

Нейтрино - это уникальная частица



В конце июня этого года прошли сессии программно-консультативных комитетов по основным направлениям деятельности ОИЯИ. Особенностью состоявшихся заседаний стала совместная сессия комитетов по физике частиц и по ядерной физике, посвященная рассмотрению программы ОИЯИ по нейтринной физике и астрофизике.

В канун проведения сессий директор ОИЯИ академик В.А. Матвеев рассказал нашему корреспонденту Е. Молчанову, почему именно это направление стало темой совместного обсуждения научных экспертов.

- Виктор Анатольевич, на майском заседании президиума РАН обсуждалось развитие астрофизики и физики элементарных частиц на новом этапе. Президент РАН академик В.Е. Фортов подчеркнул, что президиум высоко оценивает усилия коллективов российских научных центров и Объединенного института ядерных исследований, работающих в данной области, и считает целесообразным оказывать поддержку развитию соответствующих экспериментальных и теоретических исследований в России, углублению международного сотрудничества. Когда говорят о новом этапе некоего процесса, то подразумевают, что предыдущий уже завершен и впереди новые задачи...

- Это было одно из первых заседаний вновь избранного президиума новой объединенной Академии. И это важно подчеркнуть, потому что сейчас Академия наук и прежде всего её президиум выполняют важнейшую функцию - выработку экспертных решений, которые должны учитываться правительством при формировании программ фундаментальных исследований. Поэтому так важно было получить в академическом сообществе поддержку этого направления.

На этом этапе стало совершенно ясно, что астрофизика и космология развиваются в тесном сотрудничестве с физикой элементарных частиц, с фундаментальной ядерной физикой, и это на самом деле - единый научный комплекс, который обладает удивительными способностями давать предсказания в исключительно широкой области явлений. Например, в описании фундаментальных свойств материи, в частности, структуры вещества в области чрезвычайно малых расстояний. Что значит чрезвычайно малых? Это дважды нанометр, нанометр от нанометра - и такие расстояния сейчас достижимы в исследованиях на ускорителях. С другой стороны, нам стали доступны большие расстояния, сравнимые с размерами видимой нам Вселенной. Это, конечно, масштаб редкостной предсказательной силы. Физические теории, которые опираются на всю совокупность экспериментальных данных, - это, можно сказать, высочайшее интеллектуальное достижение фундаментальной науки, человеческой интеллектуальной деятельности.

- То есть можно утверждать, что стремление физиков к Великому объединению всех взаимодействий, созданию унитарных теорий, которое возникло в прошлом веке, сегодня активно развивается и уже даёт свои плоды?

- Один из наших известных дубненских физиков академик Моисей Александрович Марков стал пионером и родоначальником многих важных идей и в области нейтринной астрофизики, и в исследовании роли нейтрино в эволюции Вселенной. Тогда велись споры, что важнее - физика на ускорителях, или наблюдательная астрономия, астрофизика. Сейчас уже ясно, что это единый комплекс познания природы. И он приблизил человечество к уникальной грани - произошло объединение нашего знания о структуре материи и космологических явлениях, человечество стало понимать и даже количественно описывать то, что происходило за 10^{-35} секунды от того акта рождения, который мы сегодня называем Большим взрывом... Это, конечно, выдающееся достижение. А с другой стороны, вложения в астрофизику, физику частиц - это вложения в интеллект и фактически забота о будущем. Вкладываются огромные средства, потому что объём новых сведений, новых знаний уже сейчас очень велик и обещает важные открытия. И Дубна наложила свой отпечаток на развитие этого направления фундаментальной физики. Бруно Максимович Понтекорво здесь, в Дубне, высказал свои пионерские идеи о свойствах нейтрино, о роли нейтрино в эволюции Вселенной, о методах наблюдения и экспериментального изучения нейтрино. Его вклад в это направление, можно сказать, увековечил Дубну.

- А бозон Хиггса? Здесь тоже есть «след Дубны»?

- Стандартная модель сейчас празднует свой крупный успех в связи с тем, что на Большом адронном коллайдере, в том числе с участием дубненских и российских ученых, была открыта эта удивительная частица. А та модель, которая утвердилась благодаря открытию ЦЕРН, тоже связана с нашими дубненскими коллегами. В её развитие, формулировку основных идей очень большой вклад внесли теоретики Дубны, в частности Николай Николаевич Боголюбов и его ученики. Выдвинутая Н.Н. Боголюбовым идея перенесения явления спонтанной асимметрии из физики конденсированных сред, физики так называемого твёрдого тела в область физики элементарных частиц в свое время была очень широко осознана и дала импульс к развитию новых подходов в квантовой теории поля с учётом возможного спонтанного нарушения симметрии основного состояния.

- Какие сейчас ожидаются новые открытия?

- После открытия хиггсовской частицы, казалось бы, мы достигли этапа, когда теория может праздновать свой успех. Но на самом деле открытие Хиггса - это только часть тех проблем, которые лежат в основании этой уникальной теории. Речь идет об объединении слабых и электромагнитных взаимодействий, тесно связанных между собой благодаря спонтанному нарушению симметрии. Остается другая часть этой теории, которая описывает ядерные взаимодействия на

основе хромодинамической теории калибровочных полей, связанных с цветовым зарядом кварков и глюонов. Математическая формулировка этой теории исключительно элегантна, но сама теория несёт в себе проблемы, потому что она описывает сильные взаимодействия. Такие взаимодействия теоретически изучать очень трудно. Теория сильных связей исключительно сложна с математической точки зрения. И здесь есть целый ряд проблем, которые должны быть исследованы - в том числе и экспериментально.

Когда мы говорим о большой предсказательной силе Стандартной модели, то конечно, предполагается, что сюда надо включать и теорию гравитации Ньютона и Эйнштейна. Эта теория сейчас называется общей теорией относительности Эйнштейна и Гильберта. Её уравнения были совместно выведены этими учёными, и она действительно хороша на классическом уровне. Но когда возникает необходимость её квантового обобщения, то здесь возникают непреодолимые теоретические трудности...

Сейчас физики широко обсуждают возможное обнаружение проявления реликтовых гравитационных волн, которые возникли в первичный момент рождения Вселенной и её мощного инфляционного расширения. Эти первичные гравитационные волны оставили свой след на реликтовом газе холодных фотонов, которые существуют в космосе. А именно - на их поляризации, связанной с последними взаимодействиями, которые испытывали эти фотоны при расширении нашей Вселенной. И чтобы убедиться в наличии гравитационных волн, необходимо существенно развить нашу экспериментальную технику. Это совершенно уникальная задача экспериментальной физики, фундаментальной физики, и здесь предстоит поднять большой пласт совершенно новых проблем. Для таких институтов, как Дубна и Троицк, для наших партнёров в других научных центрах может быть на этом пути очень много интересного.

- *Вернемся к нейтрино. На многих международных конференциях, посвящённых этой тематике, где обсуждаются новые результаты и идеи, порой сенсационные, всё-таки складывается довольно мозаичная картина. Хочу вас попросить изложить вашу точку зрения, может быть, как-то свести всё воедино.*

- Нейтрино - уникальная частица. Когда-то бытовали такие досужие рассуждения: странно, что так много физики вокруг этого маленького нейтрино - частицы, настолько слабо взаимодействующей с окружающей материей, что и роль её в окружающем мире исключительно слаба. Это, мол, такое дорогостоящее любопытство учёных.

На самом деле давно уже стало понятно, начиная с фундаментальных идей Гамова, а потом и многих других учёных, - нейтрино играет колоссально важную роль в эволюции вещества во Вселенной после её расширения... Один из конкретных примеров - горение звёздного вещества при сжатии его огромными силами гравитации без нейтрино имело бы совсем иной характер. И вообще - не было бы таких объектов, как Земля, Луна, Солнце, и мир был бы совсем другим. Нейтрино поддерживает звёздное горение под давлением гравитационных сил, продлевает жизнь звёзд, вынося из их глубин энергию нейтринного излучения, слабо взаимодействующего с атмосферой самой звезды. И поэтому такой своеобразный золотничок (мал да дорог!) позволяет звёздам гореть достаточно долго, нарабатывать в том числе и тяжёлые элементы, из которых состоит космос и сложилась наша Земля. Когда меня спрашивают, как устроена наша Вселенная или что такое нейтрино, я отвечаю так. Надо выйти на воздух и посмотреть на ночное небо. Звёзды на нём - это печурки, в которых горит звёздное вещество, а нейтрино делает самую главную работу: выносит оттуда энергию, чтобы звезды горели и не взрывались, иначе не было бы всей этой красоты.

Нейтрино обладает совершенно необыкновенными физическими свойствами. Например, осцилляции нейтрино. Есть три типа этих частиц по Стандартной модели: электронные, мюонные и тау - имена им даны по ассоциации с теми заряженными лептонами, которые участвуют в соответствующих реакциях вместе с нейтрино. Так вот, нейтрино разного типа в процессе эволюции всё время превращаются, переходят из одного типа в другой. Скажем, нейтрино электронные, испущенные в процессе термоядерного синтеза на Солнце, долетев до Земли, успевают превратиться в нейтрино других типов - мюонные и тау, и мы на Земле, когда ищем электронные нейтрино, не досчитываемся их по количеству. Долгое время эта загадка озадачивала физиков: неужели Солнце не является природным ядерным котлом и что-то там не то происходит? И так было до тех пор, пока здесь, в Дубне, Понтекорво не высказал идею, исходящую из совершенно глубоких качественных физических представлений, - что бы могло происходить с нейтрино, которое является такой уникальной частицей - абсолютно нейтральной, слабо взаимодействующей с веществом?.. Такой идеей стала возможность взаимопревращения между частицами. Благодаря этому и удалось объяснить недостаток солнечных нейтрино - в экспериментах на ускорителях, при изучении процессов, происходящих в атомных реакторах...

Но с другой стороны физики видят, что чего-то ещё не хватает. И когда с большой точностью изучают явления, происходящие в недрах реактора, и когда исследуют процессы столкновений частиц, ускоряемых в физических лабораториях на ускорителях. То же ощущение и при изучении проблем космологии, рождения космических элементов в процессе нуклеосинтеза горячей расширяющейся Вселенной. Оказывается, есть необходимость поиска новых видов нейтрино, которые еще слабее взаимодействуют с веществом, чем известные нам нейтрино, о которых мы с вами говорили. Эти новые типы нейтрино Понтекорво назвал стерильными, то есть они ещё слабее обычных взаимодействуют с веществом. И их присутствие объяснило многие другие загадки. Однако изучение такого типа нейтрино - это очень непростая задача. Поэтому многие лаборатории мира сейчас затрачивают огромные средства и главным образом думают, как открыть эту частицу и обнаружить её свойства, столь важные для объяснения многих явлений эволюции материи во Вселенной.

- *Но роль нейтрино этим не ограничивается? Ведь оно как-то связано с тёмной материей и тёмной энергией?*

- Все мы уже знаем, что астрофизика предсказывает наличие во Вселенной так называемой тёмной материи и того, что называется тёмной энергией. Наше обычное вещество, из которого состоим мы, Земля, планеты, которые мы видим, Солнце, все окружающие нас космические тела - так называемая барионная материя, - составляет от 4,5 до 5 процентов всей Вселенной. Остальные 95 процентов - это нечто, способное вступать в гравитационные взаимодействия, тем не менее, мы его не видим. Эта тёмная материя обладает огромной массой, по крайней мере в 5-6 раз больше, чем масса видимых звёздных тел, а еще есть и тёмная энергия, которая играет большую роль в гравитационных взаимодействиях. Известный парадокс: чем больше узнаем, тем меньше знаем. И самое важное - мы знаем, что многого не знаем! И открыть природу этой тёмной материи - микроскопические ли это частицы или какие-то большие тела, невидимые для обычного глаза, - это огромная задача, которая должна быть решена...

Теоретики высказывают такую, казалось бы, парадоксальную идею, что объяснение невидимой нами тёмной материи

может быть сделано на основе гипотезы, согласно которой существуют наш звездный мир и мир зеркальный. Он в том же самом пространстве, и эти два мира могут быть зеркально подобны друг другу, может быть, с некоторыми иными качественными характеристиками. Этот зеркальный мир, в том числе его элементы, обладают свойствами гравитирующих взаимодействий, они, оказываясь, воздействуют только через гравитацию. Поэтому стерильные нейтрино могут быть таким месседжером, который перенесет информацию от одного мира к другому. Обнаружение стерильных нейтрино могло бы прояснить ту очень малую, может быть, аномалию, которая наблюдается при тонком исследовании ядерных реакций, протекающих даже в атомных реакторах, и некоторые аномалии при исследовании эффектов взаимодействий при столкновении адронов, ускоренных на Большом адронном коллайдере в ЦЕРН.

- *В Семилетней программе научного развития ОИЯИ есть в числе других два проекта, базовых для Дубны. Причем, казалось бы, они очень разные. В первом используется для детектирования нейтрино, прилетающих к нам из космоса, глубоководная толща Байкала, во втором - специально созданными детекторами измеряются потоки нейтрино, генерируемые реактором Калининской АЭС в Тверской области...*

- ...И оба решают много проблем фундаментальной важности, стоящих в том числе перед физиками и астрофизиками. В первую очередь, если говорить о свойствах нейтрино, то это обнаружение такого тонкого явления, как возможное присутствие у нейтрино магнитного момента. С одной стороны, это нейтральная частица, не обладающая электрическим зарядом, и тем не менее, согласно Стандартной модели, она в принципе могла бы иметь слабый, отличный от нуля магнитный момент. А обнаружить его возможно за счёт того, что распространение нейтрино в магнитном поле могло бы влиять на направление его движения.

Возможные ответы на эти вопросы будут получены в опытах, которые ставят физики Дубны на Калининской атомной станции неподалеку от нас. Они уже проводят первые сеансы, изучая нейтрино, вылетающие из ядра атомного реактора. На основании этих экспериментов установлены предельные возможные значения магнитного момента нейтрино. Кроме того, попутно продемонстрирована возможность, изучая потоки нейтрино из атомного реактора, следить за динамикой горения вещества. Так что, оказывается, у нейтрино есть вполне понятная рабочая профессия - оно с большой эффективностью может быть использовано для мониторинга радиоактивных зарядов вещества (урана, плутония), которое находится в недрах атомных реакторов или в зарядах атомного оружия. И их можно контролировать, используя нейтрино. Оно, с одной стороны, излучается делящимися ядрами в реакторах или атомных зарядах, а, с другой стороны, выносится далеко, туда, где находятся физики со своими чувствительными приборами, способными фиксировать, тем не менее, эти трудноуловимые нейтрино.

Другая задача, очень интересная, решается физиками Дубны в сотрудничестве с коллегами из Института ядерных исследований РАН в Троицке - используя глубоководные детекторы нейтрино на Байкале. Идея поиска и исследования потока естественных нейтрино, приходящих на Землю из космоса, с применением таких крупномасштабных установок, использующих огромные объёмы горных массивов или водных толщ морей и озер, была также высказана Моисеем Александровичем Марковым. Так вот, Байкальский нейтринный телескоп использует свойства черенковского излучения заряженных частиц, в частности мюонов, рождённых при взаимодействии нейтрино, приходящих из глубокого космоса, при их взаимодействии с атомами воды. Это уникальный крупномасштабный прибор, который использует естественный водоем как элемент установки. Чем выше энергия нейтрино, тем выше энергия рождаемого при его взаимодействии с атомами воды мюона и тем больше светосила данной установки. Мы можем видеть это излучение с большого расстояния. Такая методика всегда очень эффективна.

- *Как внутри ОИЯИ координируются эти исследования?*

- Дубна подготовила специальное рассмотрение программ исследований с использованием как нейтринного детектора на КАЭС, так и глубоководного нейтринного детектора озера Байкал. Такое заседание состоится на объединённой сессии двух программноконсультативных комитетов ОИЯИ по физике частиц и по ядерной физике. Думаю, что итоги заседания позволят оценить перспективность этих исследований и поставят задачу, в том числе перед дирекцией, найти необходимые средства и предоставить необходимые условия, чтобы такие исследования были проведены физиками Дубны и внесли весомый вклад в развитие современных проблем нейтринной физики, физики элементарных частиц, в том числе и во взаимодействии с проблемами космологии.

Очень важно, откуда приходят эти нейтрино высоких энергий. Опыты на нейтринном детекторе установки Ice Cube на Южном полюсе Земли показали, что есть такие нейтрино, и в космосе есть такой механизм, который рождает нейтрино сверхвысоких энергий. И поэтому сейчас роль исследований на установках типа глубоководного детектора нейтрино на Байкале выросла в связи с тем, что эта установка «смотрит» в совсем другом направлении, чем установка, которая расположена на Южном полюсе. Поэтому актуальность этих исследований чрезвычайно возросла.

- *То есть совершенно явно происходит объединение усилий с тем, чтобы решить эту главную проблему и множество малых, из которых она складывается. Вы, как учёный, связанный и с Троицком, и с Дубной, известными в стране и мире наукоградами, что думаете об их развитии? Этому была посвящена Главная тема прошлого номера журнала «Знание - сила». Наукограды в России существуют уже немало лет, в развитии этого движения были и всплески, и затишья...*

- Когда движение наукоградов возникало и когда оно развивалось во взаимодействии, с одной стороны, учёных, работавших в этих исторически сложившихся в регионах страны научных городках, с другой стороны, представителей власти, как местной, так и региональной, правительства России, - в этом был определенный оптимизм, энтузиазм и с этим связывались очень многие надежды. Но, видно, идея развития такого направления оказалась не столь простой и подъёмной в тот момент, а сейчас возникли сигналы о том, что правительство вновь вернулось к этой проблеме и готово поддерживать серьезные проекты развития наукоградов.

Я думаю, что сегодня хорошо осознано то, что поддержка правительством наукоградов направлена не просто на развитие науки как таковой - для этого существуют другие источники, научные программы, фонды и прочее... Но, конечно, здесь должна быть поддержка развития социальных элементов городской структуры, такой, которая создавала бы наилучшие условия для учёных, живущих в этих городах. То есть, я подразумеваю не только развитие инновационных направлений, что чрезвычайно важно, но и инфраструктура должна соответствовать наукообразующему вектору

развития этих городов, отвечать потребностям учёных. Мы сейчас в нашем международном институте видим, что социальные программы не менее важны, чем программы чисто научные.

Сегодня понято, что сегмент образовательной деятельности должен быть не менее развит, чем научный. Наука сейчас настолько бурно развивается, что готова крупными проектами, мы должны одновременно готовить тех молодых людей, которые будут способны принять активное участие в этих проектах, постижении результатов этих новых исследований и публикации результатов...

Думаю, что развитие наукоградов должно быть направлено на создание специальных условий для привлечения талантливой молодежи, для поддержания квалифицированных учёных, инженеров и специалистов. С другой стороны, такой крупный институт, как ОИЯИ, должен заботиться о подготовке кадров, в том числе инженерных, для города. То есть здесь должно быть очень тесное сотрудничество. Очень хотелось бы верить, что мы сможем продемонстрировать в конкретном месте такое творческое плодотворное сотрудничество обеих сторон - наукограда Дубна и Института, поддержать в том числе и образовательную сферу, чтобы привлекать в науку молодых людей уже со школьной скамьи.

Надо смотреть вперёд с надеждой. Всё-таки, несмотря на все экономические проблемы, которых сейчас везде в мире хватает, видно, что руководство страны понимает важность именно такого развития.

Работы на байкальском нейтринном детекторе
Буй демонтирован - доступ к
электронике и оптическим модулям
гирлянды открыт

