

Borexino/DarkSide

Вторая фаза эксперимента Borexino: солнечные нейтрино, гео-нейтрино, стерильные нейтрино, темная материя.

Детектор Борексино является первым жидкостцинтилляционным детектором, способным регистрировать низкоэнергетичные нейтрино в режиме реального времени. Борексино произвел прямые наблюдения ${}^7\text{Be}$, p-p и ${}^8\text{B}$ нейтрино от Солнца и обеспечил доказательства наличия переходной области между вакуумными осцилляциями и осцилляциями в веществе в рамках МСВ/LMA-решения проблемы солнечных нейтрино. Среди других успехов коллаборации следует отметить первое подтверждение существования геонейтрино, модельно-независимые ограничения на поток антинейтрино при малых энергиях, подтверждение отсутствия суточных вариаций и наличия сезонных вариаций потока бериллиевых нейтрино. Получены лучшие на сегодня ограничения на эффективный магнитный момент солнечных нейтрино и на время жизни электрона по отношению к распаду $e \rightarrow \nu\gamma$. В рамках современного “многосигнального” подхода к астрофизическим событиям выполнен поиск нейтрино в совпадении с гравитационными всплесками и всплесками гамма-активности, получены ограничения на поток нейтрино, связанных с этими событиями.

Наиболее важной из стоящих перед экспериментом задач является измерение потока солнечных нейтрино от CNO-цикла. Предсказания величины этого потока значительно различаются (30-40%) для двух типов солнечных моделей, в отличие от других потоков солнечных нейтрино, поэтому измерение потока CNO-нейтрино даже с умеренной точностью способно помочь устранению неоднозначности в выборе моделей. Для анализа принципиально значимым является достижение низкого счета от событий распада ${}^{210}\text{Po}$ с целью определения скорости счета родительского ${}^{210}\text{Bi}$, дающего главный вклад в остаточный фон, коррелирующий со спектром электронов отдачи от CNO-нейтрино. На протяжении первой фазы эксперимента, а также в начале второй фазы, наблюдались значительные флуктуации счета событий распада ${}^{210}\text{Po}$, связанные с конвекционными потоками внутри объема сцинтиллятора. Поэтому было принято решение о

термоизоляции детектора с целью подавления конвекционных потоков, захватывающих ^{210}Po со внутренней поверхности нейлоновой сферы. В отсутствие конвекционных потоков можно ожидать, что во внутреннем объеме останется только находящаяся в вековом равновесии с родительским ^{210}Bi часть ^{210}Po . Достаточно долгий период набора данных в стабильных условиях позволит определить уровень поддержки сигнала ^{210}Po (плато векового равновесия) с приемлемой точностью, что, в свою очередь, позволит ограничить вклад ^{210}Bi в глобальной подгонке и выделить вклад CNO-нейтрино. Механические работы по термоизоляции были выполнены в 2015 году, позднее была добавлена система активной термостабилизации в верхней части детектора. По состоянию на конец 2017 года температура в детекторе стабилизировалась. Температурный контроль ведется с помощью системы температурных датчиков, установленных в разных частях внутреннего объема детектора. Как результат температурной стабилизации, стабилизировался также и счет событий ^{210}Po , что делает реализуемой задачу измерения потока CNO-нейтрино.

Точность измерения потока $\bar{\nu}\nu$ -нейтрино все еще может быть улучшена при включении данных первой фазы эксперимента в анализ. На сегодня анализ низкоэнергетической части данных для первой фазы эксперимента не проводился в связи с выбранным ранее подходом к отбору данных – один из методов отбора (а именно “слабая” альфа-бета дискриминация) искажал спектр при низких энергиях, в связи с чем порог анализа выбирался выше граничной энергии электронов отдачи для $\bar{\nu}\nu$ -спектра. Нашей группой разработан подход без использования подавления вклада от альфа-частиц, успешно примененный при анализе данных второй фазы эксперимента. С учетом лучшего энергетического разрешения на начальной стадии работы детектора, мы ожидаем улучшение точности измерения потока $\bar{\nu}\nu$ -нейтрино до 6-7% при включении в анализ данных первой фазы эксперимента.

Еще одной важной задачей для второй фазы эксперимента будет улучшение точности измерения потока геонейтрино. Для этого предполагается отказаться в анализе данных от пространственного отбора событий (это практически удвоит доступную статистику) и улучшить отбор событий, коррелированных с космическими мюонами (на настоящий момент использовалось простое мюонное вето, приводившее к потере около 10%

статистики). Как следствие отсутствия пространственного отбора, в наблюдаемом антинейтринном спектре появится вклад от внешнего фона, природа которого на настоящий момент не установлена. Работа над установлением источника данного фона и включение его формы в спектральный анализ входит в план работ на ближайшее время.

Помимо этого, данные Борексино будут использованы для изучения нестандартных вкладов во взаимодействия нейтрино, по отклонению формы спектра электронов отдачи от предсказываемого стандартной моделью.

В Борексино предполагается осуществить измерения с антинейтринным источником на основе Ce-144 (программа CeSOX), размещенным вне детектора. Источник с активностью около 100 кКи будет подготовлен на заводе Маяк к апрелю 2018 года. Подготовка оборудования для размещения источника во внешнем тоннеле под детектором и проведения калориметрических измерений завершена. Кроме того, изготовлена биологическая вольфрамовая защита. Коллаборация готова к анализу и обработке результатов непосредственно после начала набора данных.

В отношении программы исследования темной материи, наша группа принимает участие в коллаборации DarkSide , выделившейся из коллаборации Борексино в самостоятельную группу в связи с масштабностью проекта. Прототип детектора DarkSide (DarkSide-50 или DS-50) успешно набирает данные с ноября 2013 года. Конструкция полномасштабного 20-тонного детектора (DS20k) находится на стадии детальной проработки, опубликован проект и физическая программа исследований. Благодаря многотонному масштабу мишени из подземного аргона, ожидаемая чувствительность для WIMP -нуклонного сечения находится на уровне 10^{-47} см^2 для нескольких лет набора данных.

Достигнут существенный прогресс в во всей цепи производства низкоактивного аргона (LRAr), как в части Urania (субпроект по добыче “подземного” аргона), так и в части Aria (субпроект по изотопному разделению).

В апреле 2015 криостат DS50 был заполнен 153 кг “подземного” аргона (UAr), первым результатом было измерение содержания

радиоактивного аргона-39, которое оказалось в 200 раз ниже, чем в “атмосферном” аргоне (Aar). В режиме “поиска темной материи” экспозиция (2616±43 кг дней) позволила получить предел на спин-независимое WIMP-нуклонное сечение рассеяния 2.0×10^{-44} см² (для WIMP массой 100 ГэВ). В настоящее время детектор DS-50 продолжает набор данных, набранная экспозиция соответствует 650 дням живого времени, данные находятся в процессе подготовки к “слепому” анализу.

Группа из ОИЯИ, обладая большим опытом работы на низкофоновом детекторе Bogerino, планирует принять участие в обработке данных второй фазы эксперимента с упором на измерение гео-нейтрино, улучшения измерения потока солнечных нейтрино из pp-реакции, а также в новых измерениях с антинейтринным источником в рамках проекта SOX. На установке DarkSide предполагается участие в анализе данных с целью экспериментального уточнения формы спектра аргона-39, улучшения описания энергетической шкалы с помощью аналитического аппарата. Группа также принимает участие в моделировании компонент детектора DS20k методом Монте Карло, в частности моделирование SiPM, моделирование радиационного захвата нейтронов на элементах конструкции с целью выбора оптимальной конфигурации с точки зрения фонов. Мы также принимаем участие в оценке чувствительности детектора к вспышкам сверхновых.

osmirnov@jinr.ru