

ческое производство водорода в замкнутом сернокислотном цикле разложения воды и производство аммиака на базе паровой каталитической конверсии метана. Ведутся работы над опытной энерготехнологической установкой с высокотемпературным реактором ВГР-50 с гелиевым теплоносителем. В этом реакторе мощностью 50 МВт (эл.) предполагается применить шаровые твэлы. Разрабатываются проекты прототипных тепловых и быстрых реакторов мощностью 300—400 МВт (эл.). В Польше исследуют энерготехнологическое применение НТР, проявляя при этом основное внимание к газификации углей. Основной интерес во Франции сейчас проявляется к НТР в связи с потребностью в высокотемпературной энергии для получения водорода из метана и использования его для газификации углей и производства тепловой энергии и пара для нефтяной промышленности.

В ФРГ предполагается использовать НТР как для электроэнергетики, так и для энерготехнологических процессов. Работы сконцентрированы на проектах демонстрационных станций, основанных на высокотемпературных реакторах с шаровыми твэлами: ННТ-600 для электроэнергетики с гелиевой турбиной мощностью 600 МВт (эл.) и воздушным охлаждением. Температура гелия на выходе из реактора 850 °С, КПД станции >41%; РНП-500 для производства технологического тепла мощностью 500 МВт (тепл.), температура гелия 950 °С. Этот реактор имеет два равных по мощности охлаждающих контура, один из которых предназначен для гидрогазификации бурого угля, второй — для комбинированной паровой и гидрогазификации каменного угля. Суммарная производительность АЭС по синтетическому газу  $\sim 70 \cdot 10^3$  м<sup>3</sup>/ч. Строительство обеих АЭС намечено осуществить в конце 80-х годов. В 90-е годы предполагается ввести несколько крупных коммерческих станций: ННТ-1200 мощностью 1200 МВт (эл.) и РНП мощностью 3000 МВт (тепл.).

Для обоснования направления НТР во многих странах в настоящее время осуществляется большой объем экспериментальных исследований:

проводятся реакторные испытания топлива и конструкционных материалов, создаются установки по химической переработке твэлов;

отрабатываются различные компоненты оборудования: корпуса из предварительно-напряженного железобетона, теплообменное оборудование, арматура и т. д.; испытываются на крупных стендах гелиевые турбины, горячие газопроводы, теплоизоляция;

изучаются на опытных установках процессы паровой и гидрогазификации угля;

изучается безопасность НТР и установок, предназначенных для энерготехнологических целей.

На совещании отмечалась важная роль быстрых реакторов-размножителей в развитии ядерной энергетики. Некоторые страны работают над двумя концепциями таких реакторов: с натриевым (LMFBR) и гелиевым теплоносителем (GCFR). Работы по GCFR ведутся в европейских странах, входящих в OECD/NEA, а также в СССР и США.

На совещании были определены условия подготовки протоколов и отчетов и их распространения среди стран, участвующих в деятельности по НТР. Были также обсуждены и рекомендованы совещания специалистов по наиболее актуальным аспектам НТР, проводимые в рамках МАГАТЭ на 1979—1980 гг. Среди них совещания по безопасности быстрых реакторов с гелиевым теплоносителем, по графиту, по использованию НТР для энерготехнологических целей и др. Участие в этих совещаниях позволит специалистам разных стран обмениваться мнениями и обсудить конкретные технические проблемы.

В течение последних лет в связи со значительным объемом исследований по НТР некоторые страны (ФРГ, США, Швейцария, Япония, Франция и др.) заключили двух- и трехсторонние соглашения для совместного решения различных проблем. Это позволяет обмениваться опытом и тем самым сокращать затраты на исследования, проводить их в более короткие сроки. Международное сотрудничество по НТР в рамках МАГАТЭ также является важным условием для успешного развития этого направления, открывающего возможности широкого промышленного применения атомной энергии.

ГРЕБЕННИК В. Н.

## Международная конференция по нейтронной физике и ядерным данным для реакторов и других прикладных целей

Конференция состоялась в Харуэлле (Великобритания) в сентябре 1978 г. и являлась второй, проводимой в соответствии с рекомендацией Международного комитета по ядерным данным при МАГАТЭ, в которой указывалось на целесообразность замены одной большой конференции МАГАТЭ по данной теме с периодом проведения 4—5 лет ежегодными конференциями по 3-летнему циклу. Такая замена дает возможность ускорить обмен новыми идеями и данными, более тщательно и глубоко их обсудить при меньших затратах сил и средств. Общее число участников конференции составило 200 чел. из 31 страны; доклады (всего 130) представлялись на пленарных и двух параллельных секционных заседаниях.

Направленность конференции: нейтронные ядерные данные (потребности, измерения, оценки, интегральные эксперименты, расчеты по известным моделям) для

реакторов, в меньшей степени для термоядерных реакторов, системы гарантий, биомедицины и других прикладных целей.

Ядерные данные для реакторов охватывали не только традиционные области (расчет собственно реактора, его эксплуатация и безопасность), но и все другие звенья топливного цикла — накопление трансактиноидов и осколков, охлаждение, хранение и переработка облученного топлива, захоронение отходов. В ходе конференции неоднократно отмечался основной принцип, положенный в основу установления точности значений основных реакторных параметров: устранение дорогостоящих запасов на разных этапах реакторной технологии, которые необходимо вводить при предсказаниях значений этих параметров с меньшей погрешностью. Исходя из этого принципа английские специалисты, например, сформулировали следующие требо-

вания к погрешности значений некоторых параметров:  $K_{эф}$  — 0,5% для свежего топлива и 0,5—1% для облученного, КВ — 2%, Доплер-эффект — 10—15%, натриевый пустотный эффект — 10—15% и т. д. Отсюда вытекают требования к точности ядерных характеристик, например, для резонансной и быстрой областей энергий нейтронов:  $\nu$  — 0,3% для делящихся изотопов и 1% для сырьевых ( $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ),  $\sigma_f$  — 1% для всех,  $\sigma_c$  или  $\alpha$  — 4% для делящихся и 3% для сырьевых и т. д. Менее жесткие требования предъявляются к указанным характеристикам для  $^{240,241}\text{Pu}$ .

На конференции были представлены доклады о дальнейшем уточнении сечений деления  $^{235,238}\text{U}$ ,  $^{239}\text{Pu}$  в широкой области энергии нейтронов, сечений захвата для большого числа ядер, по изучению Доплер-эффекта, определению параметров нейтронных резонансов и получению усредненных характеристик — силовых функций, средних расстояний между уровнями. Часть сообщений была посвящена измерениям сечений упругого рассеяния быстрых нейтронов и реакций с выходом газообразных продуктов,  $\gamma$ -излучения, а также сечений размножения нейтронов, в частности в реакциях  $(n, 3n)$  и  $(n, 4n)$  на  $^{235,238}\text{U}$ .

Наряду с дальнейшим интенсивным накоплением и уточнением данных для основных делящихся, сырьевых и конструкционных материалов существенно усилены исследования трансактиноидов и индивидуальных ядер — продуктов деления. Например, учитывая новые данные, представленные на конференции, можно констатировать, что сечение деления  $^{241}\text{Am}$  известно сейчас с погрешностью ~5% для нейтронов энергией 0,001—15 МэВ, кроме узкой области 2—20 кэВ, где расхождение достигает 30—40%. Последние экспериментальные данные подтверждают светские данные Шпака и др., полученные в 1969 г. Американские данные, полученные методом подземного ядерного взрыва, резко отличаются от всей совокупности современных экспериментальных данных.

Для осколков деления, кроме традиционных работ по выходам и периодам полураспада, обсуждались работы по сечениям захвата нейтронов отдельными ядрами. Были представлены экспериментальные значения и результаты теоретических расчетов, выполненные в основном французскими специалистами.

Значительное внимание было уделено интегральным экспериментам для быстрых и тепловых реакторов. Разрешению противоречий при описании реактивности центральных образцов, которые имеют место на аргонских сборках, была посвящена специальная работа, выполненная в Лос-Аламосе (США) на гомогенном цилиндрическом реакторе, содержащем 200 кг  $^{235}\text{U}$ . Полученное близкое к 1 отношение рассчитанной (с помощью данных ENDF/B IV) и измеренной реактивности центральных образцов дает основание утверждать, что в расхождениях повинны неучтенные гетерогенные эффекты. В основном же в сообщениях по интегральным экспериментам сравнивались опытные данные с оцененными значениями библиотеки ENDF/B.

Из докладов, относящихся к ядерным данным для термоядерных реакторов, интересно отметить шведскую

работу по уточнению характеристик, принятую в качестве стандарта реакции  $^6\text{Li}(n, \alpha)\text{T}$  для нейтронов энергией 1—4 МэВ. Обнаружена зависимость углового распределения продуктов реакции от энергии нейтронов, которая находится в согласии с расчетами по  $R$ -матричной теории. Параллельно с измерениями прямой реакции изучалось в соответствующем интервале энергии сечение обратной реакции  $\text{T}(\alpha, ^6\text{Li})n$ , в которой ядра  $^6\text{Li}$  детектировались под углом  $0^\circ$  системой из магнитного анализатора и поверхностно-барьерного детектора.

В области нейтронной радиационной терапии наиболее необходимыми данными для понимания процессов взаимодействия быстрых нейтронов в теле человека являются число и энергетический спектр заряженных частиц, рождающихся при бомбардировке нейтронами энергией 10—60 МэВ углерода и кислорода.

В разделе разработки новых методов, установок и приборов обратил на себя внимание американский доклад об электроядерном производстве топлива. Основная идеология такова: создается мишень из ториевых твэлов, в которых под облучением сильноточного ускорителя накапливался бы  $^{233}\text{U}$  и такие твэлы без переработки шли бы в тепловые реакторы, а после определенного выгорания (опять без переработки) — в хранилище отходов. Отмечалась безопасность такой схемы с точки зрения возможности кражи делящихся материалов. Утверждалось, что, по расчетам, стоимость электроэнергии в такой схеме всего на 30% больше, чем в обычных легководных реакторах.

Участники конференции посетили некоторые лаборатории Харуэлла и ознакомились с параметрами ускорителей и с проводимыми по теме конференции исследованиями на них. Были показаны строящийся линейный ускоритель электронов на 136 МэВ — импульсный источник нейтронов (до 5 нс), предназначенный в основном для измерений ядерных данных на резонансных и быстрых нейтронах и изучения структуры и динамики вещества с помощью медленных нейтронов, синхротрон на 160 МэВ, имеющий для нейтронных исследований базу длиной 100 м и используемый также для получения медицинских радионуклидов, ускоритель Кокрофт — Уолтона на 450 кВ — источник нейтронов энергией 14 МэВ, применяемый для исследования реакций  $(n, \alpha)$  на конструкционных материалах. Специалистам показали семейство электростатических ускорителей на 3 МВ, 6 МВ и тандем с энергией протонов 13 МэВ, а также изохронный циклотрон; ускоритель на 3 МВ, который является импульсным (0,5 нс) источником нейтронов и используется также для анализа материалов с помощью пучка протонов в пятно диаметром до 4 мкм. На тандеме исследуются различные реакции для термоядерных приложений; на ускорителе на 6 МВ и циклотроне изучаются радиационные повреждения с помощью заряженных частиц, например ниобия на циклотроне.

Следует отметить, что работа конференции протекала четко и организованно. Ее труды будут изданы.

ЯНЬКОВ Г. Б.