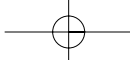


IV

Международное сотрудничество



Для развития физики требуются все более дорогостоящие инструменты — ускорители, реакторы, сложная экспериментальная аппаратура, сверхбыстрая и емкая вычислительная техника. Вот почему с середины прошлого столетия страны начали объединять свои возможности на этом поле деятельности. Это послужило и одной из важнейших предпосылок для образования Объединенного института ядерных исследований (ОИЯИ). 26 марта 1956 года представителями правительств 11 государств Восточной Европы и Азии было подписано Соглашение об организации этой международной межправительственной организации. Позже, в сентябре того же года, к нему присоединился Вьетнам (тогда северная его часть — Демократическая Республика Вьетнам). Двери Института всегда открыты и для других стран, желающих присоединиться к Соглашению или участвовать в работе ОИЯИ на основе двусторонних договоров. В 1976 году к Соглашению присоединилась Республика Куба.

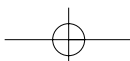
Стремясь к широкой кооперации, Международный научный центр старается привлечь к выполнению своих проектов другие исследовательские центры, национальные лаборатории.

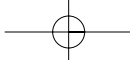
Теперь представим себе карту мира и мысленно нанесем на нее точки, обозначающие научные центры, организации, университеты, с которыми ОИЯИ сотрудничает сегодня. Это будет довольно внушительная картина. Нам нужно будет нанести 540 точек на территории Европы (включая 131 точку в Европейской части России), 94 точки на территории Азии (включая 20 точек в Азиатской части России), 87 — в Северной Америке, 4 — в Южной Америке, 7 — в Африке и 4 — в Австралии и Новой Зеландии.

Начнем короткий обзор международного научно-технического сотрудничества, в котором найдется место истории и сегодняшнему дню, со связей с национальными центрами стран-участниц.

Первые эксперименты на синхрофазотроне ЛВЭ ОИЯИ привели к необходимости обработки больших объемов экспериментальных данных. Особенно это касалось трековых детекторов типа фотоэмульсий и пузырьковых камер, не позволяющих автоматизировать отбор полезных событий. Требовалась большая просмотровая и измерительная работа, которую одна группа физиков уже не могла выполнить. Необходимо было создавать коллаборации, объединяющие десятки, а то и сотни физиков из различных институтов, нацеленные на решение определенной задачи. Надо отметить, что к моменту зарождения коллабораций уровень автоматизации просмотра и измерений, а также вычислительной техники требовал много «ручной» работы. Организация совместных исследований координировалась рабочими совещаниями, которые проводились в ОИЯИ и других институтах-участниках коллабораций, что включало дублирование работы. Большое внимание уделялось унификации данных просмотра, измерений и обсчета. После тщательной проверки данные объединялись на ленте суммарных результатов (ЛСР). Копии ЛСР могли получить все участники сотрудничества и проводить физический анализ данных в своих институтах. «Физикой на расстоянии» назвал этот вид сотрудничества академик А.М.Балдин. В нем были задействованы в первую очередь институты стран-участниц — в Бухаресте, Кошице, Праге, Софии и в других городах.

С широким участием ученых из всех стран-участниц выполнялись исследования структуры радиоактивных ядер, получаемых при облучении мишеней из разных ве-

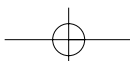


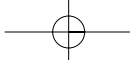


ществ протонами на синхроциклотроне ОИЯИ. Исследования проводились самым интернациональным коллективом в Объединенном институте — научно-экспериментальным отделом ядерной спектроскопии и радиохимии Лаборатории ядерных проблем. Полученные в ОИЯИ радиоактивные изотопы рассылались для исследований в Варшаву, Дрезден, Киев, Краков, Ленинград, Москву, Прагу, Ташкент, Тбилиси, а также в научные центры стран-неучастниц. Много лет на синхроциклотроне ЛЯП работала экспериментальная установка СПИН, с помощью которой изучались ориентированные радиоактивные ядра. В создании установки принимали участие специалисты Карлова университета, Пражского политехнического университета, Института приборной техники в Брно, Института ядерной физики в Ржеже под Прагой. С начала 90-х годов в Ядерном центре Карлова университета выполняются совместные с ЛЯП ОИЯИ работы с поляризованной заряженной мишенью, монтаж и запуск которой также были произведены совместно.

Особое место среди национальных научных центров стран-участниц для ОИЯИ занимает Институт физики высоких энергий (Протвино, Россия). В 1967 году в Протвино был введен в действие протонный синхротрон на энергию 76 ГэВ, который открыл новые возможности для выполнения исследований по физике элементарных частиц. В 1969 году было заключено соглашение о сотрудничестве между ОИЯИ и ИФВЭ. 30 процентов времени работы ускорителя ИФВЭ выделялось для экспериментов ОИЯИ на крупных комплексных установках, созданных учеными ОИЯИ самостоятельно или совместно с физиками ИФВЭ. Помимо российских специалистов, в экспериментах принимали участие и специалисты других стран. Работы на комплексе ГИПЕРОН, например, выполнялись коллаборацией ученых из Азербайджана, Армении, Белоруссии, Болгарии, Грузии, России и Словакии. По предложению польских физиков во главе с Р.Сосновским в ОИЯИ под руководством А.А.Тяпкина в 1973 году был создан высокоточный пятиметровый магнитный искровой спектрометр (МИС—ОИЯИ) для проведения экспериментов на ускорителе У-70 по изучению когерентного образования пионов и каонов на ядрах и выяснению существования бозонных резонансов. В то время это была самая крупная установка ОИЯИ в ИФВЭ. Из государств — членов ОИЯИ в этих экспериментах принимали участие ученые из Братиславы, Варшавы, Дубны. В создание крупнейшей экспериментальной установки на нейтринном канале ускорителя ИФВЭ — нейтринного детектора ИФВЭ—ОИЯИ — внесли свой вклад сотрудники Института физики высоких энергий в Цойтене и Центрального института физических исследований в Будапеште¹. В 90-х годах на ускорителе в Протвино проводился эксперимент ЭКСЧАРМ, нацеленный на исследование характеристик инклюзивного рождения очарованных и странных частиц, поиск узких барионных резонансов, продолжавший исследования, начатые ранее на установках ОИЯИ БИС, БИС-2 и ЧАРМ. Эксперимент осуществляли физики Дубны, Алматы, Бухареста, Минска, Москвы, Пловдива, Праги, Софии, Протвино, Тбилиси. С 1986 по 1996 год специалисты ОИЯИ активно участвовали в подготовке и проведении экспериментов на комплексе меченых нейтрино (КМН ИФВЭ). Через ОИЯИ в эту коллаборацию также вошли болгарские, немецкие и чешские специалисты.

¹ Сейчас Венгрия и Германия участвуют в деятельности ОИЯИ на основе двусторонних договоров.

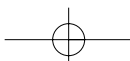


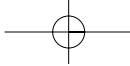


Первый в мире импульсный реактор ИБР, созданный в Лаборатории нейтронной физики, стал центром притяжения для физиков из стран-участниц ОИЯИ. Школу научных исследований на первоклассных установках лаборатории прошли многие специалисты Болгарии, Венгрии, Вьетнама, Германии, КНДР, Монголии, Польши, Словакии, стран бывшего Советского Союза, Чехии. Страны стали присылать в ОИЯИ целые группы сотрудников с аппаратурой, специально подготовленной для экспериментов в ЛНФ. Группа профессора Н.Кроо (Венгрия) провела нейтронные исследования некоторых проблем магнетизма с помощью построенного в Венгрии и доставленного в Дубну спектрометра, использующего принцип механического прерывания нейтронного пучка. Работой польских физиков, изучающих атомные и молекулярные движения в твердых телах и жидкостях, на протяжении многих лет беспрерывно руководит профессор Е.Яник. Этой группой создан спектрометр обратной геометрии КДСОГ (первые две буквы этой аббревиатуры передают совместный характер разработок – «Краковско-Дубненский»). Группа физиков под руководством профессора Я.Урбанца исследовала гамма-распад нейтронных резонансов на аппаратуре чехословацкого производства. Одним из наиболее ярких примеров международного сотрудничества являются работы по созданию комплекса ИБР-2. В его создании приняли участие институты и предприятия Венгрии, Польши, Румынии, СССР. Запуск в 1984 году реактора ИБР-2 дал мощный толчок исследованиям по физике конденсированных сред с помощью рассеяния нейтронов. Физики стран-участниц и других стран вместе создают новые спектрометры, вместе проводят исследования на них. Получила развитие новая форма сотрудничества. Ученые любой страны могут подать предложения о проведении экспериментов на установках, действующих на пучках реактора. Соответствующий комитет экспертов рассматривает предложение и оценивает его. Рекомендации экспертов обязательны к исполнению, и в установленный срок автор эксперимента совместно со специалистами ЛНФ проводит эксперимент. Дальнейшая работа с полученными результатами проводится физиком на своей основной работе в контакте со специалистами ЛНФ при помощи современных средств связи.

Проектом ИРЕН предусмотрено создание в ОИЯИ новой базовой установки – интенсивного источника резонансных нейтронов с параметрами нейтронных пучков, обеспечивающими возможности постановки и решения широкого спектра задач в области как фундаментальных ядерно-физических, так и прикладных исследований. В разработке проекта и создании ускорителя принимает участие ряд научно-производственных организаций стран-участниц ОИЯИ. Помимо Института ядерной физики им. Г.И.Будкера СО РАН (Новосибирск), существенный вклад в оснащение ускорителя внесен Ереванским физическим институтом, фирмой «Вакуум-Прага» и Базой развития и внедрения Болгарской академии наук.

Национальные научные центры государств – членов ОИЯИ участвуют в фундаментальных исследованиях и прикладных работах, проводимых в Лаборатории ядерных реакций. Необходимо отметить эффективное сотрудничество с Институтом ядерной физики (Краков, Польша) по исследованию ядер на границе нуклонной стабильности на фрагмент-сепараторе «Комбас». В 70–80-х годах научные центры и предприятия стран-участниц внесли существенный вклад в создание экспериментального оборудования для циклотрона У-400. Совместно со специалистами Инсти-



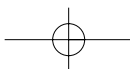


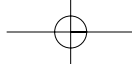
туда ядерной физики (Бухарест, Румыния) было составлено техническое задание на изготовление в Румынии каналов транспортировки выведенных пучков циклотрона. Сотрудники Института ядерных исследований в Сверке (Польша) разработали приемное устройство для наблюдения и идентификации заряженных частиц на фокальной плоскости магнитного спектрометра МСП-144. Сотрудничество стран-участниц помогло в довольно короткий срок создать крупную экспериментальную установку ФОБОС и ряд других спектрометров ЛЯР ОИЯИ, на которых проводятся исследования и сегодня.

Основной вычислительной машиной в ОИЯИ в 60-х годах была ЭВМ БЭСМ-6. На ее базе с конца 60-х годов начал строиться многомашинный комплекс путем подключения к ней по скоростным линиям связи средних и малых ЭВМ в лабораториях ОИЯИ, в число таких машин вошли ЭВМ ТРА и ЕС-1010 венгерского производства. В работах приняли участие специалисты Центрального института физических исследований (Будапешт, Венгрия). Включение в вычислительный комплекс ОИЯИ машин типа БЭСМ-6 и CDC позволило использовать их системное обеспечение для внедрения более совершенных систем программ обработки экспериментальных данных. Так, с привлечением чешских программистов, а также программистов из Армении, Казахстана и Монголии в 1973–1974 годах были разработаны варианты модульной системы «Гидра» для создания математического обеспечения большинства экспериментов по камерной методике. В исследованиях по автоматизации обработки данных, совершенствовании автомата АЭЛТ-2 и других работах плодотворным было сотрудничество со словацкими математиками из Института измерений и Университета им. Я.А.Коменского (Братислава, Словакия), продолжающееся и сегодня. Все работы последних лет по развитию сетевого оборудования ОИЯИ и увеличению пропускной способности его внешних каналов связи были бы практически невозможны без содействия двух российских организаций: РосНИИРОС, ответственной за Российскую национальную научно-образовательную сеть RUNET, и Государственного предприятия наземных и космических связей, в ведении которого находится используемая ОИЯИ Станция космических связей в Дубне.

В ОИЯИ развивается новое направление в технике электронных ускорителей для радиационных исследований. В частности, разрабатываемые многопучковые ускорители с высокой частотой повторения обеспечивают возможность использования очень дешевых постоянных электрических полей для ускорения вторичных электронов. С 1995 года эти работы Лаборатории физики частиц ОИЯИ поддерживались Институтом ядерных исследований и ядерной энергетики (София, Болгария).

Много интересных работ выполнено в сотрудничестве физиков-теоретиков стран-участниц. Наряду с известными российскими учеными среди авторов работ были представители почти всех этих стран. Среди первых дубненских теоретиков от государств – членов ОИЯИ были болгарин Иван Тодоров, вьетнамец Нгуен Ван Хьеу, немец Франк Кашлун, поляк Зигмунт Галясевич. Академик Нгуен Ван Хьеу теперь уже много лет возглавляет Национальный центр научных исследований Вьетнама. Для президента Академии наук Грузии академика А.Н.Тавхелидзе памятна Дубна также первых лет существования Объединенного института, Лаборатории теоретической физики, где он работал вместе с академиком Н.Н.Боголюбовым. Чешский фи-





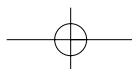
зик-теоретик Вацлав Вотруба в 1956 году был избран вице-директором ОИЯИ. Сегодня в названии одной из программ, в рамках которых осуществляется сотрудничество, запечатлены фамилии этого ученого и первого директора ОИЯИ: программа «Вотруба—Блохинцев». Этой программой, в частности, поддержаны совместные работы Дубны и Праги (Карлов университет) по физике металлических кластеров и квантовых точек.

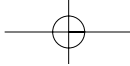
Во время сооружения нового фазотрона ЛЯП ОИЯИ на пучках ускорителя создан специальный клинко-физический комплекс для облучения опухолей. В настоящее время совместно с учеными Белоруссии, Польши, России и Чехии продолжают работы по развитию методов лучевой терапии на медицинских пучках фазотрона. Врачи-онкологи из Обнинска приступили к систематическим облучениям больных и добились значительных успехов.

Специалисты ОИЯИ участвовали в работах по проектированию, сооружению и наладке ускорителей и других базовых установок для институтов стран-участниц ОИЯИ. В Институте ядерной физики (Ржеж) был создан многоцелевой изохронный циклотрон У-120М для проведения ядерно-физических исследований и получения изотопов, используемых в ядерной медицине и народном хозяйстве. Разработана и изготовлена система вывода пучков на циклотроне У-200 в Институте ядерной физике в Кракове. В Институте ядерной физики в Ташкенте создан изохронный циклотрон, ускоряющий протоны до энергии 20 МэВ. Для НПО «Альфа» (Дубна) спроектирован и запущен в эксплуатацию циклотрон для получения пленочных фильтров — ЦИТРЕК. Монгольскому государственному университету передали электростатический нейтронный генератор и оказали помощь в проведении на нем первых экспериментов. Во Вьетнам, Монголию и Чехию были поставлены микротроны, в дальнейшем оказана помощь в их модернизации. Для Циклотронного центра в Братиславе ведется разработка технологий получения радиоизотопов, применяемых в ядерной медицине, технологии протонной терапии глаза, создание лаборатории модификации полимерных материалов на базе разработанного и изготовленного в ОИЯИ циклотрона тяжелых ионов и протонов с энергией 72 МэВ DC-72. Разрабатывается проект циклотрона ВС-60 для Казахстана.

В рамках образовательной программы ОИЯИ с начала 90-х годов уделяется большое внимание студенческим обменов, организации и проведению научных студенческих школ и учебных курсов. С ознакомительными целями, для прохождения практики, написания дипломных работ, обучения по специализированным программам в ОИЯИ приезжали студенты и аспиранты из разных стран, в том числе из Польши, Румынии, Словакии и Чехии. Особенно активизировались контакты с университетами Польши. Для поддержки инициативы польских университетов и ОИЯИ по разработке и выполнению образовательных проектов была учреждена программа «Боголюбов—Инфельд»; ее финансирование осуществляется специальным грантом полномочного представителя правительства Республики Польша в ОИЯИ. Польские студенты выполняют в Дубне лабораторные работы, проводят преддипломную и дипломную практику.

По спектру направлений деятельности Объединенный институт ядерных исследований является уникальной международной научной организацией, но не первой по времени появления. Почти двумя годами раньше была образована Европейская орга-



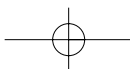


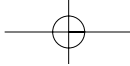
низация ядерных исследований (ЦЕРН) с местом расположения близ Женевы, на территории Швейцарии и Франции.

Начало научных связей дубненских и женеvских теоретиков и экспериментаторов в области физики высоких энергий было положено визитом в ЦЕРН в 1957 году вице-директора ОИЯИ профессора Мариана Даныша, когда была достигнута договоренность о совместных научных исследованиях и обмене учеными. За годы существования этих двух международных научных центров ими выполнены десятки совместных экспериментов, сотнями исчисляются совместные публикации и доклады, представленные на конференциях. Первой совместной крупномасштабной работой был эксперимент NA4 по глубоконеупругому рассеянию мюонов, выполненный в коллаборации Болонья–ЦЕРН–Дубна–Мюнхен–Сакле. Для экспериментальной установки Дубна изготовила сердечник 50-метрового магнита и 80 пропорциональных камер. Сотрудники ОИЯИ внесли большой вклад в эксперимент NA4, начиная от разработки физического предложения до получения результатов; полученные данные вошли в мировую базу данных по физике высоких энергий и имеют один из самых высоких индексов цитирования.

Позади – целый ряд успешно завершенных совместных экспериментов: исследования по физике нейтрино в составе коллаборации DELPHI на коллайдере LEP, позволившие определить возможное число типов нейтрино и детально изучить свойства Z^0 - и W^+ -бозонов, эксперимент NOMAD на нейтринном пучке ускорителя SPS с целью поиска осцилляций нейтрино и исследования взаимодействий нейтрино, эксперименты на накопителе антипротонов LEAR и др. Данные, полученные в серии прецизионных экспериментов NA48 на пучках высокой интенсивности ускорителя SPS при активном участии ученых и специалистов Дубны и стран-участниц, позволили решить ряд фундаментальных проблем современной физики частиц, в частности, доказать существование в природе прямого CP -нарушения. Публикация результатов экспериментов NA48 в журнале «Physics Letters B» была признана в 2004 году самой читаемой экспериментальной работой. Кроме значительного интеллектуального вклада ОИЯИ в NA48, в ЦЕРН для этого эксперимента были поставлены изготовленный по заказу ОИЯИ на заводе им. М.В. Хруничева в рамках конверсионной программы уникальный криостат жидкокриптонового калориметра и 23 тонны жидкого сверхчистого криптона.

Сегодняшнее сотрудничество – это участие ОИЯИ в 27 крупных проектах ЦЕРН, в том числе в трех из четырех экспериментов на Большом адронном коллайдере ЦЕРН (БАК, или LHC): ATLAS, CMS и ALICE. Этот уникальный ускоритель позволит проникнуть беспрецедентно глубоко внутрь материи, открыть тайны Вселенной (будут воссозданы условия ранней Вселенной: 10^{-21} секунд после Большого взрыва), поможет решить одну из краеугольных загадок физики – что есть вес, произвести качественный скачок в развитии научного мировоззрения, техники и технологии. БАК (окружностью 27 км) будет ускорять два пучка, движущихся в противоположных направлениях. В точках пересечения пучков будут стоять четыре огромные по размерам и сложнейшие по исполнению экспериментальные установки. В 2007 году они должны заработать, а поскольку за одну секунду на этих экспериментальных установках будет происходить более одного миллиарда соударений, то можно представить, какой неиссякаемый поток информации обрушится на физиков. Реализация упомянутых





проектов будет плодом широкой международной кооперации, в том числе и дубненского вклада.

Группа ученых и инженеров ОИЯИ под руководством Н.А.Русаковича участвовала в разработке, создании, тестировании и сборке важных систем установки ATLAS. В декабре 2004 года в Женеве была завершена сборка барреля адронного калориметра, состоящего из 64 модулей, изготовленных в Дубне и доставленных в ЦЕРН. За этим результатом стоит длительная работа большого коллектива, начинавшаяся в 1994 году, когда собранный в Дубне прототип субмодуля оказался лучшим по параметрам и точности изготовления среди субмодулей, собранных в других странах коллаборации. Дубненская группа ученых в проекте ATLAS готовит свои предложения в физическую программу, которая будет выполняться на установке. Руководство группы организует и проводит совещания с целью привлечения новых партнеров, заинтересованных в физике на LHC.

Как и ATLAS, установка CMS – компактный мюонный соленоид – предназначена для решения широкого круга задач. Значительный вклад в реализацию проекта CMS вносят Дубна и страны-участницы ОИЯИ (коллаборация RDMS CMS под руководством В.А.Матвеева и И.А.Голутвина) – и в создание установки (адронного и электромагнитного калориметров и мюонного детектора), и в работу по физической программе. Физики ОИЯИ, как и вся коллаборация RDMS, интегрированы в проект CPT (компьютинг, физика, запуск) CMS. Их усилия концентрируются на нескольких задачах, которые будут выполняться от разработки теоретических аспектов до получения конечных физических результатов. В рамках проекта CMS в ЛФЧ ОИЯИ регулярно проводятся семинары. Ежегодно организуются конференции коллаборации RDMS CMS.

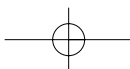
В 1992 году физики и инженеры ОИЯИ под руководством А.С.Водопьянова приняли участие в проекте ALICE, направленном на физические исследования материи при экстремальных плотностях энергии, когда возникает новая фаза материи – кварк-глюонная плазма. Для установки ALICE Объединенным институтом разработан проект большого дипольного магнита мюонного спектрометра, изготовлено ярмо дипольного магнита весом 800 тонн, разработан концептуальный проект сверхпроводящего магнитного экрана, поставляются кристаллы вольфрамата свинца для фотонного спектрометра PHOS, изготавливаются дрейфовые камеры для детектора переходного излучения. ОИЯИ участвует в подготовке программы физических исследований, прорабатывает программу исследования векторных мезонов, интерференции тождественных частиц, изучения «очарованных» и «прекрасных» частиц, дилептонных пар и фотонов.

К изготовлению крупнейших экспериментальных установок ATLAS, CMS и ALICE были привлечены заводы и предприятия стран-участниц ОИЯИ.

Предполагаемый огромный поток данных с установок заставляет создавать систему их хранения, обработки и анализа в рамках грид-технологий. В этом смысле важно, что наработки Лаборатории информационных технологий ОИЯИ могут быть удачно интегрированы в цельную систему.

Ходу реализации проектов LHC, выполнению обязательств по ним уделяется особое внимание со стороны дирекции ОИЯИ, как и вопросам сотрудничества с ЦЕРН в целом.

ОИЯИ участвует в его проектах, связанных с развитием информационных технологий: NICE, LabVIEW, LCG+EGEE.





Уже несколько лет проводятся совместные эксперименты по изучению структуры адронов на спектрометре COMPASS, установленном на протонном синхротроне ЦЕРН. Новый проект OPERA, в котором принимают участие физики Дубны, связан с LHC: поток нейтрино будет направляться из адронного коллайдера в подземную лабораторию в Гран-Сассо на массивную свинцово-эмульсионную мишень. Проект направлен на изучение осцилляций нейтрино и определение параметров нейтринных осцилляций.

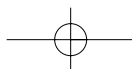
Чтобы подчеркнуть масштабность участия ОИЯИ в совместных с ЦЕРН проектах, отметим только, что оно требует в год более 700 командировок специалистов ОИЯИ в Женеву.

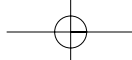
На протяжении 35 лет ОИЯИ и ЦЕРН проводят совместные школы для молодых физиков. Первая школа прошла в Финляндии, следующая — в Болгарии. Так, попеременно в странах-участницах ЦЕРН и ОИЯИ собираются молодые исследователи фундаментальных свойств материи и уже состоявшиеся ученые, которым есть что передать молодежи и которые умеют это делать.

Окажись мы с вами в мае 1999 года в Женеве, мы могли бы быть свидетелями, как в торжественной обстановке во Дворце наций открывалась фотовыставка под названием «Наука, сближающая народы», посвященная многолетнему и плодотворному сотрудничеству двух международных организаций — ОИЯИ и ЦЕРН. Общественность смогла по достоинству оценить поражающие масштабы сотрудничества в настоящем и отдать должное тому содружеству двух сторон, которое развивалось в годы так называемой холодной войны. В условиях противостояния двух социально-экономических систем это сотрудничество явилось «окном» для общения ученых, за что ОИЯИ и ЦЕРН неоднократно выдвигались на Нобелевскую премию мира.

ОИЯИ имеет широкие научные связи с национальными центрами государств — членов ЦЕРН. Германия — одно из них. Объединенная Германия активно участвует и в деятельности ОИЯИ на основе двустороннего договора. У ОИЯИ сложились прочные партнерские отношения с ее научными организациями. Интенсивно развивается сотрудничество по синтезу новых трансформированных элементов с Обществом по исследованию с тяжелыми ионами (ГСИ) в Дармштадте. В 1990 году был подписан протокол о сотрудничестве между двумя группами, работающими на крупных экспериментальных установках — фильтре скоростей SHIP (ГСИ) и электростатическом сепараторе ВАСИЛИСА (Лаборатория ядерных реакций ОИЯИ). В экспериментах по синтезу и изучению свойств радиоактивного распада новых изотопов тяжелых элементов использовались разные методы: на сепараторе SHIP — метод «холодного» слияния, открытого в ЛЯР в середине 70-х годов, на сепараторе ВАСИЛИСА — метод «горячего» слияния. Обе методики гармонично дополняли друг друга, позволяя проводить исследования по широкому кругу проблем, избегая при этом дублирования, что имеет огромное значение при проведении длительных экспериментов. В процессе сотрудничества происходил обмен идеями, технологиями, отдельными приборами и детекторами, равно как и обогащенными изотопами, необходимыми для быстрого и эффективного выполнения работы.

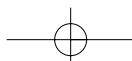
Коллеги из Дармштадта принимают самое активное участие в программе исследований на пучках ускоренных ионов ^{48}Ca , стартовавшей в ЛЯР в 1998 году и позволяющей вплотную приблизиться к предсказанному «острову стабильности». С 1985 го-

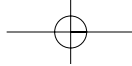




да по настоящее время осуществляется сотрудничество радиобиологов Дубны и Дармштадта. Активное сотрудничество в области генетического действия тяжелых заряженных частиц осуществлялось в 90-е годы с Институтом космической биологии и медицины (Кельн). ОИЯИ выполняет совместные эксперименты с федеральным научным центром «Немецкий электронный синхротрон» (ДЕЗИ). За годы участия в проекте HERMES — эксперименте по изучению спиновой структуры нуклонов дубненской группой был внесен существенный вклад в модернизацию магнитного спектрометра и анализ экспериментальных данных. Успешным нужно признать и участие сотрудников ОИЯИ в эксперименте H1. Материальным вкладом ОИЯИ в этот эксперимент было создание двух станций спектрометра вперед летящих протонов, пропорциональной камеры для регистрации рассеянных электронов и позитронов, а также нового PLUG-детектора установки. В 1994 году в ДЕЗИ начали создавать экспериментальную установку HERA-B для изучения взаимодействий протонов с ядрами проволоочной мишени, помещенной в гало протонного пучка ускорительно-накопительного кольца HERA. ОИЯИ внес свой вклад в создание детектора, подготовку и проведение экспериментов, в частности в производство модулей внешнего трекера детектора HERA-B. В Дубне была создана линия массового производства дрейфовых камер из материалов и комплектующих, поставляемых ДЕЗИ. Массовое производство дрейфовых камер велось одновременно в Дубне, Гамбурге, Цойтене и Пекине. Дубненской группой проделана большая работа по подготовке и монтажу внешнего трекера, проверке и наладке его суперслоев непосредственно в ДЕЗИ, развитию программного обеспечения и моделированию установки HERA-B. После завершения монтажа суперслоев внешнего трекера дубненские физики сконцентрировали свои усилия на участии в проведении экспериментов и анализе данных. С 1995 года ОИЯИ является членом коллаборации TESLA, в рамках которой в ДЕЗИ разрабатывается новый линейный электрон-позитронный коллайдер на основе сверхпроводящих ускоряющих секций с высоким темпом ускорения. Специалисты Лаборатории физики частиц ОИЯИ активно участвовали на всех этапах разработки проекта TESLA. Участие ОИЯИ в экспериментах в ДЕЗИ поддерживается грантами Министерства науки и технологий ФРГ.

ОИЯИ имеет научные связи почти со всеми странами Европы. Интенсивностью научных контактов, объемом совместных работ выделяется сотрудничество с научными центрами Франции и Италии. В 1957 году Дубну посетил лауреат Нобелевской премии по химии Фредерик Жолио-Кюри. В память о нем, о его визите главная для ОИЯИ улица в Дубне названа его именем. Интерес к Дубне был проявлен и со стороны Комиссариата по атомной энергии Франции — ОИЯИ посетил тогда генеральный комиссар Ф.Перрэн. В 1972 году был подписан Протокол о сотрудничестве между ОИЯИ и Национальным институтом физики ядра и элементарных частиц (Франция). Но и до подписания официального договора французские ученые участвовали в экспериментах, проводившихся в ОИЯИ. Так, ученые из Страсбура под руководством Ж.Лаберигг выполнили в ЛВЭ ОИЯИ со своими дубненскими коллегами одну из первых совместных работ — исследование альфа-протонных взаимодействий с помощью метровой пузырьковой камеры. Среди первых совместных работ следует отметить и работы дубненских теоретиков и их коллег из Орсе под руководством Ш.Бриансон. Начало большим совместным работам с национальными центрами Франции





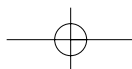
было положено в 1974 году, когда в течение трех месяцев проводился совместный с Центром ядерной спектроскопии и спектрометрии масс (Орсе) эксперимент с помощью французского масс-сепаратора, привезенного в Дубну и смонтированного на пучке тяжелых ионов циклотрона У-300 ЛЯР. С французской стороны в эксперименте принимала участие большая группа ученых и инженеров под руководством профессора Р.Клапиша.

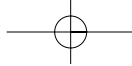
Затем последовали совместные работы с химиками Института ядерной физики (Орсе) по исследованию свойств трансураниевых элементов. В этих работах, где французскую группу возглавлял доктор М.Юссонуа, были получены важные результаты, позволившие сделать еще один шаг на пути к сверхтяжелым элементам. В 1995 году была создана коллаборация ОИЯИ–Брюссельский университет (Бельгия)–Институт ядерных исследований в Гренобле (Франция). В работах этой коллаборации использовались возможности двух установок: установки ОИЯИ CORSET, которая послужила триггером в экспериментах коллаборации, и бельгийско-французской установки DEMON (многодетекторного нейтронного спектрометра). Такое объединение дало возможность повысить не только надежность и достоверность экспериментальной информации о средней множественности нейтронов в реакциях с тяжелыми ионами, но и получать информацию о втором моменте или дисперсии распределения множественности нейтронов.

Одна из улиц французского города Кан именуется «авеню де Дубна», чем отмечены плодотворные научные связи национальной лаборатории ГАНИЛ (Большой национальной ускоритель тяжелых ионов), расположенной в этом городе, с ОИЯИ. Совместные ОИЯИ–ГАНИЛ экспериментальные исследования границ стабильности, легких экзотических ядер в 1994 году были поддержаны специальным грантом французского правительства, в 1997 году выделение гранта было продлено еще на три года.

Исследования необычных свойств ультрахолодных нейтронов, открытых в Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ, механизма их поглощения в накопительных сосудах, возможностей их использования проводятся в Институте им. Макса фон Лауэ–Поля Ланжевена (Гренобль). Вместе с учеными разных стран в работах принимают участие и сотрудники ОИЯИ.

В 1992 году было подписано новое, генеральное соглашение о сотрудничестве с IN2P3 – институтом, объединяющим ряд национальных лабораторий и центров Франции. Одним из ярких примеров сотрудничества в рамках этого соглашения является проект NEMO – нейтринный эксперимент с молибденом. Проект предложен французскими учеными во главе с С.Жуллианом. Он нацелен на исследование безнейтринного двойного бета-распада, результаты которого могут привести к пересмотру наших представлений о Вселенной. Эксперимент проводится в подземной лаборатории LSM в Модане. Большая часть элементов используемого в эксперименте спектрометра NEMO-3, в том числе 2000 пластических сцинтилляционных детекторов общим весом около 6 тонн, создавалась в Дубне. Оптимальная конструкция спектрометра позволила достичь очень высокой точности. Второй совместный проект по двойному бета-распаду – TGV – предложен дубненской группой ученых под руководством Ц.Вылова и В.Б.Бруданина, но также проводится в Модане. Он не предназначен для исследования больших образцов. Вся установка TGV, включая 32 германи-



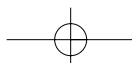


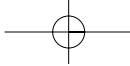
евых детектора, изготовлена в ОИЯИ. Проводятся и совместные работы по исследованию свойств нейтрино, проявляющихся в обычном бета-распаде ядер, а также в ядерном захвате мюонов.

Осенью 2004 года в Дубне был проведен совместный семинар ОИЯИ и IN2P3, посвященный 30-летию сотрудничества, подтвердивший намерения двух сторон укреплять свои научные связи. Будут продолжены совместные работы по изучению нейтрино в LSM в альпийском тоннеле под горой Фрежюс. Новый проект с красивым названием «Эдельвейс» предполагает участие физиков обеих сторон в интереснейшем эксперименте по поиску «темной материи». Планируется развитие сотрудничества ОИЯИ и ГАНИЛ. Договорились, что Лаборатория ядерных реакций ОИЯИ сосредоточится на синтезе сверхтяжелых элементов, а ГАНИЛ будет исследовать поведение экзотических ядер. Но в Дубне и Кане будут работать совместные группы ученых и специалистов.

Сотрудничество с научными центрами Италии, как и других стран, начиналось с отдельных визитов ученых. В Дубну приезжали с лекциями по проблемам экспериментальной и теоретической физики известные итальянские специалисты: замечательный ученый и друг Н.Н.Боголюбова Г.Ватагин, профессора Т.Редже, А.Зикики. С конца 60-х годов открылся новый этап в развитии связей ОИЯИ с итальянскими научными центрами – стали проводиться совместные эксперименты на синхротронном ЛЯП и ускорителе протонов в Протвино. Первый такой эксперимент (с 1968 года) ставил целью изучение упругого и неупругого рассеяния пионов на ядрах гелия с помощью стримерных камер. С итальянской стороны в нем участвовали физики из Турина под руководством профессора Г.Пираджино и национальной лаборатории во Фраскати во главе с профессором Р.Скримальо. Группой специалистов ОИЯИ руководили профессор Ю.А.Шербаков и И.В.Фаломкин.

Эффективным было сотрудничество научных групп Дубны, Милана и Болоньи в экспериментах с использованием магнитного искрового спектрометра (МИС) ОИЯИ. Фундаментальным результатом совместных исследований явилось открытие двух новых резонансных состояний π -мезона. Впоследствии на модернизированной установке (спектрометре МИС-2) выполнялись совместные исследования бозонных резонансов при диссоциации мезонов на ядрах. Рабочие группы ОИЯИ возглавлял профессор А.А.Тяпкин, группы итальянских партнеров – профессора Д.-П.Беллини и Г.Веньи – на МИС, профессора Ф.Паломбо и П.Фрабетти – на МИС-2. В 80–90-е годы проводились совместные работы, которые были общим вкладом в более широкое сотрудничество – в выполнение проектов ЦЕРН. Так, заключались двусторонние договоры в связи с экспериментами по изучению взаимодействия антипротонов с ядрами при низких и средних энергиях. В настоящее время дубненских и итальянских ученых объединяет международный проект БОРЕКСИНО, посвященный измерению потока солнечных нейтрино и исследованию явления осцилляций нейтрино с помощью низкофонового калориметрического детектора с жидким сцинтиллятором, создаваемого в подземной лаборатории Гран-Сассо (Италия). Группа сотрудников из ОИЯИ внесла большой вклад в создание прототипа этого детектора, а также в анализ данных и получение первых результатов с него. В 2000 году совместным Протоколом по научно-техническому сотрудничеству между Итальянской Республикой и Российской Федерацией проекту был присвоен первый





приоритет, а обновленным протоколом 2003 года этот проект был переведен в разряд экспериментов особой важности.

В середине 70-х годов заметным событием в жизни ОИЯИ было заключение Протокола о сотрудничестве с Сассекским университетом (Брайтон, Великобритания). На протяжении многих лет ОИЯИ поддерживает связи с Резерфордской лабораторией. И сегодня это основной партнер Дубны среди британских научных центров.

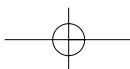
В течение многих лет осуществляется сотрудничество с научными центрами Дании, Финляндии, стран бывшей Югославии.

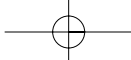
Сотрудничество с датскими учеными началось в 1961 году после визита в ОИЯИ лауреата Нобелевской премии по физике Нильса Бора. Большинство протоколов о сотрудничестве, заключавшихся с датской стороной, было связано с теоретическими исследованиями. Продолжительной и эффективной была, в частности, совместная работа профессоров Ф.А.Гареева (ЛТФ ОИЯИ) и Й.Банга (Институт им. Н.Бора).

Финские ученые (Хельсинский университет) входили еще в коллаборацию начала 70-х годов по изучению взаимодействий антипротонов с протонами при импульсе 22,4 ГэВ/с (обработка данных с двухметровой жидководородной камеры ОИЯИ «Людмила»). Уже в XXI веке примером успешного сотрудничества является большой цикл работ, выполненных в рамках коллаборации ЛЯР ОИЯИ и Ускорительной лаборатории Университета в Ювяскюля.

Есть страны, связи с национальными центрами которых получили заметное развитие только после 1990 года. Среди них Греция, где основными партнерами ОИЯИ являются Национальный центр научных исследований «Демокритос» и университеты в Афинах и Салониках. Активно сотрудничество греческих ученых с ОИЯИ в изучении трансмутации радиоактивных отходов на ядерных энергетических установках. Отметим научные связи «с некоторым стажем» дубненских и греческих теоретиков-ядерщиков.

Начиная с 70-х годов, после отдельных научных контактов ученых ОИЯИ с американскими коллегами, развиваются более тесные связи Института с национальными центрами США. Этот новый этап в развитии сотрудничества был открыт визитом в ОИЯИ в 1969 году Гленна Сиборга, бывшего в то время председателем Комиссии по атомной энергии США. Первый совместный эксперимент по упругому π - e -рассеянию, в котором измерен зарядовый радиус пиона, был выполнен на ускорителе У-70 в Протвино в 1970–1971 годах. Эксперимент был независимо предложен физиками Лаборатории высоких энергий ОИЯИ и Калифорнийского университета (Лос-Анджелес). Накопленный опыт проведения эксперимента в Протвино использован в последовавших совместных работах в Национальной ускорительной лаборатории имени Ферми (ФНАЛ, Батавия). В США выезжала тогда на длительные сроки группа специалистов ОИЯИ во главе с профессором А.А.Кузнецовым. С 1972 по 1980 год во ФНАЛ был проведен цикл работ по исследованию процессов дифракционного рассеяния протонов на протонах и легких ядрах в широком диапазоне энергий, позволивший точно и полно проверить основные положения квантовой теории поля. Научное руководство со стороны ОИЯИ осуществлялось В.А.Никитиным. Часть уникальной аппаратуры, созданной в ОИЯИ для этих работ, теперь хранится в музее Американского физического общества в Вашингтоне. До сих пор ФНАЛ, или Фермилаб, можно считать одним из основных американских партнеров ОИЯИ. На его протонном





ускорителе — тэватроне — большими международными коллективами выполняется ряд крупных научных проектов. Участие ОИЯИ в физической программе модернизированного тэватрона осуществляется двумя группами во главе с доктором Г.Д.Алексеевым и профессором Ю.А.Будаговым — в проектах D0 и CDF, нацеленных на наиболее важные проблемы физики высоких энергий: регистрацию бозона Хиггса, выяснение свойств кварков 3-го поколения, обнаружение суперсимметричных частиц и т. п. Дубна вносит свой вклад в техническое обеспечение экспериментов на установках D0 и CDF: изготавливает детекторы и другую экспериментальную аппаратуру.

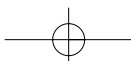
Следует отметить активное сотрудничество с Брукхейвенской лабораторией (БНЛ) в проекте STAR, прочные и эффективные связи ЛЯР ОИЯИ с Ливерморской национальной лабораторией имени Лоуренса. Сегодня у ОИЯИ обширные связи с американскими лабораториями и университетами — более чем с 70 — по всем направлениям его деятельности, за исключением образовательной программы. Хотя для студентов и школьников была выполнена одна интересная совместная работа: сотрудники ОИЯИ под руководством Ю.А.Панебратцева с коллегами из Брукхейвенской лаборатории создали веб-сайт о новых результатах совместных экспериментов ученых ОИЯИ и БНЛ. Осуществляется сотрудничество и в области ядерной безопасности. При финансовой помощи и организационной поддержке Департамента энергетики США совершенствуется физическая защита ОИЯИ, его хранилища радиоактивных материалов.

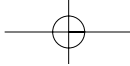
Одним из государств-основателей Объединенного института ядерных исследований была Китайская Народная Республика. До 1965 года в Институте работала большая группа китайских специалистов. После фактического выхода КНР из ОИЯИ связи с китайскими учеными были прерваны почти на два десятилетия. С середины 80-х годов научные контакты возобновились. В 1989 году в ОИЯИ приезжала делегация во главе с почетным директором Института атомной энергии КНР профессором Ван Ганчаном¹, в 1990 году — делегация Академии наук КНР во главе с ее президентом профессором Чжоу Гуанчжао². Годом позже Дубна принимала генерального секретаря Китайского ядерного общества профессора Сюй Хунгуя, целью визита которого было обсуждение договора о сотрудничестве. Во время этой и других встреч был проявлен интерес к разным направлениям исследований в ОИЯИ, особенно — в области физики тяжелых ионов и нейтронной физики. Были подписаны протоколы о сотрудничестве с Институтом современной физики в Ланьчжоу в области физики тяжелых ионов и ускорительной техники, с Пекинским университетом — в области нейтронной физики, протокол о сотрудничестве с Шанхайским институтом ядерных исследований.

Объединенный институт ядерных исследований поддерживает связи со многими индийскими научными центрами, университетами, на протяжении уже многих лет принимает в своих лабораториях молодых ученых Индии в качестве стипендиатов. В 70–80-е годы успешно осуществлялось сотрудничество с Пенджабским университе-

¹ С 1959 по 1961 год — вице-директор ОИЯИ.

² С 1957 до 1961 год работал научным сотрудником Лаборатории теоретической физики ОИЯИ.





том в области релятивистской ядерной физики. Ученым из Пенджаба предоставлялись фотографии с двухметровой пропановой камеры, облученной на пучках дубненского синхрофазотрона. Индийские ученые участвовали в изучении взаимодействия релятивистских ядер с легкими и тяжелыми ядрами, обрабатывая данные, анализируя результаты и создавая программы для обработки экспериментальных данных. Сегодня Объединенный институт сотрудничает с 12 научно-исследовательскими организациями и университетами в девяти городах Индии по восьми научно-исследовательским темам. Значительны связи в области теоретической физики – квантовой теории поля, математической физики и теории конденсированных сред.

Развивается сотрудничество с университетами и исследовательскими центрами Японии, в первую очередь с РИКЕН – Институтом физических и химических исследований. Проводятся совместные исследования в области физики источников ионов. В рамках сотрудничества, в частности, были проведены важные теоретические исследования по образованию и накоплению ионов в источнике ионов на электронно-циклотронном резонансе (ЭЦР-источнике). В 1999 году в сотрудничестве с РИКЕН был подготовлен и начат новый проект по применению модели крупных частиц в компьютерных программах и численном моделировании для многокомпонентной ЭЦР-плазмы. В последние годы экспериментальная деятельность была связана с исследованиями на ЭЦР-источниках сотрудничающих сторон с целью усовершенствования их работы и получения большей информации об основных характеристиках ЭЦР-плазмы. Активно развивается сотрудничество с РИКЕН по исследованию структуры квазистационарных состояний ядер (${}^4\text{H}$, ${}^5\text{H}$), а также свойств ядер с нейтронным гало ${}^6\text{He}$, ${}^8\text{He}$. Проводятся совместные радиобиологические исследования. В совместных работах в области применения методов компьютерного молекулярного моделирования в физико-химических и биологических системах участвуют РИКЕН с его Центром науки генома и ряд японских университетов. Дубненскими теоретиками совместно с японскими учеными выполняются, в частности, исследования роли релятивистских эффектов в структуре дейтрона на основе подхода Бете–Столпитера.

В 90-е годы прошедшего столетия отдельные контакты с учеными Тайваня и Республики Корея переросли в прочные связи с их исследовательскими центрами.

То же можно сказать о связях с научными центрами Южно-Африканской Республики. А вот ряд ученых другой страны африканского континента – Египта – связывают с ОИЯИ месяцы и даже годы работы в его лабораториях в качестве стипендиатов. Здесь они приобретали опыт работы, некоторые на материале работы в ОИЯИ защитили диссертации.

Самыми трудными для ОИЯИ были 90-е годы, после распада СССР, во время кардинальных социально-политических изменений в большинстве стран-участниц. В этот переходный период дирекцией Института была предпринята огромная работа по сохранению уникального научного центра, по поддержанию его международных связей и по дальнейшему развитию его научно-технического сотрудничества.

В коротком обзоре затронуты не все аспекты международного сотрудничества Объединенного института ядерных исследований, осталось не упомянутым многое из совместных работ и научных центров, с которыми проводились и проводятся совместные исследования, поддерживаются научные контакты. Но ОИЯИ очень дорожит всеми своими научными и дружескими связями, будет укреплять их и впредь.

