

Проекты в рамках темы:
Неускорительная нейтринная физика и астрофизика
Non-Accelerator Neutrino Physics and Astrophysics

(тема 1100 продлена до 2024 года, включительно, и продления до следующего года не требует)

Евгений Якушев
НТС ЛЯП, 6 апреля 2023

Из рекомендаций 56-й сессии Программно-консультативного комитета по ядерной физике (26 января 2023 года):

... ПКК поддерживает предложение дирекции ЛЯП о **реорганизации структуры темы с подготовкой новых объединенных более масштабных проектов, отражающих реальное вовлечение персонала и ресурсов.** В дополнение к проекту

Байкал-ГВД, новыми предлагаемыми проектами в рамках темы будут:

- **Исследования реакторных нейтрино на короткой базе**
(эксперименты Ricochet, DANSS-2, ν GeN);
- **Ядерная спектromетрия для поиска и исследования редких явлений**
(все эксперименты и активности, связанные с двойным бета-распадом, поиск темной материи спектromетрическими методами и др.);
- **Радиохимия и спектроскопия для астрофизики и ядерной медицины.**

РЕЗОЛЮЦИЯ

133-я сессия Ученого совета ОИЯИ

Ученый совет поддерживает предложение ПКК и дирекции ЛЯП о реорганизации структуры темы. Ученый совет подчеркивает важность усилий Лаборатории по дальнейшему совершенствованию экспериментальной базы в ОИЯИ и на озере Байкал.

Неускорительная нейтринная физика и астрофизика

Ранее 7(8) проектов и 5 активностей

Новая структура темы:

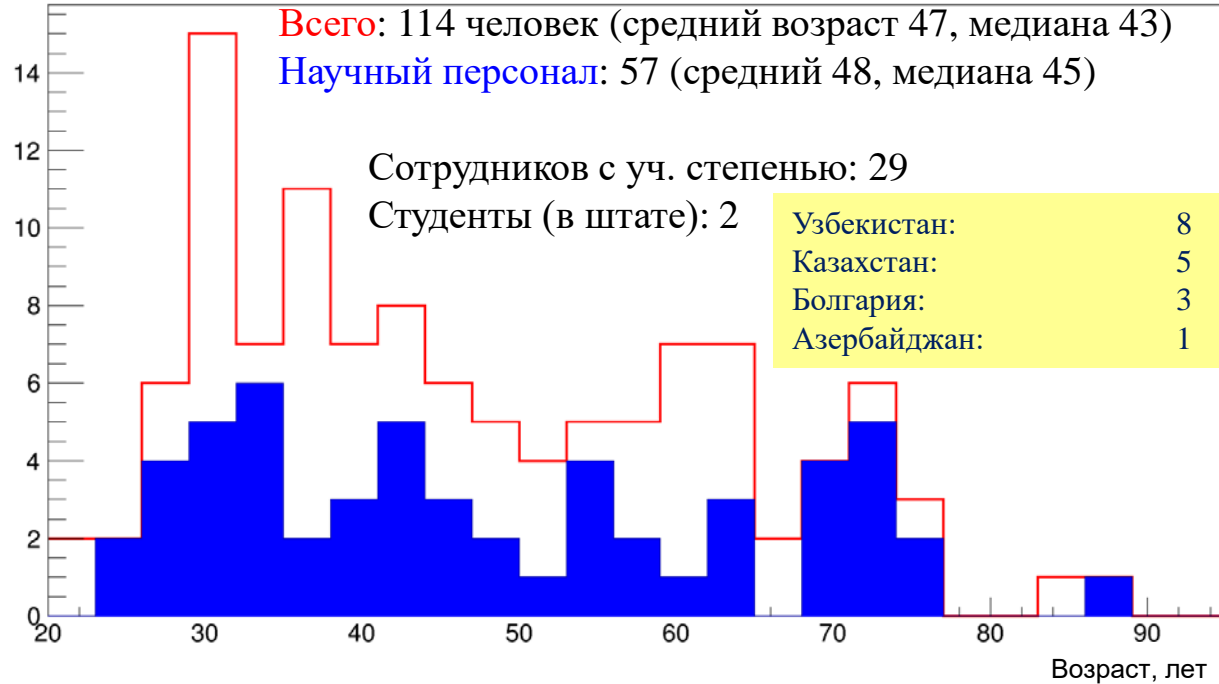
- **БАЙКАЛ-ГВД,**
руководитель И.А. Белолопников;
- **Исследования реакторных нейтрино на короткой базе**
Ricochet, DANSS-2, ν GeN
руководитель И.В. Житников
- **Ядерная спектрометрия для поиска и исследования редких явлений**
MONUMENT, EDELWEISS, SuperNEMO, LEGEND, TGV, и др.
руководитель Д.Р. Зинатулина
- **Радиохимия и спектроскопия для астрофизики и ядерной медицины**
радиохимия, спектрометрия, ВУК, новые детекторы
руководитель Д.В. Философов

В ОИЯИ проекты выполняются в Отделе ядерной спектроскопии и радиохимии ЛЯП

Отдел имеет:

- 50+ летний опыт прецизионной ядерной спектроскопии с использованием полупроводниковых, сцинтилляционных и других типов детекторов;
- 30-летний опыт исследования редких процессов в различных подземных лабораториях;
- 15-летний опыт проведения нейтринных экспериментов на энергетических реакторах;
- Более 30 лет участия в эксперименте Байкал.

На 1 февраля 2023



Партнеры: Азербайджан, Болгария, Германия, Казахстан, Малайзия, Нюльна, Россия, Словакия, США, Узбекистан, Финляндия, Швейцария, Чехия, Франция, Япония

Ресурсы/экспериментальная база:

- Изготовление/ремонт ППД детекторов;
- Группа органических сцинтилляционных детекторов;
- Сектор радиохимии (изготовление уникальных радиоактивных источников, очистка материалов, медицинская радиохимия);
- ППД детекторы (HPGe, Si, SiC, CZT): ядерная спектрометрия;
- Детекторы на неорганических сцинтилляторах NaI(Tl), NaI(L), ...;
- Нейтронные детекторы (He-3, ...);
- Масс сепаратор;
- Мини мастерские.

Отдел обладает знаниями, персоналом и возможностями для создания установок мирового класса, проведения измерений с ними и получения результатов на мировом уровне.

Линия по изготовлению оптических модулей для Байкал-ГВД до 12 ОМ в день



+ Линия по
тестированию
оптических модулей

Технологическая база для изготовления, работ с ППД

Напылительные установки



Помещение для химического травления

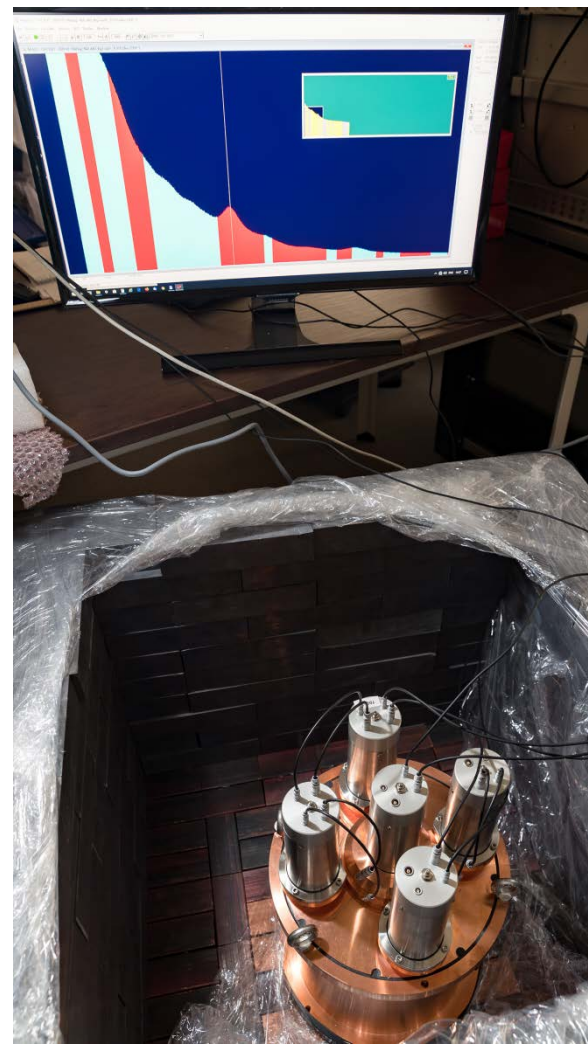


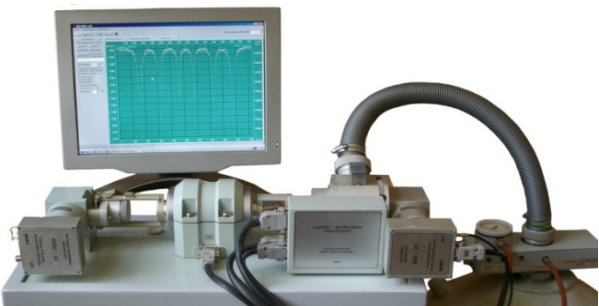
«Чистая» комната для сборки ППД



Измерение параметров ППД







Радиохимическая чистая комната: 2



Изготовление и тестирование низкорadioактивных материалов



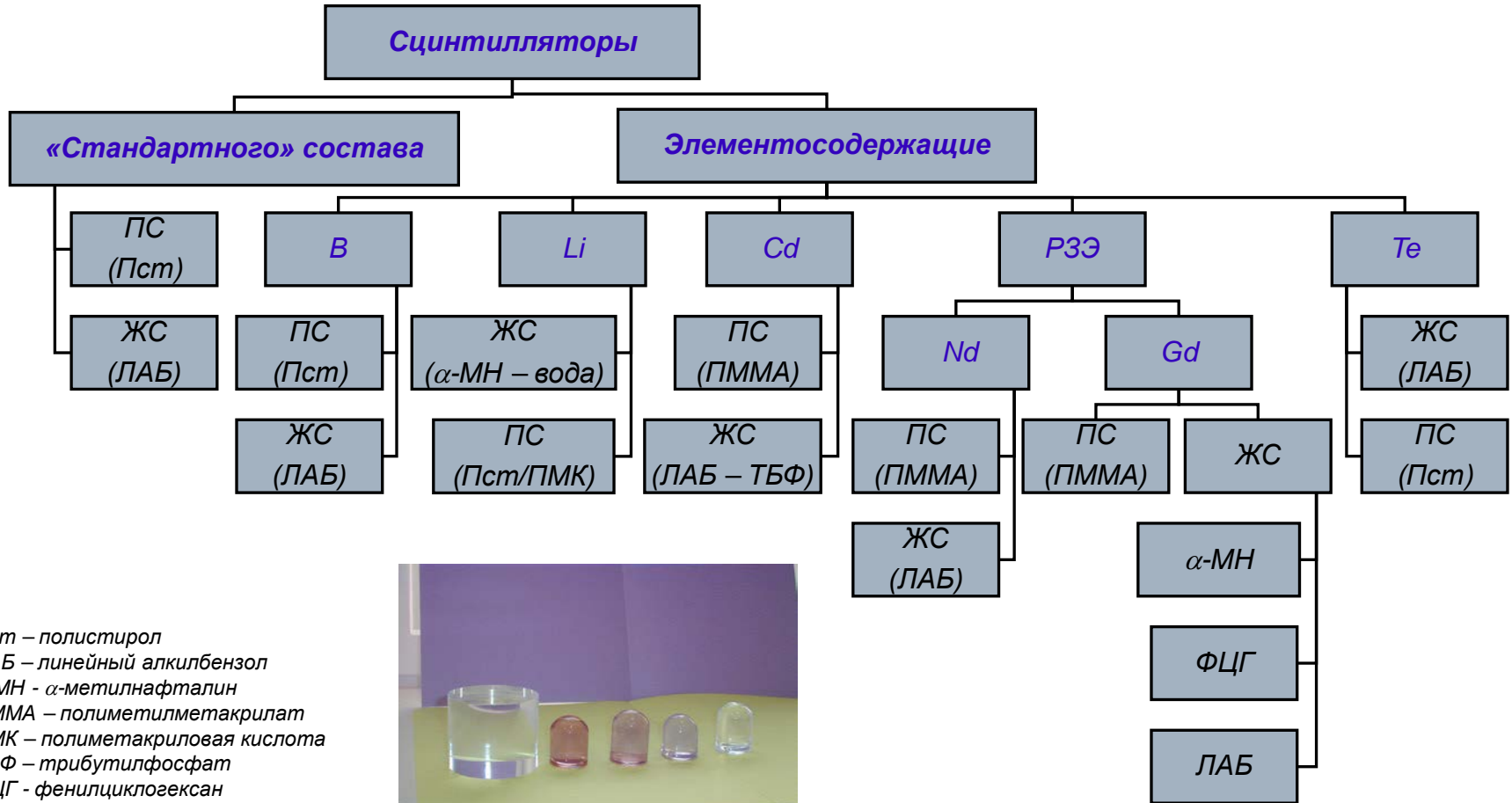
Припой (60% Sn и 40% archPb – (Talanta 192)



Низкорadioактивный флюс (JINST 15 (05), T05004)



Органические сцинтилляторы в ЛЯП



Направления исследований:

- Двойной бета распад и природа массы нейтрино;
- Определение ядерных матричных элементов 2β -распадов;
- Фундаментальные свойства нейтрино (магнитный момент, смешивание со стерильным состоянием, когерентное рассеяние на ядрах);
- Мониторинг ядерных реакторов при помощи нейтрино;
- Прямой и косвенный поиск частиц темной материи;
- Исследования галактических и экстрагалактических нейтрино;
- Спектрометрия ядер, удаленных от полосы бета-стабильности;
- Изучение атомных процессов, сопровождающих радиоактивный распад;
- Разработка и реализация методик разделения макроколичеств вещества от примесей, синтез материалов из ультрачистых прекурсоров;
- Исследования сверхтонких взаимодействий с помощью метода возмущенных угловых корреляций на ядрах-зондах в твердотельных и жидких образцах.

Эксперименты проводятся: ЛЯП, Подземные лаборатории, Калининская АЭС, Озеро Байкал, PSI

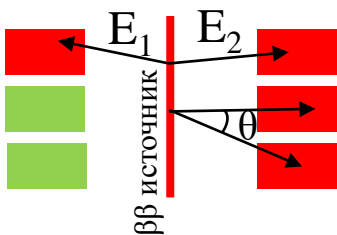
Основная задача: *Использование методов ядерной спектрометрии для изучения различных процессов, представляющих интерес на современном этапе развития науки, включая редкие процессы.*

Исследование 2β распада, поиск $0\nu 2\beta$

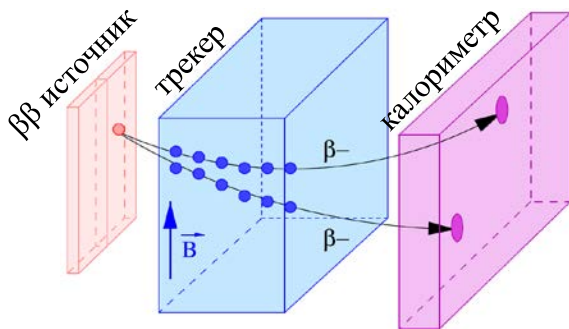
два основных подхода:

Треко-калориметрический подход

Самый простой вариант



Улучшенный эксперимент



- Полная информация о событии (энергия каждого электрона, идентификация частицы и места вылета, угловое распределение);
- **Чувствителен к нестандартным модам $0\nu 2\beta$ распадов;**
- Возможность измерения разных (практически любых) изотопов в одном детекторе;
- **Уникальная информация по $2\nu 2\beta$ распадам.**

Калориметрический подход

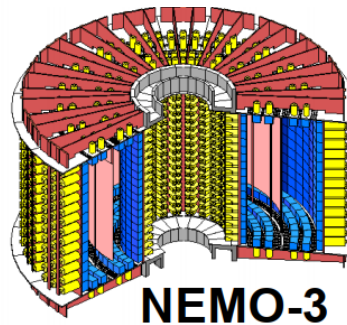


- Детектор = источник;
- Эффективность близка к 100%;
- Компактность = возможность высокоэффективного применения дополнительных активных и пассивных методов борьбы с фонами, минимизация количества используемых материалов вблизи детекторов (уменьшение фона);
- Несколько детекторов (или выделение чувствительного объема) = систематика, однородность;
- Отбор событий (форма импульса, два канала измерения, отсутствие множественности (если несколько детекторов...));
- **Достижение большей массы и низкого фона (лучшего результата на $0\nu 2\beta$ распад) с меньшими затратами.**

Изотоп	$E_{0\nu 2\beta}$	% в природе
^{48}Ca	4273.7	0.187
^{76}Ge	2039.1	7.8
^{82}Se	2995.5	9.2
^{100}Mo	3035.0	9.6
^{130}Te	2530.3	34.5
^{136}Xe	2461.9	8.9
^{150}Nd	3367.3	5.6

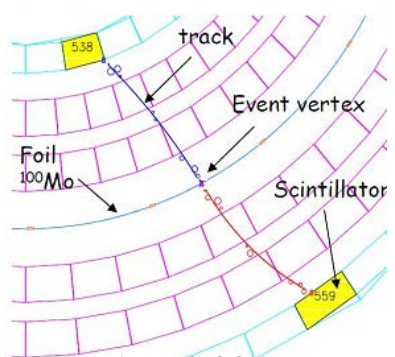


От NEMO3 к SuperNEMO



$t_{1/2}(10^{21} \text{ yr})$	ISOTOPE	TRANSITION METHOD	DOCUMENT ID
••• We do not use the following data for averages, fits, limits, etc. •••			
> 0.87	^{134}Xe	EXO-200	1 ALBERT 17C
$0.82 \pm 0.02 \pm 0.06$	^{130}Te	CUORE-0	2 ALDUINO 17
$0.00690 \pm 0.00015 \pm 0.00037$	^{100}Mo	CUPID	3 ARMENGAUD 17
$0.0274 \pm 0.0004 \pm 0.0018$	^{116}Cd	NEMO-3	4 ARNOLD 17
$0.064 \pm 0.007 \pm 0.012$	^{48}Ca	NEMO-3	5 ARNOLD 16
$0.00934 \pm 0.00022 \pm 0.00062$	^{150}Nd	NEMO-3	6 ARNOLD 16A
1.926 ± 0.094	^{76}Ge	GERDA	7 AGOSTINI 15A
0.00693 ± 0.00004	^{100}Mo	NEMO-3	8 ARNOLD 15A
$2.165 \pm 0.016 \pm 0.059$	^{136}Xe	EXO-200	9 ALBERT 14
$9.2 \pm 5.5 \pm 2.6$	^{78}Kr	BAKSAN	10 GAVRILYAK 13
$2.38 \pm 0.02 \pm 0.14$	^{136}Xe	KamLAND-Zen	11 GANDO 12A
$0.7 \pm 0.09 \pm 0.11$	^{130}Te	NEMO-3	12 ARNOLD 11
$0.0235 \pm 0.0014 \pm 0.0016$	^{96}Zr	NEMO-3	13 ARGYRADES 10
$0.69 \pm 0.10 \pm 0.08$	^{100}Mo	$0^+ \rightarrow 0^+_1$ Ge coinc.	14 BELLI 10
$0.57 \pm 0.13 \pm 0.09$	^{100}Mo	$0^+ \rightarrow 0^+_1$ NEMO-3	15 ARNOLD 07
$0.096 \pm 0.003 \pm 0.010$	^{82}Se	NEMO-3	16 ARNOLD 05A
$0.029 \pm 0.004 \pm 0.003$	^{116}Cd	$^{116}\text{CdWO}_4$ scint ¹⁷	DANEVICH 03

	NEMO3	SuperNEMO
Изотоп	Mo-100	Se-82 (Nd-150)
Эффективность	18%	30%
Энергетическое разрешение для электронов 3 МэВ	8% (FWHM)	4% (FWHM)
Основные фоны		Уменьшить в 10 и более раз



Событие $\beta\beta$, зарегистрированное NEMO-3



Demonstrator Module (2.5 year run)

17.5 kg \times yr initial exposure :

$$T_{1/2}^{0\nu} > 5.9 \times 10^{24} \text{ yr}$$

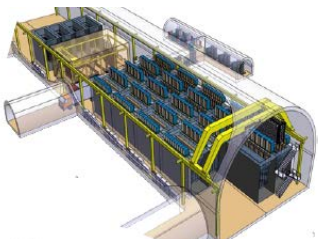
$$\langle m_\nu \rangle < 0.20 - 0.55 \text{ eV}$$

Full SuperNEMO

500 kg \times yr :

$$T_{1/2}^{0\nu} > 10^{26} \text{ yr}$$

$$\langle m_\nu \rangle < 40 - 110 \text{ meV}$$



Демонстратор в LSM

$0\nu\beta\beta$ поиск с $HP^{76}\text{Ge}$ полупроводниковыми детекторами в жидком аргоне GERDA – LEGEND



LEGEND

GERDA фаза II

Фон

$\sim 10^{-3}$ cts/(keV kg yr)

$5.2_{-1.3}^{+1.6} \times 10^{-4}$ cts/(keV kg yr)

Статистика

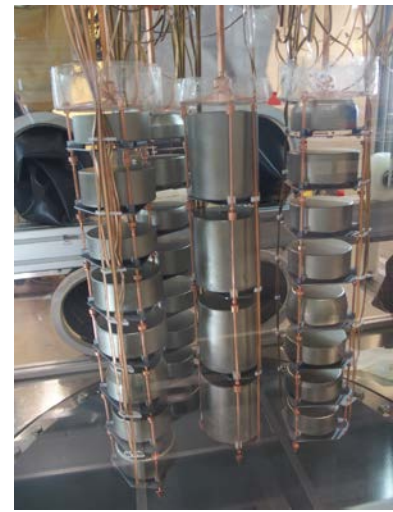
≥ 100 kg yr

103.7 kg yr

Чувствительность

$T_{1/2}^{0\nu} \geq 10^{26}$ yr

$T_{1/2}^{0\nu} > 1.8 \times 10^{26}$ yr

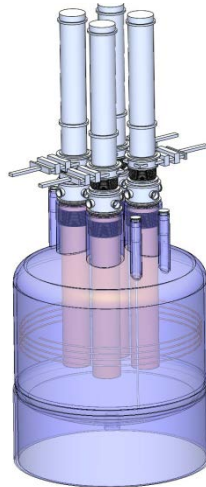
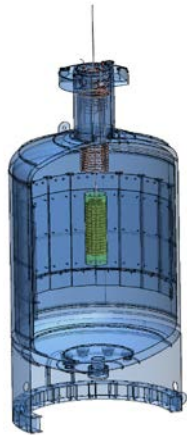


LEGEND-200

- ✓ Первая фаза на пути к тонне ^{76}Ge
- ✓ Улучшения:

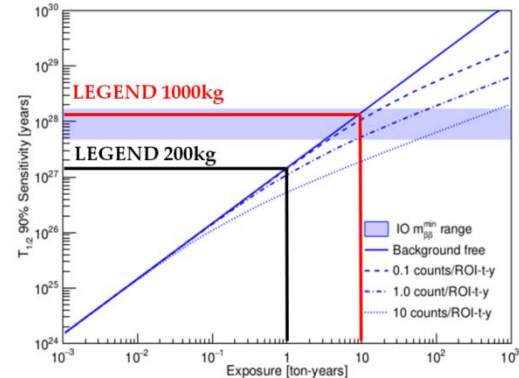
- больше масса каждого из детекторов (в среднем)
- улучшенное LAr вето
- меньше масса материалов, новые кабели (более чистые)
- новая электроника с низкими шумами

- ✓ Оценки по улучшению фона: $\sim \times 5$ к GERDA
- ✓ 200 кг ^{76}Ge
- ✓ Цель: $T_{1/2} \geq 10^{27}$ лет

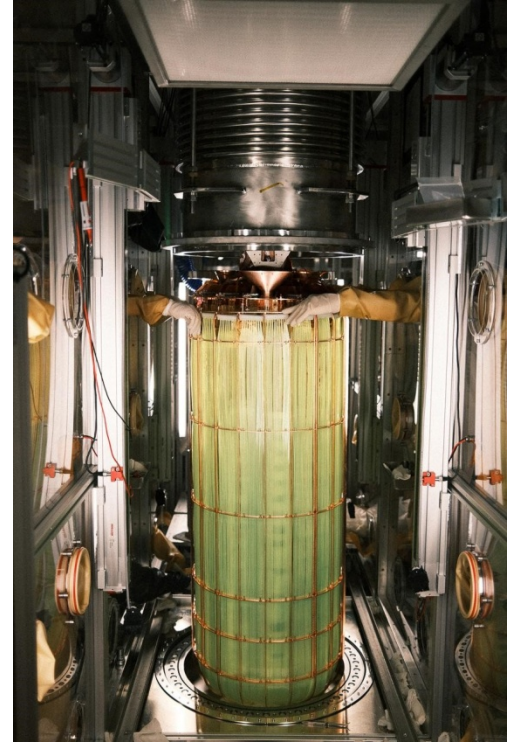
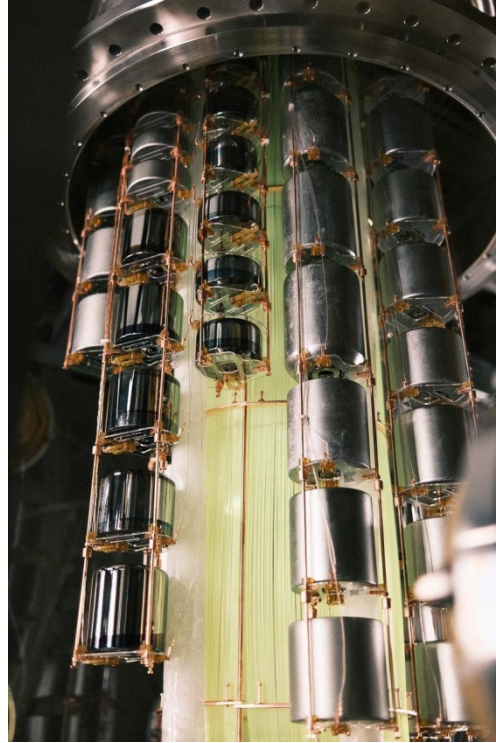
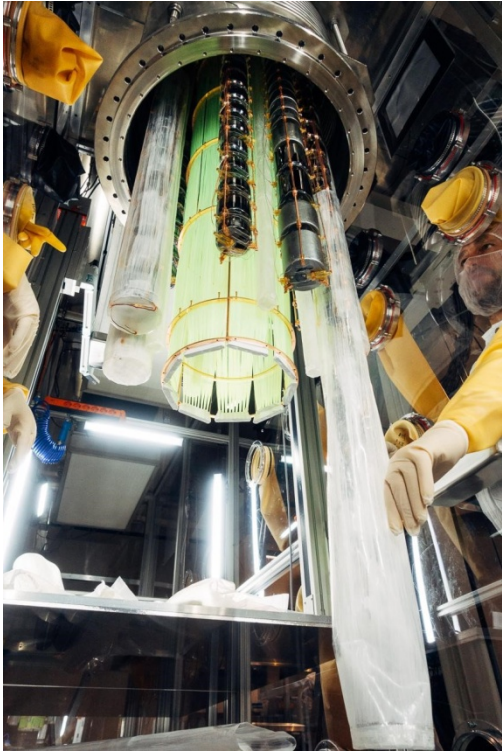


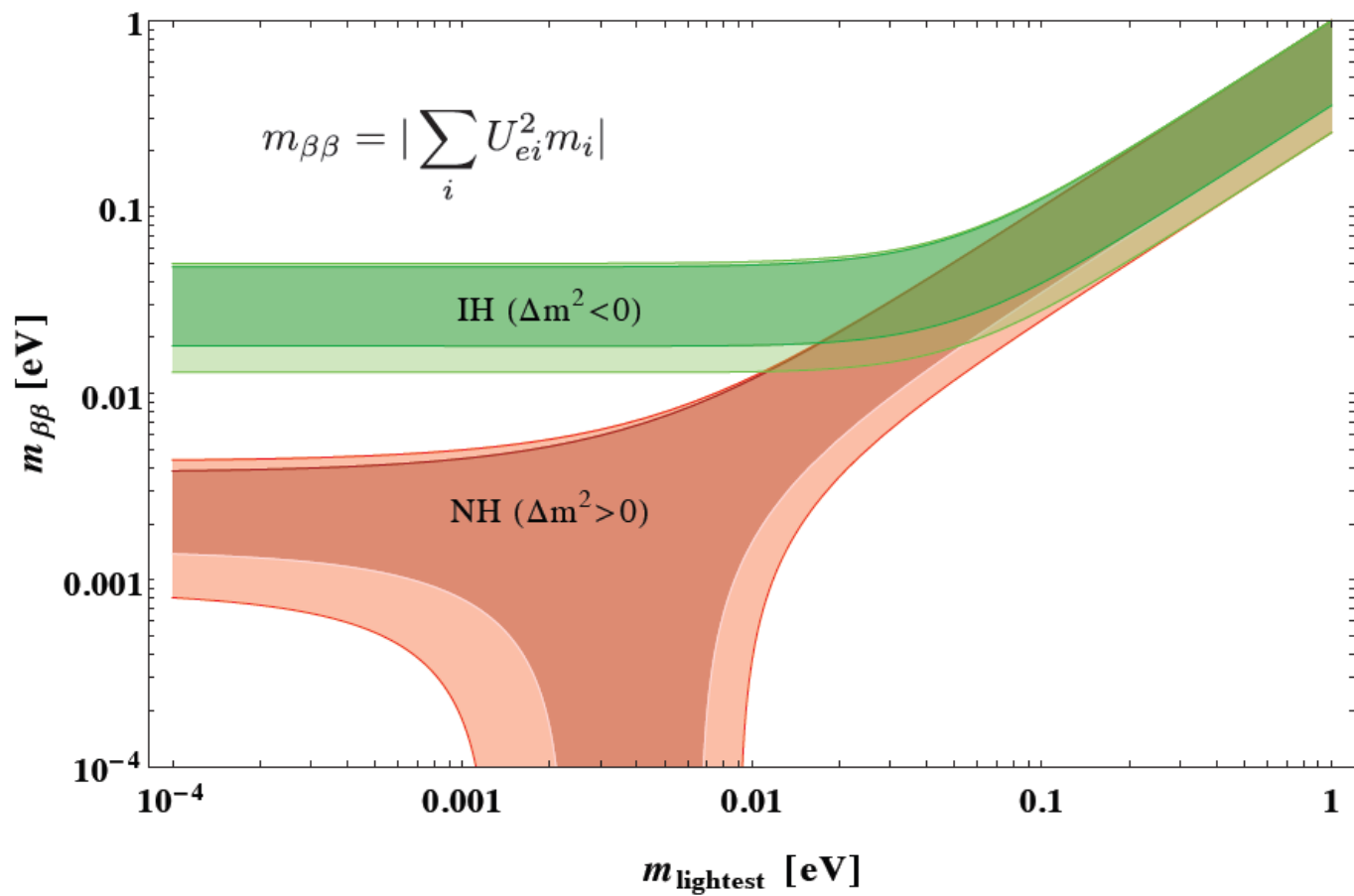
LEGEND-1000

- ✓ Новая инфраструктура и дизайн (использовать опыт Majorana)
- ✓ Улучшения на основе LEGEND-200
- ✓ 1000 кг ^{76}Ge
- ✓ Цель: $T_{1/2} \geq 10^{28}$ лет



В 2022 году сотрудники ЛЯП активно участвовали в установке детекторов в LNGS:
сейчас 101 детектор с массой Ge-76 более 140 кг.

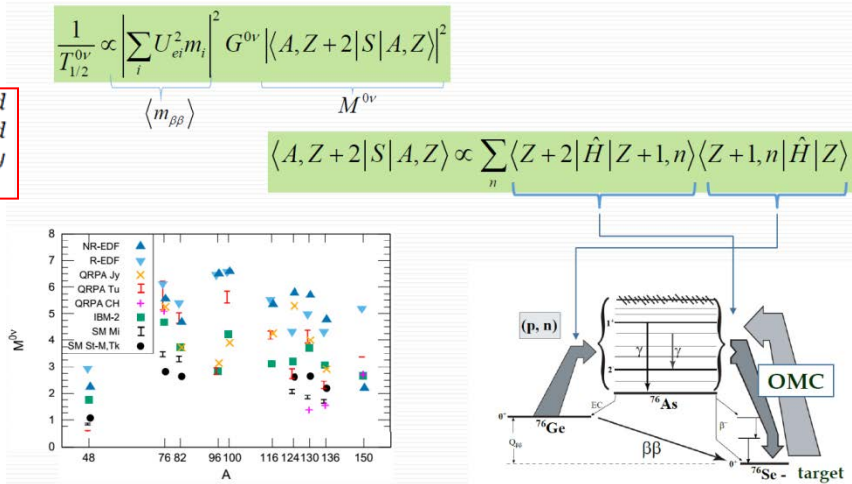




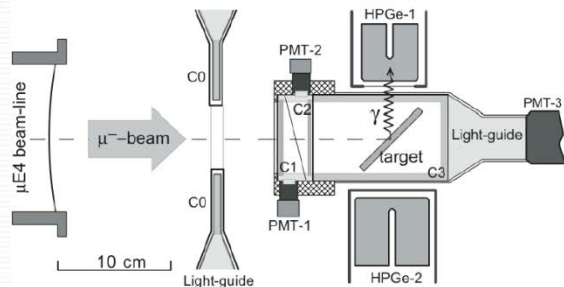
От периода полураспада к массе нейтрино: ключевая информация в ядерных матричных элементах

APPEC-2019, Recommendation 6: *The computation of nuclear matrix elements is challenging and currently is affected by an uncertainty which is typically quantified in a factor of 2-3... An enhanced effort is required and a stronger interactions between the particle physics and nuclear community would be highly beneficial. Dedicated experiments may be required.*

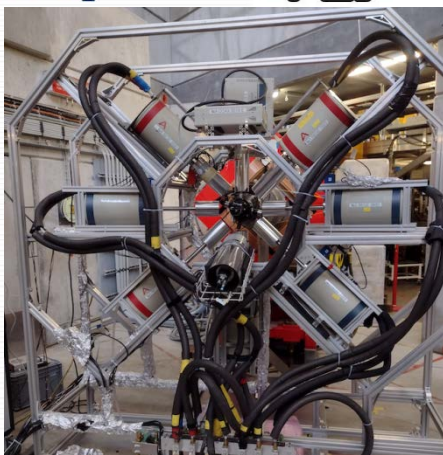
Мы исследуем эту проблему в рамках проекта MONUMENT (Измерение обычного мюонного захвата (ОМЗ) для проверки ядерных матричных элементов 2β -распадов)



Measurement set-up



$$\mu_{\text{stop}} = \overline{C0} \wedge C1 \wedge C2 \wedge \overline{C3}$$

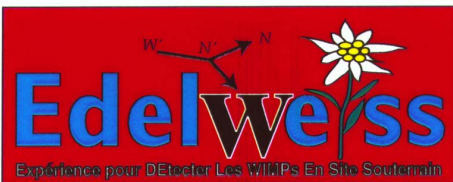


Обширная программа исследований
Поддержка немецких и швейцарских коллег

Purpose	OMC targets (enrichment)	Year/Status
experimental input for DBD NME calculations	${}^{76}\text{Se}$ (99.97%)	2021 / analysis and publication
experimental input for DBD NME calculations	${}^{136}\text{Ba}$ (95.27%)	2021 / analysis and publication
experimental input for astrophysics investigations with SN	${}^{100}\text{Mo}$ (97.3%)	2022 / started data analysis
Nuclear spectroscopy, total cap. rates, yields	natMo	2022 / started data analysis
experimental input for DBD NME calculations	${}^{96}\text{Mo}$ (exp. 95.3%)	2023 / in production
testing nuclear shell model (SM) calculations	${}^{56}\text{Fe}$ (exp. 99.9%)	2023 / in preparation

EDELWEISS/RICOCHET

Объединенный проект прямого поиска темной материи и прецизионного исследования CEvNS с новыми криогенными детекторами



EDELWEISS: Прямой поиск частиц темной материи, HPGe детекторы при температуре ~ 20 мК, низкофоновые условия в глубокой подземной лаборатории (LSM).

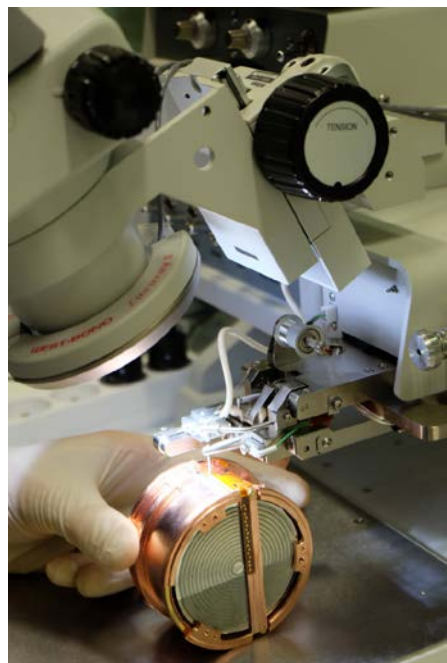
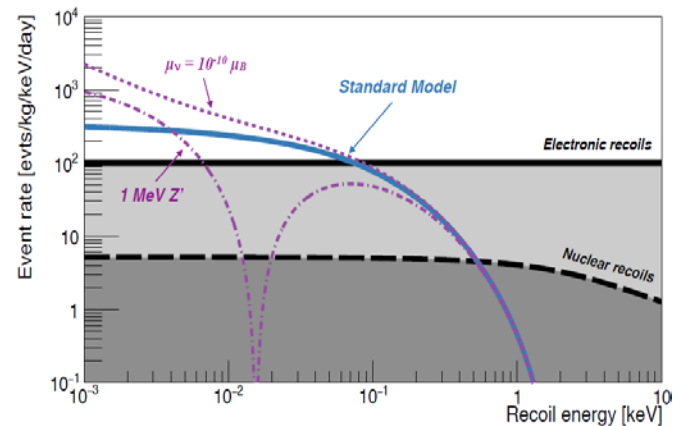
В последние 25 лет EDELWEISS является лидирующим экспериментом по прямому детектированию темной материи с HPGe детекторами-болометрами.

Новые детекторы-болометры, разработанные EDELWEISS, обладают уникальными свойствами по регистрации низкоэнергетических ядер отдачи.

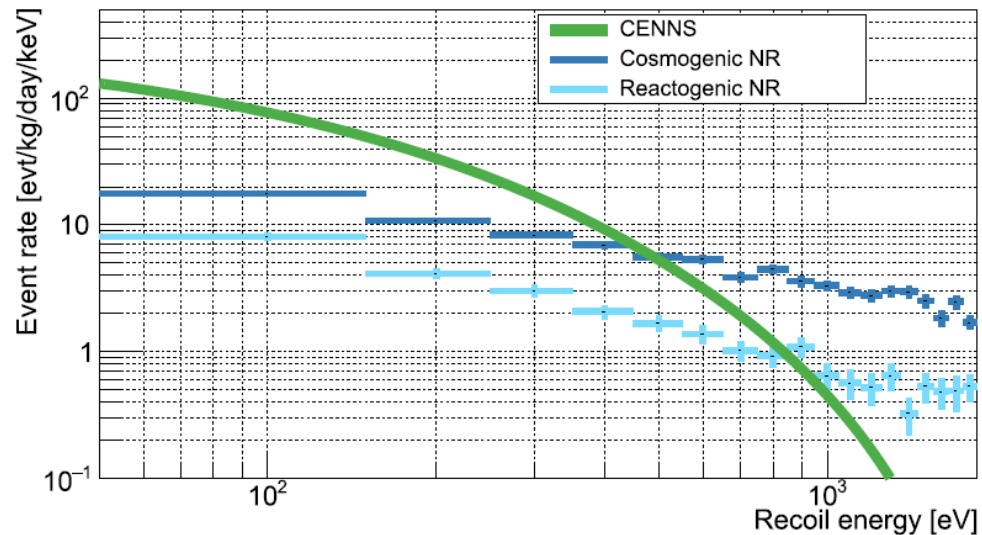
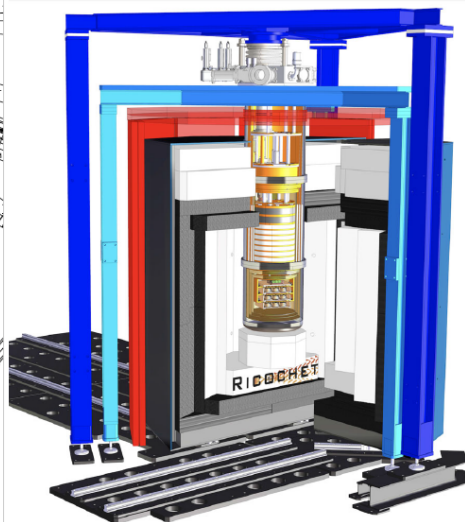
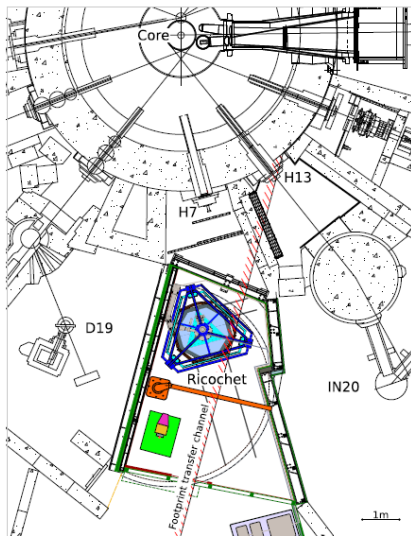
Использование детекторов, разработанных EDELWEISS, расширено на исследования CEvNS в области полной когерентности (реакторные антинейтрино). Эксперимент: Ricochet.



Благодаря новейшим разработкам эксперимент остается конкурентоспособным в областях, недоступных большим Ar/Xe экспериментам.

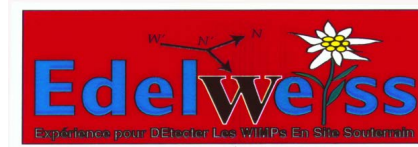


RICOCHET: Ge и Zn детекторы в 8,8 м от исследовательского реактора (58МВт) в ILL

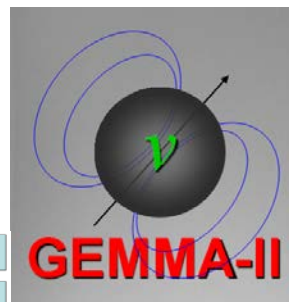
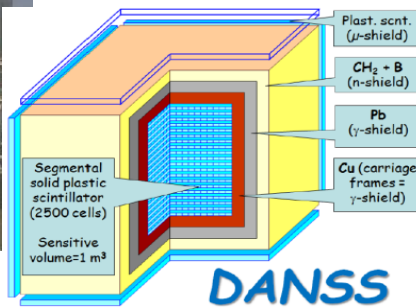


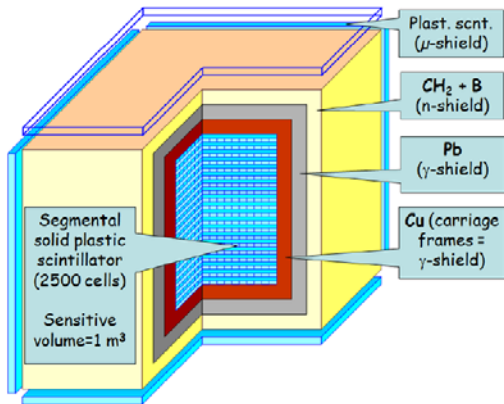
	Cosmogenic	Reactogenic	Total (MC)	CENNS (Ge/Zn)
Nuclear recoils [50eV, 1 keV] (evts/day/kg)				
No shielding (I)	1554 ± 12	53853 ± 544	55407 ± 545	–
Passive shielding (II)	42 ± 3	2.4 ± 0.3	44 ± 3	–
Passive + μ -veto (III)	7 ± 2		9 ± 2	12.8 / 11.2

Начало набора данных в 2024 году, ожидается достичь 4,6 – 13,6 σ CEvNS после одного реакторного цикла

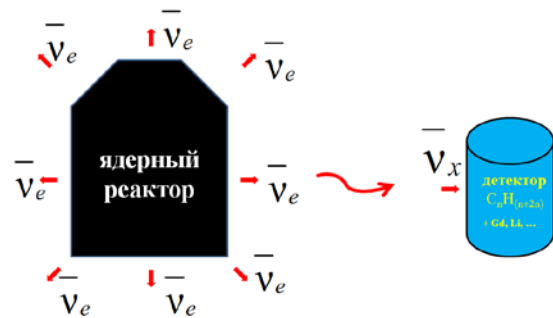
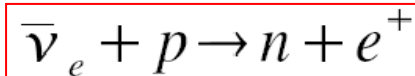


Наше участие в международных экспериментах с рекордными чувствительностями к ультра редким процессам дало и обеспечивает надежную базу для домашних нейтринных экспериментов



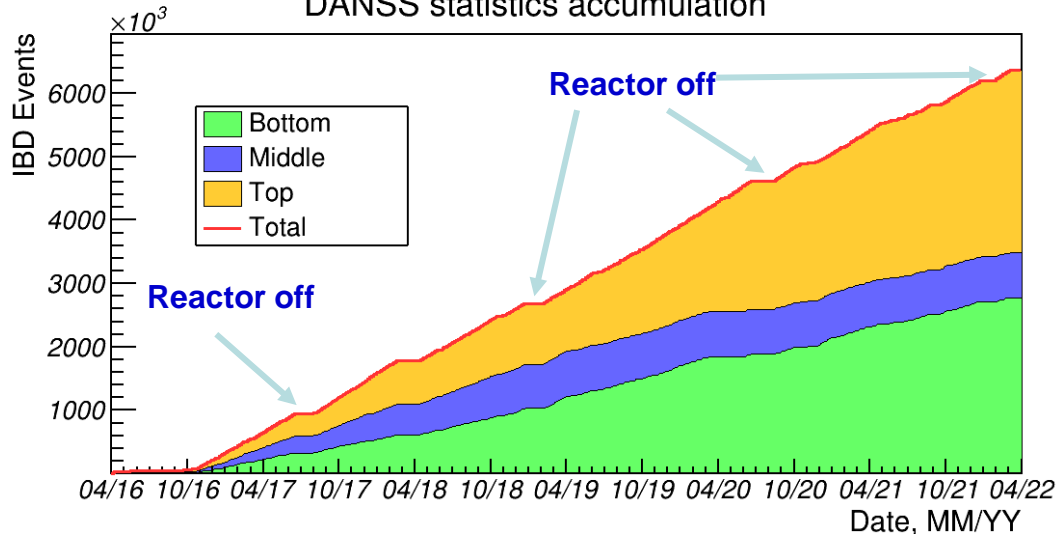


Компактный (1 м³) сильно-сегментированный (2500 пластин из пластического сцинтиллятора) нейтринный спектрометр DANSS нацелен на поиск осцилляций в стерильное нейтрино, а также мониторинга мощности реактора и состава ядерного топлива.

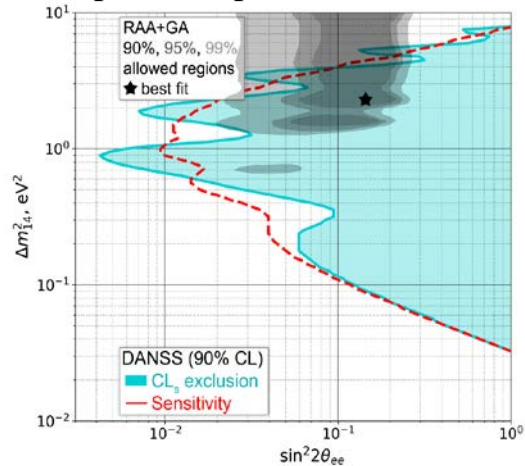


- DANSS расположен под 4-м блоком КАЭС (ВВЭР-1000, $6 \times 10^{20} \bar{\nu}_e$ в секунду);
- Защита от космических лучей ~ 50 м.в.э.;
- Подвижная платформа позволяет изменять расстояние до реактора от 10,9 до 12,9 м метров;
- ~ 5000 нейтринных соб./сутки;
- Получены лучшие в мире результаты по поиску осцилляций в стерильное нейтрино в реакторных экспериментах;
- **Не было обнаружено значимого сигнала осцилляций в стерильное нейтрино**

DANSS statistics accumulation



The most probable point of RAA is excluded at $>5\sigma$ CL



DANSS-2, основная цель: энергетическое разрешение $13\%/\sqrt{E}$ (сейчас $34\%/\sqrt{E}$).

Новая геометрия:

Strips: 2x5x120 см,

4SiPM с каждой стороны

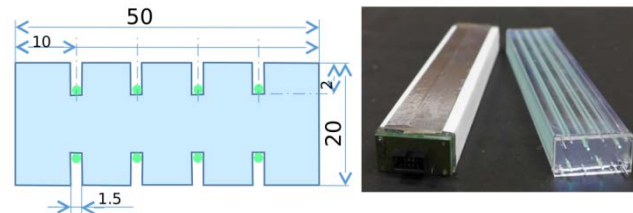
Структура: 60 слоев x 24

стр.: 1,7 м³

Gd в фольгах.

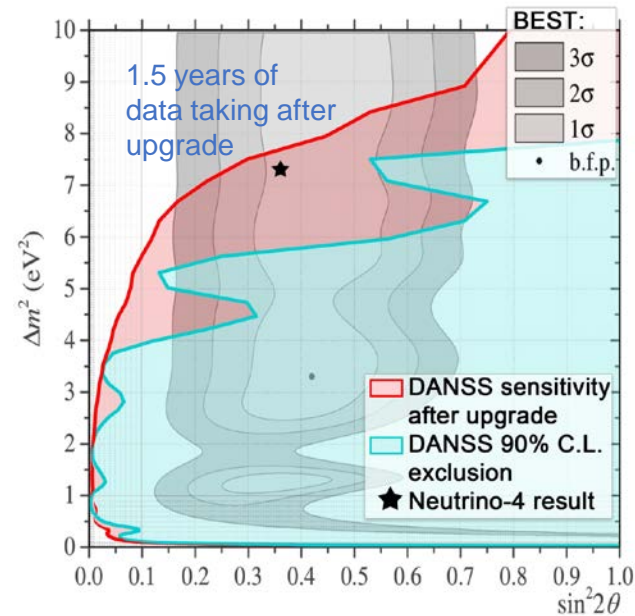


New scintillator strips



WLS fiber positions were optimized for better uniformity of response

New fast (4ns decay time) YS2 fiber will be used

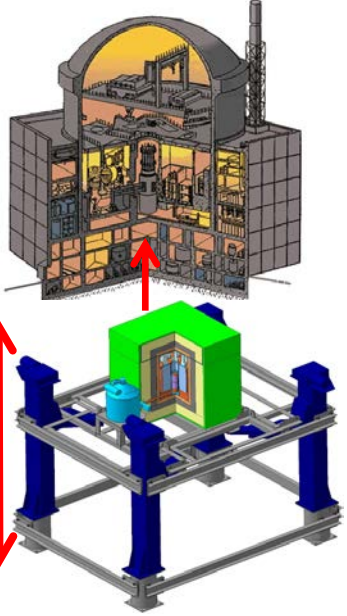
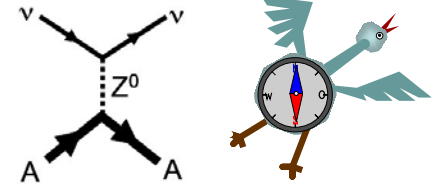




эксперимент на КАЭС

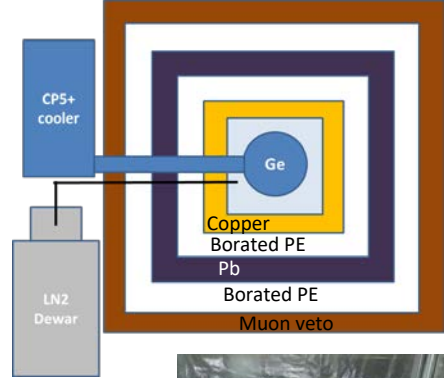


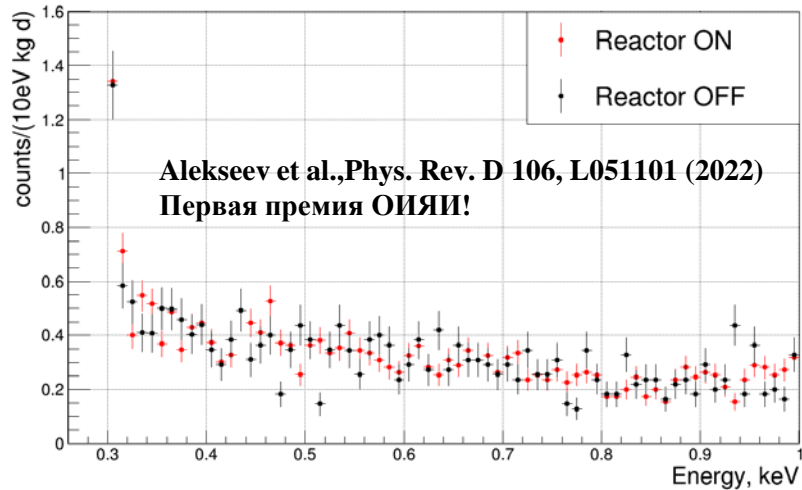
Проекты vGEN/GEMMA нацелены на исследование фундаментальных свойств нейтрино. В частности, производится поиск когерентного упругого рассеяния нейтрино на ядре германия и магнитного момента нейтрино. В эксперименте используются новейшие HPGe детекторы с ультра низким энергетическим порогом.



От GEMMA-I к vGEN:

- ✓ Порог: 2 keV → **200 eV**
- ✓ Нейтринный поток: $2,6 \cdot 10^{13}$ $\nu/(\text{сек} \cdot \text{см}^2)$ → **$5 \cdot 10^{13}$ $\nu/(\text{сек} \cdot \text{см}^2)$**
(новое место, подъемник!)
- ✓ Масса: 1,5 кг → 5,5 кг
- ✓ $\mu_\nu < 2,9 \cdot 10^{-11} \mu_B$ (лучшее ограничение в мире из прямых измерений) → $\mu_\nu < (5-9) \cdot 10^{-12} \mu_B$ (через несколько лет)





- ✓ Никакой существенной разницы между спектрами с включенным и выключенным реактором не наблюдалось в первых данных, полученных в 2021 году.
- ✓ К 2023 году набрано: ON **928 kgd**, OFF: **175 kgd**.
- ✓ Подъемник введен в эксплуатацию, новые данные на 11,1 м (было 12,2 м).
- ✓ Новые результаты скоро.

Планы:

2023-2024 проведение измерений в текущей конфигурации;

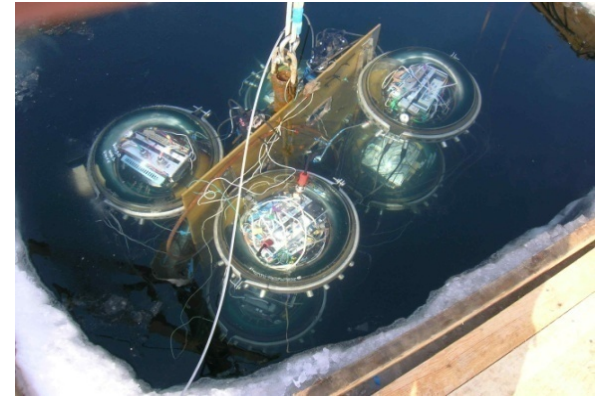
2024: модернизация установки, установка нового внутреннего вето, усовершенствование подъемного механизма для работы на более близком расстоянии к детектору, реконфигурация мюонного вето;

2024-2028 набор данных. Результаты. Продолжение эксперимента после 2028 года будет зависеть от полученных результатов.



Самый большой нейтринный телескоп в северном полушарии БАЙКАЛ-ГВД

Нейтринный телескоп дает важную информацию существенно дополняющую данные других наблюдений (оптические, радио телескопы и др.)



Основной принцип: **определение направления и энергии высокоэнергичных заряженных частиц, возникающих при взаимодействии нейтрино, с помощью излучения Вавилова-Черенкова**

1980 г. первые тесты и НИОКР, первые измерения в 1993 г. (с участием ОИЯИ)

Сейчас – создание детектора км³ масштаба

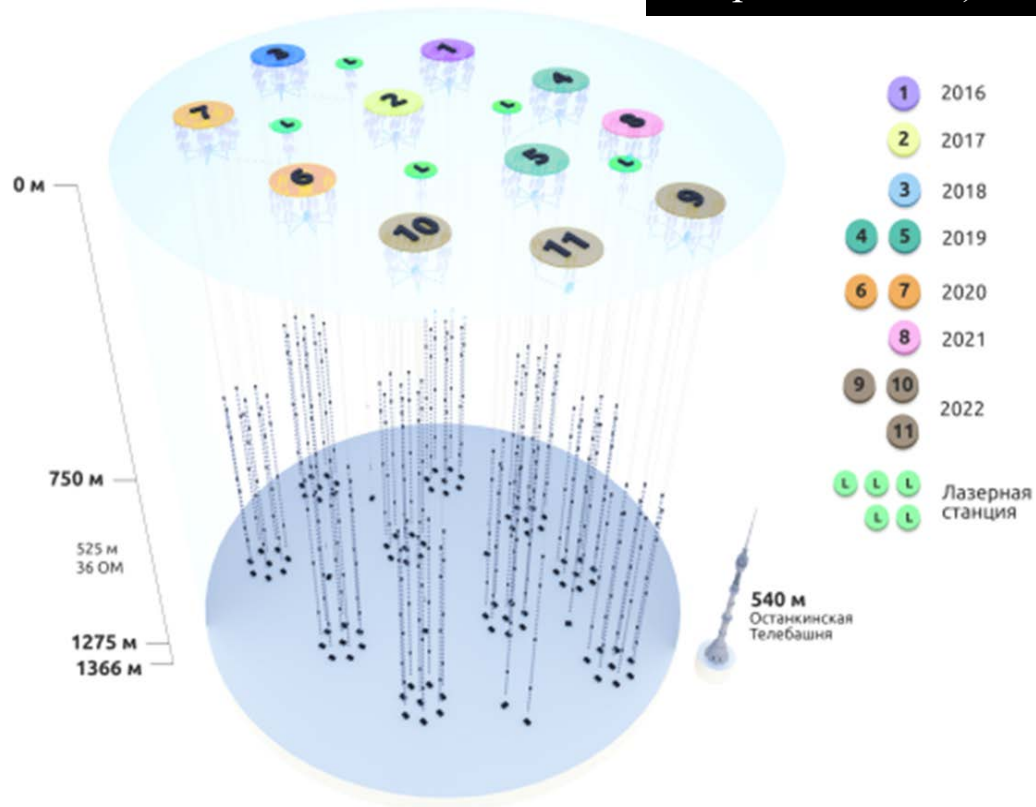
Физика:

- Исследование галактических и вне галактических (точечных) источников нейтрино;
- Диффузный нейтринный поток – энергетический спектр, локальные и глобальные анизотропии, состав (e, μ , τ);
- Поиск темной материи;
- Экзотические частицы: – монополи, Q-боллы, нуклеариты, ...
- Геофизика с нейтрино;
- Стерильные нейтрино.

Статус 2022: 10 кластеров

2916 оптических модулей

- 700 оптических модулей для кампании 2023 года (еще продолжается).



Год	Число кластеров	Число оптических модулей
2016	1	288
2017	2	576
2018	3	864
2019	5	1440
2020	7	2016
2021	8	2304
2022	10	2916
2023	12	3564
2024	14	4212
2025	16	4860

При анализе данных, полученных во время работы детектора в конфигурациях 2018 - 2021 годов, было выделено 11 каскадных событий с энергией более 15 ТэВ, пришедших из-под горизонта, инициированных нейтрино астрофизической природы, что на доверительном уровне 3σ подтверждает результаты первого наблюдения потока высокоэнергетических астрофизических нейтрино на антарктическом детекторе IceCube.

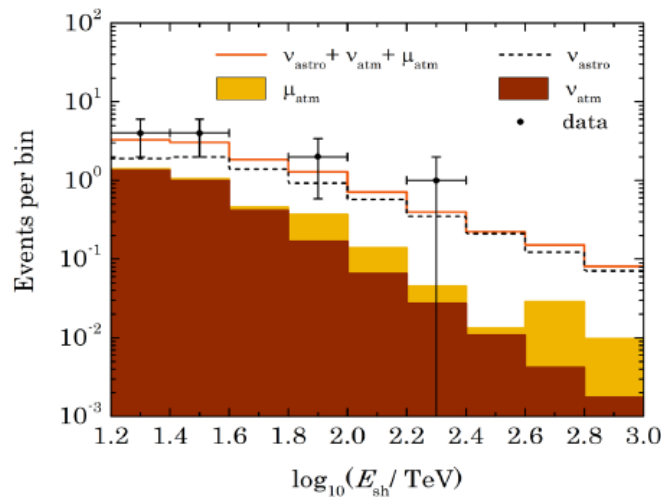
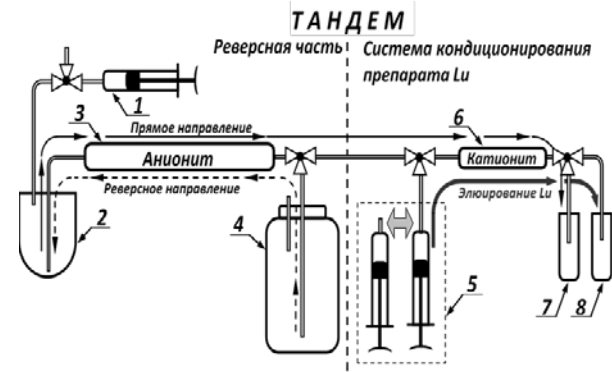


Рис. 9: Энергетические распределения экспериментальных и теоретически ожидаемых событий при анализе каскадных событий из-под горизонта: экспериментальные события - черные точки; распределение событий, ожидаемых от диффузного потока нейтрино астрофизической природы с параметрами, полученными из данных Байкал-ГВД за 2018-2021 годы - пунктирная гистограмма; фоновые события от атмосферных мюонов и атмосферных нейтрино - желтые и коричневые закрашенные области; общее число ожидаемых и фоновых событий - оранжевая гистограмма.

Радиохимия и спектроскопия для астрофизики и ядерной медицины:

- ❑ Богатейший радиохимический опыт (школа) получения радионуклидов практически всех элементов для спектроскопии + приготовление источников;
- ❑ В сотрудничестве с зарубежными коллегами проводилась разработка методик получения важнейших радиопрепаратов для ядерной медицины : ^{177}Lu , ^{90}Y , ^{211}At и др. Можно выделить: методику получения радиофармпрепаратов ^{68}Ga для ПЭТ диагностики из генератора $^{68}\text{Ge} \rightarrow ^{68}\text{Ga}$, реверсно-тандемную схему генератора $^{44}\text{Ti} \rightarrow ^{44}\text{Sc}$, разработку методик получения ^{225}Ac и др.;
- ❑ Приготовление низкофоновых образцов для исследования в области нейтринной физики;
- ❑ Ядерная спектрометрия с разными типами детекторов; Месбауэровская спектрометрия, масс-спектрометрия;
- ❑ Разработка новых детекторов.



Изучение мод распада широкого круга радионуклидов, их содержания в образцах (^{96}Zr , ^{40}K , ^{138}La и др.) для изучения редких процессов;

а) **новые детекторы** - разработка и применение детекторов на основе карбида кремния (SiC) для регистрации ядерных излучений. SiC -детекторы, обладающие высокой радиационной стойкостью (на порядок выше, чем у кремния) и работоспособностью при высоких температурах $> 400^\circ\text{C}$, планируется использовать для контроля работы сильноточных ускорителей, ядерных реакторов, а также для диагностики горячей плазмы;

- разработка и исследование жидких теллуросодержащих сцинтилляторов для поиска двойного безнейтринного β -распада (возможно использование в крупномасштабном детекторе JUNO), а также других типов жидких и пластмассовых сцинтилляторов;

- разработка композиционных сцинтилляционных систем регистрации для нейтринных экспериментов;

- разработка и применение ^3He -счетчиков для регистрации низких потоков нейтронов (менее 10^{-6} н \times см $^{-2}$ \times с), разработка компактного чувствительного детектора радона, разработка технологии изготовления низкорadioактивных деталей с использованием 3D-печати;

б) **экспериментальное исследование спектров низкоэнергетических электронов (0 -50 кэВ)** на спектрометре ESA-50 и спектров гамма- и рентгеновского излучений на ППД при радиоактивном распаде с целью получения новых данных о низковозбужденных состояниях ядер и постраспадной релаксации атомных систем, поиск способов спектрометрии постраспадных фотонов (от края инфракрасного излучения до мягкого рентгеновского) в области энергий 1-200 эВ;

в) **разработка методики применения кодов моделирования (Geant4, MCNP и FLUKA)** характеристик HPGe спектрометров, как на ускорителе электронов ЛИНАК-200 с целью определения выходов фотоядерных реакций, так и на других базовых установках ОИЯИ.

з) **совершенствование методов возмущенных угловых корреляций (ВУК)** и Мессбауэровской спектроскопии (эмиссионная мода) с использованием радиоактивных меток ^{111}In , ^{152}Eu , ^{154}Eu , ^{119}Sb , $^{119\text{m}}\text{Sn}$, ^{57}Co , ^{161}Tb и др., для изучения радиофармпрепаратов и их прекурсоров (составных частей) в водосодержащих системах, а также других матриц, развитие физико-химических методов оценки свойств радионуклидов и радиофармпрепаратов в гомогенных и гетерогенных системах;

д) **радиохимия и ядерная медицина** - исследование сорбционных процессов для различных систем раствор-сорбент как химическую основу методик очистки радиопрепаратов (как, впрочем, и очистки низкофонового материалов) и приготовления радионуклидных генераторов для производства радиофармпрепаратов;

- разработка методов производства и выделения (в том числе и с использованием масс-сепарации) радионуклидов из мишеней, облученных протонами, нейтронами и гамма-квантами для производства радиофармпрепаратов (^{103}Pd , ^{119}Sb , ^{161}Tb , ряд альфа-излучателей и др.);

- на основе реверсно-тандемных методов будет продолжена разработка большого круга радионуклидных генераторов ($^{44}\text{Ti} \rightarrow ^{44}\text{Sc}$, $^{68}\text{Ge} \rightarrow ^{68}\text{Ga}$, $^{90}\text{Sr} \rightarrow ^{90}\text{Y}$, $^{238}\text{U} \rightarrow ^{234}\text{Th}$, $^{237}\text{Np} \rightarrow ^{233}\text{Pa}$, $^{229}\text{Th} \rightarrow ^{225}\text{Ac}$, $^{227}\text{Ac} \rightarrow ^{227}\text{Th} \rightarrow ^{223}\text{Ra}$, $^{202}\text{Pb} \rightarrow ^{202}\text{Tl}$, $^{194}\text{Hg} \rightarrow ^{194}\text{Au}$, $^{32}\text{Si} \rightarrow ^{32}\text{P}$ и др.) для расширения возможностей получения медицинских радионуклидов. Будет рассмотрена возможность создания 1-2 генераторов значимой активности для внешних пользователей;

- разработка методик мечения радионуклидами радиофармпрепаратов на основе хелаторов с «медленной» кинетикой, исследование проблемы хелатирования радия;

е) **разработка и реализация методов получения образцов (^{82}Se , ^{96}Zr , материалы защиты, притой и т.п.) для астрофизических и нейтринных задач на новом ультранизком уровне содержания примесей (от мБк/кг к мкБк/кг по Th и U). Основные подходы к решению обозначенных задач: применение противоточной хроматографии, низкотеплотных и других подготовленных либо отобранных реагентов, использование отобранных и подготовленных материалов реакторов;**

- разработка и реализация методов анализа образцов на ультранизком уровне чувствительности (от мБк/кг к мкБк/кг по Th и U) с использованием МС-ИСП, нейтроноактивационного анализа (НАА) и других методов, разработка методик прецизионного определения химического и изотопного составов веществ - материалов, используемых в астрофизических и нейтринных экспериментах.

2020-2022:

Всего публикаций (Scopus): 109

Astronomy Letters: 1 (1,2)

EPJA: 1 (3,1)

EPJC: 11 (5,0)

IEEE Transactions on Nuclear Science: 2 (1,7)

JINST: 13 (1,4)

Journal of Low Temperature Physics: 1 (1,6)

Inorg. Chem. : 2 (5,4)

Journal of Cosmology and Astroparticle Physics: 1 (7,3)

Journal of High Energy Physics: 1 (6,3)

Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry: 2 (1,7)

NIM A: 2 (1,3)

Nuclear Medicine and Biology: 3 (2,9)

Nuclear Physics A: 2 (1,5)

Phys. Rev. C: 6 (3,2)

Phys. Rev. D: 3 (5,4)

PRL: 7 (9,1)

Phys. Lett. B: 1 (4,9)

Radiochimica Acta: 1 (1,4)

Cites	Per year	Rank	Authors	Title	Year	Publication
163	54.33	1	M. Agostini	Final Results of GERDA on the Search for Neutrinoless Double- β Decay	2020	Physical Review Letters
72	24.00	2	Q. Arnaud	First Germanium-Based Constraints on Sub-MeV Dark Matter with the ...	2020	Physical Review Letters
46	23.00	4	E. Armengaud	New Limit for Neutrinoless Double-Beta Decay of Mo 100 from the CU...	2021	Physical Review Letters
50	16.67	3	E. Armengaud	The CUPID-Mo experiment for neutrinoless double-beta decay: perfor...	2020	European Physical Journal C
28	14.00	6	D. Filosofov	Potent candidates for Targeted Auger Therapy: Production and radioc...	2021	Nuclear Medicine and Biology
29	9.67	5	E. Armengaud	Precise measurement of $2 \nu\beta\beta$ decay of ^{100}Mo with the...	2020	European Physical Journal C
7	7.00	12	I.J. Arnquist	Search for Spontaneous Radiation from Wave Function Collapse in the...	2022	Physical Review Letters
17	5.67	7	M. Agostini	First Search for Bosonic Superweakly Interacting Massive Particles with...	2020	Physical Review Letters
11	5.50	9	R. Huang	Pulse shape discrimination in CUPID-Mo using principal component a...	2021	Journal of Instrumentation
16	5.33	8	M. Agostini	Modeling of GERDA Phase II data	2020	Journal of High Energy Physics
5	5.00	17	I.J. Arnquist	α -event characterization and rejection in point-contact HPGe detectors	2022	European Physical Journal C
8	4.00	10	M. Agostini	Characterization of inverted coaxial ^{76}Ge detectors in G...	2021	European Physical Journal C
8	4.00	11	I.J. Arnquist	Search for double- β decay of ^{76}Ge to excited states of ^{76}Se with the ...	2021	Physical Review C
4	4.00	18	M. Agostini	Pulse shape analysis in Gerda Phase II	2022	European Physical Journal C
6	3.00	14	M. Agostini	Calibration of the Gerda experiment	2021	European Physical Journal C
6	3.00	15	N. Abgrall	ADC Nonlinearity Correction for the Majorana Demonstrator	2021	IEEE Transactions on Nuclear Science
6	3.00	13	A.D. Avrorin	High-Energy Neutrino Astronomy and the Baikal-GVD Neutrino Telesc...	2021	Physics of Atomic Nuclei
3	3.00	26	A.V. Avrorin	Deep-Underwater Cherenkov Detector in Lake Baikal	2022	Journal of Experimental and Theoret...

3 первые премии ОИЯИ (2020: DANSS, 2021: GERDA, 2023: νGeN)

Индекс Хирша с 2010 года: 44
 ~7000 цитирований

Cites	Per year	Rank	Authors	Title	Year	Publication
502	50.20	1	M. Agostini	Results on neutrinoless double- β decay of ^{76}Ge from phase i of the GE...	2013	Physical Review Letters
240	48.00	2	M. Agostini	Improved Limit on Neutrinoless Double- β Decay of ^{76}Ge from GERD...	2018	Physical Review Letters
206	20.60	3	K.H. Ackema...	The Gerda experiment for the search of $0\nu\beta\beta$ decay in ^{76}Ge ...	2013	European Physical Journal C
177	13.62	4	R. Arnold	Probing new physics models of neutrinoless double beta decay with S...	2010	European Physical Journal C
176	14.67	5	E. Armengaud	Final results of the EDELWEISS-II WIMP search using a 4-kg array of cry...	2011	Physics Letters, Section B: Nu...
167	18.56	6	N. Abgrall	The Majorana Demonstrator neutrinoless double-beta decay experiment	2014	Advances in High Energy Phy...
163	54.33	7	M. Agostini	Final Results of GERDA on the Search for Neutrinoless Double- β Decay	2020	Physical Review Letters
156	31.20	8	C.E. Aalseth	Search for Neutrinoless Double- β Decay in ^{76}Ge with the Majorana D...	2018	Physical Review Letters
156	26.00	9	C. Bauer	Background-free search for neutrinoless double- β decay of ^{76}Ge with...	2017	Nature
152	25.33	10	N. Abgrall	The large enriched germanium experiment for neutrinoless double bet...	2017	AIP Conference Proceedings
129	25.80	11	I. Alekseev	Search for sterile neutrinos at the DANSS experiment	2018	Physics Letters, Section B: Nu...
122	15.25	12	R. Arnold	Results of the search for neutrinoless double- β decay in ^{100}Mo with t...	2015	Physical Review D - Particles,
116	10.55	13	E. Armengaud	Search for low-mass WIMPs with EDELWEISS-II heat-and-ionization de...	2012	Physical Review D - Particles,
115	28.75	14	E. Armengaud	Searching for low-mass dark matter particles with a massive Ge bolom...	2019	Physical Review D
102	7.85	15	J. Argyriades	Measurement of the two neutrino double beta decay half-life of ^{96}Zr ...	2010	Nuclear Physics A

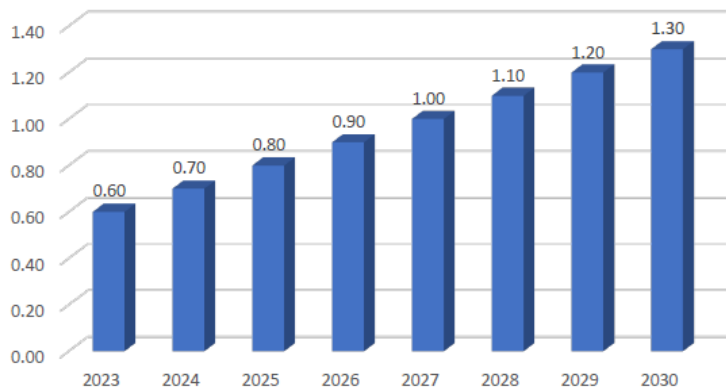
1.4. Наименование проекта

БАЙКАЛ-ГВД

1.5. Руководитель проекта

Белолоптиков И.А.

Effective Volume (km³) for cascades with E>100 TeV



Категория работника	Основной персонал, сумма FTE
научные работники	9,75
инженеры	14,75
специалисты	3,6
рабочие	4,3
Итого:	32,4

Наименования затрат, ресурсов, источников финансирования		Стоимость (тыс. долл.) потребности в ресурсах	Стоимость, распределение по годам						
			1 год	2 год	3 год	4 год	5 год		
Источники финансирования	Бюджетные средства	Международное сотрудничество (МНТС)	750	150	150	150	150	150	
		Материалы	27 500	5700	5700	5700	5200	5200	
		Оборудование и услуги сторонних организаций (пуско-наладочные работы)	4 300	800	800	900	900	900	
		Пуско-наладочные работы	1000	200	200	200	200	200	
		Услуги научно-исследовательских организаций	500	100	100	100	100	100	
		Приобретение программного обеспечения							
		Проектирование/строительство	2 000	400	400	400	400	400	
		Сервисные расходы (планируются в случае прямой принадлежности к проекту)	2 500	400	450	500	550	600	
		Источники финансирования	Внебюджет (доп. смета)	Ресурсы					
				– сумма FTE.	25 000	5000	5000	5000	5000
– ускорителя/установки.									
– реактора.....									
Источники финансирования	Бюджетные средства	Бюджет ОИЯИ (статья бюджета)	36 050	7250	7300	7450	7000	7050	
		Вклады соисполнителей	2 500	500	500	500	500	500	
Источники финансирования	Внебюджет (доп. смета)	Средства по договорам с заказчиками							
		Другие источники финансирования							

1.4. Наименование проекта

Ядерная спектрометрия для поиска и исследования редких явлений

1.5. Руководитель проекта

Зинатулина Д.Р.

LEGEND (2024-2045)

2024: Добавление вновь изготовленных детекторов в LEGEND-200 для достижения конечной массы ^{76}Ge в 200 кг. Возобновление набора данных. Принятие решения о базовой лаборатории для LEGEND-1000. Завершение разработки CDR для LEGEND-1000.

2024-2031: Набор данных на LEGEND-200. НИОКР для аппаратных компонентов LEGEND-1000 (держатели детекторов, ASIC, система погружения детекторов, аргоновое veto и т.д.). Начало производства и тестирования новых детекторов из обогащенным Ge и монтажа установки LEGEND-1000 в базовой подземной лаборатории.

2031-2035: Демонтаж установки LEGEND-200. Инсталляция детекторов и аргонового veto в LEGEND-1000 и начало набора данных.

2035-2045: Набор данных в LEGEND-1000.

TGV

2024: Модернизация спектрометра TGV (детекторной части и электроники).

2024-2025: Измерение обогащенного ^{106}Cd .

2026: Измерение фона TGV без образцов. Приобретение обогащенного ^{130}Ba , проверка его радиационной чистоты, очистка обогащенного изотопа от радиоактивных примесей, изготовление образцов для исследования на спектрометре TGV.

2027: Монтаж образцов ^{130}Ba в спектрометр TGV.

2027-2028: Измерение обогащенного ^{130}Ba

Obelix и Idefix

2024: Монтаж детектора Idefix в пассивную защиту.

2024-2025: Измерение обогащенного ^{82}Se .

2025: Измерение фона детекторов Obelix и Idefix.

2025: Приобретение обогащенных изотопов ^{96}Zr и ^{150}Nd , проверка их радиационной чистоты, очистка обогащенных изотопов от радиоактивных примесей, изготовление образцов.

2026: Поиск резонансного $0\nu\text{ECEC}$ распада ^{106}Cd .

2026-2028: Исследование двойного бета распада от ^{96}Zr и ^{150}Nd с использованием детекторов Obelix и Idefix.

SuperNEMO

2024: Завершение набора данных Демонстратора SuperNEMO в конфигурации без пассивной защиты. Установка пассивной защиты детектора (борированный парафин + борированная вода + низкофоновое железо). Установка вокруг детектора анти-радонового тента с нагнетанием под него воздуха очищенного от радона в антирадоновой фабрике.

2025-2027: Набор данных с Демонстратора SuperNEMO в полной конфигурации с пассивной защитой и с анти-радоной фабрикой.

2026-2028: основываясь на результатах Демонстратора подготовка CDR для новой фазы SuperNEMO.

MONUMENT

2024: предполагается провести измерения мюонного захвата с газовыми мишенями углерода обогащенных по атомным массам 12 и 13;

2024-2027: исследование легких ядре с точки зрения проверки теоретических моделей, применимых для двойного бета распада, а также обогащенного ^{96}Mo ; НИОКР по применению мюонного захвата в других смежных с физикой областях, таких как радиобиология и мезохимия;

2025-2028: основываясь на НИОКР подготовка CDR для новой фазы MONUMENT.

В течение всего времени реализации проекта мы будем продолжать изучать и улучшать экспериментальную установку и проводить НИОКР для дальнейших фаз эксперимента. Все годы: анализ данных, подготовка публикаций.

EDELWEISS

2024: Существующая в подземной лаборатории LSM установка EDELWEISS будет выведена из эксплуатации. Одновременно, в эксплуатацию будет введена установка BINGO, в которую будут интегрированы детекторы EDELWEISS. Это продолжение синергии между двумя программами (Cupid-Mo и EDELWEISS).

2024-2027: НИОКР по поиску природы и источников эксклюзивно фононных событий в болометрах. Продолжение прямого поиска частиц ТМ в области их малых масс.

2025-2028: основываясь на НИОКР подготовка CDR для новой фазы EDELWEISS.

В течение всего времени реализации проекта мы будем продолжать изучать и улучшать фон установки, выполнять интенсивную программу калибровки и проводить НИОКР для дальнейших фаз эксперимента.

Все годы: анализ данных, подготовка публикаций.

№№ п/п	Категория работника	Основной персонал, сумма FTE
1.	научные работники	16.95
2.	инженеры	3.55
3.	специалисты	1
4.	служащие	0
5.	рабочие	0.5
	Итого:	22

Наименования затрат, ресурсов, источников финансирования		Стоимость (тыс. долл.) потребности в ресурсах	Стоимость, распределение по годам				
			1 год	2 год	3 год	4 год	5 год
	Международное сотрудничество (МНТС)	550	110	110	110	110	110
	Материалы	550	110	110	110	110	110
	Оборудование и услуги сторонних организаций (пуско-наладочные работы)	1500	300	300	300	300	300
	Услуги научно-исследовательских организаций	100	20	20	20	20	20
	Приобретение программного обеспечения	50	10	10	10	10	10
	Проектирование/строительство	100	20	20	20	20	20
	Сервисные расходы (планируются в случае прямой принадлежности к проекту)	50	10	10	10	10	10
Необходимые ресурсы	Нормо-час	Ресурсы					
		- сумма FTE,	22	22	22	22	22
		- ускорителя/установки,	-	-	-	-	-
		- реактора,.....	-	-	-	-	-
Источники финансирования	Бюджеты е средства	Бюджет ОИЯИ (статья бюджета)	3000	600	600	600	600
	Внебюджет (доп. смета)	Вклады соисполнителей Средства по договорам с заказчиками Другие источники финансирования	-	4 млн руб. (РФФИ)	-	-	-

1.4. Наименование проекта / подпроекта КИП

Исследования реакторных нейтрино на короткой базе

1.5. Руководитель(и) проекта / подпроекта КИП

Житников Игорь Викторович

2.3.1 DANSS

В 2023 году – предварительные методические работы и закупки по эксперименту DANSS-2.

2023-2024 – продолжение измерений на установке DANSS, анализ данных измерений

2023-2024 – разработка и финальная сборка DANSS-2 на Калининской атомной станции.

Начало набора данных

Планируется проведение измерений до 2028. Продолжение эксперимента после 2028 года будет зависеть от полученных результатов.

2.3.2 vGeN

2023-2024 проведение измерений в текущей конфигурации.

2024 планируется модернизация установки, установка нового внутреннего veto, усовершенствование подъемного механизма для работы на более близком расстоянии к детектору, реконфигурация мюонного veto.

2024-2028 набор данных. Продолжение эксперимента после 2028 года будет зависеть от полученных результатов.

2.3.3 RICOCHET

2024 год: ввод в эксплуатацию установки в PLL. Начало набора данных с германиевыми болометрами, продолжение работ по усовершенствованию детекторов. Создание улучшенной Монте-Карло модели, на основе экспериментальных данных.

Для достижения 1% уровня точности эксперименту потребуется минимум 10 реакторных циклов. Таким образом измерения будут продолжаться не менее трех лет, в зависимости от работы реактора PLL.

Разрабатываемый массив цинковых детекторов будет добавлен в установку сразу после его изготовления (скорее всего, не ранее конца 2024 года).

В течение всего времени выполнения эксперимента мы будем изучать фоновые условия и проводить многочисленные калибровки, анализ данных, R&D для будущих экспериментов, а также готовить публикации к печати.

Категория работника	Основной персонал, сумма FTE
научные работники	11.45
инженеры	8.15
специалисты	0.4
служащие	-
рабочие	0.6
Итого:	20.6

Наименования затрат, ресурсов, источников финансирования		Стоимость (тыс. долл.) потребности в ресурсах	Стоимость, распределение по годам				
			1 год	2 год	3 год	4 год	5 год
	Международное сотрудничество (МНТС)	550	110	110	110	110	110
	Материалы	550	110	110	110	110	110
	Оборудование и услуги сторонних организаций (пуско-наладочные работы)	1500	300	300	300	300	300
	Пуско-наладочные работы	100	20	20	20	20	20
	Услуги научно-исследовательских организаций	-	-	-	-	-	-
	Приобретение программного обеспечения	50	10	10	10	10	10
	Проектирование/ строительство	50	10	10	10	10	10
	Сервисные расходы (планируются в случае прямой принадлежности к проекту)	100	20	20	20	20	20
Необходимые ресурсы	Нормо-час	Ресурсы					
		- сумма FTE,	20.6	20.6	20.6	20.6	20.6
		- ускорителя/установки,	-	-	-	-	-
		- реактора,.....	-	-	-	-	-
Источники финансирования	Бюджетные средства	Бюджет ОИЯИ (статья бюджета)	2900	580	580	580	580
Источники финансирования	Внебюджет (доп. смета)	Вклады соисполнителей					
		Средства по договорам с заказчиками	-	-	-	-	-
		Другие источники финансирования					

1.4. Наименование проекта

Радиохимия и спектроскопия для астрофизики и ядерной медицины

1.5. Руководитель проекта

Д.В. Философов

Категория работника	Основной персонал, сумма FTE
научные работники	16.35
инженеры	11.05
специалисты	1
служащие	-
рабочие	1.1
Итого:	29.5

Наименования затрат, ресурсов, источников финансирования		Стоимость (тыс. долл.) потребности в ресурсах	Стоимость, распределение по годам					
			1 год	2 год	3 год	4 год	5 год	
Источники финансирования	Бюджетные средства	Международное сотрудничество (МНТС)	550	110	110	110	110	110
		Материалы	550	110	110	110	110	110
		Оборудование и услуги сторонних организаций (пуско-наладочные работы)	1500	300	300	300	300	300
		Пуско-наладочные работы	100	20	20	20	20	20
		Услуги научно-исследовательских организаций	50	10	10	10	10	10
		Приобретение программного обеспечения	100	20	20	20	20	20
		Проектирование/строительство	50	10	10	10	10	10
		Сервисные расходы (планируются в случае прямой принадлежности к проекту)	100	20	20	20	20	20
	Внебюджет (доп. смета)	Ресурсы						
		- сумма FTE.	29.5	29.5	29.5	29.5	29.5	29.5
- ускорителя/установки. - реактора.....								
Источники финансирования	Бюджетные средства	Бюджет ОИЯИ (статьи бюджета)	3000	600	600	600	600	600
	Внебюджет (доп. смета)	Вклады соисполнителей Средства по договорам с заказчиками Другие источники финансирования						

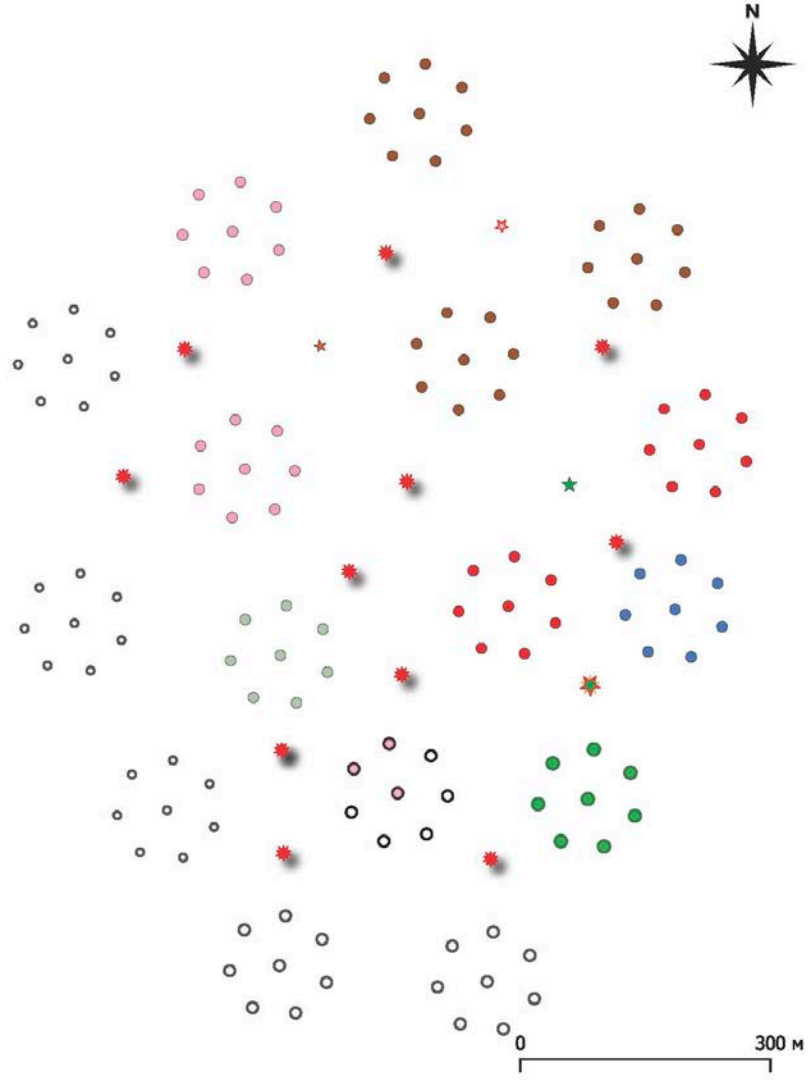
- **Комплексная научная программа, отражающая название темы “Неускорительная нейтринная физика и астрофизика”;**
- **Участие в лидирующих экспериментах;**
- **Внедрение современных know-how и культуры эксперимента для “домашних” проектов;**
- **Создание инфраструктуры в ЛЯП для обеспечения текущих и будущих проектов на современном уровне;**
- **В среднем 30+ публикаций в год.**

Просим НТС ЛЯП поддержать продолжение исследований в рамках проектов темы “Неускорительная нейтринная физика и астрофизика”

Проект	Запрос на наиболее значимые траты, тыс. \$	Обоснование
BAIKAL-GVD	6700	Запрос основан на накопленном опыте создания и поддержания работоспособности телескопа в предыдущие годы. Сокращение расходов приведет не только к невозможности выполнения планов по развитию установки и семилетнего плана, это прервет наши устоявшиеся производственные связи с рядом поставщиков и, как следствие, поставит под вопрос расширение детектора (создания и постановку новых кластеров) в последующие годы. В запрашиваемый бюджет заложено необходимое развитие компьютерной и прочей инфраструктуры, требуемое для успешного функционирования установки BAIKAL-GVD.
DANSS	320	Новые сцинтиллятор с матированием: 150 тыс\$, платы DANSS-2 (монтаж SiPM, питание SiPM и предусилителей, управления каналами, коммутационные): 100 тыс\$. Фотодиоды (SiPM) 55 тыс\$, материалы пассивной защиты 60 тыс\$, прочие расходы: до 40 тыс.\$.
нейтринный детектор S3	50	Нейтронные сцинтилляторы, фибры SiPM, блоки питания SiPM, платы SiPM
MONUMENT	180	Для проекта, выполняемого, в основном силами ОИЯИ, требуется покупка обогащенных материалов для создания уникальных мишеней: 30 тыс.\$, проведение НИОКР по созданию новых германиевых детекторов своими силами (совместно с Gerda/Legend): 150 тыс.\$.
nuGeN	200	Для сохранения конкурентноспособности необходимо приобрести новейший детектор с низким порогом регистрации. В настоящее время имеются сведения о создании детекторов, работающих от энергетического порога ~200 эВ. Стоимость одного нового детектора составляет не мене 100 тыс. \$. Новые элементы пассивной защиты, обновление электроники, система вентиляции на КАЭС (траты совместно с DANSS), инфраструктура в ОИЯИ (чистые комнаты и др.) оцениваются не мене чем 100 тыс.\$.
GERDA	280	Включает HPGe кристаллы и детекторы 130 тыс.\$, обогащенный материал 100 тыс. \$, взнос в коллаборацию и прочие мелкие расходы (электроника, инфраструктура (чистая комната в НЭОЯСиРХ) и др., НИОКР) 50 тыс\$.
SuperNEMO	70	Взнос в коллаборацию 20 тыс.\$. Проведение измерений в ОИЯИ (необходимы материалы защиты и электроника) Zr-96 с целью поиска двойного бета распада на возбужденные состояния: 50 тыс.\$.
EDELWEISS/Ricochet	50	Находится в стадии создания новой фазы и в 2023 году на него необходимы минимальные затраты в 50 тыс\$, которые включают проведение г&d по измерениям на НВАЭС.
Развитие экспериментальной базы	200	Масс-спектрометр, ICP MS (200 тыс.\$).В настоящее время ни один низкофононый эксперимент не обходится без элементного анализа с использованием такого вида масс спектрометрии. Это оборудование значительно улучшит экспериментальную базу ЛЯП ОИЯИ.
Радиохимия	180	Для сохранения и развития радиохимии (включая медицинское направление) в НЭОЯСиРХ предполагается покупка таких приборов, как: Анализатор размера и формы частиц "Bettersizer S3 Plus", установки для измерения кинетических констант комплексообразования радиофармпрепаратов, Мессбауэровской установки с резонансным счетчиком на ¹⁶¹ Dy.
Детекторы	100	Для сохранения и развития сектора детекторов необходимо приобретение ряда материалов и оборудования, включая контрольно измерительные приборы для определения характеристик детекторов.
Спектроскопия НЭОЯСиРХ	400	Для поддержания и развития традиционной спектроскопии, являющейся основой всех наших исследований, в 2023 году требуется приобретение следующего оборудования: различные (сцинтилляторы, полупроводники, нейтронные, радоновые) детекторы (200 тыс. \$). Материалы и оборудование (электроника, вакуумное оборудование, элементы защиты, и прочее): 200 тыс. \$.
МНТС	420	Данные траты обусловлены проведением экспериментов на установках, расположенных вне Дубны (Байкал, АЭС, подземные лаборатории, ускорительный комплекс PSI). С учетом вовлеченности в проекты более 110 человек, вышеприведенная цифра составляет менее 4 тыс \$ на человека в год, что будет израсходовано на летнюю и зимнюю экспедиции на Байкал, на работы на КЭАС, на требуемые участиях в международных конференциях, и для участия в международных экспериментах.

БАЙКАЛ-GVD					
1	Элементы глубоководного оптического модуля (ОМ), в том числе:				1 200.00
1.1	ФЭУ НАМАМАТСУ (1000шт)	5			
1.2	Глубоководные сферы с 2я отверстиями (1000 шт) и разъемами	5			
1.3	Высоковольтные блоки питания (900 шт)	5		200.0	200.00
1.4	Электроника	5		620.0	620.00
1.5	Комплектация ОМ 700 шт	5		380.0	380.00
2	Глубоководные разъемы	5		340.0	340.00
3	Эл. подводной электр. системы управл. и сбора данных				1 130.00
3.1	Электроника	5		850.0	850.00
3.2	Модемы и блоки преобразования	5		180.0	180.00
3.3	Комплекующие блоков электроники	5		100.0	100.00
4	Береговая система питания детектора	6		20.0	20.00
5	Средства отладки и стендовое оборудование	6		40.0	40.00
6	НИОКР БАЙКАЛ-GVD	10		100.0	100.00
7	Кабельные коммуникации и средства развертывания комплекса БГНТ				2 270.00
7.1	Несущие геодезические кабели глубоководной установки	5		450.0	450.00
7.2	Электрические глубоководные кабели системы питания, управления и сбора данных	5		1 100.0	1 100.00
7.3	Оптико-электрические глубоководные бронированные кабели	5		370.0	370.00
7.4	Сопутствующие средства глубоководной инженерии (кухтыли, зажимы, металлоконструкции)	5		150.0	150.00
7.5	Средства развертывания и механизация	5		200.0	200.00
8	Элементы системы позиционирования (акустические модемы 80 шт)	6		530.0	530.00
9	Калибровочные источники света (лазеры, LED матрицы 80 шт)	5		120.0	120.00
10	Комп. и сетевые составл. для управл. и сбора данных	6		250.0	250.00
11	Транспортные расходы - перевозка оборудования	16	10 000.0		129.87
12	Транспортировка и монтаж оборудования, развитие инфраструктуры эксперимента	14.17	48 000.0		623.38
13	Организация питания в экспедициях для сотрудников ОИЯИ	17	1 000.0		12.99
Итого по проекту БАЙКАЛ , ст.5,6,10		5,6,10			6 000.00
кроме того, другие статьи -14,16,17					766.23
Итого БАЙКАЛ					6 766.23

14	Детекторы			1 110,0	1 110,0
14.1	Сцинтилляционные бруски с матированием 400 шт.		5		
14.2	Низкопороговый полупроводниковый детектор для проекта nuGeN		6	80,0	
14.3	Масс-спектрометр, ICP MS		5	100,0	
14.4	Анализатор размера и формы частиц "Bettersizer S3 Plus"		5	200,0	
14.5	Оборудование для создания полупроводниковых детекторов		5	85,0	
14.6	Оборудование для создания полупроводниковых детекторов		5	50,0	
14.6	Германиевые детекторы		5	100,0	
14.7	Кремниевые детекторы		6	30,0	
14.8	Мессбауэровская установка с резонансным счетчиком на ¹⁶¹ Dy		5	35,0	
14.9	Оборудование для детектирования Rn и других радиоактивных благородных газов		5	30,0	
14.10	ФЭУ		6	30,0	
14.11	Кристаллический германий для изготовления детекторов		6	60,0	
14.12	Сцинтилляционные детекторы (материал)		6	50,0	
14.13	Установка для измерения кинетических констант комплексообразования радиофармпрепаратов		5	60,0	
14.14	Контрольно измерительные приборы для определения характеристик детекторов		5	30,0	
14.15	Платы DANSS-2(установки SiPM, питания SiPM и преусилителей, управления каналами, коммутационные)		6	50,0	
14.16	Материалы и оборудование для создания детектора S3 (нейтронные сцинтилляторы, фибры SiPM, блоки питания SiPM, платы SiPM)		5,6	50,0	
14.17	Фотодиоды (SiPM) для проведения НИОКР и DANSS-2		6	40,0	
14.18	Детекторы нейтронов		5	30,0	
15	Обогащенные материалы			130,0	130,0
15.1	Обогащенные материалы для Monument (Mo-96, Fe-56, S-32 и др.)		6	30,0	
15.2	Обогащенный Ge		6	100,0	
16	Материалы для создания защитных систем установок			150,0	150,0
16.1	Низкофононовые элементы защиты установки nuGeN		6	30,0	
16.2	Низкофононовые элементы защиты для создания прототипов установок и r&d по теме		6	30,0	
16.3	Оборудование и материалы для 3d печати		5,6	30,0	
16.4	Материалы пассивной защиты DANSS-2		6	60,0	
17	Спектроскопическая электроника фирм CAEN, ORTEC, Canberra, Wiener и др.		5	95,0	95,0
18	Мелкое общелабораторные оборудование (посуда, нагревательные плиты, гомогенизаторы, лабораторные холодильники и др.)		5	30,0	30,0
19	Низкофононовые материалы, сцинтилляционные низкофононовые материалы, химреактивы, расходные материалы к установке ультразвуковой сварки		6	30,0	30,0
20	Источники излучений		5,6	30,0	30,0
21	Криогенное и вакуумное оборудование		5	45,0	45,0
22	Материалы для обслуживания чистых помещений и вентилиционные фильтры		6	30,0	30,0
23	Цифровые процессоры		5	30,0	30,0
24	Лабораторная мебель		6	30,0	30,0
25	Система вентиляции на 3 и 4 блоках КАЭС		5,6	30,0	30,0
26	Вентиляционное оборудование для мастерских и хим.комнат в НЭОЯСиРХ		5	30,0	30,0
27	Расходные конструкционные материалы(медь, сталь, железо, свинец, полиэтилен, алюминиевые профили, цинк)		6	70,0	70,0
28	Обновление компьютерной инфраструктуры НЭОЯСиРХ		5,6	40,0	40,0
29	НИОКР			80,0	80,0
29.1	Матирование канавок светособирающих элементов DANSS-2		10	40,0	
29.2	Низкофононовые HPGe детекторы		10	40,0	
29.3	НИОКР низкофононое детектирование нейтронов		10	15,0	
30	Взносы в коллаборации			75,0	75,0
30.1	Взнос в коллаборацию GERDA		5	15,0	
30.2	Взнос в коллаборацию SuperNEMO		5	20,0	
30.3	Взнос на общие проекты в подземной лаборатории LSM		5	20,0	
30.4	Взнос в коллаборацию EDELWEISS/Ricochet		5	20,0	
31	Прочие материальные запросы (оборудование стоимостью менее 30 тыс. \$)		5,6	100,0	100,0
32	Перевозка оборудования			1 550,0	20,1
32.1	Перевозка оборудования в Удомлю для проектов GEMMA, nuGeN, DANSS		16	300,0	
32.2	Перевозка оборудования MONUMENT - ФРГ, Швейцария		16	350,0	
33	Договор аренды помещения для экспериментов на Калининской АЭС (г.Удомля)		17	900,0	11,7
	ИТОГО другие проекты темы 1100 по ст.5,6,10			2 135,0	2135,0



Deployment schedule

Year	Number of clusters	Number of OMs
2016	1	288
2017	2	576
2018	3	864
2019	5	1440
2020	7	2016
2021	8	2304
2022	10	2916
2023	12	3564
2024	14	4212
2025	16	4860