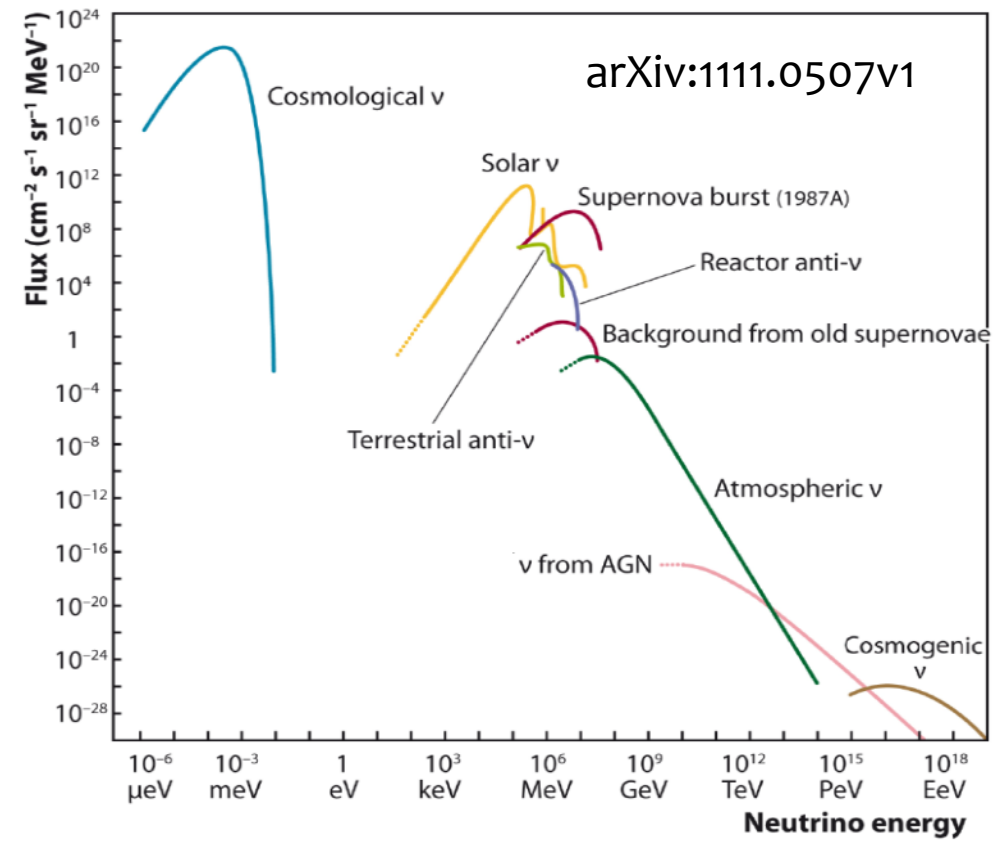
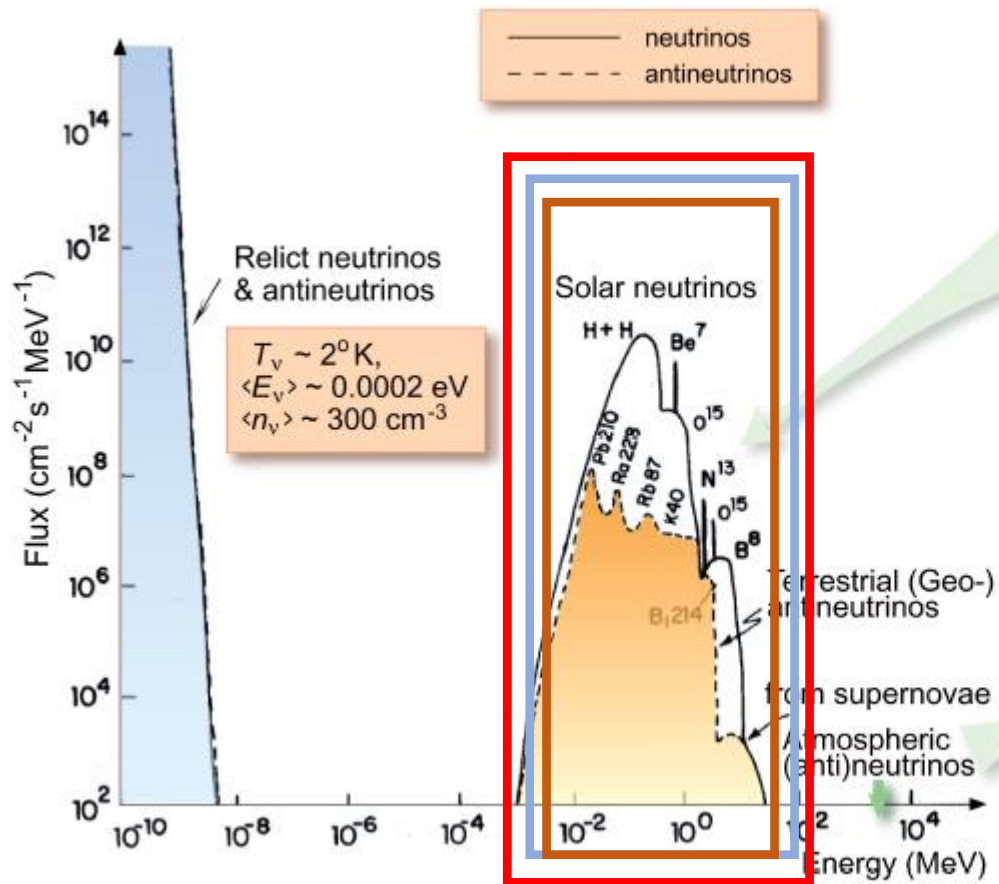


Конференция НИИЯФ МГУ

**Физика нейтрино в ОЭПВАЯ**  
**фундаментальные и прикладные исследования**

*С.М. Чашин, М.А. Стриж, М.Б. Громов, А.С. Чепурнов  
и студенты физического факультета МГУ*

24.02.2025



Реликтовые нейтрино - энергия  $10^{-4}$  эВ плотность потока  $10^{13}$ - $10^{14}$   $\text{cm}^{-2} \text{c}^{-1}$

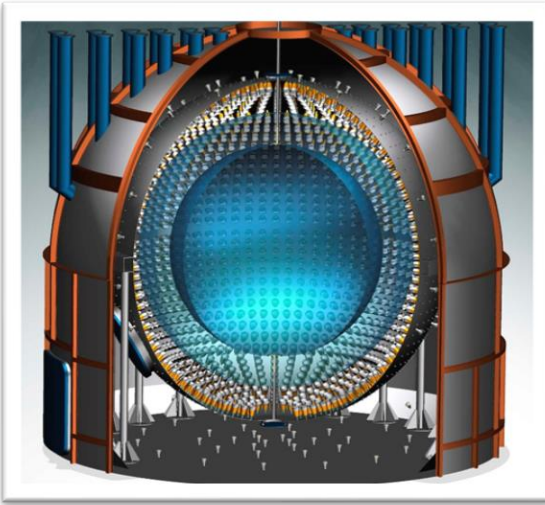
Солнечные нейтрино -  $\sim 1$  кэВ -  $\sim 15$  МэВ плотность потока  $10^{10}$   $\text{cm}^{-2} \text{c}^{-1}$

Недра земли (геонейтрино) -  $\sim 1$  кэВ -  $\sim 3.3$  МэВ плотность потока  $10^6$   $\text{cm}^{-2} \text{c}^{-1}$

Реакторные нейтрино -  $\sim 1$  кэВ -  $\sim < 9$  МэВ ( 1 ГВт – 10 м ) плотность потока  $\sim 10^{13}$   $\text{cm}^{-2} \text{c}^{-1}$

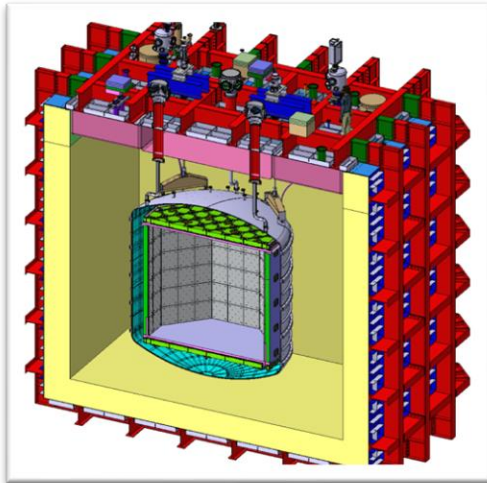
Космические лучи -  $\sim > 100$  МэВ плотность потока  $10^6$   $\text{cm}^{-2} \text{c}^{-1}$

Исследование солнечных и  
земных (гео)нейтрино



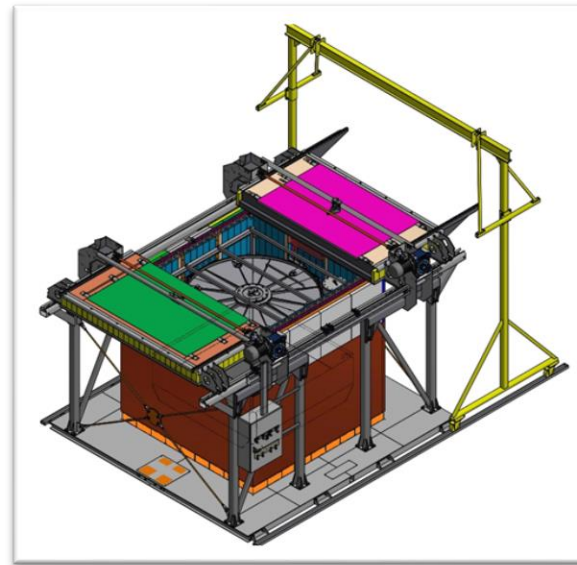
Эксперимент Borexino Gran Sasso

Регистрации частиц тёмной  
материи/солнечных нейтрино



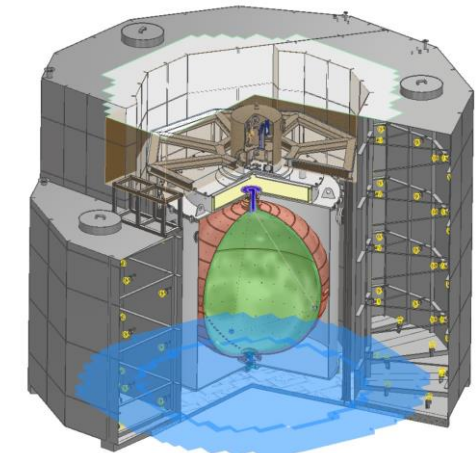
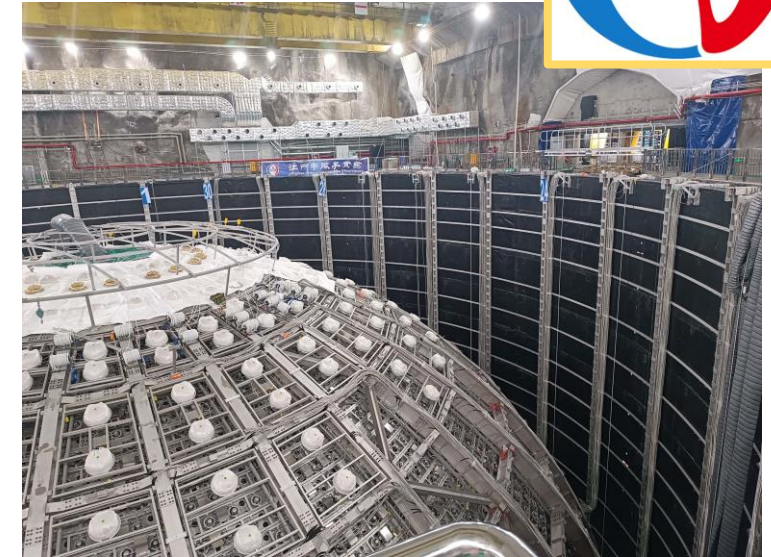
DarkSide-20k Gran Sasso

Регистрация и исследование  
реакторных антинейтрино



Эксперимент iDREAM  
на Калининской АЭС

Исследование фундаментальных  
свойств нейтрино:  
иерархия масс,  
параметры осцилляций



Эксперимент JUNO / TAO  
Тайшаньская АЭС, Китай

# Сцинтилляционный/метод регистрации частиц через процесс рассеяния и/или специальные реакции

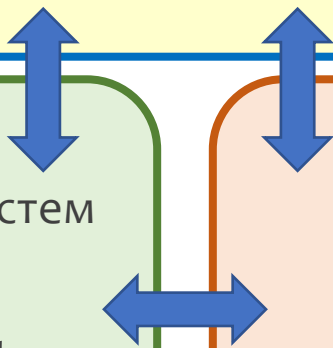
## Состав и особенности используемой экспериментальной методики:

- стратегия и тактика проведения долгосрочных низкофоновых экспериментов в подземных низкофоновых лабораториях
- низкий порог регистрации событий по энергии при широком диапазоне регистрируемых энергий
- исследование имеющихся и разработка новых низкофоновых материалов
- специальные методики скрининга материалов (измерения уровней остаточной радиоактивности)
- новые сцинтилляторы
- новые принципы и приборы для регистрации слабых фотонных сигналов
- разработка электроники и ПО с учетом требований высокой надежности, низких шумов и высокого быстродействия

## Моделирование

- Geant4 создание моделей отдельных подсистем детекторов и моделей детекторов в целом
- NeuCBOT, SaG4n, TALYS and etc расчёт и/или моделирование ядерных реакций для оценки фоновых условий

## Анализ и обработка экспериментальных данных



## Исследование солнечных и земных нейтрино в эксперименте Borexino (Италия)

Детектор Borexino завершил свою работу 7 октября 2021 года, проработав 14.5 лет

Ведётся анализ данных, который продлится ещё около 2 лет

В России имеются полные и частичные копии всех данных и ПО для их обработки (НИИЯФ, ОИЯИ, ПИЯФ, Курчатовский институт)

В 2024 году продолжен начатый ранее совместный анализ измерений, выполненных в ходе **всех трёх фаз эксперимента Borexino**, с целью **уточнения потоков  $\nu_{\mu}$ - и  ${}^7\text{Be}$ -нейтрино**, пределов на эффективный магнитный момент нейтрино и времени жизни электрона. Участвуют ОИЯИ и НИИЯФ МГУ

Совместно  
с Курчатовским  
институтом

## Регистрация и исследование реакторных антинейтрино

В 2024 году проведена частичная модернизация детектора

- 1) замена внутреннего металлического бака на акриловый,
- 2) изготовление и замена делителей напряжения у всех ФЭУ центральной части детектора,
- 3) доработка и внедрение светодиодной калибровочной системы (СДКС).

Монтаж оборудования на Калининской АЭС осуществлен в два этапа:

- в июне-июле – установка нового бака
- в октябре-ноябре – монтаж остального нового оборудования

На основе набранных данных за предыдущую реакторную компанию измерена суточная энерговыработка промышленного ядерного реактора ВВЭР-1000

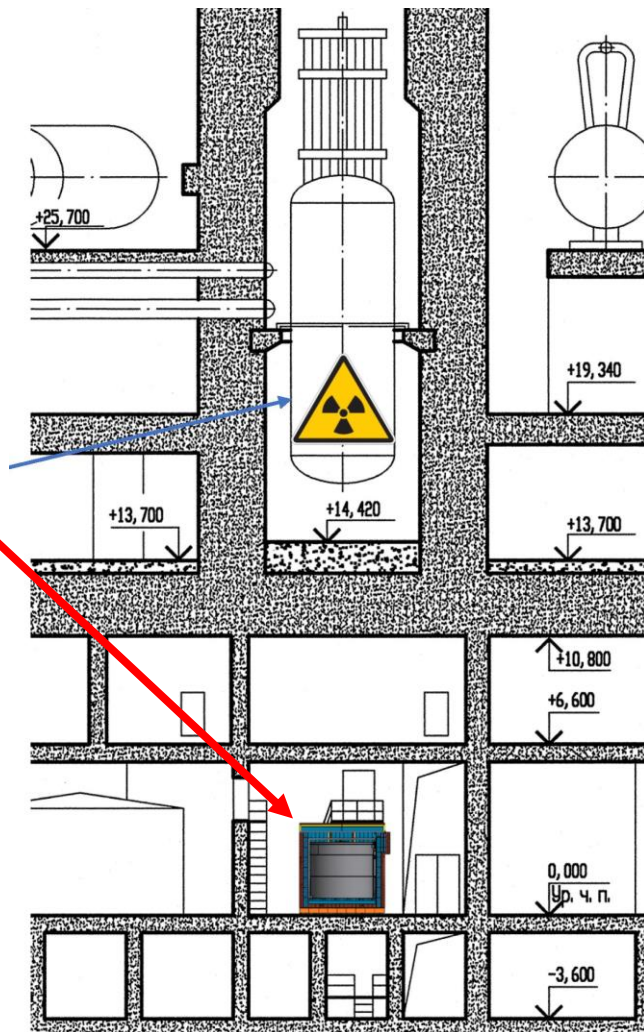
Получены оценки чувствительности детектора iDREAM к изменению мощности реактора за 2-, 4- и 6-часовые интервалы набора статистики

Детектор iDREAM

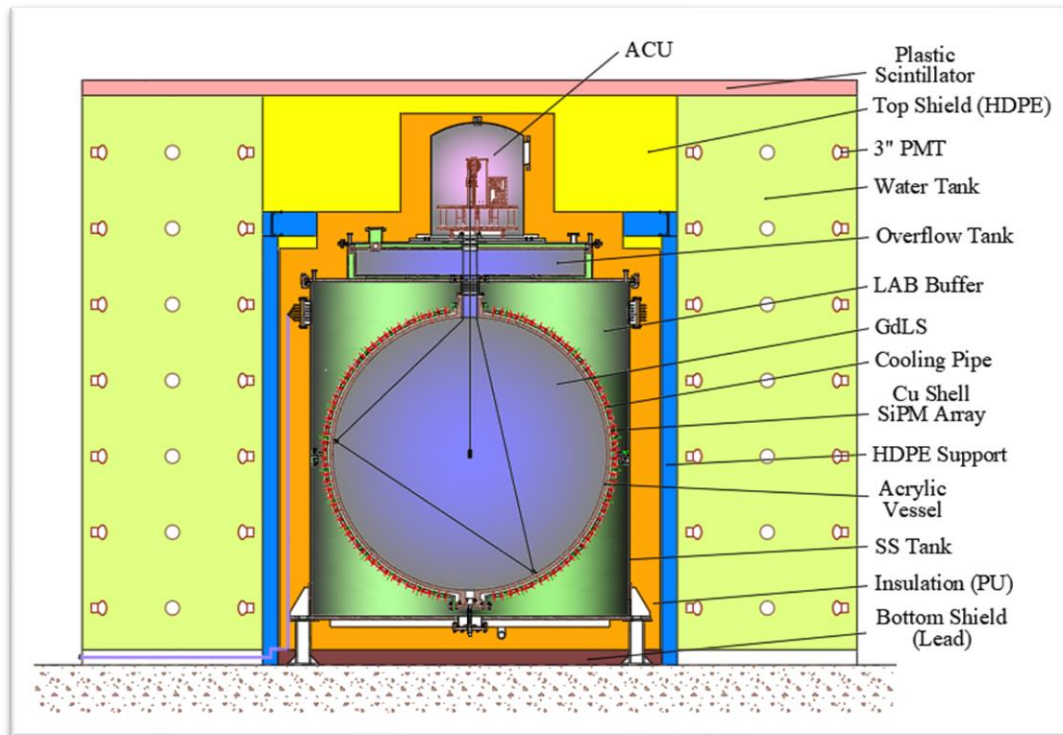


Демонстрационный эксперимент по контролю работы ядерных реакторов с помощью нейтринных детекторов

3 ГВт ВВЭР реактор  
3-й энергоблок  
Калининской АЭС



# Детектор ТАО (эксперимент JUNO, Китай)



**Обеспечение эксперимента JUNO опорным экспериментальным (модельно независимым) спектром реакторных антинейтрино**

Группа из НИИЯФ МГУ отвечает за светодиодную калибровочную систему (оборудование, ПО, моделирование, анализ данных).

**2024: работы по сборке детектора на Тайшаньской АЭС**



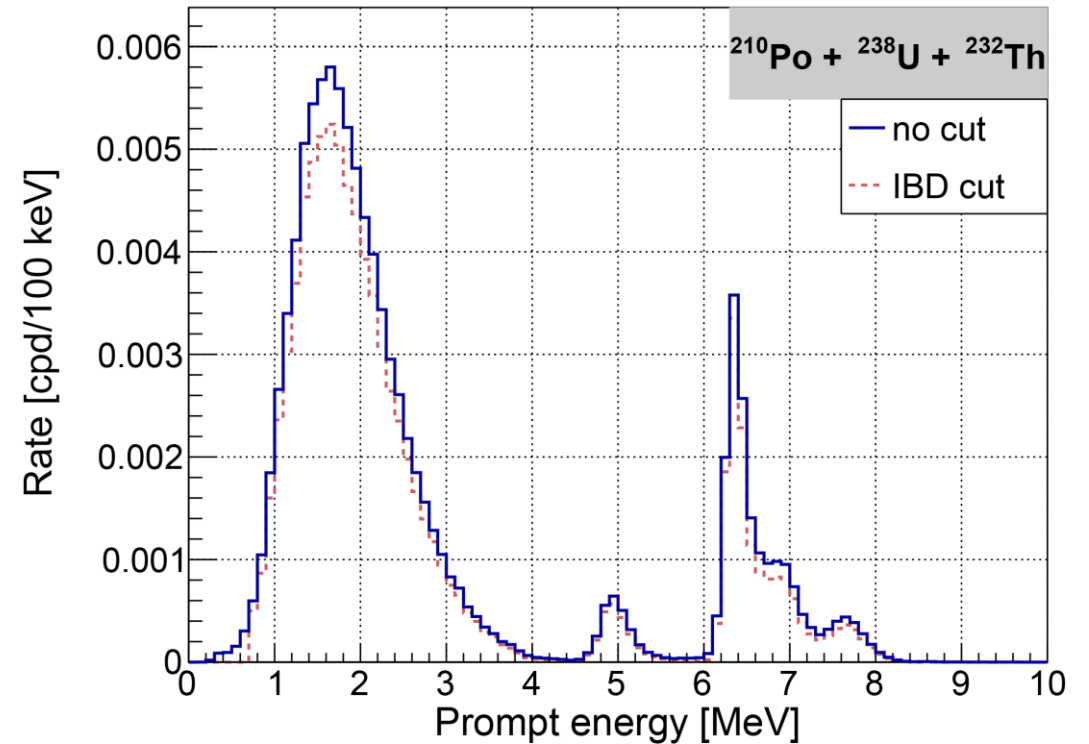
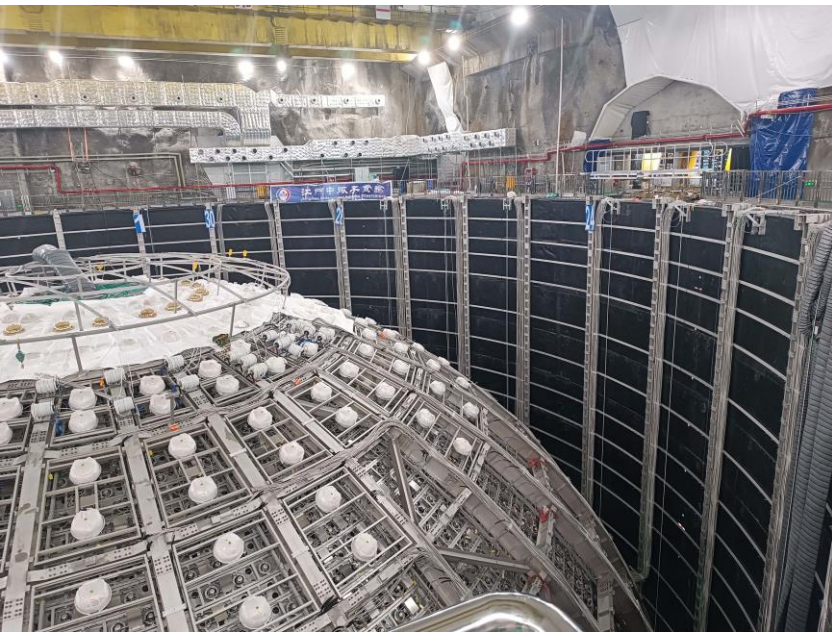
**Работы по сборке детектора ТАО на Тайшаньской АЭС**

В 2024 г. завершена проверка светодиодной калибровочной системы, включая проведение тестовых калибровок с её помощью. Прототип и иное оборудование детектора, включая калибровочные системы, перевезены на АЭС Тайшань, где ведется сборка детектора ТАО

**Сотрудники НИИЯФ МГУ принимают активное личное участие в этой работе. Окончание сборки установки и начало ввода её в эксплуатацию намечено на июнь-июль 2025 года**

# Нейтринная обсерватория JUNO (определение иерархии нейтринных масс, измерение параметров осцилляций, потока гео-нейтрино) (Китай)

В 2024 году выполнено моделирование спектров нейтронов из  $(\alpha, n)$  реакций и спектров сопутствующих гамма-квантов, возникающих при переходе конечных ядер в основное состояние, для цепочек распадов  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{238}\text{U}$  и  $^{210}\text{Po}$  в сцинтилляторе детектора JUNO. Написан Монте-Карло генератор, запускающий в мишени JUNO нейтроны, гамма-кванты и альфа-частицы согласно спектрам, полученным по результатам моделирования в программе SaG4n.



Ожидаемый полный спектр  $(\alpha, n)$  фона в детекторе JUNO. Учтены вклады от цепочек распадов  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{238}\text{U}$  и  $^{210}\text{Po}$  с весами, соответствующими прогнозируемым скоростям счёта. Сплошная голубая линия показывает спектр до применения критериев отбора событий обратного бета-распада, а пунктирная красная – после их использования.

Подготовлена статья «Simulation of the background from  $^{13}\text{C}(\alpha, n)^{16}\text{O}$  reaction in the JUNO scintillator». Завершается внутреннее рецензирование в коллаборации JUNO

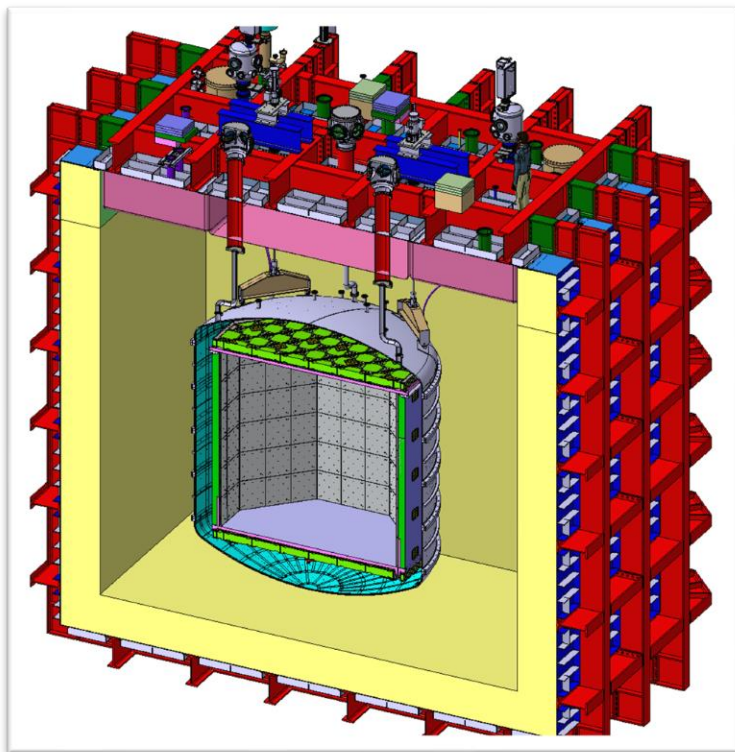


# Поиск частиц тёмной материи в эксперименте DarkSide (Италия)

**Цель:** прямая регистрация частиц тёмной материи

**Метод:** наблюдение рассеяния частиц тёмной материи на ядрах и электронах мишени **в двухфазной аргоновой время-проекционной камере (LAr-TPC)**

## Вклад группы из НИИЯФ МГУ (2024)



Финальная версия конструкции  
Начало эксперимента – 2027 год

- 1) Расчёт фона от  $(\alpha, n)$  реакций, протекающих в материалах детектора из-за наличия урана и тория; разработка ПО для расчётов (NeuCBOT); анализ доступности и качества данных по  $(\alpha, n)$  реакциям (одна публикация практически готова к отправке в журнал, ещё одна публикация в стадии подготовки текста и третья в планах)
- 2) **Оценка чувствительности детектора DarkSide-20k к поиску лёгких частиц тёмной материи с массами менее  $10 \text{ ГэВ}/c^2$**   
**DarkSide-20k sensitivity to light dark matter particles. Commun Phys 7, 422 (2024)**
- 3) Разработка компактного генератора нейтронов для калибровки детектора
- 4) Создание технологии получения ультранизкофонового титана в промышленных масштабах в России с целью изготовления из него элементов низкофоновых детекторов, в частности, криостата установки DarkSide-LowMass

## Состав группы (февраль 2024)

- Научные сотрудники : Чепурнов А.С., Громов М.Б.
- Аспиранты: Чашин С.М. , Стриж М.А.
- 4 студента специалитета
- 2 студента магистратуры

Работы ведутся в тесной кооперации  
с коллегами из следующих организаций:

- Объединённый институт ядерных исследований – Borexino, DarkSide, JUNO / TAO
- Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт» - Borexino, DarkSide, iDREAM
- Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева – DarkSide
- Белгородский государственный национальный исследовательский университет – DarkSide

---

---

Спасибо за внимание!