

Проекты XXI века

Новая физика... у полярного круга

Быстро развивающаяся физика элементарных частиц все больше вызывает к жизни новые, небольшие, специализированные конференции, направленные на обсуждение наиболее актуальных и современных проблем физики частиц. В ряду такого сорта международных конференций уже не первый год достойное место занимает NANP в Дубне, BEYOND в Германии и т.п., главным объектом обсуждения на которых является так называемая новая физика или физика за рамками Стандартной модели. Нелишне сказать, что 5-я конференция из серии NANP (Non-Accelerator New Physics) в 2003 году в Дубне будет посвящена 90-летию со дня рождения Бруно Понтекорво.

В начале июня 2002 года в финском городе Оулу, пожалуй мало кому известном в России, расположенном в непосредственной близости к северному полярному кругу, прошла третья конференция по вопросам физики за рамками Стандартной модели (BEYOND'02).

Город Оулу был основан в 1605 году шведским королем Карлом Девятым и насчитывает ныне примерно 120 тысяч жителей (шестой по величине город в Финляндии). Это быстрорастущий и развивающийся университетский город на самой северной окраине Ботнического залива (занятно, что бюджет университета в Оулу, на первый взгляд, провинциального, достигает 200 миллионов евро, что почти на порядок больше бюджета ОИЯИ). Город наполнен солнечным светом и многочисленными речками и озерами, многократно и живописно отражающими голубизну северного чистого неба. Люди в Оулу никуда не торопятся, все делают спокойно, с достоинством и с осознанием своей значимости. Видно, что им приятно и комфортно жить и работать в этом городе. Такое впечатление в целом остается от Финляндии (по крайней мере, у русского человека).

Конференция BEYOND'02 проходила в специально построенном для различного типа совещаний PОНТО центре, недалеко от зоны отдыха Nallikari, прямо на берегу Ботнического залива и примерно в 3 км от центра города Оулу. Для 80 участников здесь были созданы идеальные условия для плодотворной работы и полноценного отдыха.

Традиционно научная программа конференций BEYOND охватывает почти все наиболее актуальные вопросы современной физики частиц. Что неудивительно, поскольку практически все они тесно связаны друг с другом. На этой конференции главный упор в теоретическом плане был сделан на новые направления в области расширения Стандартной модели как по пути великого объединения и суперсимметрии, так и в направлении теорий с дополнительными размерностями. Эти вопросы обсуждались в выступлениях Н.Мавроматоса (из Оксфорда и ЦЕРН), П.Ната (Бостон), Э.Ма (Риверсайд), И.Антониадиса (ЦЕРН) и других.

Феноменологические аспекты современных М-теорий и фундаментальных симметрий рассматривались в докладах А.Фараджи (Миннесота), М.Цветич (Пенсильвания), М.Кирбах (Закатекас, Мексика), Ю.Камышкова (Кноксвил), и М.Мориты (Токио). Необычная концепция массивных майорановских частиц была предложена в выступлении Д.Ахлувалия (Закатекас, Мексика). Обсуждались новые результаты поиска бозонов Хиггса, суперсимметричных частиц, нарушения так называемой R-четности, лептокварков и возбужденных состояний фермионов на коллайдерах LEP и HERA.



На любой конференции, обсуждающей вопросы новых явлений в физике частиц, интригующая проблема невидимой или темной материи во Вселенной занимает одно из центральных мест. Это и понятно, поскольку для ее разумного объяснения необходимо привлечь такие частицы, которым не удастся найти места в рамках Стандартной модели. С точки зрения теории проблема темной материи обсуждалась в докладах Д.Нанополоуса и Р.Арновитта (Техас), В.Беднякова (Дубна) и Р.Виолье (Кейптаун). Уже полученные результаты и перспективы поиска частиц темной материи с помощью сцинтилляционных (эксперимент DAMA) и германиевых детекторов

большого объема (проект GENIUS) были рассмотрены Р.Бернабей (Рим) и И.Кривошеиной (Гейдельберг и Нижний Новгород).

Сегодня (и, пожалуй, в ближайшей разумной перспективе) только эти два



эксперимента за счет большой массы детектора в состоянии действительно обнаружить частицы темной материи путем наблюдения эффекта годовой модуляции измеряемого сигнала от взаимодействия частиц темной материи с веществом детектора. Коллаборация DAMA уже на протяжении нескольких лет утверждает, что такой эффект она видит и дает оценку массы частиц темной материи примерно 50 ГэВ/с. К сожалению, другие тонкие эксперименты, с крайне дорогостоящими и технически очень прихотливыми детекторами (например, с криогенными германиевыми детекторами с одновременным съемом ионизационного и теплового или светового сигнала), по-видимому, не будут в состоянии зарегистрировать модуляционный сигнал по причине слишком малой массы детектирующего вещества.



Современные астрофизические методы наблюдения достигли столь высокой точности, что, оказывается, неожиданно много важной информации фундаментального плана (например, о плотности барионов и всего вещества во Вселенной, значениях космологической постоянной и постоянной Хаббла и т.п.) можно извлечь из анализа различных характеристик так называемого космического микроволнового фонового излучения. Эти вопросы были рассмотрены Н.Сугиямой (Токио). Астрофизические источники физической информации очень быстро занимают подобающее им место среди данных ускорительных и неускорительных прецизионных экспериментов.



Астрофизические исследования тесным образом связаны с фундаментальными проблемами физики нейтрино. Это в первую очередь касается характеристик и происхождения космических нейтрино (сверх)высоких энергий, исследование которых дает информацию о новой физике, например, путем наблюдения широких атмосферных ливней, вызываемых тау-нейтрино (Д.Фаргион, Рим). С другой стороны, космические нейтрино, взаимодействуя с реликтовыми (которые, как и реликтовые фотоны, заполняют все окружающее нас пространство), способны посредством так называемых Z-вспышек дать объяснение космическим лучам экстремально высоких энергий (С.Кац, Венгрия). Более того, оказывается, что по анализу Z-вспышек можно оценить область возможных значений нейтринных масс 0,02-2,2 эВ, которая удивительным образом согласуется с недавними оценками, полученными на основе данных коллаборации Гейдельберг-Москва (Н-М) по измерению безнейтринной моды двойного бета-распада изотопов германия-76. Потоки нейтрино от вспышек сверхновых также остаются в зоне постоянного теоретического интереса (А.Ю.Смирнов, Триест и Москва). Современный обзор теоретического понимания вопросов смешивания и спектра масс нейтрино был сделан известным специалистом в этой области профессором Р.Мохapatра (Мариленда).

Профессор Рабиндра Мохapatра с супругой беседует с профессором Риком Арновиттом. На заднем плане стоит профессор Пран Нат. Все трое являются, по существу, классиками современной физики частиц за рамками Стандартной модели.



Новые экспериментальные результаты, касающиеся вопроса осцилляций солнечных и атмосферных нейтрино, были также представлены достаточно широко. Прежде всего коллаборация SNO - Sudbury Neutrino Observatory - (М.Драговский) доложила результаты недавнего анализа процессов взаимодействия солнечных нейтрино с тяжелой водой. Был измерен полный поток активных (электронных, мюонных и тау) нейтрино, на основе которого коллаборация SNO утверждает, что на уровне достоверности в 5,3 стандартных отклонения имеет место изменение типа (борных) солнечных нейтрино. С учетом этих результатов глобальный анализ данных, касающихся нейтринных осцилляций, дает предпочтение так называемому LMA (с большим углом смешивания) варианту решению проблемы нейтринных осцилляций.

Достаточно широко обсуждались современное состояние дел и ближайшие перспективы экспериментов, направленных на дальнейшее исследование нейтринных осцилляций (KamLAND, K2K, MACRO, Super-Kamiokande и JHF-SK), а также новые проекты типа нейтринных фабрик. Например, проект KamLAND (Ф.Суекане, Япония) представляет собой реакторный эксперимент по исследованию нейтринных осцилляций на очень большой базе с 1000-тонным



жидкостинтилляционным детектором. В этом эксперименте уже после полугода непрерывных измерений будет возможно напрямую проверить LMA решение и с хорошей точностью определить параметры осцилляций. В 2002 году эксперимент начался и успешно зарегистрированы первые нейтринные взаимодействия.



После аварии 2001 года всех волнует судьба детектора Super-Kamiokande. Было отмечено, что в 2002 году начались работы по реконструкции этого уникального физического прибора, и полное его восстановление в улучшенной конфигурации ожидается до наступления 2007 года (Т.Каджита, Токио).

В выступлениях Ф.Маури (Павия) и И.Гиль-Ботелла (Цюрих) обсуждались физические возможности и положение дел на другой крупной установке - ICARUS (Imaging Cosmic And Rare Underground Signals), создаваемой в подземной лаборатории Гран Сассо (Италия) для проведения нейтринных экспериментов и поиска распада протона.



Вопрос о природе нейтрино - центральный в программе любой конференции по физике частиц и новой физике. Являются ли эти загадочные объекты майорановскими или дираковскими частицами и действительно ли они обладают ненулевыми значениями масс? Поскольку эти вопросы имеют крайне важное значение, остановимся на их обсуждении несколько подробнее. Для поиска ответов (по крайней мере, в настоящее время) нельзя обойтись без исследования так называемого безнейтринного двойного бета-распада ядер. Этот крайне редкий процесс не может иметь место в рамках Стандартной модели, где нейтрино - безмассовые частицы.

Доктор Ф.Сукане - участник проекта KamLAND (Япония), профессор О.Мануэль - известный специалист по физике Солнца (США) и профессор Х.Ф.Клапдор-Кляйнротхауз - руководитель эксперимента "Гейдельберг - Москва" с немецкой стороны.



В конце 2001 года профессор Х.Клапдор-Кляйнротхауз с сотрудниками из Института ядерной физики Макса Планка (Гейдельберг) впервые опубликовал работу, в которой приводилось положительное свидетельство в пользу существования наблюдаемого его группой безнейтринного двойного бета-распада изотопа германия с атомным номером 76. Это свидетельство было получено на основе уникальных данных, накопленных немецко-российской коллаборацией Гейдельберг - Москва. Публикация получила широкий и неоднозначный резонанс у научной общественности, поскольку положительное подтверждение этого результата имеет несомненно более фундаментальное значение для современной физики в целом, чем, скажем, обнаружение Z(W)-бозонов или топ-кварков. Достаточно сказать, что знание конкретных свойств нейтрино востребовано в ядерной физике, физике частиц, астрофизике и космологии. По этой причине безнейтринный бета-распад не мог не обсуждаться на такого сорта конференции.

Сначала сотрудник Н-М коллаборации А.Дитц изложил математические основы подхода к проблеме анализа редких процессов на малой статистике. Затем была представлена методика прецизионного определения (И.Бергстем, Стокгольм) так называемого Q-значения (полной энергии распада) изотопа Ge-76. Прецизионное значение этой величины (2039.005(50) кэВ) имеет ключевое значение в процедуре нахождения соответствующего сигнала. Известно, что для извлечения из данных собственно значения массы нейтрино необходимы ядерные матричные элементы. Этот важный вопрос всесторонне был изложен в докладе Ф.Шимковца (Братислава). В частности, было показано, что с рассчитанными автором для Ge-76 матричными элементами измеренное значение полупериода распада в 1.5×10^{25} лет дает для массы значение в области 0.5 эВ.



Уже появились первые работы (Н.Sugiyama, Токио), в которых обсуждаются новые ограничения на параметры матрицы смешивания нейтрино, следующие из данных коллаборации Н-М по обнаружению безнейтринной моды двойного бета распада. Лидер коллаборации Н-М профессор Х.Клапдор-Кляйнротхауз



также выступил с докладом, в котором, помимо всестороннего обсуждения самой процедуры регистрации безнейтринной моды распада, обсуждались перспективы будущих экспериментов в данной области. По всей видимости, эра небольших "настолевых" экспериментов прошла, и перспектива - за новыми низкофоновыми детекторами с максимально большой массой детектирующего материала.



Действительно, эксперимент Н-М успешно проводится уже более десяти лет и в течение последних девяти лет, по общему мнению, является непревзойденным лидером в области физики безнейтринного бета-распада. Среди проводящихся в настоящее время по традиционной технологии экспериментов не может составить конкуренцию Н-М эксперименту и в разумное время (10-20 лет) набрать сравнимую по объему статистику данных. Установка Н-М состоит из 5 сверхчистых детекторов промышленного производства с полной массой в 11 кг обогащенного на 86 процентов изотопа Ge-76. Она работает примерно 80 процентов времени в году, и сегодня мощность накопленных данных составляет примерно 65 кг-лет. Чувствительность германиевых детекторов 3,5 кэВ. Эффективность работы установки составляет практически 100 процентов. Она расположена в подземной лаборатории Гран Сассо и уровень фона составляет 0,17 отсчетов (кг год кэВ).

Важно отметить, что в эксперименте Н-М используется традиционная и хорошо проверенная экспериментальная методика, что обеспечивает относительно низкую себестоимость исследований, а также стабильную и длительную работу германиевых детекторов. Последнее обстоятельство имеет принципиальное значение в экспериментах, нацеленных на обнаружение и надежную регистрацию крайне малого числа полезных событий. Сам эксперимент Н-М и обработка полученных данных выглядят в настоящее время весьма убедительно. Достаточно отметить, что измеренный с хорошим разрешением спектр содержит более 1000 линий, и природа лишь нескольких из них в настоящее время еще надежно не определена (возможно, эти так называемые гамма-линии вообще в данном эксперименте были зарегистрированы впервые). Используются различные методики поиска и извлечения положительного сигнала. В непосредственной близости от Q-значения Ge-76 отсутствуют другие фоновые линии, способные привести к ошибочному заключению

Поскольку набранная статистика невелика, а ее "решающее" увеличение в данной постановке эксперимента невозможно, то в настоящее время признание или непризнание полученного результата, по существу, полностью субъективно. Тем не менее, это эффект на уровне 2,3-2,8 стандартных отклонений, то есть его обоснованность не хуже, чем в случае осцилляций атмосферных нейтрино или дефицита потока нейтрино от Солнца.

Итак, имеется первое положительное указание на ненулевую вероятность безнейтринного двойного бета распада Ge-76, на основе которого с помощью ядерных матричных элементов можно получить оценку так называемой эффективной массы нейтрино в области 0,05-0,84 эВ на 98-процентном уровне достоверности. Потенциальную важность этого результата трудно переоценить, и он постепенно становится все более известным. Как уже отмечалось, никакой другой современный эксперимент не может подтвердить или надежно опровергнуть результат эксперимента Н-М. Только сама эта коллаборация способна перепроверить свои данные с помощью модифицированной германиевой установки. При этом нет необходимости в новой технологии и новых исследованиях, не надо расширять пространство подземной лаборатории - необходимы лишь дополнительные 50-100 кг германия и примерно три года непрерывной работы. В результате будут получены такие данные, которые недвусмысленно (то есть статистически обоснованно) либо опровергнут, либо подтвердят имеющееся в настоящее время свидетельство безнейтринной моды двойного бета-распада.

Представляется очень важным в этой ситуации то, что российские ученые из "Курчатовского института" непосредственным образом (причем, с самого начала) вовлечены в этот уникальный, как теперь оказалось, эксперимент. По этой причине они имеют исключительную возможность быть не только свидетелями, но и участниками увлекательного процесса разрешения загадки безнейтринного двойного бета-распада. Ожидаемый результат должен превзойти все ожидания. С моей точки зрения, продолжить данный эксперимент с улучшенной установкой и получить в кратчайшие сроки физический результат первостепенной важности - это вопрос научного престижа России.

В заключение можно сказать, что конференция у полярного круга несомненно, внесла свой заметный вклад в плодотворный обмен идеями между учеными, чьи интересы сосредоточены на физике частиц, астрофизике и космологии. В частности, в настоящее время исследователи все больше склоняются к мнению о том, что нейтрино как очень малых, так и экстремально высоких энергий являются именно теми объектами физики элементарных частиц, которые обладают наибольшим потенциалом для новых удивительных открытий.

В. Бедняков

