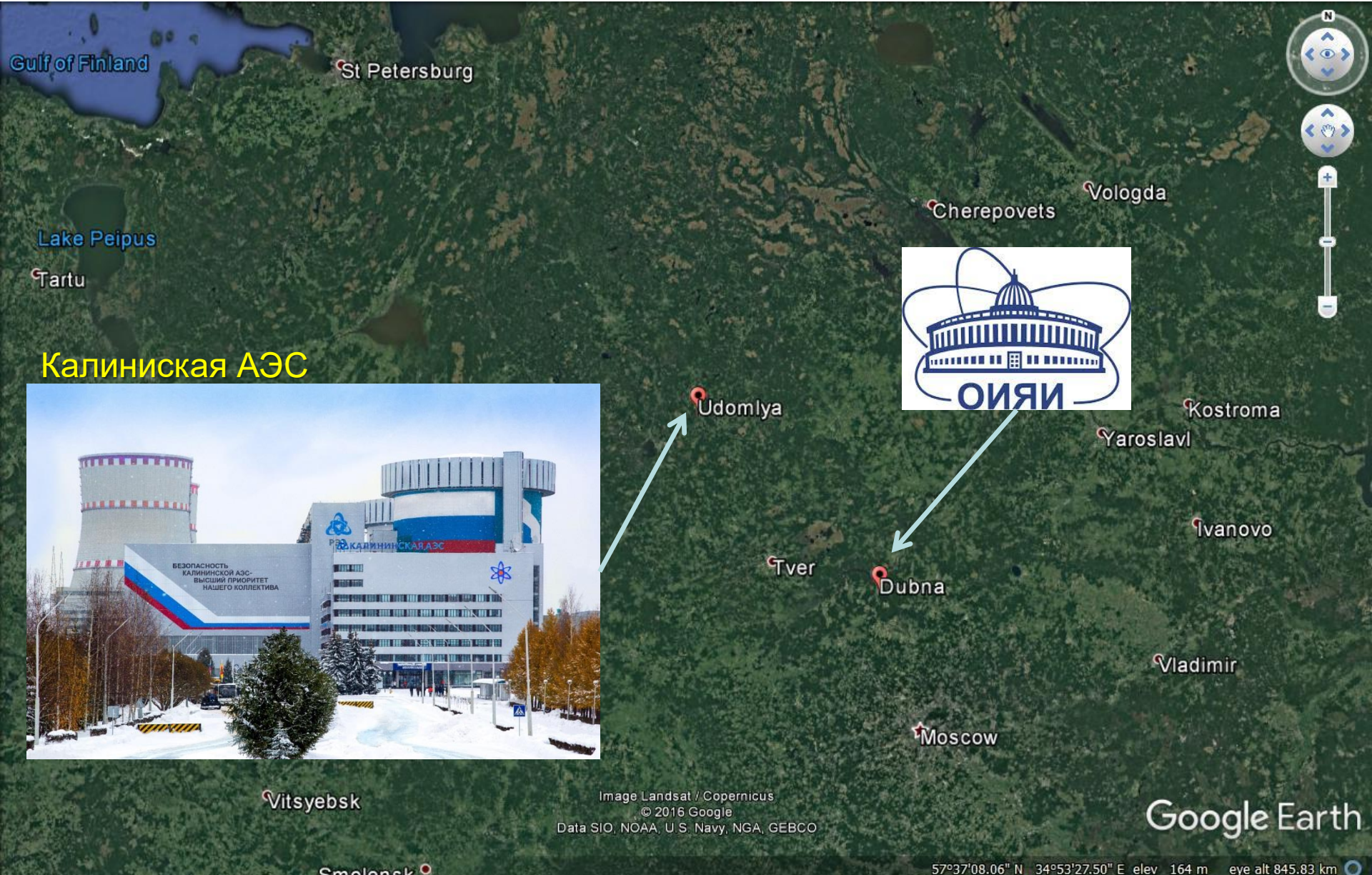
- Рассматриваемые события от рассеяния нейтрино - непрерывный спектр при низких энергиях.
- Сложно отделить сигнал от фона.
- Малое число событий.



Для детектирования КРН или ММН:

- Мощный источник нейтрино
- Детектор с очень низким порогом регистрации и хорошим разрешением
- Низкий уровень фона
- Четкое разделение искомым событий от фоновых
- Большая эффективность и масса детектора

КАЭС



Калининская АЭС

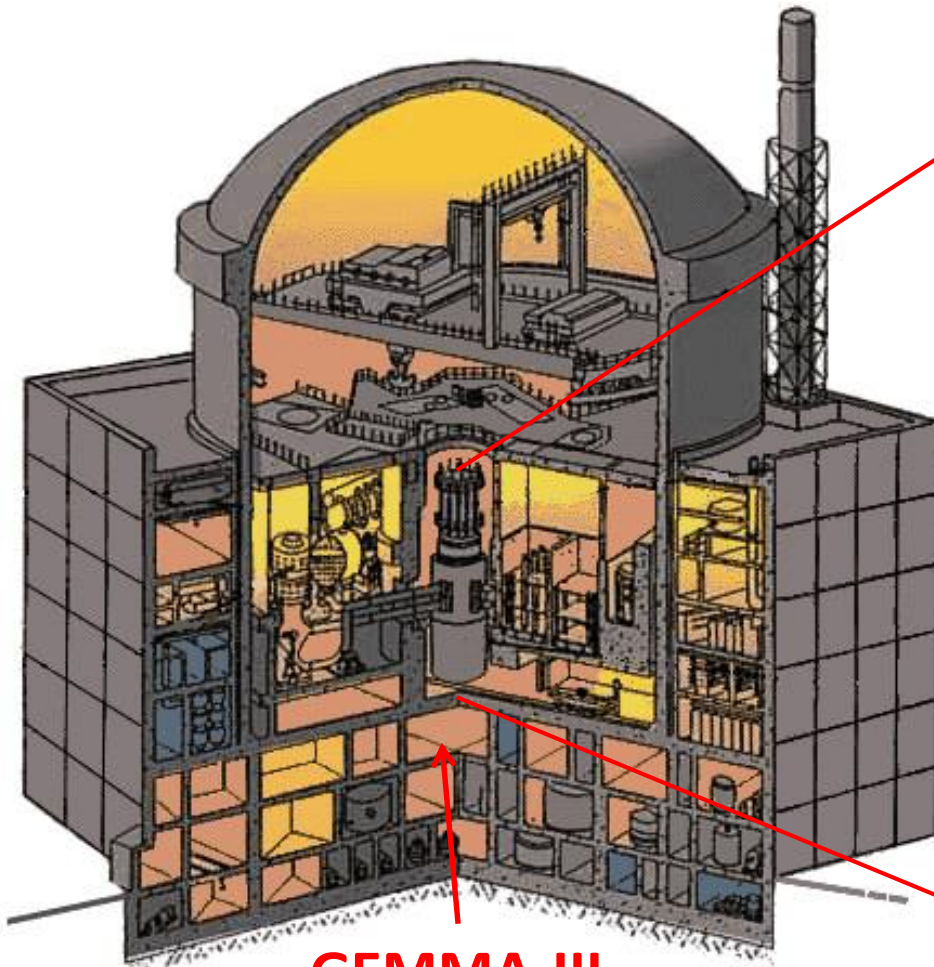


Image Landsat / Copernicus
© 2016 Google
Data SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO

Google Earth

57°37'08.06" N 34°53'27.50" E elev 164 m eye alt 845.83 km

Источник ν



GEMMA-III

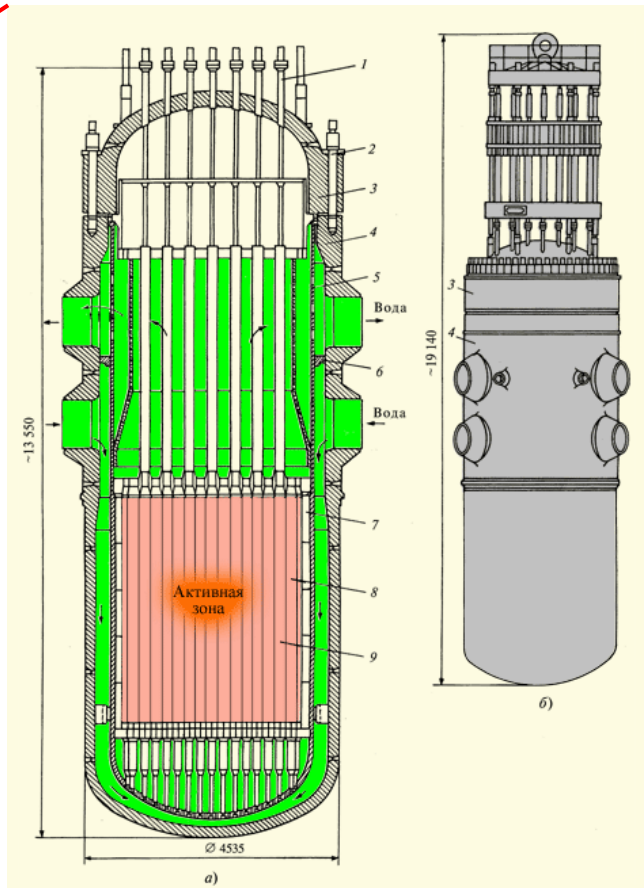


Рис. 5.4. Ядерный реактор ВВЭР-1000

Экспериментальная установка находится всего в 10 м от центра 3 ГВт реактора КАЭС (ВВЭР-1000). Поток нейтрино в $> 5 \cdot 10^{13} \nu / (s \cdot cm^2)$!!! Более того, комната находится под реактором, что дает дополнительно хорошую защиту у космических лучей (~50 м в.э.).

Проект GEMMA

GEMMA-I (выполнен)
1.5 кг HPGe, порог ~ 3 keV
14 м от реактора
фон ~ 2.5 cts/(keV kg day)

- Долгая и успешная история сотрудничества с КАЭС
- (В **GEMMA-I** получено лучшее в мире ограничение на $\mu_\nu < 2.9 \cdot 10^{-11}$ μB)

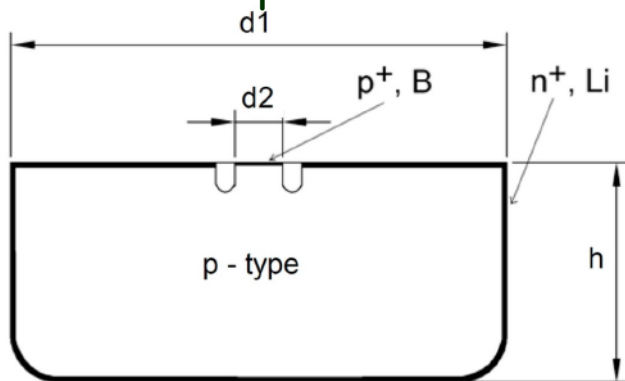
GEMMA-II (заморожен)
2x3 кг HPGe (ИТЭФ),
порог ~ 1.5 keV
10 м от реактора
фон < 1 cts/(keV kg day)

vGEN (строится)
 $\sim 4 \times 0.4$ кг HPGe,
порог ~ 350 eV
10 м от реактора
фон ~ 1 cts/(keV kg day) at LSM

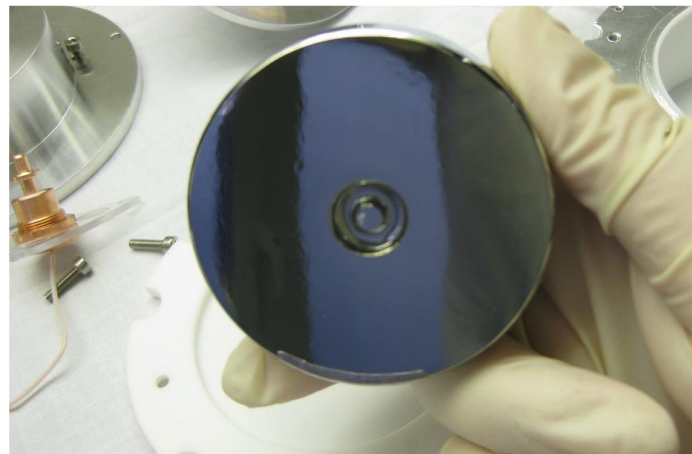
GEMMA-III (подготавливается)
4 HPGe (5.5 kg total)
порог < 200 eV
10 м от реактора
фон < 1 cts/(keV kg day)

Детекторы vGEN

Низкопороговые сверхчистые германиевые детекторы разработанные ОИЯИ совместно с BSI (Рига, Латвия). Более 50 образцов были исследованы в подземной лаборатории LSM и были найдены источники повышенного фона в GEMMA-II.

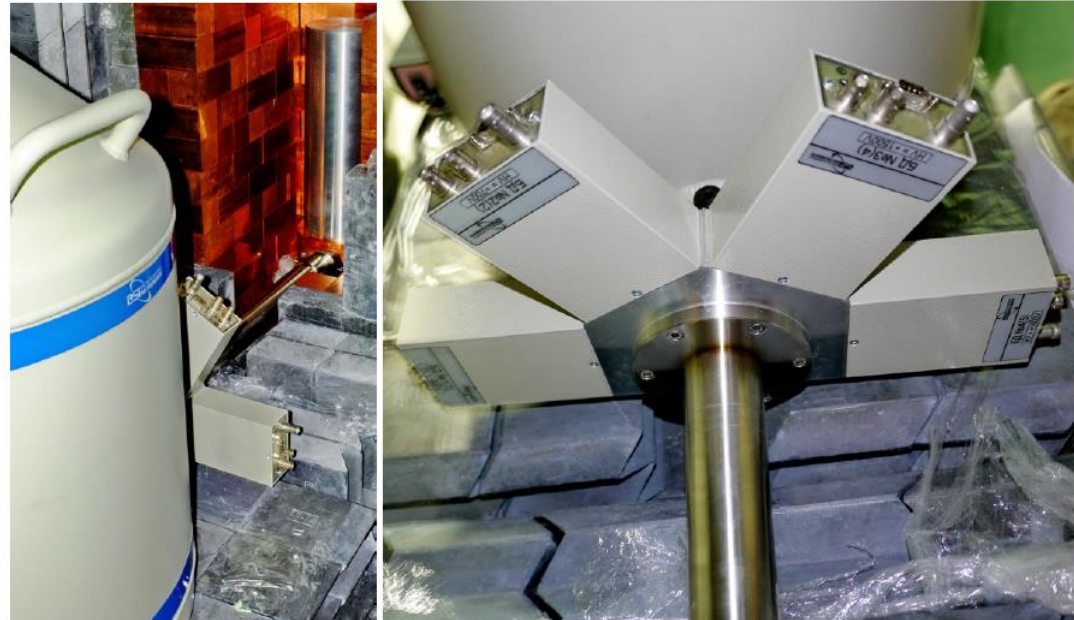
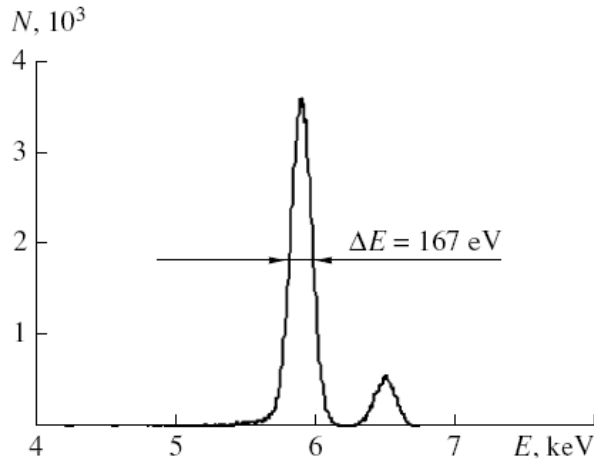
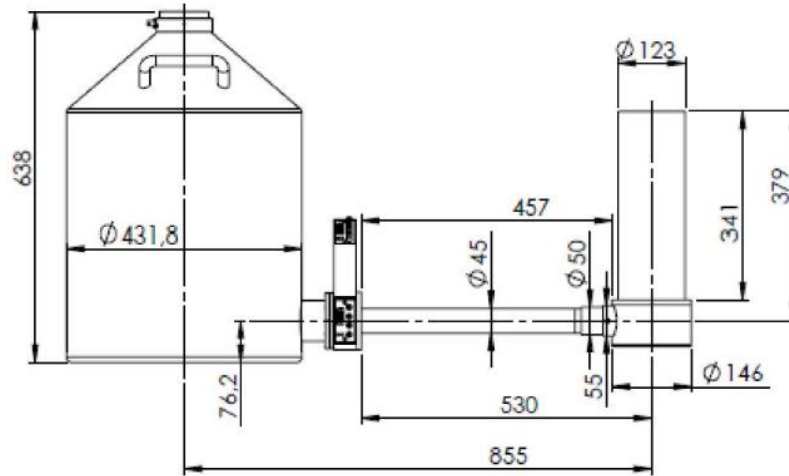


Mass ~ 400 g

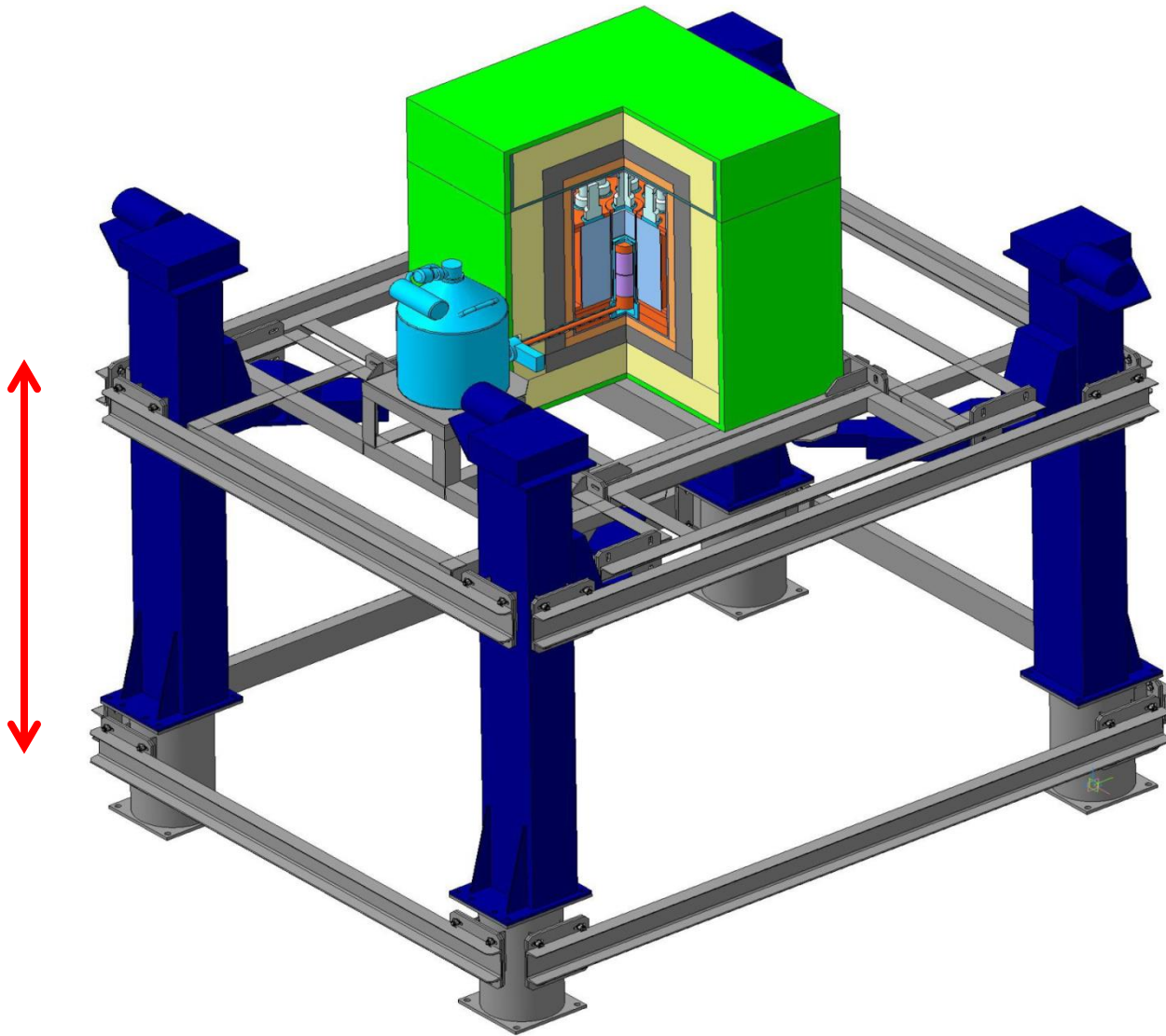


Спектрометр vGEN

- Разрешение детекторов ~ 170 eV (FWHM)
- Порог измерений ~ 350 eV - достаточно для детектирования когерентного рассеяния
- При таких параметрах детектора и уровне фона ~ 1 cts/(keV kg day) ожидается ~ 10 событий от КРН в день, (при уровне фона в 1 cts/day)



Подъемный механизм



Для определения сигнала будет использоваться:

- Данные Reactor OFF/ON.
- Подъемный механизм меняющий расстояние до ядра реактора (~10 - 12.5 м).
- Позволяет значительно снизить систематическую погрешность при определении уровня фона.

Измерения в LSM

Измерение радиоактивной чистоты детекторов ν GEN было произведено в подземной лаборатории LSM (Модан) с использованием защиты эксперимента EDELWEISS-I. Для энергетического региона (100 - 600) keV индекс фона составил 0.66 ± 0.03 cpd/kg/keV. Для (20 - 100) keV - 1.11 ± 0.07 cpd/kg/keV. Эти данные были получены с упрощенной схемой электроники без анализа по форме импульса.

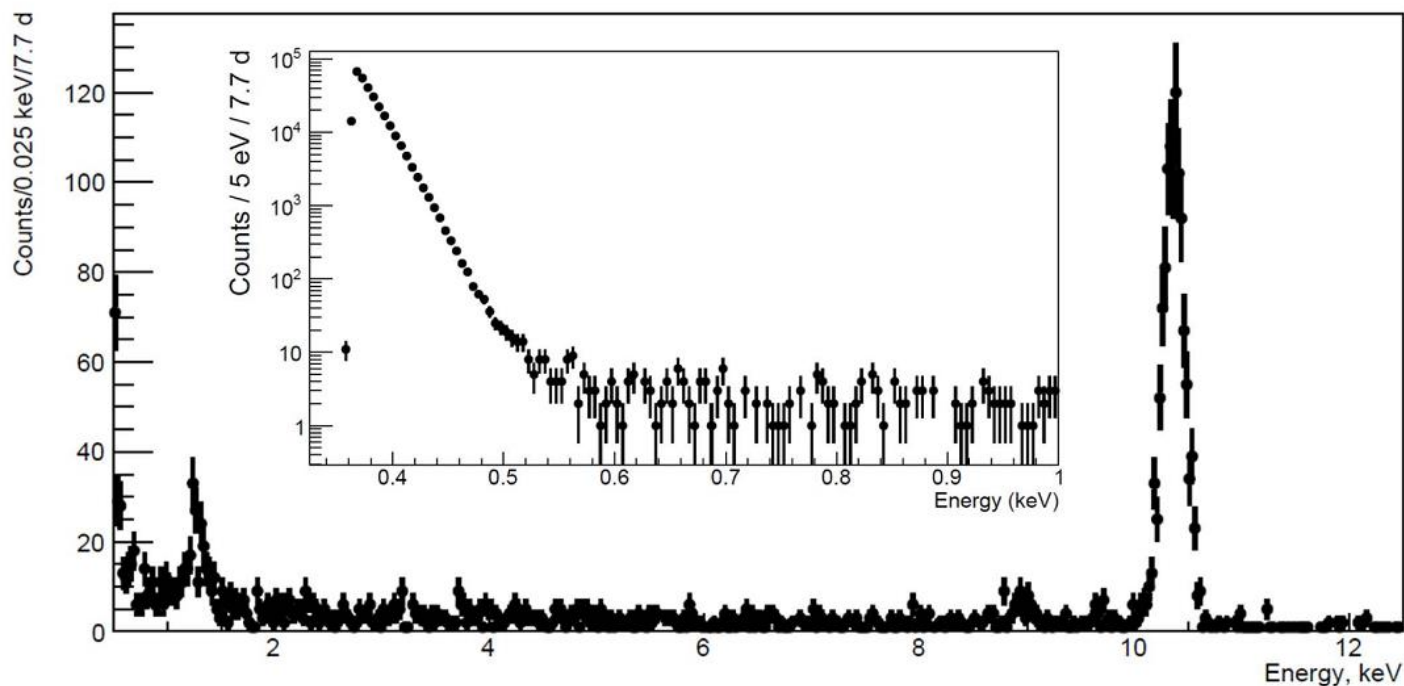


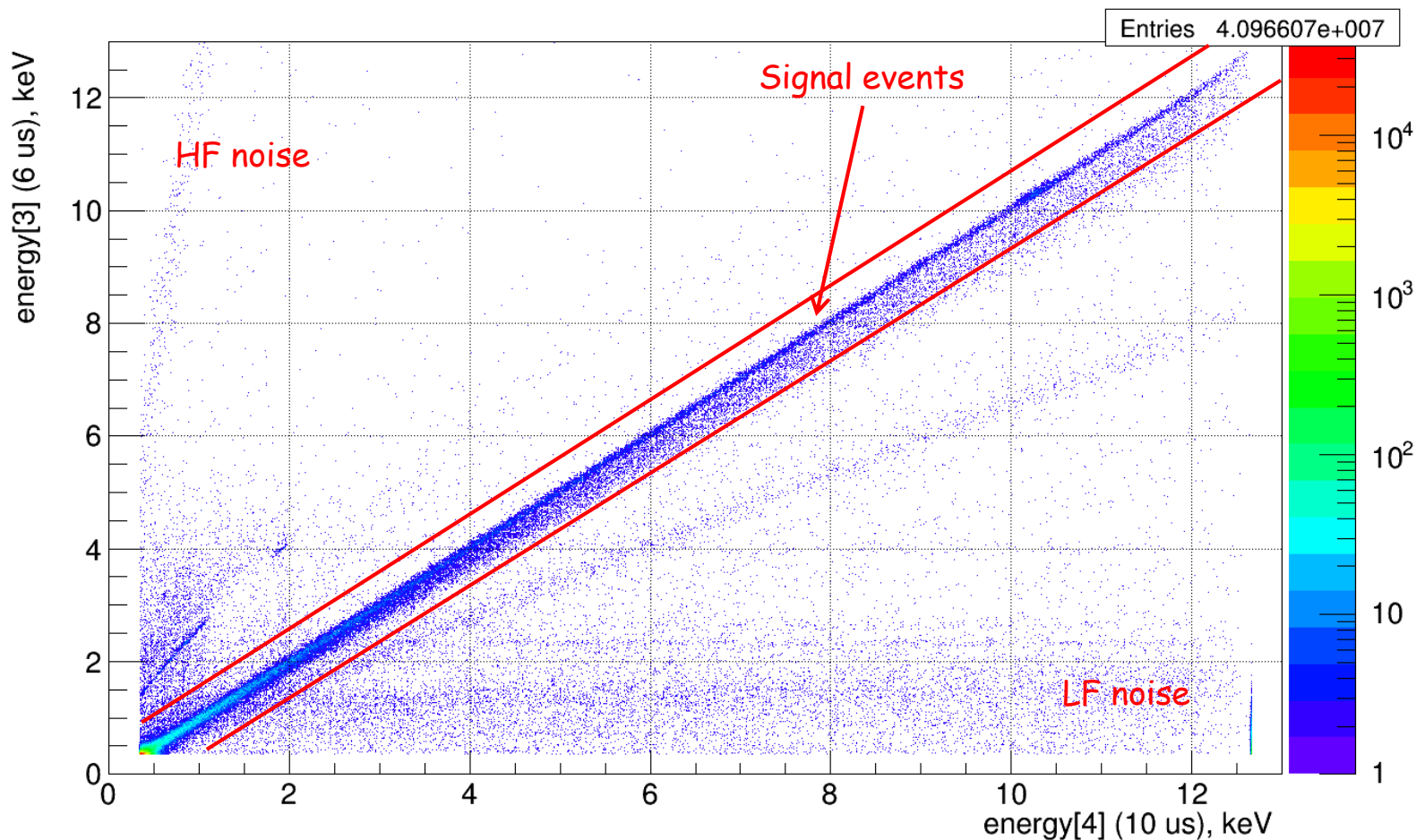
Figure 5. The low energy spectrum for detector N4. The energy scale was calibrated with clearly detected 1.3 keV and 10.37 keV cosmogenic lines. The low energy part of the spectrum is shown as the insert with the logarithmic scale.

V.Belov et. al, 2015 JINST 10 P12011

Измерения в ОИЯИ

После измерений в подземной лаборатории детекторы были перевезены в ОИЯИ. Была установлена новая электроника и программа набора данных позволяющая записывать события в режиме реального времени. При этом набор данных ведется с использованием различных формировок, что позволяет значительно подавить фоновые события.

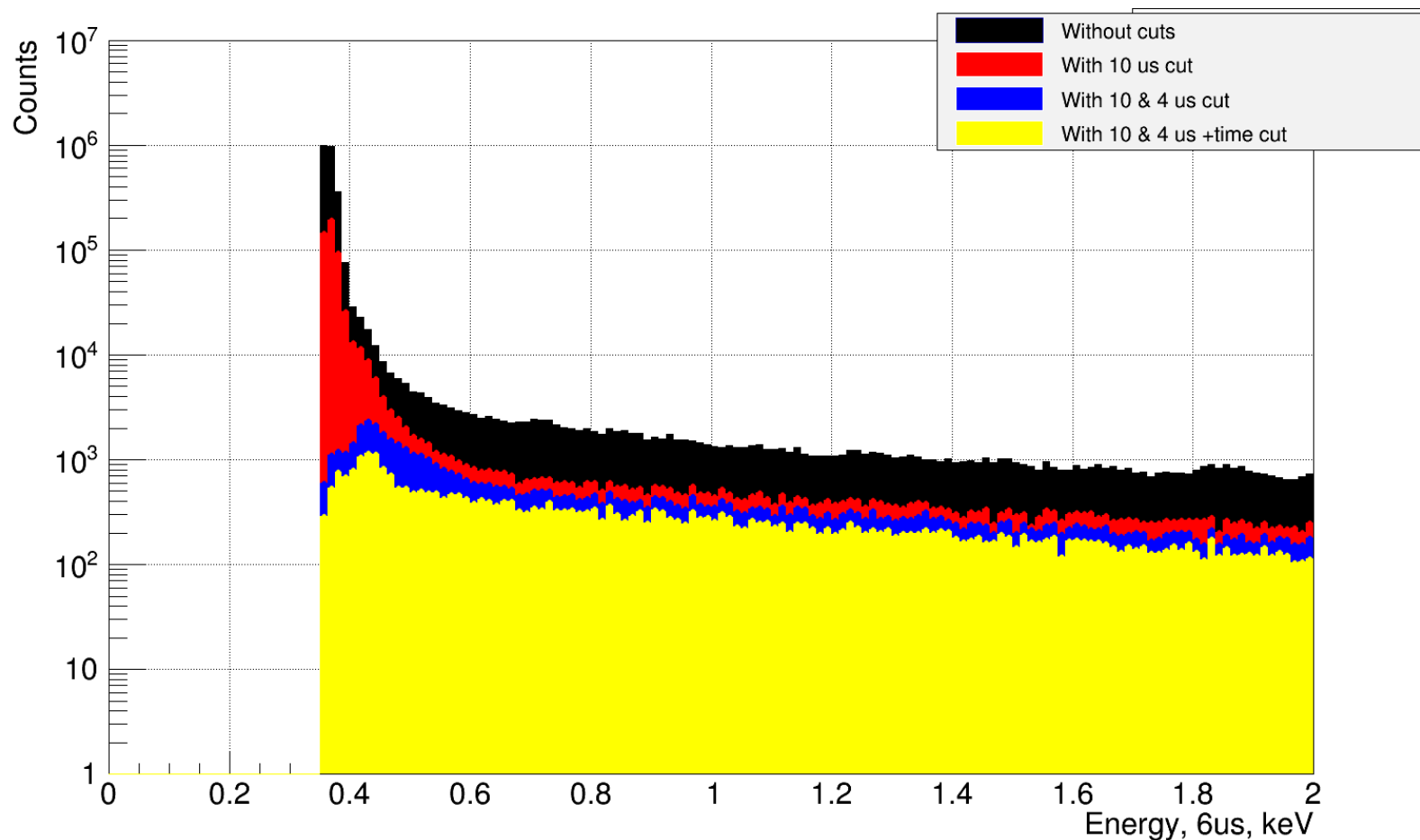
Part of the spectrum of germanium detector 4 taken for 3.01 days



Измерения в ОИЯИ

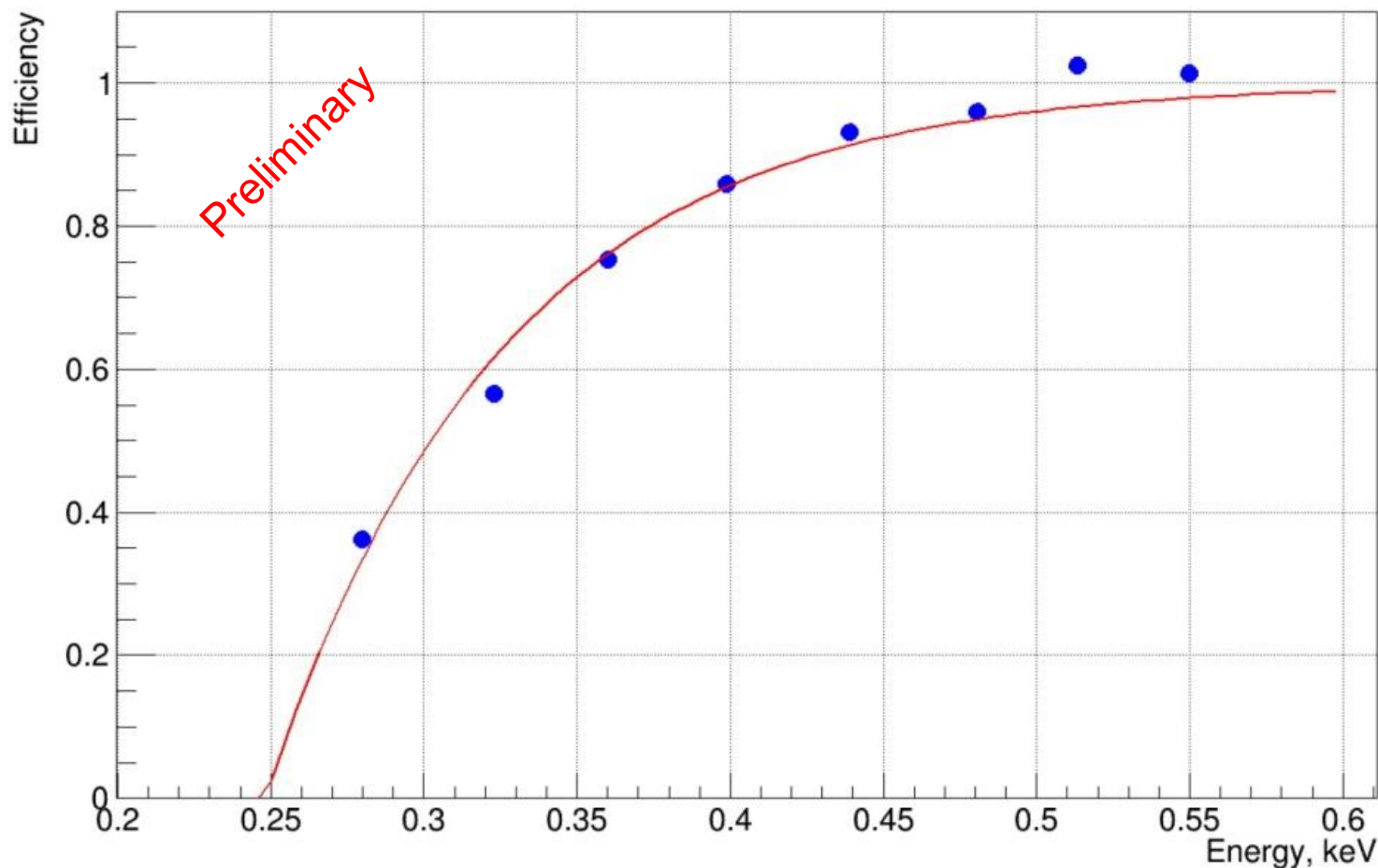
Использование различных формировок позволяет значительно подавить высоко- и низкочастотный шум. Кроме этого из анализа данных, мы исключаем периодический шум.

Part of the spectrum of germanium detector 4 per 3.01 days



Эффективность регистрации

Эффективность регистрации событий измерялась с помощью генератора импульсов. Было показано, что эффективность регистрации событий после отбора остается достаточно высокой при энергиях > 350 эВ. Что достаточно для регистрации КРН.



Установка на КАЭС

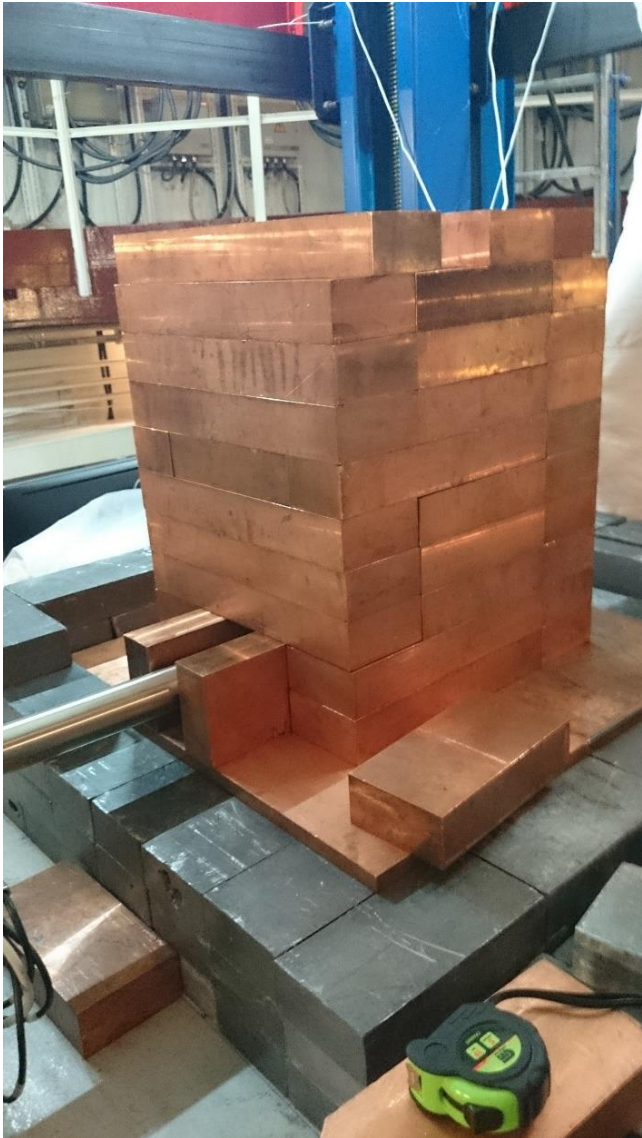
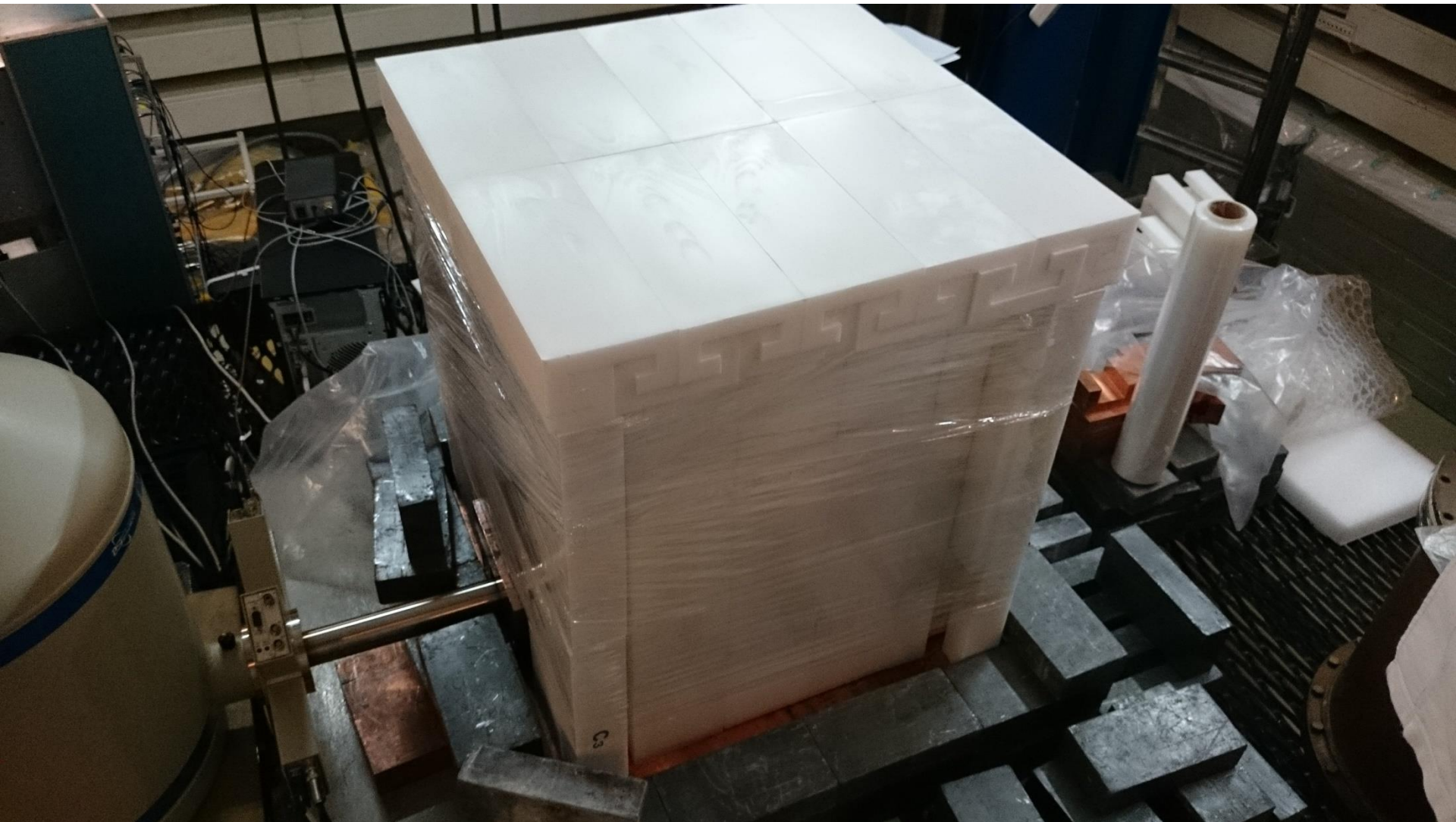


Схема пассивной защиты vGEN:

- 10 см меди
- 8 см борированный полиэтилен (3%)
- 10 см свинец
- 8 см борированный полиэтилен

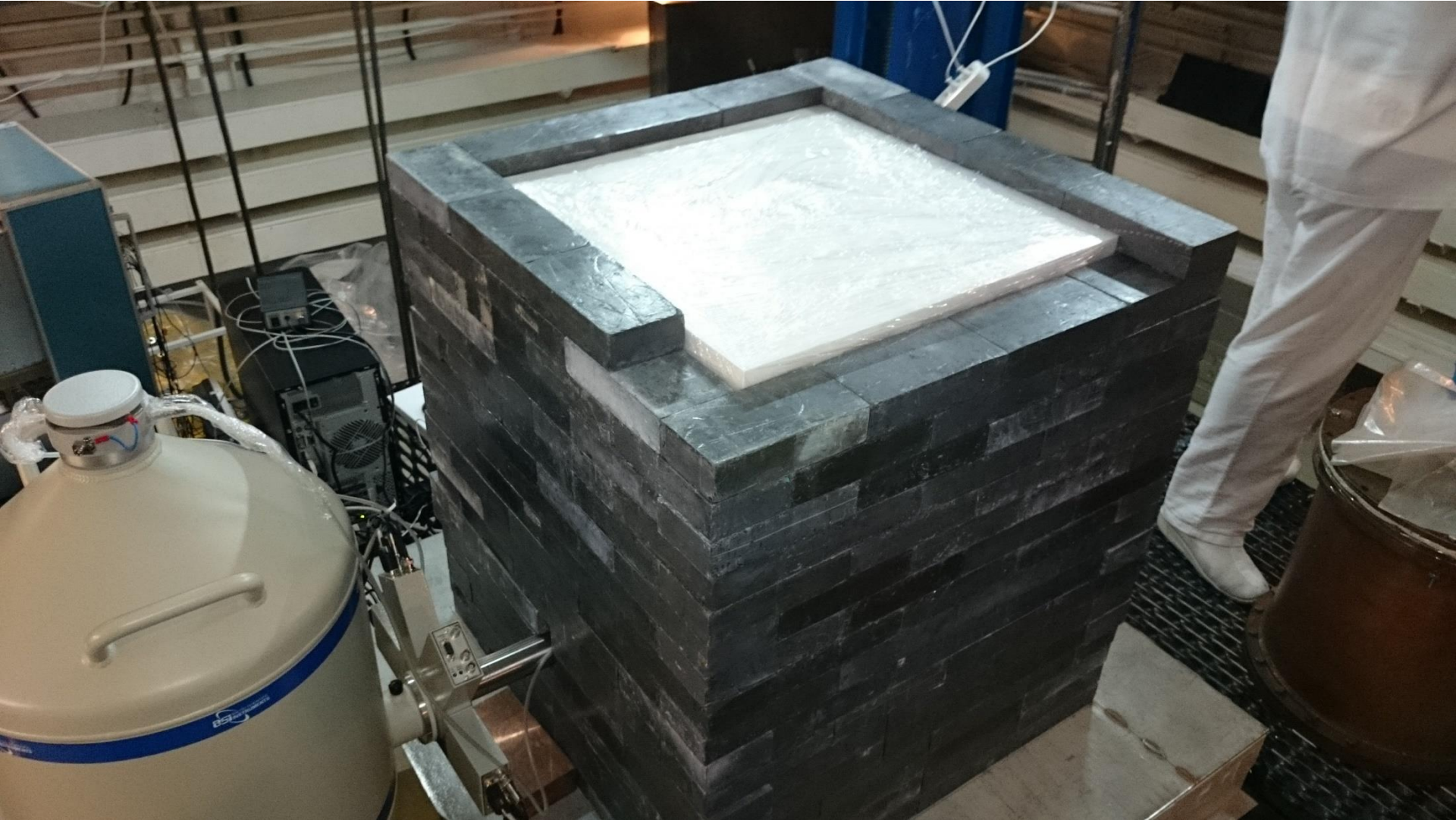
+ мюонное veto (5 см)

Установка на КАЭС



Для снижения уровня радона внутренняя часть защиты вентилируется азотом

Установка на КАЭС



Установка на КАЭС



Первые измерения с vGEN показали, что медная защита (от GEMMA-I) имеет загрязнение ^{137}Cs выше приемлемого уровня. Были проведены несколько операций по ее очистке, которые однако были недостаточно эффективными. Поэтому была приобретена новая сверхчистая медь, которая будет установлена вместо имеющейся. Ее чистота была проверена в подземной лаборатории LSM (в октябре 2017).

Приготовление μ -вето



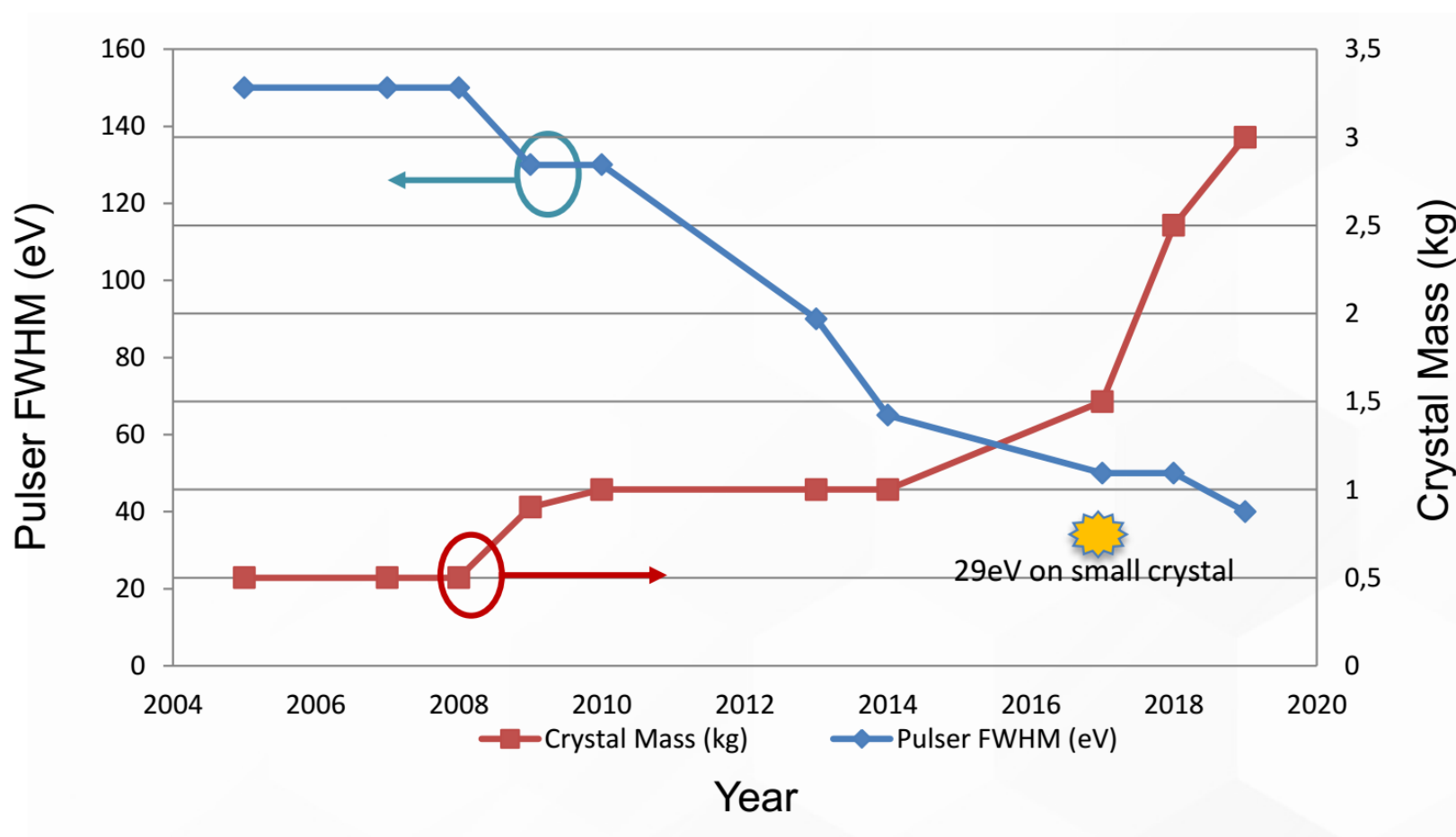
Сцинтилляционные пластины (5 см толщиной) для мюонного вето изготовлены и тестируются в НЭОЯС и РХ (ЛЯП), к 117.

Планы по ν GEN

- Установить новую защиту установки ν GEN совместно с мюонным вето под реактором.
- Проверить уровень фона.
- В случае повышенного фона мы можем также использовать внутреннюю защиту из NaI.
- Зарегистрировать КРН от реакторных нейтрино
- Произвести апгрейд установки с использованием новые детекторы (CANBERRA) с лучшим разрешением и порогом (GEMMA-III установка).

Детекторы для GEMMA-III

В последнее время технологии изготовления детекторов вышли на новый уровень. CANBERRA может изготавливать детекторы с массой > 1 кг при этом разрешение составляет лучше 80 эВ (FWHM), что позволит достичь порога регистрации лучше 200 эВ.



Планы по GEMMA-III

- В начале 2018 года должен быть изготовлен первый детектор по проекту GEMMA-III. Размеры 62x62 мм. Масса ~ 1 кг, разрешение около 80 эВ (FWHM).
- После успешного тестирования детектора в LSM -> произвести замену детекторов vGEN.
- Всего планируется использовать 4 детектора с общей массой ~ 5.5 кг (начало измерений: конец 2018 - начало 2019 года).
- Планируемая чувствительность к ММН ~ $9 \cdot 10^{-12}$ $\mu\text{В}$ после нескольких лет измерений.
- Оцениваемое число событий от КРН ~ 200 в сутки, это позволит изучать нестандартные взаимодействия нейтрино, стерильное нейтрино, ...

Задействованный персонал

Name	Category	Responsibilities	Full Time Equivalent (FTE)
V. Brudanin	Head of department	Administrative work, project management	0.2
V. Belov	Junior researcher	Muon veto, MC	0.2
V. Egorov	Head of sector	Management, constructions, data analysis	0.3
M. Fomina	Junior researcher	Muon veto, MC	0.3
A. Lubashevskiy	Senior Researcher	Data analysis, MC, commissioning and administrative work	0.5
D. Medvedev	Researcher	Data analysis, MC	1.0
D. Ponomarev	Engineer	Constructions, detectors building, testing. Experiment running.	1.0
M. Shirchenko	Researcher	Experiment running. Data analysis	0.3
V.Sandukovsky	Head of sector	Detector configuration, constructions	0.5
S. Rozov	Engineer	Detector building, testing, calibration, running.	0.5
I. Rozova	Engineer	Data analysis, constructions	1.0
I. Zhitnikov	Junior researcher	Experiment running, data analysis	0.2
E. Yakushev	Head of sector	Building, commissioning, running, data analysis	0.3
D. Zinatulina	Researcher	Muon veto, MC	0.2
Total FTE (Engineers): 2.5, Total FTE (Scientific staff): 3.9, Total FTE: 6.4			

План-график для проекта GEMMA-III

Наименование узлов и систем установки, ресурсов, источников финансирования		Стоимость узлов (тыс.\$). установки. Потребности в ресурсах	Предложения Лабораторий по распределению финансирования и ресурсов			
			1 год.	2 год.	3 год	
Основные узлы и оборудование	1. Криогенное оборудования для детекторов. (Криостаты)	70.0	70.0			
	2. Материалы для калибровок и пассивной защиты.	30.0	25.0	10.0	5.0	
	3. Электроника NIM	50.0	40.0	10.0		
	4. Электроника VME	55.0	35.0	20.0		
	Итого	215.0	170.0	40.0	5.0	
Необходимые ресурсы	Нормо-часы	ООЭП ЛЯП	600	200	200	200
Источники финансирования	Бюджет	Затраты из бюджета	215.0	170.0	40.0	5.0
	Внебюджетные средства	Вклады коллаборантов. Средства по грантам. Вклады спонсоров Средства по договорам. Другие источники и т.д.	45.0	20.0	15.0	10.0

Прямые затраты по проекту

№	Наименование статей затрат	Полная стоимость	1 год	2 год	3 год
1.	Компьютерная связь	6.0 тыс. \$	2.0	2.0	2.0
2	ООЭП ЛЯП	600 нормо/час	200	200	200
3.	Материалы	40.0 тыс. \$	25.0	10.0	5.0
4.	Оборудование	175.0 тыс. \$	145.0	30.0	
5.	Оплата НИР, выполняемых по договорам	6.0 тыс. \$	2.0	2.0	2.0
6.	Командировочные расходы, в т.ч.	60.0 тыс. \$	20.0	20.0	20.0
	а) в страны нерублевой зоны		5.0	5.0	
	б) в города стран рублевой зоны		15.0	15.0	20.0
	Итого по прямым расходам:	287.0 тыс.\$	194.0	64.0	29.0

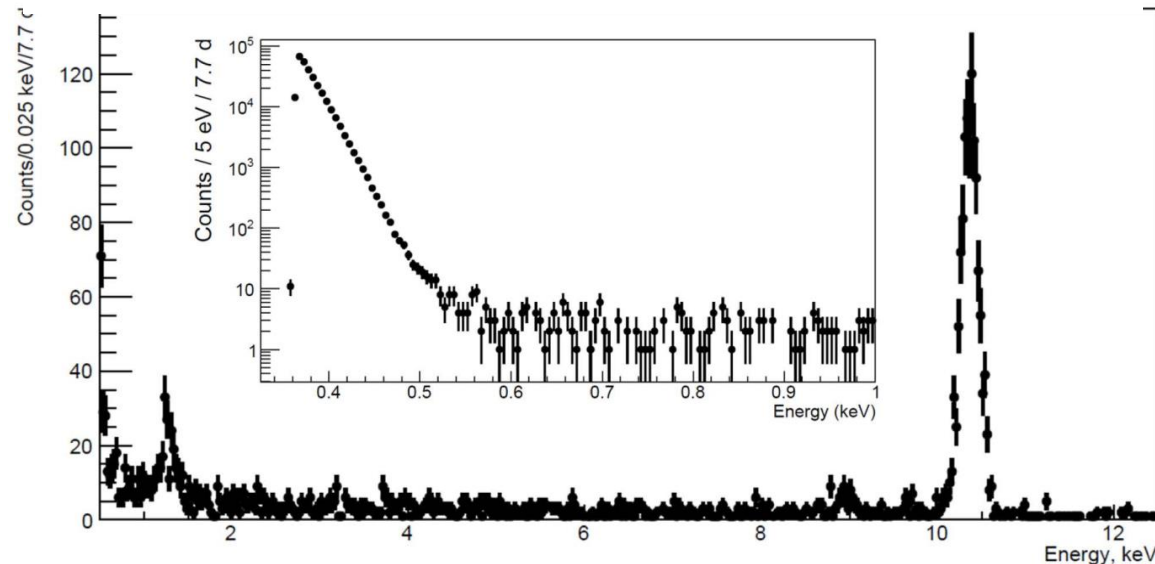
Замечания рецензентов 1

Указанное высокое разрешение (80 эВ) позволяет снизить порог регистрации до 200 эВ или даже ниже. Казалось бы, это звучит многообещающе. Однако на рис.4 показано, что начиная с энергии 500 эВ и ниже количество фоновых отсчётов возрастает на много порядков, что делает бессмысленным понижение порога до 200 эВ. Фон на рис.4 приведён для старого детектора ν GeN HPGe - однако для нового детектора в проекте вообще не приводится никаких оценок фоновой загрузки, так что приходится ориентироваться на старый результат. Более того, поскольку при понижении порога фон растёт экспоненциально, то даже при понижении фона в 10 раз совершенно нереально снизить порог регистрации до 200 эВ.

The number of accidentally triggered events above a discrimination level d is described by 1,2:

$$N(d) = N_0 \exp\left(\frac{-d^2}{2\sigma_N^2}\right), \quad \frac{dn}{dE}(E) = \frac{N_0}{\sigma_N^2} E \exp\left(\frac{-E^2}{2\sigma_N^2}\right)$$

σ_N is the electronics noise. N_0 is the trigger rate if the threshold level is set to zero. For a RC-CR shaper $N_0 = 1/(2\pi T_s)$, with T_s being the shaping time of the shaping filter³



Нынешний порог регистрации обусловлен в основном шумовыми событиями и напрямую связан с разрешением детектора. Нынешнее разрешение лучшего детектора ~ 170 эВ (FWHM). В контракте с CANBERRA прописано ожидаемое разрешение детекторов в 80 эВ (<100 эВ).

Замечания рецензентов 2

«we are going to swap existing vGEN cryostat by a newly produced detectors». «Заменять» криостат на детектор (помещаемый в этот же криостат) нелепо, так что видимо допущена ошибка в английском языке, которая, к сожалению, не позволяет понять смысл фразы. Будет ли сооружаться новый криостат - или детекторы помещаются в старый криостат эксперимента vGeN? В последнем случае непонятно, куда пойдут 35 тыс. долларов, запланированные по статье расходов «криостат».

В CANBERRA заказаны 4 детектора: 2 детектора с азотным криостатом, 2 с электронным. Все эти детекторы будут помещены в защиту вместо криостата vGEN. Производитель утверждает, что в шумовых характеристика нет различий между этими решениями. Мы хотим проверить область низких энергий и в случае отсутствия проблем, переделать криостат на электронное охлаждение – что гораздо более удобно и сократит необходимое присутствие на КАЭС.

Замечания рецензентов 3

Ещё одна статья расходов - материалы пассивной защиты. Непонятно, почему нельзя использовать упомянутую на стр.11 защиту эксперимента $vGeN$, продолжением которого будет (как сказано на той же стр.11) предлагаемый эксперимент. Если новому эксперименту требуется дополнительная защита, это следовало бы обосновать в тексте проекта.

Как уже было сказано в докладе нынешняя защита $vGEN$ используемая ранее для эксперимента GEMMA-I имеет загрязнение ^{137}Cs выше приемлемого уровня. Были проведены несколько операций по ее очистке, которые однако были недостаточно эффективными. Поэтому была приобретена новая сверхчистая медь, которая будет установлена вместо имеющейся. Ее чистота была проверена в подземной лаборатории LSM (в октябре 2017). Часть необходимых материалов у нас имеется, однако, при использовании 4 детекторов в установке потребуются дополнительная защита.

Замечания рецензентов 4

В тексте много раз заявляется, что ожидаемая чувствительность эксперимента будет $9 \cdot 10^{-12}$ "после нескольких лет работы". Числа в этой фразе плохо согласуются друг с другом в смысле точности оценок. Заявляя число "9", авторы как бы претендуют на то, что точность их оценки порядка 10% (иначе бы написали "порядка 10^{-11} "). Но при этом - "несколько лет работы", что может означать и 3 года, и 10 лет. То есть, разброс - в разы, а не на 10%. Было бы совершенно не лишним поместить в текст описание процедуры, с помощью которой была получена упомянутая оценка чувствительности.

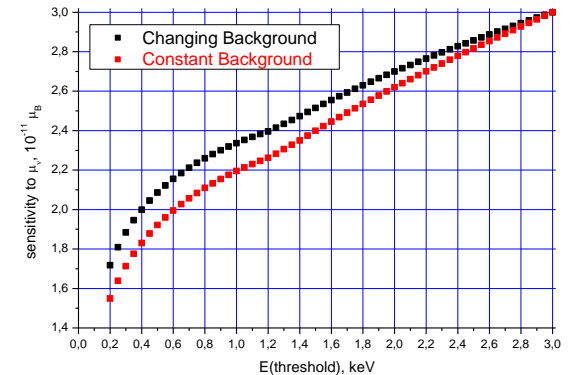
$$\mu_{\nu} \propto \frac{1}{\sqrt{N_{\nu}}} \left(\frac{B}{mt} \right)^{\frac{1}{4}}$$

N_{ν} : number of signal events expected

B : background level in the ROI

m : target (=detector) mass

t : measurement time



Данная оценка получена из сравнения с результатами полученными в GEMMA-I:

GEMMA-I: масса 1.5 кг, расстояние 14 м, уровень фона 2.5 соб/кэВ/кг/день, порог 2.8 кэВ.

GEMMA-III масса 5 кг, расстояние 10 м, уровень фона 1 соб/кэВ/кг/день, порог 200 эВ.

Без учета порога, коэффициент улучшения: 0.42. Т.е. с 2.9 мы опускаемся до 1.2. Теперь с порогом. Так как при низких энергиях доминирует когерентное рассеяние, то та область будет вносить большую статистическую ошибку в наши измерения по ММН, поэтому фактически порог по ММН будет в районе 700 эВ. При этих энергиях сечение когерентного свернутого с разрешением становится значительно ниже сечения по магнитному моменту поэтому за счет порога. Итого получаем $8.9 \cdot 10^{-12}$.

Замечания рецензентов 5

На стр.5 утверждается, что предел GEMMA-I $2.9 \cdot 10^{-11}$ лучший в мире, хотя на той же странице упоминается, что Борексино поставил предел $2.8 \cdot 10^{-11}$ (т.е. более строгий). Следует пояснить, что имеют в виду авторы, называя свой предел лучшим в мире.

Как написано в проекте экспериментом BOREXINO поставлен предел на эффективный момент нейтрино, являющимся суммой различных компонент матрицы магнитного момента

The limits on the flavor magnetic moment can be obtained from (12) because individual contributions are positive. With $\mu_\nu^{eff} < 2.8 \cdot 10^{-11} \mu_B$ and for $\sin^2 \theta_{13} = 0.0210 \pm 0.0011$ and $\sin^2 \theta_{23} = 0.51 \pm 0.04$ for normal hierarchy (or $\sin^2 \theta_{23} = 0.50 \pm 0.04$ for inverted hierarchy) [18] we obtain: $\mu_e < 3.9 \cdot 10^{-11} \mu_B$, $\mu_\mu < 5.8 \cdot 10^{-11} \mu_B$ and $\mu_\tau < 5.8 \cdot 10^{-11} \mu_B$, all at 90% C.L.

Замечания рецензентов 6

Наибольшие расходы запланированы на электронику, однако их необходимость в тексте никак не обоснована. На командировки в страны рублиевой зоны запланировано 15-20 тыс. долларов ежегодно. Это приблизительно 5 человеко-лет в год, если ориентироваться на суточные Российской Федерации.

Для достижения низкого порога наличие низкошумной электроники имеет принципиальное значение для успеха эксперимента. Для каждого детектора мы используем 3 усилителя с различными формировками (стоимость каждого ~ 6k\$). В дальнейшем мы планируем перейти на FADC, для осуществления лучшего анализа по форме импульса сигнала, что потребует приобретения новой электроники. Проект осуществляется на КАЭС, что подразумевает постоянные командировки для строительства и поддержания работы оборудования (72000 р в месяц на 2 человек, без учета дороги).

Замечания рецензентов 7

Поскольку в проекте не приведён план-график работ, сложно судить, насколько обоснованы такие командировочные расходы.

План график работ:

12.2017 – 01.2018:

- замена сгоревших транзисторов в предусилителях vGEN (все материалы есть в наличии)
- Перевозка криостата и новой медной защиты в экспериментальный зал под КАЭС
- Сборка защиты и наладка оборудования.
- Измерения уровня фона.
- Начало измерений направленных на поиск КРН.

02.2018-03.2018:

- Тестирование первого 1 кг детектора CANBERRA в LSM.
- Измерение радиоактивной частоты с защитой EDELWEISS-I

03.2018-04.2018: Тестирование детектора в ОИЯИ, перевозка детектора в КАЭС

Конец 2018 начало 2019 тестирование трех детекторов CANBERRA, перемещение их под реактор КАЭС.

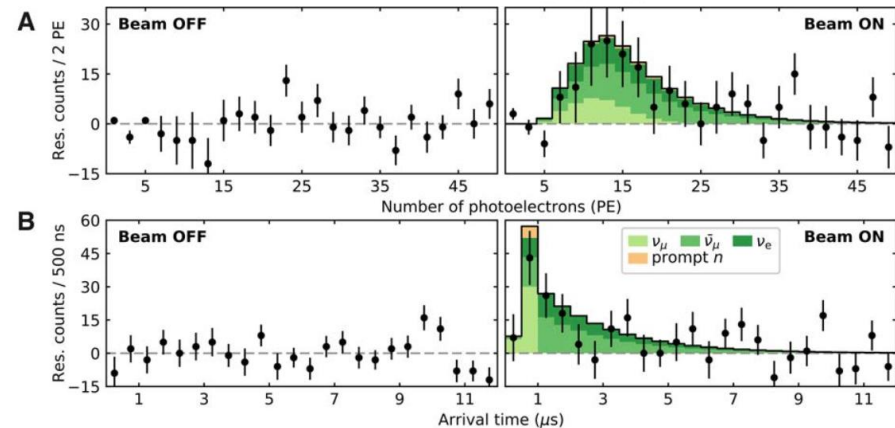
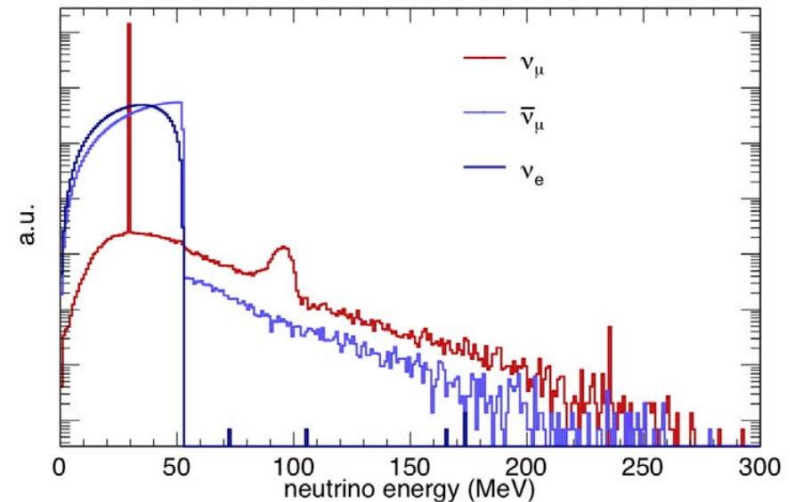
2019-2020 Измерения. Возможно замена криостата двух детекторов на электронное охлаждение или Мебиус (Ортек).

Back up

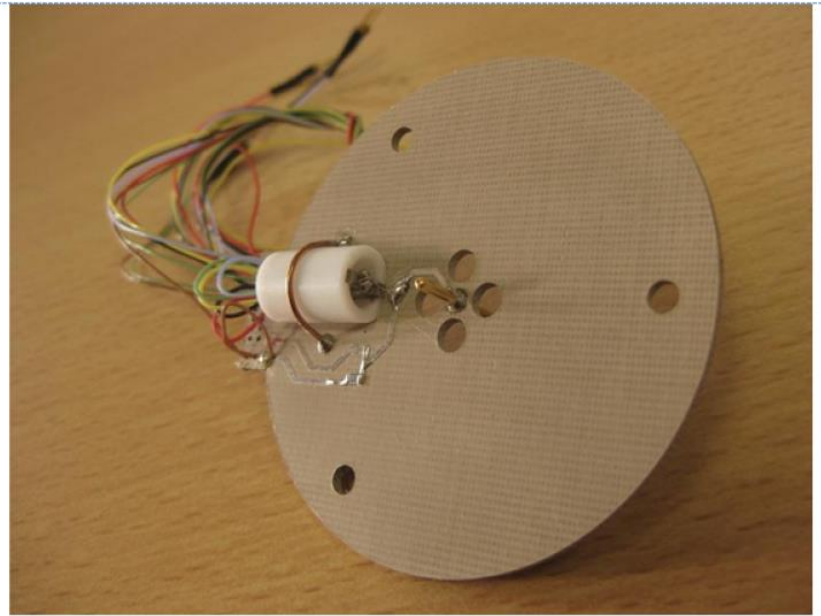
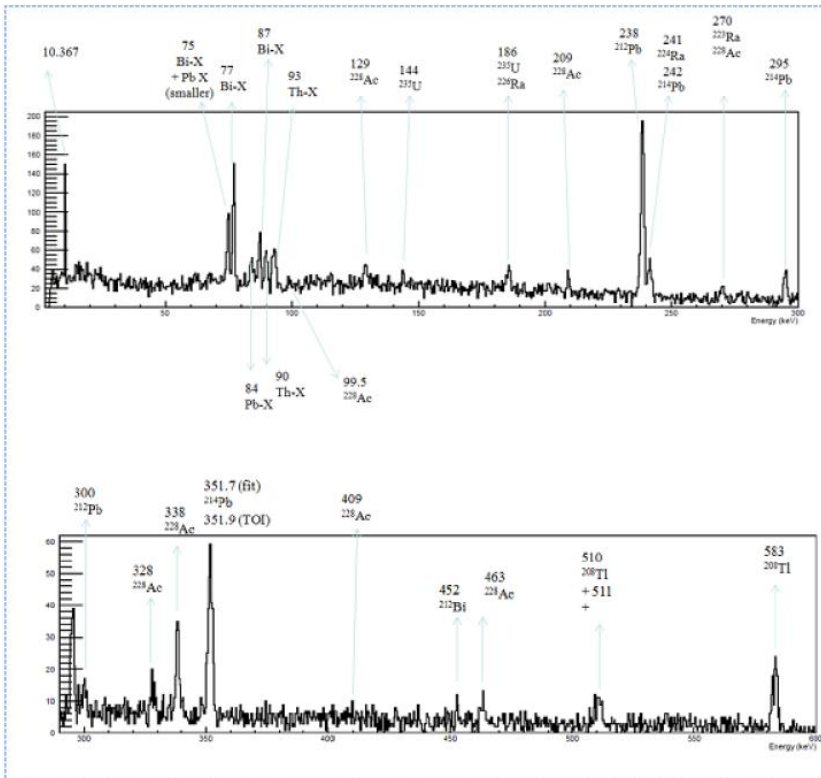
Когерентное рассеяние ν

Поиск когерентного рассеяния нейтрино осуществляется во многих экспериментах: Ricochet, MINER, CONNIE, CONUS, COHERENT, ν GEN... В августе этого года коллаборация COHERENT заявила об обнаружении когерентного рассеяния нейтрино, от ускорителя SNS на сцинтилляторах CsI. Результаты получены с достаточно высокоэнергетическими нейтрино с энергиями близкими к границе когерентности.

В проекте GEMMA-III мы планируем проверить результаты эксперимента COHERENT с помощью нейтрино от реактора ($E_\nu < 10$ MeV). При этом отношение сигнал/фон будет значительно выше. Также планируется поиск нестандартных взаимодействий нейтрино.

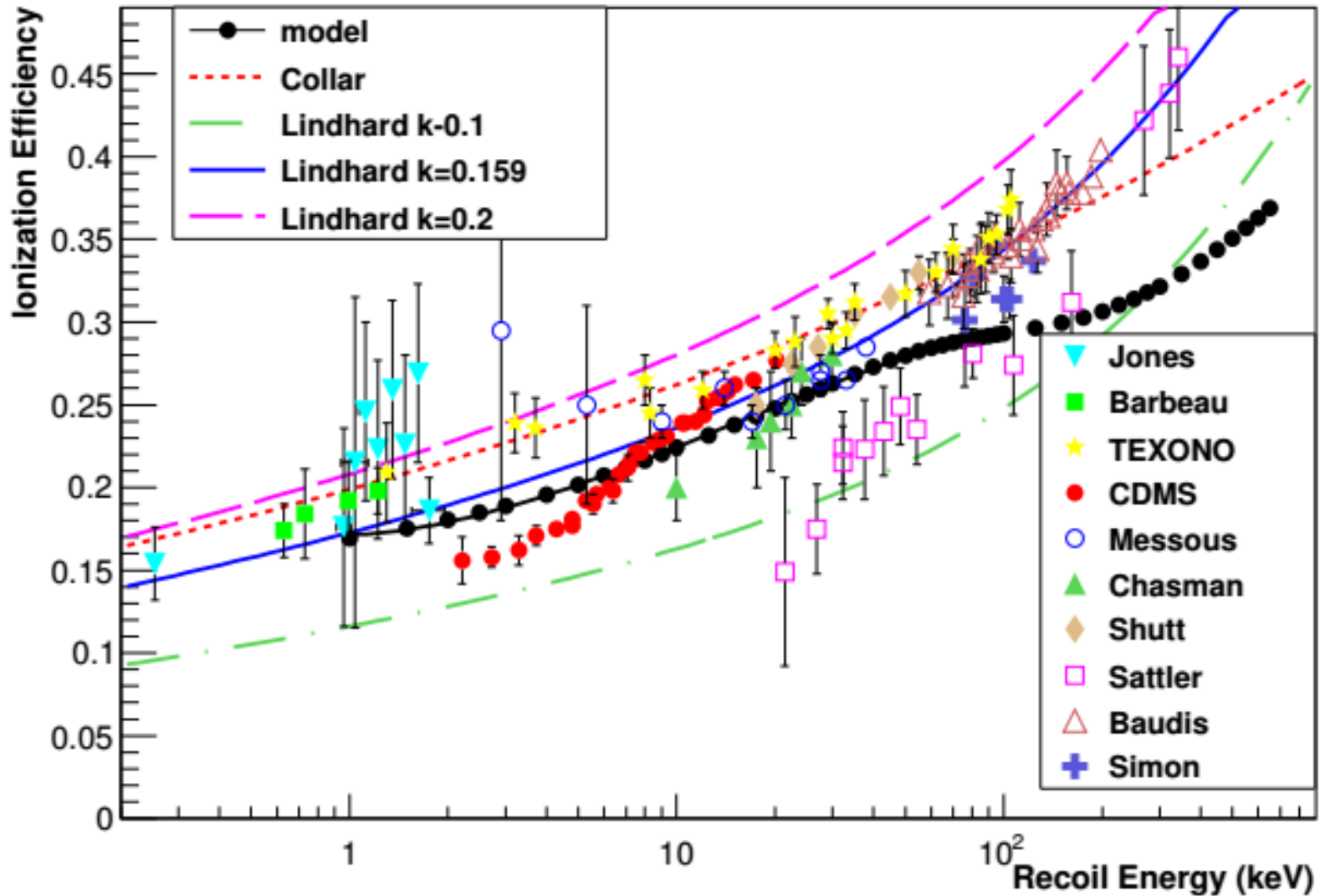


GEMMA-II



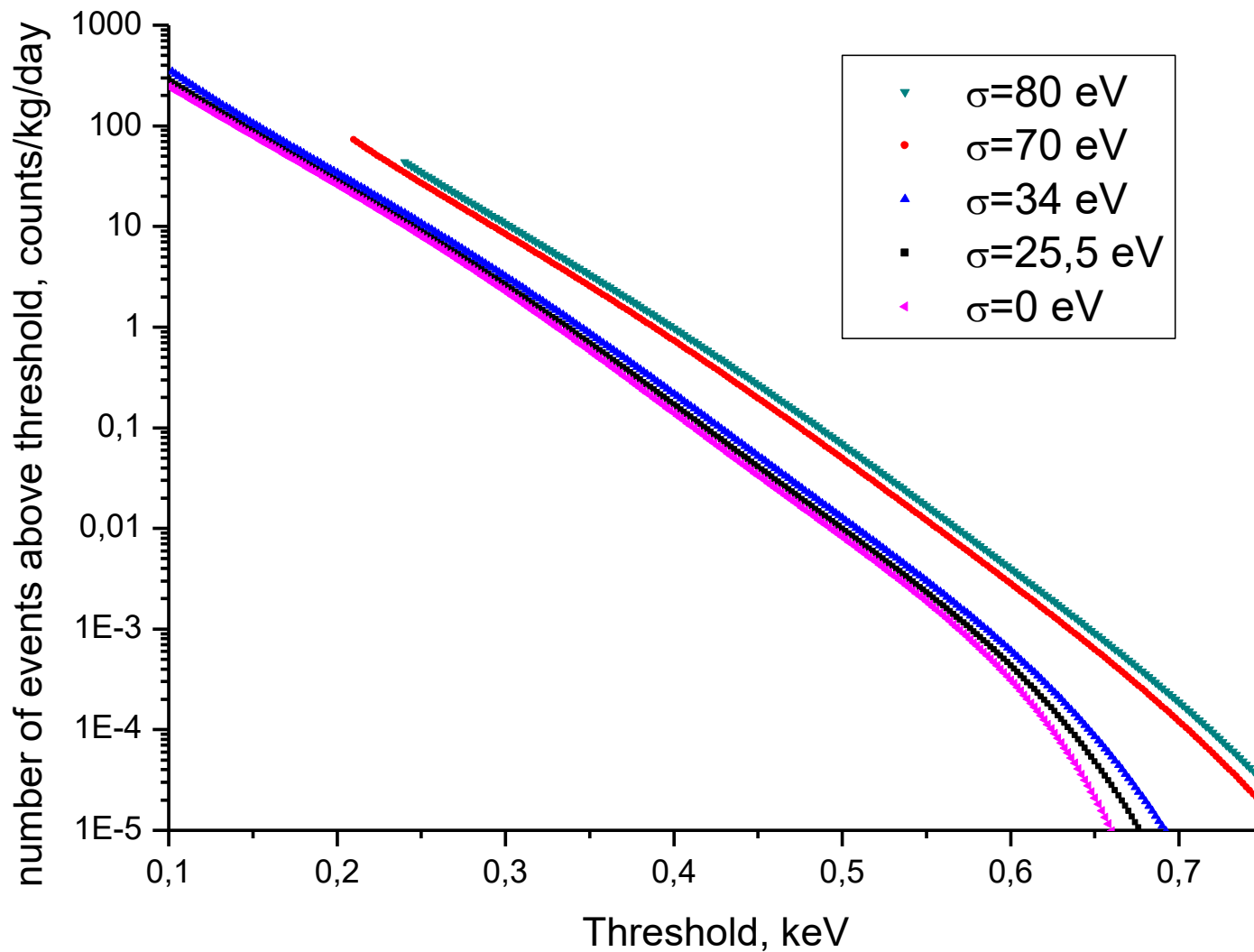
Main problem is background (level is ~100 times higher of desired value)

Quenching



D.Barker, D.M.Mei, *Astropart.Phys.* 38 (2012) 1-6

Expected number of events



Sensitivity

$$\mu_{\nu} \propto \frac{1}{\sqrt{N_{\nu}}} \left(\frac{B}{mt} \right)^{\frac{1}{4}}$$

N_{ν} : number of signal events expected

B : background level in the ROI

m : target (=detector) mass

t : measurement time

$$\begin{aligned} N_{\nu} &\sim \varphi_{\nu} (\sim \text{Power} / r^2) \\ &\sim (T_{max} - T_{min} / T_{max} * T_{min})^{1/2} \end{aligned}$$

$$\varphi_{\nu} \sim 2.7 \times 10^{13} \text{ } \nu / \text{cm}^2 / \text{s}$$

$$t \sim 4 \text{ years}$$

$$B \sim 2.5 \text{ keV}^{-1} \text{ kg}^{-1} \text{ day}^{-1}$$

$$m \sim 1.5 \text{ kg}$$

$$T_{th} \sim 2.8 \text{ keV}$$

Investigation of neutrino properties with
the low-background germanium spectrometer GEMMA-III

GEMMA-III

CODE OF THEME 03-2-1100-2010/2018

V.V.Belov, V.B.Brudanin, V.G.Egorov, M.V.Fomina, A.V.Lubashevskiy, D.V.Medvedev,
D.V.Ponomarev, M.V.Shirchenko, S.V.Rozov, I.E.Rozova, I.V.Zhitnikov, E.A.Yakushev,
D.R.Zinatulina

Laboratory of Nuclear Problems, JINR

NAMES OF PROJECT LEADERS: V.B.Brudanin

NAME OF PROJECT DEPUTY LEADERS: A.V.Lubashevskiy, E.A.Yakushev

DATE OF SUBMISSION OF PROPOSAL OF PROJECT TO SOD _____

DATE OF THE LABORATORY STC _____ DOCUMENT NUMBER _____

STARTING DATE OF PROJECT January 2019 (FOR EXTENSION OF
PROJECT — DATE OF ITS FIRST APPROVAL) 07.02.2014