

тов деления, все еще очень мало. Дальнейшее развитие этой проблемы как в экспериментальном, так и в теоретическом отношении представляется весьма важным.

Анализ спектров и угловых распределений нейтронов, испускаемых осколками, показал значительное расхождение результатов, полученных в различных лабораториях. Расхождение велики даже для эталонного спектра  $^{252}\text{Cf}$  в области энергии нейтронов  $E_n < 1$  МэВ. Устранение расхождений важно для решения многих задач, связанных с оценкой нейтронных спектров трансурановых элементов. Для этих задач значительный интерес представляет усовершенствование теоретического описания нейтронных спектров.

Относительные измерения сечений деления большой группы трансурановых элементов, выполненные в ФЭИ, позволяют проверить и уточнить имеющиеся оценки сечений деления основных топливных элементов в области быстрых нейтронов. Для уточнения структуры сечений в резонансной области большое значение будут иметь работы на нейтронных спектрометрах, проводимые в ИАЭ и планируемые в ИЯФ АН СССР.

Для проверки основных положений теории деления важную роль могут играть эксперименты по многопараметровым исследованиям выходов продуктов деления и изучение редких случаев деления. Однако для этого необходимо проделать большую работу по накоплению и систематике экспериментальных данных.

Результаты измерений спектров нейтронов деления показали, что в случае спонтанного деления  $^{252}\text{Cf}$  отсутствует тонкая структура, а в области нейтронов низких энергий нет превышения их числа в сравнении со спектром Максвелла ( $T = 1,41$  МэВ). При делении тепловыми нейтронами  $^{233}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$  и  $^{239}\text{Pu}$  результаты измерений имеют разброс и необходимо дальнейшее совершенствование методик измерений. В докладе о числе нейтронов деления отмечены особенности испускания нейтронов отдельными осколками, угловая зависимость числа нейтронов при двойном и тройном делениях  $^{252}\text{Cf}$ , связь числа испускаемых нейтронов с оболочечной структурой осколков, теоретические расчеты энергетической зависимости  $\nu$  и др.

В докладах австралийской группы отмечалось, что теоретическое описание экспериментов по измерению угловой анизотропии вылета осколков и сечения деления  $^{232}\text{Th}$  нейтронами вблизи барьера может быть осуществлено только при введении трехгорбой структуры барьера деления. Материалы о выходах осколков деления содержат данные об измерении кумулятивных

и независимых выходов осколков при делении ядер быстрыми нейтронами.

Часть докладов на конференции была посвящена исследованию редких случаев деления, которые явились хорошим инструментом для объяснения механизма деления ядер. К ним относятся работы по изучению деления ядер с вылетом легких частиц, запаздывающего деления, реакции ( $n, \gamma f$ ) и спектра  $\gamma$ -излучения, сопровождающих образование изомеров.

О последних результатах исследований деления ядер, выполненных в Сакле (Франция), рассказал Г. Нифескер. Он рассмотрел вопросы, связанные с ротационной структурой деления  $^{232}\text{Th}$ . Интересный доклад сделал В. Метаг (ФРГ) об определении квадрупольных моментов ядер во второй потенциальной яме. Большой интерес вызвал доклад Г. В. Мурадяна об измерении величины альфа в резонансной и промежуточной области энергии нейтронов. В докладе он сообщил характеристики принципиально нового детектора «Ромашка», который использовался при измерении величины альфа  $^{235}\text{U}$ , и первые результаты измерений.

Значительное место на конференции было уделено потребностям в ядерных данных и оценке ядерных данных. Обзор Л. Н. Усачева посвящен определению потребности в точности ядерных данных. Было приведено сравнение расчетов «стандартного» быстрого реактора по различным системам констант. Расчеты по системе ОСКАР-75 и по французской системе констант отличаются, хотя при получении обеих систем констант использовались данные интегральных экспериментов. В обзоре В. М. Бычкова приводились результаты оценки сечений ряда конструктивных материалов, излагались методы оценки с применением теоретических моделей ядерных реакций. Константник обеспечение и расчет радиационных характеристик смеси продуктов деления и актиноидов, образующихся в реакторах, рассматривались в обзоре Л. М. Рубцова. Оценка сечений деления ряда делящихся изотопов приводилась в докладе В. А. Коньшина и др. Большое внимание уделялось методам оценки и расчета нейтронных сечений. При расчете сечений ( $n, f$ ), ( $n, n'f$ ), ( $n, 2n$ ), ( $n, 3n$ ) учитывается вклад предравновесной эмиссии нейтронов, для оценки вклада прямых процессов используется метод связанных каналов. Показано влияние учета корреляций на определение ошибок оцененных данных.

Труды конференции будут опубликованы.

КЛИМОВ Ю. Г.

## Всесоюзный семинар по резонансному поглощению нейтронов

Семинар, впервые организованный для обсуждения состояния работ по развитию теории, расчетных методов и программ, экспериментальных исследований в области резонансного поглощения, выяснения основных проблем, решение которых необходимо в ближайшее время, и подготовки рекомендаций по дальнейшему развитию и координации работ, состоялся 21—23 июня 1977 г. в МИФИ. В нем участвовало 85 чел., было заслушано 45 докладов по следующим аспектам резонансного поглощения:

теория и алгоритмы пространственно-энергетического распределения нейтронов и связанных с ним

функционалов в средах с резонансной структурой сечений;

расчетно-экспериментальные исследования резонансного поглощения в реакторах;

ядерные данные в области энергий разрешенных и неразрешенных резонансов (нейтронные сечения и параметры резонансов).

При рассмотрении первого раздела программы основное внимание было уделено методам и алгоритмам детального описания пространственно-энергетического распределения нейтронов в области разрешенных и неразрешенных уровней на основе метода Монте-

Карло (доклады В. В. Коробейникова и А. Г. Сбоева, В. А. Наумова, В. Д. Казарицкого), метода вероятностей первого столкновения (доклады А. И. Доля), а также вариационных методов (доклад В. В. Хромова и др.). Вопросы расчета эффективных резонансных интегралов для каналов сложной геометрии рассмотрены в докладе Р. А. Пескова. В дискуссии указывалось на необходимость сравнения различных расчетных методов на базе единых тестов.

Значительное внимание при обсуждении докладов второго раздела программы обращалось на результаты экспериментального исследования резонансного поглощения в решетках уран-графитовых реакторов РБМК (доклады П. К. Каманина и В. М. Качанова, Л. Н. Юровой и др.). Сообщалось об экспериментальном и расчетном исследовании отдельных эффектов, влияющих на резонансное поглощение в гетерогенных системах, в частности применимости модели плоского потока (доклады Л. Н. Юровой и др., А. М. Сироткина и др., И. М. Киселя и др.). Приводились экспериментальные данные о резонансном поглощении нейтронов изотопами протактиния (доклад Л. Н. Юровой

и др.). В дискуссии отмечалась целесообразность создания библиотеки экспериментальных тестов и выполнения экспериментов по определению интегральных параметров простых и сложных размножающих систем.

Сечения в области энергий разрешенных и неразрешенных резонансов (доклады В. М. Бычкова и В. П. Платонова, Г. Н. Мантурова и И. П. Николаева, Л. П. Абегяна и Л. В. Петровой) и определение и анализ факторов резонансной блокировки сечений (доклады В. Н. Кононова и Ю. Д. Полетаева, А. А. Лукьянова, А. А. Ванькова и др.) рассматривались в докладах третьего раздела программы. При обсуждении этих вопросов было обращено внимание на необходимость учета резонансного поглощения нейтронов отдельными осколками деления, имеющих значение для анализа состава продуктов деления и изменения реактивности при выгорании.

Участники семинара отметили высокий уровень его организации, в дискуссиях были высказаны конструктивные предложения.

НАУМОВ В. И., ХРЕННИКОВ Н. Н.

## Семинар по гидридному вскрытию циркониевых оболочек отработавших твэлов АЭС

С 16 по 20 мая 1977 г. в Москве и Ленинграде состоялась советско-чехословацкий семинар по гидридному вскрытию циркониевых оболочек твэлов АЭС перед химической регенерацией ядерного топлива.

Работы по удалению оболочек отработавших твэлов перед регенерацией топлива получили большое развитие в связи с широким использованием в ядерной энергетике сплавов на основе циркония. Конструкция твэлов АЭС совершенствуется в направлении усложнения, увеличения размеров и массы тепловыделяющих сборок (ВВЭР-440, ВВЭР-1000). Для обработки таких сборок традиционные методы механического вскрытия становятся недостаточно надежными. Их альтернативой могут стать газотермические методы разрушения.

Чехословацкие и советские специалисты, учитывая уникальную способность циркония и его сплавов поглощать при умеренной температуре значительное количество водорода, превращаясь при этом в малопрочный хрупкий материал, провели исследования по гидридной обработке циркониевых оболочек твэлов ВВЭР.

На первом этапе были изучены режимы поглощения водорода необлученными сплавами циркония, легированными ниобием. Результаты исследований, выполненных в широком диапазоне температуры (300—800 °С), давления (0—20 кгс/см<sup>2</sup>), чистоты водорода (количество примесей 10<sup>-4</sup>—10<sup>-1</sup>%), были представлены на семинаре. Большое внимание было уделено изучению структуры окисных слоев, образующихся на поверхности циркониевых оболочек на воздухе и в воде при повышенной температуре, и влиянию окисных слоев на процесс гидрирования. Наиболее трудным является достижение начала поглощения сплавами водорода, после чего гидрирование продолжается беспрепятственно до полного насыщения. Находящийся на поверхности оболочки окисный слой препятствует проникновению водорода в металл. Пассивирующее влияние окисного слоя устранялось специальными приемами. Исследованиями установлено,

что водород технической чистоты поглощается сплавами циркония только при температуре выше 650 °С. Использование особо чистого (5.10-4% O<sub>2</sub>) позволило прогидрировать оболочку при 400—500 °С в течение 30—40 мин. В результате широкого изучения влияния активизирующих добавок на интенсификацию процесса выбраны твердые и парообразные добавки, которые дают возможность снизить температуру гидрирования до 400—450 °С и давление водорода до 1—4 кгс/см<sup>2</sup>.

В ходе семинара были обсуждены результаты экспериментов по гидридному разрушению частей необлученных твэлов ВВЭР. Гидрирование при температуре ниже температуры эвтектичного превращения (550 °С) обеспечивает самопроизвольное разрушение циркониевой оболочки на части размером в несколько миллиметров. Гидрированный материал оболочки имеет высокую твердость, нерастворим в азотной кислоте, термически устойчив до 800—900 °С.

В решении семинара отмечено, что проведенные чехословацкими и советскими специалистами исследования по изучению взаимодействия водорода с циркониевыми оболочками твэлов являются научной основой для продолжения работ по гидридному вскрытию отработавших твэлов АЭС. Рекомендовано разработать и изготовить укрупненный опытный аппарат с дистанционным обслуживанием, который предполагается испытать на отработавших твэлах ВВЭР-440 в горячей камере в составе действующей экстракционной установки. Продукты гидридного разрушения облуженных твэлов будут направлены на растворение топлива в азотной кислоте в аппарат периодического действия. В задачу испытаний входит уточнение технологического режима гидрирования, определение влияния гидридного вскрытия на процесс растворения топлива и последующие операции, получение данных о поведении летучих продуктов деления.

АГЕЕНКОВ А. Т.