

Автор: Андрей Соколов

5 мая 2023

В России готовят федеральную программу исследований нейтрино



Ученые Московского инженерно-физического института, Объединенного института ядерных исследований, Института ядерных исследований РАН и НИЦ «Курчатовский институт» работают над проектом федеральной научно-технической программы исследований в области физики нейтрино до 2030 года. Зачем для маленькой частицы нужна большая программа, объясняет Сергей Троицкий, член-корреспондент РАН, главный научный сотрудник отдела теоретической физики ИЯИ РАН.



— Актуальность федеральной программы в области нейтрино и астрофизики частиц определяется двумя основными факторами. Во-первых, в мире эта область науки

революционно развивается и, по моему мнению, обгоняет и астрономию, и коллайдерную физику частиц по темпу получения новых знаний об устройстве макрои микромира. Вторых, это одно из немногих направлений фундаментальной физики, в котором Россия с самого его зарождения сохраняет лидерство. Во многом — благодаря существенным вложениям в создание крупномасштабных установок. Чтобы удержать позиции, требуется обновление этой инфраструктуры и новые эксперименты.

В 1970-е, в период формирования ИЯИ РАН, в Баксанском ущелье в Приэльбрусье был построен комплекс подземных низкофоновых лабораторий с нейтринными телескопами. С 1980 года в институте ведутся работы по детектированию мюонов и нейтрино на Байкальском глубоководном нейтринном телескопе. Метод регистрации предложили Моисей Марков и Игорь Железных. На Байкале его удалось реализовать впервые, теперь он используется во всех нейтринных телескопах высоких энергий.

Нейтринные телескопы долго строятся, а затем годами набирают статистику. В 2013 году эксперимент IceCube на Южном полюсе объявил об открытии астрофизических нейтрино высоких энергий, и до 2021 года все данные о таких нейтрино шли с этой установки. В 2022 году эксперимент Baikal-GVD дал первое независимое подтверждение самого существования таких нейтрино, что является ключевым моментом всей нейтринной астрономии — в науке принято доверять, но проверять. Байкальский телескоп сейчас наращивает рабочий объем. Для одного канала регистрации нейтрино он уже догнал IceCube, для других должен догнать в течение нескольких лет. Важное его преимущество по сравнению с ледовым IceCube — вода в жидком состоянии. Водный эксперимент позволяет определять направление прихода нейтрино примерно в четыре раза точнее. Это значит, что в четыре раза быстрее мы будем получать информацию о пока неизвестных, несмотря на 10 лет работы IceCube, экстремальных астрофизических источниках, способных родить нейтрино столь высоких энергий.

Вместе с нейтрино должны рождаться и фотоны таких же высоких энергий, и развитие нейтринной астрономии в последние годы потянуло за собой развитие гамма-астрономии очень высоких энергий. Тут нужны не обычные телескопы, а огромные установки, регистрирующие результаты взаимодействия гамма-квантов в атмосфере Земли. В России таких две: TAIGA в Тункинской долине и «Ковер-2» в Баксанской нейтринной обсерватории. Они дополняют друг друга, потому что работают разными методами и частично в разных энергетических диапазонах. Основной их конкурент — огромная китайская установка LHAASO, в работе которой, кстати, участвуют и ученые ИЯИ РАН.

Нужны ли тогда небольшие российские установки? Приведу недавний пример. 9 октября 2022 года произошел уникальный космический гамма-всплеск, такие бывают раз в десятки тысяч лет. LHAASO зарегистрировала фотоны с энергией до 18 ТэВ. Земля повернулась, источник ушел из поля зрения китайской установки, и «Ковер-2» зарегистрировал фотон с энергией 250 ТэВ. А пока очередь дошла до мексиканской установки HAWC, вспышка закончилась, и там вообще ничего не увидели. Вывод: для гамма-астрономии очень высоких энергий обязательно нужны установки, разнесенные по географической широте, они дополняют друг друга. Китай, Бурятия, Кабардино-Балкария и Мексика — не полное покрытие, но уже кое-что.

С точки зрения запросов гамма-астрономии Тянь-Шаньская научная станция ФИАН интересна своей локацией высоко в горах, притом с развитой инфраструктурой. Но там совершенно точно нужны радикально новые инструменты. Тут должна эксплуатироваться именно высота над уровнем моря. Один из вариантов — разрабатываемый в ФТИ им. Иоффе РАН высокогорный низкопороговый гамма-телескоп ALEGRO, работающий с фотонами от нескольких ГэВ, сигналы от которых можно регистрировать или со спутника, или высоко в горах, ниже они просто не долетают из-за атмосферы. Это проект следующего поколения, важность его обусловлена тем, что он будет иметь чувствительность лучше современного спутникового телескопа Fermi LAT.

Третья составляющая современной многоканальной астрономии вдобавок к нейтрино и гамма-квантам — космические лучи. Они регистрируются на Якутской комплексной установке ШАЛ (широкого атмосферного ливня) и в эксперименте «НЕВОД» в МИФИ, но также и на «Ковре-2», и на комплексе установок в Тунке, работающих вместе с TAIGA. Основное, что их объединяет и что будет востребовано для задач физики частиц, — это возможность одновременно изучать разные составляющие широкого атмосферного ливня — каскадного процесса, создаваемого космическими лучами в атмосфере. Совместными усилиями этих дополняющих друг друга по технике и энергетическим диапазонам экспериментов должен быть получен ответ о причинах загадочных расхождений между теорией и наблюдениями в развитии ШАЛ. Это позволит пощупать взаимодействие элементарных частиц в режимах, недоступных даже Большому адронному коллайдеру.

Изучению свойств нейтрино как частицы в программе тоже отведено достойное место. Одна из наиболее интересных нерешенных проблем — поиск нейтрино четвертого типа, так называемого стерильного. В этом ученые сотрудничают с предприятиями «Росатома». На Калининской АЭС проводится целый ряд экспериментов, один из которых, DANSS, получил лучшие в мире ограничения на параметры стерильного нейтрино. При этом

остаётся открытой область параметров, мотивированная результатами экспериментов «Нейтрино-4» на реакторе в Димитровграде и BEST в БНО ИЯИ РАН (для него в Димитровграде изготовили источник).

Наверное, самый масштабный проект программы, нацеленный на более долгий срок, — Большой Баксанский нейтринный телескоп. Баксанская нейтринная обсерватория — первая в мире и до сих пор одна из немногих подземных лабораторий глубокого залегания (четырёхкилометровый тоннель под горой Андырчи), построенная специально для нужд нейтринной физики, а не в заброшенной шахте, автомобильном тоннеле и т. п. Глубина залегания и удаленность от ядерных реакторов обеспечивают очень низкий уровень фона. И уникальные результаты. Например, доказано экспериментально, что источником солнечной энергии являются термоядерные реакции. Новый многоцелевой нейтринный детектор будет использоваться для решения задач физики частиц, астрофизики, космологии, для изучения внутреннего строения Земли.

Фундаментальная наука, расширение границ наших знаний об окружающем мире требуют исследований на пределе возможностей человечества, ведь то, что легко открыть, уже открыто. В особенности это заметно, когда речь идет о сложнейших, огромных и притом прецизионных установках, подобных упомянутому выше. Каждый следующий шаг на переднем крае науки требует новых технологий для производства и работы уникального экспериментального оборудования. Сюда же относятся и информационные технологии для обработки данных. Часто обделенная бюджетом, фундаментальная наука вынуждена экономить, а значит, эти новые технологии будут вдобавок не слишком дорогими.

Кто мог подумать, что изобретенная в ЦЕРНе для анализа результатов исследований электрослабого взаимодействия гипертекстовая компьютерная сеть вырастет во Всемирную паутину, интернет, в значительной степени определяющий жизнь всего человечества? Или что производство сверхпроводящих магнитов для Большого адронного коллайдера приведет к радикальному снижению цен на магниторезонансную томографию, для которой нужны аналогичные, только небольшие, магниты? У нейтринных экспериментов уже есть интересные практические приложения, связанные с контролем ядерных реакторов, исследованиями Байкала и т. д., но самые интересные и неожиданные — еще впереди.

Источник : газета Страна РОСАТОМ №16 май 2023

<https://strana-rosatom.ru/2023/05/05/v-rossii-gotovyat-federalnuju-progra/>