поставленных перед ним задач. В целом оно включает вопросы практического обучения по подготовке проб воды для проведения различных видов изотопных анализов, по эксплуатации и техническому обслуживанию масс-спектрометров и газовых счетчиков. Кроме того, стажеров учат основным навыкам работы по оценке и статистической обработке полученных данных, выявлению причин ошибок в счетчиках низкого уровня активности и процедурам калибровки.

Ежегодно в группе изотопной гидрологии проводится индивидуальное обучение 3-7 стажеров. Продолжительность обучения варьируется от 2 недель до 6 месяцев. Кроме того, є лаборатории проводится групповое обучение стипендиатов по использованию изотопных методов в гидрологии.

На 1990 г. планируется проведение усовершенствованного курса обучения аналитическим изотопным методам для персонала изотопных лабораторий, занимающихся вопросами охраны окружающей среды в развивающихся странах.

Подготовка научных кадров в области ядерных наук

Международный центр теоретической физики — основная база подготовки специалистов в области ядерной физики и физики реакторов

М.К. Мета и И.И. Шмидт

Международный центр теоретической физики (МЦТФ) имеет давние традиции в деле подготовки ученых из развивающихся стран в различных областях фундаментальной теоретический физики и их применении в технологии. Основой этой деятельности является философская концепция, что технология базируется на научных исследованиях и открытиях. Этот тезис легко подтверждается на примере ядерной технологии, фундамент которой составляет ядерная физика.

50 лет тому назад был открыт физический процесс деления ядра со следующими важными характеристиками: тяжелые ядра могут быть разделены тепловыми нейтронами; деление ядра сопровождается испусканием более чем одного нейтрона; и большое количество энергии (около 200 МэВ) освобождается при каждом событии ядерного пеления

Эти характеристики открыли возможность контролируемых непрерывных цепных реакций ядерного деления, что привело в начале 1942 г. к строительству первого реактора деления, подтвердившего возможность получения атомной энергии в мирных целях. В настоящее время во всех странах мира работает свыше 400 ядерных энергетических реакторов мощностью около 300 000 МВт (эл) и свыше 300 ядерных исследовательских реакторов, что является значительным вкладом в мировое производство электроэнергии, а также в потенциал ядерных промышленных и научных исследований.

Надо отметить, что в то время как разработки ядерных энергетических реакторов в основном проводились в промышленно развитых странах, в 17 развивающихся странах начали создаваться ядерные энергетические программы с целью восполнения пробелов в энергетических ресурсах. Примерно в 34 развивающихся странах построены ядерные исследовательские реакторы, предназначенные для подготовки кадров и проведения исследований в области фундаментальной и прикладной ядерной физики и подготовки операторов ядерных энергети-

Г-н Мета — сотрудник и г-н Шмидт — руководитель Секции ядерных данных Отдела физических и химических наук МАГАТЭ.

ческих реакторов. Примерно около 80 развивающихся стран в настоящее время применяют ядерные методы в различных областях национальных исследований и экономики, используя радиоизотопы и ядерное излучение в сельском хозяйстве, медицине, биологии, геологии и исследованиях по защите окружающей среды.

Для овладения всеми аспектами ядерной технологии, включая проектирование, эксплуатацию, обслуживание и безопасность ядерных энергетических и исследовательских реакторов, необходимо глубокое понимание типа, механизма и размеров ядерной реакции и процессов распада, происходящих в реакторе, Ядерная экспериментальная и теоретическая физика является основным орудием исследований для качественного понимания и количественной оценки этих ядерных реакций. Ядерные данные как конечный продукт этих исследований после некоторых промежуточных ступеней оценки и обработки на вычислительных машинах в соответствующие файлы данных образуют основной массив исходных данных для проведения расчетов по физике реакторов. Такие расчеты необходимы для прогнозирования поведения нейтронов в реакторе и для количественного определения наиболее важных параметров проектирования, эксплуатации и безопасности ядерных реакторов деления. Ядерные данные являются связующим звеном между фундаментальной ядерной физикой, проектированием ядерной технологии и ее применением.

В любую программу обучения по ядерной науке и технике, ориентированную на теоретическую физику, необходимо включать рассмотрение методов и моделей фундаментальной теории ядерных реакций, проверенных путем сравнения с результатами экспериментальной ядерной физики и соответствующими компьютерными кодами для расчета ядерных данных; вопросы оценки и применения ядерных данных и использования ядерных данных компьютерных библиотек в применениях ядерной технологии; рассмотрение методов физики ядерных реакторов и связанных с ними компьютерных кодов для расчета проектных, эксплуатационных характеристик, а также мер по безопасности ядерных энергетических и исследовательских реакторов.

Исторический обзор

Начало работы МЦТФ в области ядерной физики низких энергий связано с организацией четырех курсов по теории ядра, посвященных фундаментальным вопросам теории ядра без рассмотрения прикладных исследований, проводившихся соответственно в 1966, 1969, 1971 и 1973 гг. В 70-х годах гораздо большее количество развивающихся стран начало разработки программ в области ядерной энергетической технологии и по применению излучений и изотопов в различных областях ядерных наук. Соответственно возникла необходимость передачи в развивающиеся страны в больших масштабах знаний по методам и методикам, используемым в ядерной науке и технике. МЦТФ был и остается по настоящее время единственным местом в мире, где осуществляется такая передача знаний в области фундаментальной и прикладной теоретической физики. Деятельность МЦТФ является необходимым дополнением к работе, проводимой МАГАТЭ по программе технического сотрудничества и помощи по передаче экспериментальных и промышленных данных в области технологии ядерных энергетических и исследовательских реакторов.

Признавая эти заслуги, и в связи с рекомендациями Международного комитета по ядерным данным (МКЯД) МАГАТЭ совместно с МЦТФ организовало в Триесте в 1975 г. совещание консультантов. Целью этого совещания было рассмотрение статуса и использование теории ядра, моделей и компьютерных кодов в оценке нейтронных ядерных данных, необходимых для проектирования реакторов деления и синтеза и других ядерных применений. Второй задачей была выработка рекомендаций по будущим разработкам, где особое внимание уделялось вопросу о создании необходимых условий и возможности сотрудничества ученых из развивающихся стран, занимающихся проблемами теории ядра.

Это совещание высококвалифицированных экспертов в области фундаментальной и прикладной ядерной физики принято считать "основополагающим" совещанием по определению роли МЦТФ в области ядерной теории и ее применениям в ядерной технологии. Помимо того, что были сформулированы задачи для дальнейших необходимых разработок в области фундаментальных и прикладных исследований ядерных реакций низких энергий, участники совещания отметили наличие значительных потенциальных возможностей для ученых из развивающихся стран внести значительный вклад в развитие теории ядра, физики реакторов, а также работы по расчетам и использованию ядерных данных. Однако, в связи с научной изоляцией от своих коллег, работающих в данной области, им необходимо было пройти подготовку по ознакомлению с последними современными достижениями и методами в области теории. Совещание подготовило рекомендации по организации и проведению в МЦТФ расширенного курса в течение нескольких недель по теории ядра и использованию компьютерных кодов ядерных моделей.

Участие в совещании сотрудников Отдела ядерной энергии и реакторов МАГАТЭ способствовало расширению объема предполагаемого курса за счет освещения вопросов ядерных энергетических реакторов. Первые зимние курсы по ядерной физике и реакторам (в двух частях) были проведены с 17 января по 10 марта 1978 г. Организаторами этих курсов являлись МАГАТЭ, МЦТФ и Вычислительный центр (Болонья) Национального комитета по атомной энергии Италии.

Часть I курса была посвящена "Теории ядра для прикладных применений". Она строилась таким образом, чтобы предложить ядерным физикам. специалистам, проводящим оценку ядерных данных, и ученым-реакторщикам, проявляющим интерес к теории ядра и ядерным данным, - в особенности из развивающихся стран, которые планируют разработку ядерной энергетической программы, серьезный обзор современных исследований в теории ядерных реакций низких энергий. Лекции сочетались с практическими занятиями на самом высоком уровне по применению этой теории и соответствующих компьютерных кодов к интерпретации и расчетам нейтронных ядерных данных, необходимых для расчетов ядерных реакторов. Рассматриваемые темы подчеркивали важность

ядерных данных для ядерной технологии, теории и интерпретации нейтронных резонансов, усовершенствованных оптических моделей, статистической теории нейтронных ядерных реакций, теории и моделей ядерного предравновесного распада и теории ядерного деления, вызываемого нейтронами. В работе курсов приняли участие 91 ученый из 29 развивающихся стран, 12 ученых из 6 промышленно развитых стран и пять ученых из двух международных исследовательских организаций.

Часть II зимнего курса 1978 г. "Теория реакторов и энергетические реакторы" была запланирована как широкий серьезный обзор последних достижений в теории ядерных реакторов и ее применений в соответствии с инженерными требованиями проектирования и эксплуатации ядерных энергетических реакторов. Тематика лекций включала ядерные данные, используемые для расчетов реакторов; новейшие теоретические, расчетные и экспериментальные методы по физике реакторов; аспекты физики реакторов основных типов тепловых ядерных энергетических реакторов и компьютерные коды для расчетов нейтроники энергетических реакторов. В работе курса принимали участие 100 ученых из 27 развивающихся стран, 16 ученых из 6 промышленно развитых стран и 4 сотрудника международных исследовательских

Современный статус

организаций.

Несколько факторов способствовали тому, что МЦТФ и МАГАТЭ продолжили традицию проведения этих первых курсов серией школ и рабочих семинаров. К числу таких факторов относятся следующие: большое количество участников зимних курсов по ядерной физике и реакторам; интенсивные связи и контакты между участниками курсов из развивающихся стран и лекторами, а также между самими учащимися курсов. Во время курсов и по их окончании получено много запросов на ядерные данные. научную документацию, ядерные модели, материалы по физике реакторов и коды обработки данных. Школы и рабочие семинары соответственно проводились МЦТФ в 1980, 1982, 1984, 1986 и 1988 гг. Зимние школы 1980 и 1982 гг. были организованы по тому же сценарию, что и курсы 1978 г.: два курса следовали один за другим: первый курс - по ядерной физике и ядерным данным, а второй курс - по ядерным реакторам.

Начиная с 1984 г., был принят другой порядок, что объясняется несколькими причинами. Первые три школы, проводящиеся в два курса, в основном посещались одними и теми же слушателями. Стало очевидным, что для физиков-реакторщиков и ядерных инженеров неинтересны лекции по ядерной физике, так как они не получают от этого никакой пользы. В свою очередь, для теоретиков по ядерной физике и экспертов по ядерным данным неинтересны вопросы теории ядерных реакторов. Поэтому было принято решение разделить курсы и продолжать проводить их раз в два года, но изменить тематику и название: вместо курсов по теории ядра и ядерным данным для расчета ядерной модели ввести курс по применениям ядерной технологии (1984 и 1988 гг.), и курс по физике реакторов и применениям ядерных данных, проведение которого запланировано на 1986 и 1990 г.

Во-вторых, быстрый прогресс в области вычислительной техники открыл доступ к использованию более дешевых и более мощных микро- и мини-ЭВМ — в частности персональных компьютеров. Это позволило развивающимся странам приобретать большее количество микро- и мини-ЭВМ большей мощности, что значительно увеличило их потенциал в проведении сложных расчетов более масштабных ядерных моделей и кодов физики реакторов. В связи с этими изменениями МЦТФ закупил главный центральный процессор Gould, связанный со все увеличивающимся числом персональных компьютеров.

Все эти факторы привели к изменению порядка проведения курсов по теории ядра и реакторной физике, начиная с 1984 г. Первые курсы в основном проводились в виде лекций, специальных семинаров и дискуссионных рабочих групп. Начиная с 1984 г. они приняли форму рабочих семинаров, где читались лекции, а затем проводились практические занятия на центральном процессоре и на персональных компьютерах по ядерным моделям и физике реакторов. Основное внимание в лекциях уделялось новейшим достижениям в фундаментальной теории и изложению вводных сведений по отдельным компьютерным кодам, которые предполагалось использовать на практических занятиях. Новая форма курса потребовала более интенсивной подготовительной работы, а также более тесного сотрудничества лекторов и преподавателей, проводящих практические занятия, в частности физиков и персонала вычислительного комплекса. Например, необходимо было адаптировать компьютерные коды к центральному процессору и персональным компьютерам МЦТФ, кроме того участники семинара постоянно нуждались в помощи преподавателей при использовании вычислительных машин и выполнении практических заданий.

По просъбе участников предыдущих курсов работа рабочих семинаров МЦТФ была продлена на одну-две недели для короткой стажировки в практической работе в подходящих по профилю работы близлежащих лабораториях с тем, чтобы участники семинара могли познакомиться с практическими аспектами программы курса. В 1986 г. была проведена однонедельная стажировка по физике реакторов, безопасности и вопросам эксплуатации на исследовательском реакторе в Институте имени Иосипа Стефана в Любляне, Югославия. Аналогичная стажировка была организована после проведения рабочего семинара в Лабораториях INFN (Национального института ядерной физики) в Леньяро, Италия).

С самого начала организации курсов они характеризовались высоким уровнем проведения лекций, практических занятий и дискуссий. Соответственно и участники курсов должны были иметь очень высокую квалификацию: диплом доктора или примерно равный образовательный уровень и/или не менее нескольких лет учебы или исследовательской работы по одной или нескольким тематикам курса после получения первой научной степени. Необходимым условием для зачисления на последние три курса был опыт работы на вычислительной машине по расчетам ядерной модели или в области физики реакторов или проведение общих расчетов на ЭВМ.

Для рабочих семинаров по теории ядра участники набирались из числа физиков, работающих в

области экспериментальной и теоретической ядерной физики, и специалистов, занимающихся оценкой ядерных данных, и нескольких физиков-реакторщиков, имеющих более широкие интересы. Для рабочих семинаров по физике реакторов участники набирались, в первую очередь, из числа физиков-реакторщиков, инженеров и специалистов, занимающихся оценкой ядерных данных, а также из числа ядерных физиков, интересующихся проблемами физики ядерных реакторов.

На курсах обычно занимались 70-90 участников из развивающихся стран. Начиная с 1984 г., постоянный уровень набора был установлен в 60-70 участников, что было обусловлено возможностями вычислительного оборудования МЦТФ. Надо отметить, что по сравнению с первыми проводимыми курсами, где академический уровень подготовки учащихся был довольно разнородным (в связи с чем более подготовленным участникам приходилось проводить ознакомительные лекции для менее подготовленных участников курсов), состав участников последних курсов стал намного более однородным, так как профессиональный и образовательный уровень подготовки большинства участников соответствовал требованиям рабочих семинаров.

Значение курсов и рабочих семинаров

Курсы и рабочие семинары, организуемые МЦТФ в течение последнего десятилетия, оказали значительное влияние на развитие ядерной науки и техники в развивающихся странах. О непосредственном влиянии можно судить по некоторым статистическим данным. В течение этого десятилетия более 350 ученых, работающих в области теории ядра, из 60 развивающихся стран прошли подготовку на самом высоком уровне по ознакомлению с последними достижениями в области теории ядра и моделей ядер, оценки и применения ядерных данных, физики ядерных реакторов и соответствующих компьютерных кодов. В тот же самый период нескольким участникам курсов были присвоены звания профессоров МЦТФ по прикладным исследованиям теории ядра и физики реакторов. Во время работы курсов их участниками было проведено около 40 специальных семинаров, на которых они рассказывали о своей работе аудитории равных себе, что невозможно было бы для них в своих собственных странах. Публиковались труды курсов. которые в количестве более чем 500 экземпляров распределялись МЦТФ и МАГАТЭ в развивающихся странах (см. текст в рамке). Труды широко цитируются в научных публикациях и представляют собой основополагающий материал для разработки учебных программ по ядерной физике и физике реакторов в целом ряде университетов развивающихся стран. Участники нескольких предыдущих курсов добились выдающихся успехов и достигли положения лекторов и преподавателей, ведущих занятия, на последних практические семинарах МЦТФ.

Долговременное воздействие этого вида работы МЦТФ подтверждается его влиянием на более широкие слои ученых по сравнению с представленными на курсах. Например, начиная с 1980 г., МАГАТЭ отмечает сильное увеличение запросов от ученых развивающихся стран на

Перечень

трудов учебных курсов, проведенных в МЦТФ

- Теория ядра в оценке нейтронных ядерных данных, труды консультативного совещания, МЦТФ-Триест, 8-11 декабря 1975 г., IAEA TECDOC, IAEA-180, тома I и II (1976 г.)
- Теория ядра для прикладных применений, том І трудов зимних курсов по ядерной физике и реакторам, МЦТФ-Триест, 17 января 10 февраля 1978 г., IAEA-SMR-43 (1980 г.)
- Теория реакторов и энергетические реакторы, том II трудов зимних курсов по ядерной физике и реакторам, МЦТФ-Триест, 13 февраля 10 марта 1978 г., IAEA-SMR-44 (1980 г.)
- Теория ядра для прикладных применений 1980, труды межрегионального усовершенствованного курса обучения по применениям теории ядра к расчетам ядерных данных при проектировании реакторов, МЦТФ Триест, 28 января 22 февраля 1980 г., IAEA-SMR-68/I (1981 г.)
- Физика эксплуатации энергетических реакторов, труды курса по физике эксплуатации энергетических реакторов, включая пуск, испытания и обращение с топливом, МЦТФ-Триест, 3-28 марта 1980 г., IAEA-SMR-68/II (1982 г.)
- Теория ядра для прикладных исследований 1982, труды курса по последним достижениям в теории ядра и использованию ядерных данных для расчета реакторов, МЦТФ Триест, 25 января 19 февраля 1982 г., IAEA-SMR-13 (1984 г.)
- Применения ядерных данных и физики реакторов, труды рабочего семинара, МЦТФ-Триест, 17 февраля 21 марта 1986 г., под редакцией Д.Е. Каллена, Р. Муранака и И.И. Шмидта. Издательство World Scientific Publishing Co. Pte/Ltd., Сингапур (1986 г.)
- Прикладная теория ядра и расчет ядерной модели для применений в ядерной технологии, труды рабочего семинара, МЦТФ-Триест, 15 февраля 18 марта 1988 г., будут опубликованы издательством World Scientific Publishing Co. Pte/Ltd., Сингапур

цифровые ядерные данные, коды обработки данных, научную литературу и доклады, число которых от 2-300 в 70-е годы возросло до 7-800 в 80-е годы. Благодаря сопутствующей автоматизации процессов сбора данных, испытаний и процедур передачи, стало возможным удовлетворить эти возросшие потребности.

Курсы способствовали значительному усилению связей ученых из развивающихся стран с МАГАТЭ, которое все чаще выступает в роли наставника и советника в области получения, обработки и использования ядерных данных для практической работы по физике реакторов и других расчетах. Участие в курсах также способствовало созданию и/или укреплению специальных групп по

ядерным данным и центров в ряде развивающихся странах, включая Аргентину, Бразилию, Китай, Индию и Югославию. Некоторые из этих центров, такие, как например, Центр в Сан-Хосе-дос-Кампос, Бразилия, и Китайский центр ядерных данных при Институте атомной энергии в Пекине, Китай, выступают в роли местных центров для получения, сбора, обработки и распространения ядерных данных в своих странах.

Значительно увеличилась также передача в развивающиеся страны ядерных моделей и компьютерных кодов по физике реакторов. Например, на последнем рабочем семинаре 1988 г. проводилось обучение по 11 новейшим компьютерным кодам, связанным с расчетами моделей поперечного сечения ядерных реакций. В конце рабочего семинара поступило 58 запросов от участников семинара из 8 развивающихся стран на передачу некоторых кодов. Они были переданы в Банк данных Агентства по ядерной энергии Организации экономического сотрудничества и развития (АЯЭ/ОЭСР). Значительная часть услуг по кодам в основном в вышеупомянутых областях передается в развивающиеся страны. В течение последних нескольких лет Банк данных АЯЭ организовал работу по взаимному сравнению компьютерных кодов различных лабораторий, связанных с различными аспектами теории ядерных реакций низких энергий, таких как статистическая модель, оптическая модель и предравновесный распад.

По всеобщему мнению, МЦТФ является идеальным местом встреч для ученых, работающих в области теории ядра, из развивающихся и развитых стран. Эти курсы положили начало научному сотрудничеству отдельных ученых, а также созданию новых долговременных проектов, разработан-

ных участниками курсов.

Главным достижением курса 1980 г. был межрегиональный проект МАГАТЭ в области техни-. ческого сотрудничества по методам ядерных данных и приборам, задачи и объем работ которого сформулировали 40 участников курса. Это был первый межрегиональный проект Агентства по техническому сотрудничеству, основной целью которого являлось усиление потенциала развивающихся стран в области проведения точных ядерных измерений с использованием методов, созданных учеными разных стран с начала ядерной эры в области ядерных данных. За счет дополнительного субсидирования национальных проектов технической помощи, этот межрегиональный проект вывел несколько лабораторий в таких развивающихся странах, как Марокко, Пакистан, Таиланд, на уровень самофинансируемых ядерных аналитических лабораторий. Эти и другие лаборатории принимали участие в координированных исследовательских программах МАГАТЭ, разработанных на очень высоком уровне, ставящих задачу повышения статуса данных поперечных сечений нейтронов для использования в реакторах деления и синтеза путем измерений, обработки на вычислительных машинах и анализа таких данных.

Этот межрегиональный проект, в котором принимали участие 28 лабораторий из 25 развивающихся стран и 14 обучающих шефских лабораторий из 11 других стран-участниц, проводился с 1982 по 1986 г. После тщательной оценки экспертами МАГАТЭ полученных результатов и важности таких мероприятий начались работы второго межрегионального проекта в области технического сотрудничества по обучению методам ядерных измерений в более широких масштабах, включая основные методы ядерных измерений и анализа, при финансовой поддержке МАГАТЭ аналогичных проектов в развивающихся странах. Задача проекта - расширить возможности участвующих лабораторий в области точных и надежных измерений в прикладной ядерной физике. Более 40 лабораторий проявили интерес и начали активно участвовать в этом проекте, рассчитанном на пять лет с 1987 по 1991 г.

Создание курсов привело к установлению более тесных связей между МАГАТЭ и МЦТФ. Научные сотрудники МАГАТЭ читали лекции на курсах по различным аспектам программы МАГАТЭ, включая такие, как деятельность лабораторий в Зейберсдорфе, программа Агентства по атомной энергетике,последствия Чернобыльской аварии, радиационная защита ядерных установок и программа технического сотрудничества и помощи. Такая работа способствовала лучшему пониманию учеными из развивающихся стран целей, задач и процедур МАГАТЭ и помогла повысить эффективность сотрудничества Агентства, особенно по программе технического сотрудничества и помощи, с ядерными организациями и институтами в разви-

вающихся странах.

Проведение курсов по ядерной физике и физике реакторов обеспечило определенный опыт организаторам курсов. При работе каждого курса возникали новые проблемы, и участники курсов оказывали большую помощь руководителям, высказывая предположения по повышению эффективности и значения курсов на регулярных встречах с администрацией. На основе такого опыта и пожеланий организация курсов постоянно совершенствуется с тем, чтобы они стали эффективным инструментом для передачи знаний в области ядерной физики в развивающиеся страны. Таким образом, курсы стали составной частью научной деятельности МЦТФ и являются важным каналом связи для передачи современных достижений в области ядерной физики и физики реакторов все возрастающему числу ученых, работающих в этих областях в развивающихся странах.