

Первые результаты эксперимента JUNO

26 августа 2025 года после девяти месяцев заливки и тестирования запущен основной жидко-сцинтилляционный детектор в подземной нейтринной обсерватории JUNO. Уникальные размеры детектора и эффективная система сбора и обработки данных позволили уже 19 ноября 2025 года опубликовать первые результаты измерений, имеющие фундаментальный характер (<https://arxiv.org/abs/2511.14593>). Менее чем за три месяца проведено одновременное и наиболее точное на сегодняшний день измерение параметров нейтринных осцилляций Δm_{21}^2 и $\sin^2 \theta_{12}$ ($\Delta m_{21}^2 = (7.50 \pm 0.12) \times 10^{-5} \text{ эВ}^2$ и $\sin^2 \theta_{12} = 0.3092 \pm 0.0087$). Ошибка на первый параметр уменьшилась с 2.5% (опубликовано экспериментом KamLAND) до 1.55%, а на второй – с 4.6% (совместный анализ экспериментов KamioKande и SNO) до 2.8%. Увеличение точности по обоим величинам примерно в 1.6 раза произошло за рекордно короткие сроки по сравнению со временем наблюдения 10-15 лет, которое требовалось экспериментам-предшественникам. Полученные данные подтверждают сделанные ранее расчёты чувствительности детектора JUNO к осцилляционным параметрам. Данный факт является прекрасной демонстрацией современного подхода при проектировании, строительстве и запуске сложных и дорогих установок, включающего глубокое и всестороннее математическое моделирование как самого детектора, так и процессов в нем. Первые результаты показывают правильность выбранной стратегии при создании детектора и готовность экспериментального комплекса JUNO для решения основной задачи – определения иерархии (порядка) нейтринных масс.

Запуск детектора JUNO и результаты первых измерений являются итогом серьёзной и плодотворной международной научной кооперации. Идея эксперимента была предложена около 20 лет назад, проект был одобрен для реализации в Китае в 2013 году. Строительство подземных сооружений и параллельная разработка инфраструктуры и элементов детектора стартовали в 2015 году. Над реализацией проекта трудились учёные из Китая, России, Италии, Франции, Германии и других стран Европы, Америки и Азии, имеющие опыт создания таких нейтринных детекторов, как Daya Bay, Borexino и Double Chooz. На сегодня в эксперименте участвуют более 700 учёных и студентов из 74 институтов и университетов, представляющих 17 стран и территорий.

Детектор JUNO расположен в южной китайской провинции Гуандун не далеко от города Кайпин. Для размещения детектора была построена новая подземная лаборатория под горой Даши (Dashi Hill), которая равноудалена на 52.5 км от двух новых АЭС Тайшань и Янцзян, расположенных на побережье Южно-Китайского моря. Ядерные реакторы АЭС служат для детектора JUNO высокоинтенсивными источниками антинейтрино. Размещение подземной лаборатории на столь своеобразном расстоянии продиктовано наличием на таком удалении от станций первого осцилляционного максимума, определяемого как раз параметром Δm_{21}^2 . Антинейтрино регистрируется в детекторе с помощью реакции обратного бета-распада. При номинальной мощности всех реакторов двух АЭС детектор способен видеть около 50 антинейтрино в день в полном объёме сцинтилляционной мишени, которая имеет форму шара с радиусом 17,7 м. При этом установка почти до самого верха заполняет подземный зал цилиндрической формы с диаметром основания 43.5 м и чуть большей высотой. В состав экспериментального комплекса входит так же малый, т.н. ближний, детектор антинейтрино ТАО, размещённый в помещениях первого энергоблока АЭС Тайшань за биологической защитой на расстоянии 44 метра от центра активной зоны реактора. Детектор ТАО предназначен для

измерения модельно-независимого исходного спектра антинейтрино и необходим для решения основной физической задачи эксперимента JUNO - определение иерархии нейтринных масс.

От МГУ в эксперименте JUNO с 2016 года участвуют две группы: группа профессора физического факультета МГУ Александра Ивановича Студеникина и группа ведущего научного сотрудника ОЭПВАЯ НИИЯФ МГУ Александра Сергеевича Чепурнова. В работах активно принимают участие студенты и аспиранты физического факультета МГУ. Сотрудники НИИЯФ в тесной кооперации с коллегами из ОИЯИ, принимали участие в разработке и изготовлении электроники для установок JUNO и ТАО, создании системы калибровки детектора ТАО, участвовали в сборке прототипа малого детектора, а затем в финишной сборке и настройке детектора ТАО на атомной станции. Под руководством А.С. Чепурнова и М.Б. Громова студенты и аспиранты занимались расчётом и моделированием фоновых условий в детекторе JUNO, созданием моделей элементов детектора ТАО и обработкой его предварительных данных. В настоящее время в связи с началом измерений и набора статистики активность группы сместилась в область анализа данных. Работы групп финансируются в 2024-2026 гг. по государственному проекту «Наука» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (контракт № 075-15-2024-541).

Эксперимент JUNO успешно стартовал! Все системы детектора рассчитаны на 30 лет непрерывного набора данных. Точность измерения параметра Δm_{21}^2 в ближайший год должна перешагнуть через уровень в 1%, а примерно через два года то же самое произойдёт со вторым параметром $\sin^2 \theta_{12}$. Параллельно с похожей точностью будет измерен ещё один параметр – разность квадратов масс нейтрино Δm_{31}^2 . Через пять-шесть лет можно ожидать результатов определения этих физических величин с субпроцентной точностью. По вопросу иерархии нейтринных масс JUNO сможет дать ответ на уровне достоверности 3σ через семь-восемь лет. На масштабе набора данных в течении ближайших нескольких лет могут появиться результаты по измерению солнечных ^7Be - и *рер*-нейтрино. Ожидаются данные и по регистрации гео-нейтрино, поиску распадов нуклонов и сигналов от вспышек сверхновых. У эксперимента JUNO насыщенная и крайне интересная программа фундаментальных исследований. Участие МГУ в эксперименте JUNO открывает уникальную возможность для участия студентов и аспирантов физического факультета МГУ в самом масштабном на сегодня нейтринном эксперименте мирового уровня, направленном на исследования свойств нейтрино, физики космических частиц, геофизики, астрофизики и явлений за пределами Стандартной модели.

