

Нейтроны и мегапроект ПИК



Сегодня в Национальном исследовательском центре «Курчатовский институт» сосредоточена значительная часть ядерно-физического потенциала страны. Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова (ПИЯФ) — один из четырех институтов, входящих на данный момент в состав НИЦ. Об истории знаменитого института, его настоящем и будущем мы попросили рассказать его директора, члена-корреспондента РАН Виктора Лазаревича Аксенова

Еще в 1954 г. по инициативе И.В. Курчатова для развития атомного проекта Советское правительство приняло постановление о создании ядерных центров в ряде республик СССР и строительстве на их базе исследовательских ядерных реакторов, ускорителей и междисциплинарных исследовательских лабораторий. В рамках этой программы в 1956 г. Ленинградский физико-технологический институт создал филиал в Гатчине для строительства нейтронного исследовательского реактора, который заработал в 1960 г. и получил название ВВР-М. Академик Борис Павлович Константинов (1910–1969), известный советский физик, сыграл определяющую роль в организации и развитии института. Следующей большой установкой здесь стал протонный синхротрон СИ-1000 — этот ускоритель до сих пор остается заметным в своем классе и дает продукцию науке. Это произошло в 1970 г. А еще через год филиал стал независимым институтом академии наук.

В 2010 г. Петербургский институт ядерной физики вошел в состав Национального исследовательского центра «Курчатовский институт». В 2011 г. был произведен физический пуск создаваемого реактора ПИК — самого мощного в мире ядерного реактора для исследований на выведенных пучках нейтронов.

Векторы развития

ПИЯФ осуществляет свою научную деятельность в соответствии с Программой совместной деятельности организаций, участвующих в пилотном проекте по созданию НИЦ «Курчатовский институт».

В рамках этой программы ПИЯФ НИЦ «КИ» координирует фундаментальные и прикладные исследования с использованием нейтронов. Эти исследования во многом имеют междисциплинарный характер, но в то же время можно выделить пять основных направлений: теоретическая физика, физика элементарных частиц и атомного ядра, нейтронная физика, молекулярная и радиационная биология, ядерно-физические методы в прикладных исследованиях, включая медицину, радиационное материаловедение, производство изотопов. Научные достижения ученых ПИЯФ НИЦ «КИ» отмечены Ленинской и Государственными премиями, премиями Правительства РФ, РАН.

Работы института по теоретической физике внесли существенный вклад в развитие современных представлений о структуре вещества и мира элементарных частиц (член-корреспондент РАН В.Н. Грибов, академик Л.Н. Липатов), были отмечены рядом международных премий. В частности, эти развитые нашими учеными модели и представления, по существу, составляют теоретическую основу наблюдения новых частиц при высоких энергиях, в том числе и знаменитого бозона Хиггса.

Как и другие институты, входящие в состав НИЦ «Курчатовский институт», мы активно участвуем в различных международных проектах, но особенно в работах в CERN на всех четырех детекторах Большого адронного коллайдера — ATLAS, ALICE, LHCb и CMS.

В CERN мы проводим и другие интересные исследования, в частности по использованию кристаллов для коллимации пучков ускоренных частиц. Еще в 1996 г. за создание и реализацию новых методов управления пучками частиц высоких энергий на ускорителях с помощью изогнутых кристаллов наши сотрудники были удостоены Государственной премии РФ.

В Институте Пауля Шеррера в Швейцарии совсем недавно завершился большой цикл экспериментов, связанный с захватом мюона на протоне, — это итог многолетней работы группы сотрудников нашего института под руководством члена-корреспондента РАН А.А. Воробьева.

В области нейтронной физики ПИЯФ НИЦ «КИ» — один из лидеров и у нас в стране, и в мире. Всемирно известны научные школы академиков В.М. Лобашова, В.А. Назаренко, профессоров Г.М. Драбкина, С.В. Малеева и др. Большая часть этих исследований выполнена на реакторе ВВР-М. Сегодня мы активно развиваем эти традиции в наших работах по реактору ПИК.

Еще одно важное направление работы ПИЯФ НИЦ «КИ» связано с молекулярной и клеточной биологией, генетикой и радиационной биофизикой. Соответствующее отделение молекулярной и радиационной биофизики в последнее время активно участвовало в проведении уникальных комплексных биогеохимических работ с водой антарктического озера Восток.

Представьте озеро, которое находится под слоем льда толщиной в 4 км. Оказалось, что под этим льдом существует огромный водоем, длина которого — 250 км,

а ширина — 50 км. Но самое интересное то, что этот водоем был изолирован от внешней среды шапкой льда в течение почти 15 млн лет. Собственно, в этом и есть главный смысл исследования озера Восток: помимо экстремальных условий для жизни (сверхнизкие температуры, давление, огромный избыток кислорода) есть возможность существования форм жизни, отличных от земных. Именно этим наши биологи и занимаются. Исследования проводятся начиная с 1999 г., накоплен огромный банк данных по всем бактериям, которые там могут быть. Поиск следов микробной (и иной) жизни по ДНК-«отпечаткам» в воде, во льду и снегу ответит на принципиальные вопросы о возможности существования жизни в экстремальных природных условиях, а изучение донных отложений даст информацию о природных ресурсах, скрываемых под толщей льдов Антарктиды. Ученые ПИЯФ НИЦ «КИ» занимают лидирующие позиции в подготовке и проведении этих исследований. Разработанная ими уникальная методика анализа малых концентраций биологических соединений позволила значительно улучшить чувствительность их обнаружения.

Еще одна характерная черта ядерных институтов, которые создавались в прошлом столетии для изучения фундаментальных проблем и различных аспектов использования ядерной энергии, заключается в том, что фундаментальная наука всегда дает и практические результаты. Одно из таких направлений связано с электроникой. В последнее время участились случаи аварий ракет, самолетов. И одна из причин — радиация атмосферы, радиация космического происхождения, и поэтому очень важно, как будет вести себя электроника в таких условиях внешнего облучения. В ПИЯФ НИЦ «КИ» на протонном синхротроне создан радиационный комплекс, на котором совместно с курчатовским реактором ОРМ решается проблема радиационных испытаний электронных компонентов на пучках протонов и нейтронов.

Гатчинский метод

Важнейшее с социальной точки зрения применение пучков протонов ускорителя — это адронная, или в данном случае протонная терапия: использование пучков протонов для лечения раковых опухолей. Успешные исследования,

практические разработки в области ядерной медицины есть во всех институтах, входящих в НИЦ «КИ». В нашем институте с 1975 г. работает медицинский комплекс протонной терапии на базе протонного синхротрона СЦ-1000 с энергией протонов 1 тыс. МэВ, на котором проводится эффективное лечение ряда заболеваний головного мозга, таких как аденомы гипофиза и артериовенозные мальформации сосудов головного мозга.

Для лечения больных совместно с Российским научным центром радиологии и хирургических технологий (РНЦ РХТ) был разработан уникальный и эффективный метод облучения «напролет» заданных участков головного мозга протонами с энергией 1 тыс. МэВ, получивший название «гатчинский метод». Малое рассеяние протонов при их прохождении через облучаемый объект в сочетании с ротационной техникой облучения создает высокий градиент распределения дозного поля, что позволяет облучать опухоли, находящиеся вблизи жизненно важных органов. Еще одна основополагающая характеристика данного метода облучения — простое и надежное наведение пучка на заданный объект облучения, что гарантирует безопасность процесса облучения.

За 1975–2012 гг. курс протонной терапии прошли 1386 пациентов. Ремиссия больных составляет более 80%, и столь высокая эффективность лечения достигается уже при однократном облучении. Конечно, лечением занимаются медики. Наш институт только разрабатывает физические методики, которые могут применяться в медицине, и предоставляет пучок, а лечение проводят врачи с участием наших физиков.

Протоны можно использовать и в офтальмологии для лечения поверхностных злокачественных заболеваний и онкологических заболеваний органов зрения. Это новое направление, которое мы развиваем, оно еще требует изучения и доработки. Как и в случае протонной терапии, мы предоставляем физическое оборудование, ускоритель, а все остальное — работа медиков. Пока мы заканчиваем строительство нового ускорителя — сверхточного циклотрона Ц-80. На его базе будет создан радиоизотопный комплекс РИЦ-80 (Радиоактивные Изотопы на Циклотроне Ц-80). Основная задача комплекса РИЦ-80 — производство радиоизотопных генераторов, радионуклидов и на их основе радиофармпрепаратов для ядерной медицины.



Главный административный корпус



Реактор ВВР-М



Реакторный комплекс ПИК

На ПИКе технологий

Будущее института, несомненно, связано с сооружаемым реакторным комплексом ПИК. Этот комплекс станет самой мощной фабрикой по производству нейтронов в Европе. Что такое нейтроны и зачем они нужны? Нейтрон — это частица, наряду с протонами входящая в состав ядра. Свободный нейтрон живет около 15 мин, а более точно — 880,1 с. Это время жизни нейтрона было определено физиками нашего института в 2012 г. и занесено в официальные справочники как среднемировое значение жизни нейтрона. Нейтрон — уникальная частица, и уникальность ее состоит в том, что она нейтральна — отсюда и название «нейтрон». Его долго не могли идентифицировать, поскольку общее представление в начале прошлого века «обязывало» все частицы быть заряженными. И хотя Резерфорд еще в 1920 г. предположил, что должна быть такая нейтральная частица, лишь в 1932 г. Джеймс Чедвик наконец сделал решающий шаг, объявив, что наблюдаемое в эксперименте и есть нейтральная частица, и назвал ее «нейтрон».

По сути, вся современная ядерная физика стала развиваться после открытия нейтрона: были сформулированы ее основные положения в области состава ядра, ядерных реакций и т.д. Нейтральность нейтрона как частицы как раз и открывает путь к изучению свойств вещества. Кроме того, нейтрон обладает собственным магнитным моментом, тем самым предоставляя готовую пробу микроскопических магнитных свойств. Еще одно очень важное свойство состоит в том, что нейтрон, в отличие от фотонов и рентгеновского излучения, рассеивается на ядрах, а рассеяние на изотопах даже одного и того же ядра имеет разный характер, что позволяет использовать так называемое изотопное замещение. Оно особенно важно для исследований в области биологии.

Использование уникальных свойств нейтрона делает его основой универсального метода именно для междисциплинарных исследований: в биологии, материаловедении, инженерных науках. Таким образом, наличие источника нейтронов дает конкретному научному центру, стране и мировой науке не имеющий аналогов способ изучения свойств вещества и создания новых материалов. Разумеется, такая мегаустановка, как нейтронный или синхротронный источник, предназначена не только для одного института, а для коллективного использования учеными из российских и мировых научных центров.



Технологический зал реактора

Подобные мегаустановки в современной науке — свидетельство научно-технологического потенциала, конкурентоспособности страны и элемент национальной безопасности. Наша страна всегда была одним из сильнейших участников научных исследований с использованием мегаустановок.

После спада 1990-х — начала 2000-х гг. мы вступили в новый этап развития и в этой области фундаментальных исследований. Одним из ведущих научных центров в области меганауки у нас в стране был и остается Курчатовский институт, традиционно развивающий прорывные научные направления на ускорительных комплексах, термоядерных установках, нейтронном и синхротронном источниках. По инициативе и под руководством профессора М.В. Ковальчука в НИЦ «Курчатовский институт» была сформирована научная программа совместной деятельности институтов, участвующих в НИЦ, ориентированная прежде всего на проведение междисциплинарных научных исследований на этих больших и крайне сложных установках. Под руководством М.В. Ковальчука вокруг таких мегаустановок, как Курчатовский синхротрон и исследовательский нейтронный реактор ИР-8, был также сформирован уникальный научный центр конвергентных нано-, био-, информационных, когнитивных и социогуманитарных наук и технологий (НБИКС).

Сейчас наступил такой этап, когда есть потребность и возможность создавать в России свою современную научную базу, мегаустановки и реализовывать на ней проекты с международным участием. В 2010 г. Правительственной комиссией по высоким технологиям и инновациям в результате многократных экспертиз и обсуждений (в том числе с участием международных

экспертов) были отобраны из поданных нескольких десятков предложений шесть наиболее проработанных мегапроектов: реактор ПИК, токамак *IGNITOR* (российско-итальянский проект), источник синхротронного излучения IV поколения, проект *NICA*, электрон-позитронный коллайдер, сверхмощный лазерный комплекс.

Почему ПИК попал в эту шестерку? Первая причина: проект реактора с компактной активной зоной и отражателем из тяжелой воды оказался исключительно удачным. Он создавался в конце 1960-х гг. в период максимального расцвета реакторной науки и техники в мире и особенно в СССР. Менялись технологии, оборудование, но принципиально нового с тех пор ничего не возникло. По этому проекту уже построены несколько реакторов в мире — «Орфей» во Франции, Мюнхенский реактор. ПИК будет иметь предельно возможный для исследовательских реакторов поток тепловых нейтронов. Вторая причина: сам проект комплекса был сделан на перспективу, и сегодня есть целый ряд актуальных направлений, по которым он может развиваться. Около реактора можно расположить около 50 экспериментальных станций. Такого размаха нет нигде в мире. Третья причина: Гатчина — известный и один из лучших в мире центров нейтронных исследований с богатой историей, давними традициями и большим количеством значимых результатов.

Проект ПИК начал реализовываться в 1976 г., и первый его этап был выполнен очень успешно. Это было продолжение и развитие работ на основе опыта первого реактора ВВР-М. В 1986 г. произошла авария на Чернобыльской АЭС. Готовность ПИК к тому моменту составляла почти 70%. После аварии проект был пересмотрен на предмет безопасности: усилены здания реактора, изменены технические решения, потребовалась новая экспертиза проекта, которая заняла несколько лет и завершилась в 1991 г. Последующие годы для проекта были очень

тяжелыми, средства выделялись крайне нерегулярно, они позволяли лишь как-то поддерживать построенное, чтобы все окончательно не разрушилось.

В 2007 г., когда постановлением правительства были дополнительно выделены средства на строительство реактора, началось, по существу, восстановление реакторного комплекса (38 зданий площадью 66 тыс. кв.м.). Однако состояние института в целом продолжало ухудшаться. В эти годы РАН по требованию правительства проводила меры по повышению заработной платы сотрудников. В результате, например, в 2010 г. бюджет института расходовался практически только на это, но на содержание инфраструктуры, т.е. работающего реактора ВВР-М и ускорителя СЦ-1000, средств не было. Положение, без преувеличения, было близко к катастрофическому. Ситуация кардинально изменилась при переходе ПИЯФ в 2010 г. в НИЦ «Курчатовский институт».

Уже в феврале 2011 г. состоялся физический пуск реактора в рамках первого пускового комплекса (19 зданий площадью 33 тыс. кв.м.). Физический пуск реактора состоит в достижении критического состояния при выделении мощности, не требующей принудительного охлаждения (100 Вт). Это очень важный этап, который подтверждает, что реактор сконструирован правильно, а люди, работающие на нем, знают свое дело. Предварительно все операции были отработаны на полномасштабной физической модели реактора.

Строительство реакторного комплекса завершается в 2013 г. После того как наш институт получит все разрешения на работы по выводу реактора на проектную мощность 100 МВт, начнется энергетический пуск, после которого возможна сдача реактора в эксплуатацию. Мы планируем начать регулярное использование реакторного комплекса ПИК для исследований на выведенных пучках в 2018–2019 гг.





Президент РФ В.В. Путин в нейтронном зале реактора ПИК. Его сопровождают (слева направо): руководитель администрации президента С.Б. Иванов, директор НИЦ «Курчатовский институт» М.В. Ковальчук, директор ПИЯФ НИЦ «КИ» В.Л. Аксенов, помощник президента А.А. Фурсенко

Планы на будущее

30 апреля 2013 г. в ПИЯФ НИЦ «КИ» состоялось заседание Совета при Президенте РФ по науке и образованию. После заседания совета В.В. Путин посетил реакторный комплекс ПИК, ознакомился с ходом работ и подробно обсудил увиденное с директором НИЦ «Курчатовский институт» М.В. Ковальчуком. По итогам визита президент дал ряд поручений по завершению создания реакторного комплекса и обеспечению его работы.

Программа наших действий определена до 2020 г. Во-первых, необходимо привести в соответствие с современными нормами инженерно-технические системы реакторного комплекса ПИК. Для их модернизации мы предлагаем два инвестиционных проекта: один по модернизации инженерно-технических систем реакторного комплекса, другой по реконструкции лабораторных зданий и оборудования. В результате мы доведем до самого современного уровня обеспечение безопасности и функционирование всех реакторных систем. Одновременно начнутся работы по созданию комплекса экспериментальных станций. Это отдельный большой проект.

Следующий вопрос, существенный для дальнейшего развития, — модернизация инфраструктуры всей площадки института. В инженерном обеспечении нуждается не только реактор ПИК, но и другие подразделения.

Третий пункт программы развития института — обеспечение жильем и зарплатой специалистов, в первую очередь молодых. НИЦ «Курчатовский институт» уже включен в правительственную программу обеспечения жильем. Постепенно растет зарплата: в этом году она будет увеличена для служб реактора ПИК и превысит среднюю зарплату по Ленинградской области. Следующий этап запланирован на 2014–2015 гг. — выход на среднюю зарплату на Ленинградской АЭС. Сейчас, когда идет реальная работа, видны ее результаты, у нас есть возможность обоснованно увеличить фонд заработной платы.

Указанные три направления обеспечивают развитие ПИЯФ до 2020 г. При этом на базе реактора ПИК создается и Международный центр нейтронных исследований в области фундаментальных взаимодействий, ядерной физики, медицины, материаловедения, нанобиотехнологий. Планируется строительство конференц-центра, гостиницы, жилья для сотрудников и других необходимых объектов.

В настоящее время в институте работают 1,8 тыс. человек, из них 500 научных сотрудников, 80 докторов

! Справка

Виктор Лазаревич Аксенов — доктор физико-математических наук, профессор, директор Петербургского института ядерной физики им. Б.П. Константинова НИЦ «Курчатовский институт», член-корреспондент РАН, член Совета при Президенте РФ по науке и образованию.



✓ Окончил физический факультет Томского государственного университета в 1970 г. С 1973 г. после окончания аспирантуры по 2006 г. работал в Объединенном институте ядерных исследований в Дубне руководителем лаборатории нейтронной физики им. И.М. Франка.

✓ С 2006 г. — заместитель директора НИЦ «Курчатовский институт», с 2012 г. — директор ПИЯФ НИЦ «КИ». Заведующий основанной им в 2000 г. кафедрой нейтронографии МГУ им. М.В. Ломоносова.

✓ Автор более 200 публикаций.

✓ Лауреат Государственной премии РФ в области науки и техники 2000 г. за разработку и реализацию новых методов структурной нейтронографии на импульсных и стационарных реакторах.

✓ С 1998 г. — почетный член физического общества им. Лоранда Этвеша (Венгрия).

✓ Область научных интересов: нейтроны в исследованиях конденсированного состояния вещества, магнетизм тонких пленок и слоистых структур; структура и физические свойства кластеров в системах с развитой поверхностью.

✓ Женат, имеет двоих детей.

и 300 кандидатов наук. Ключевой вопрос — подготовка кадров, для чего мы активно развиваем научно-образовательные программы, прежде всего между Гатчиной и Петергофом, где находятся физический, химический и ряд других факультетов Санкт-Петербургского университета. Сегодня 150 научных сотрудников нашего института — выпускники физического факультета СПбГУ. В прошлом году по инициативе М.В. Ковальчука, ставшего к тому времени деканом физического факультета, была открыта новая кафедра нейтронной и синхротронной физики. Поэтому мы очень рассчитываем в ближайшее время получить новый кадровый резерв из молодых ученых — широко образованных, мыслящих. Это крайне актуально сегодня для междисциплинарных исследований, в том числе на такой уникальной мегаустановке, как реакторный комплекс ПИК. ■

Подготовил Виктор Фридман