



Парогенератор «Суперфеникса-1»: 1 — вход натрия при 525 °С; 2 — аргон; 3 — разрывная мембрана; 4 — выход натрия при 345 °С; 5 — вход натрия при 235 °С (4 патрубка); 6 — вход пара при 184 бар и 490 °С (4 патрубка)

цией о том, какова течь. Если ее скорость мала, то оператор может отыскать дефектный модуль. При скорости течи  $>0,18$  г/с парогенератор отключается, воду и натрий дренируют. Большое внимание уделяется процессам диффузии водорода через стенки из ферритной стали толщиной 3,6 и 4 мм. Добавка гидразина в воду резко увеличивала диффузию водорода, однако со временем ее скорость уменьшалась и при концентрации гидразина 5 мг/л она устанавливалась на уровне  $\sim 120$  мг/(м<sup>2</sup>·ч).

В докладах советских специалистов приводились результаты экспериментов по саморазвитию малой течи воды в натрий при различных конструкционных материалах. Эти данные использованы для выработки требований к детекторам водорода в газе и натрии применительно к парогенераторам БН-350 и БН-600. Водород в газе и натрии в БН-350 контролируют анализатором теплопроводности. Налаживают системы контроля, в которых в качестве дат-

чиков используют магнитоэлектрические насосы. В докладах сообщалось о результатах испытаний этих систем и особенности их эксплуатации, в том числе в режиме течи.

В настоящее время в некоторых странах разрабатываются безынерционные акустические методы детектирования течи. Однако нет единого мнения об оптимальном диапазоне частот и наиболее целесообразном алгоритме обработки сигналов. Такое положение связано с техническими трудностями при проведении экспериментов и различием установок. На модели парогенератора БН-600, которая испытывается в ВОР-60, исследована возможность обнаружения течи акустическим методом. Течь имитируют аргон.

Большой интерес вызвал доклад о конструкции и технологии изготовления корпусных парогенераторов для «Суперфеникса-1» (см. рисунок). Четыре парогенератора мощностью 750 МВт (тепл.) каждый производят на заводе в Шалон-Сюр-Соль. Изготовление одного из них занимает около 20 мес. Системы безопасности парогенератора рассчитаны на попадание до 500 кг воды в натрий ( $\sim 400$  т) в случае течи в одном корпусе. Тепловые потоки не превышают 450 кВт/м<sup>2</sup>.

#### Параметры парогенератора

Мощность, МВт:	750
Корпус, м:	
диаметр	2,898
высота	22,44
Трубы:	
диаметр, мм	25×2,6
количество	357
материал	инкаллой-800
Масса, т	140

Долгосрочная программа разработок парогенераторов для АЭС с быстрыми реакторами во Франции включает проектирование и исследование различных их вариантов для «Суперфеникса-2». Рассматриваются технические решения, аналогичные принятому для парогенераторов «Суперфеникса-1», но с другой сталью и трубами иного размера (25 × 2,7 мм из сплава 800; 30 × 3,7 мм из ферритной стали 1Х2М или Х9МВ (ЕМ-12)). Рассматриваются также модульные прямотрубные парогенераторы с трубами размером 15 × 2,5 мм из ферритной стали 1Х2М. Французские специалисты считают, что оптимальная мощность модуля будет находиться в пределах 100—200 МВт (тепл.). Другими возможными вариантами парогенераторов они считают парогенератор с двойными трубами и прослойкой гелия между ними (начато промышленное производство таких труб по заказам фирмы «Вестингауз», определяются их теплопередающие характеристики) и парогенератор со встроенным насосом, что позволяет упростить второй контур и сделать его более дешевым.

В Советском Союзе и Франции к настоящему времени накоплен наибольший опыт эксплуатации АЭС с быстрыми реакторами. По общему признанию, опыт показал, что надежность АЭС с такими реакторами сравнима с надежностью других АЭС, а коэффициент готовности их выше.

Семинар был полезен специалистам обеих стран. Французские специалисты посетили лаборатории ФЭИ, БН-350 и завод по изготовлению парогенераторов для БН-600.

КИРИЛЛОВ П. Л.

## Международный симпозиум по физике и химии деления

Симпозиум по физике и химии деления является традиционным и организуется МАГАТЭ примерно один раз в пять лет. Этот симпозиум был четвертый и проводился в Юлихе (ФРГ) с 14 по 18 мая; он состоялся в юбилейный

год — сорок лет тому назад О. Ган и Ф. Штрассман открыли явление деления тяжелых ядер.

В работе симпозиума участвовали около 240 представителей различных стран и международных организаций;

заслушано 55 докладов, из них 13 обзорных по основным проблемам физики деления. Все представленные доклады опубликованы оргкомитетом до начала симпозиума в сборнике развернутых аннотаций докладов; труды, содержащие полные тексты, МАГАТЭ планирует издать в конце 1979 г.

Были рассмотрены следующие проблемы: барьеры деления и вероятность деления, спонтанное деление и барьеры деления, оболочечные эффекты, связанные с потенциальной энергией и плотностью уровней, деление под действием тяжелых ионов, различные характеристики осколков и эмиссия частиц, динамические теории деления.

При обсуждении барьеров деления и вероятности деления много внимания было обращено на исследования потенциальных энергетических поверхностей, связанных с делением. Для ядер радиоториевой группы второй пик в барьере был получен в виде двух компонентов, соответствующих симметричному и асимметричному делениям. Было показано, что существуют два параллельных барьера: нормальный масс-асимметричный и несколько выше масс-симметричный. Это подтверждают экспериментальные данные по подбарьерным резонансам при делении нейтронами  $^{231}\text{Th}$  и  $^{234}\text{Th}$ . Были рассчитаны также значения высот барьеров в предположении трехосевой асимметрии для ядер от радия до калифорния, что позволило получить гораздо лучшее согласие с экспериментальными значениями; на этой основе предсказываются дополнительные подбарьерные резонансы у радия. Структура сечения деления четных и нечетных ядер, резонансы и аномалии в сечениях мгновенного и задержанного деления, массовые распределения осколков и другие вопросы подробно изучались при обсуждении фотоделения.

При рассмотрении спонтанного деления и барьеров деления внимание было направлено на изучение спектроскопических характеристик изомеров деления и теоретическое подтверждение новой, экспериментально полученной систематики периодов полураспада спонтанного деления, свидетельствующей о возрастании периодов при приближении к оболочке с  $N = 184$ . Для спонтанно делящихся изомеров измерены периоды полураспада и спектры конверсионных электронов, на основе которых построена схема распада для ротационной полосы во второй яме и определены квадрупольные моменты. По этим данным квадрупольные моменты в изомерном состоянии превышают примерно в 3—4 раза квадрупольные моменты в основном состоянии.

Обсуждение оболочечных эффектов, связанных с потенциальной энергией и плотностью уровней, было связано с подробным анализом различных методов теоретических расчетов деформации тяжелых ядер. Отмечены значительные расхождения теоретических предсказаний с экспериментальными данными для легких актиноидов. Причиной таких расхождений может быть несогласованность моделей жидкой и оболочечной капель. Часть теоретических докладов этой секции посвящена изучению зависимости свойств спектра возбуждения ядра от деформации, а также оценкам барьеров деления ядер при очень высоких угловых моментах. Согласно расчетам, барьеры деления при больших угловых моментах могут не только сохраняться, но и даже увеличиваться: например, для  $^{232}\text{U}$  высота второго барьера сохраняется на уровне 5 МэВ вплоть до  $l = 50\hbar$ , затем с ростом  $l$  увеличивается примерно на 1 МэВ и только при  $l > 100\hbar$  резко падает.

По проблеме деления под действием тяжелых ионов за последние годы накоплена большая и уникальная информация, но объяснение ее оказалось не столь простым, как это казалось на первый взгляд. Видимо, этим можно объяснить небольшое (всего пять) число докладов, представленных на симпозиуме. Тем не менее в работах дан детальный анализ экспериментальных данных по определению сечения деления легких и тяжелых ядер, образующихся в различных комбинациях мишень — ион, с разными угловыми моментами, деформацией, энергией возбуждения. Было показано, что с большой вероятностью возможно деление таких легких систем, как  $^{16}\text{O} + ^{40}\text{Ca}$ . Важный вывод о независимости полной кинетической энергии осколков от углового момента делящегося составного ядра был продемонстрирован в двух работах. Интересно отметить, что в реакции  $U + U$ , в которой составное ядро заведомо не создается, закономерности образования и распада тяжелых ядер подчиняются закономерностям, полученным ранее для деления составных ядер.

В наибольшем числе работ, представленных на симпозиум, рассматривались различные характеристики осколков и эмиссия частиц. Значительное внимание уделялось вопросам ядерной вязкости в делении — связи между коллективными и одночастичными степенями свободы. Накоплено много новых конкретных данных о зависимостях по выходу различных масс осколков, по зарядовым распределениям, по кинетической энергии продуктов деления. Область изучения характеристик осколков простирается сейчас до фермия и менделевия. В частности, для  $^{259}\text{Mn}$ , образующегося в реакции  $^{248}\text{Cm} (^{18}\text{O}, \alpha, 3n)$ , наблюдалось симметричное массовое распределение.

Несколько докладов на симпозиуме было посвящено различным вопросам динамических теорий деления и делению, индуцированному мюонами. При исследовании динамики процесса деления наиболее важным является выяснение механизма деления от седловой точки до момента развала ядра на осколки.

Доклады советских ученых затрагивали актуальные проблемы в делении (обзорный доклад по фотоделению, о несохранении четности при делении ядер, об исследовании спонтанного деления некоторых изотопов тяжелых элементов, о делимости доактиноидных ядер и др.) и вызвали большой интерес и оживленную дискуссию.

ЯНЬКОВ Г. Б.

## II Международное совещание по использованию ядерных методов анализа в аналитической химии

В работе совещания, состоявшегося в марте 1979 г. в Дрездене (ГДР), участвовали специалисты стран — членов СЭВ и Югославии, а также Австрии, Нидерландов, Норвегии, Франции и ФРГ. Было представлено 109 докладов, из них 12 обзорных. На пяти секциях рассматривалось применение ядерных методов анализа в энергетике, промышленности, геологии и химии космоса, медицине, биологии и для контроля окружающей среды, а также отдельные методические и аппаратные вопросы.

Большинство докладов было посвящено использованию и развитию активационного, рентгеновского и радиометрического анализов.

Комплексному рассмотрению активационного анализа применительно к контролю чистоты различных материалов был посвящен доклад Х. Энгельмана (Франция). В нем сообщалось о возможностях и применении циклотронов, бетатронов, микротронов и линейных ускорителей, приводились результаты определения более 30 примесных элементов (Al, Si, Ca, Ag, Th, Dy, Ta и др.) в тонких слоях по  $p$ ,  $\gamma$ -реакции, микропримесей элементов по  $\gamma$ ,  $\gamma'$ ,  $\gamma$ ,  $n$ - и  $\gamma$ ,  $p$ -,  $\gamma$ ,  $f$ -реакциям в диапазоне энергии 1—15, 15—40 и 5—10 МэВ с чувствительностью от 0,1 до 0,001 мкг · г<sup>-1</sup>.

Большое число докладов было посвящено активационному анализу контроля качества производственной про-