

для установления влияния быстропеременных процессов на гидравлические и теплофизические характеристики сборок твэлов. Планируется также вне реакторный разогрев твэлов, облученных до различных выгораний. Программы предполагают использование импульсного реактора TREAT (США), позволяющего осуществлять выброс мощности по заданной программе с визуальной оценкой процесса разрушения, а также петель французских экспериментальных тепловых реакторов, в которых, в том числе, планируются эксперименты с твэлами, предварительно облученными в быстром реакторе «Рапсодия». Отдельные эксперименты уже проведены. Наблюдалось вспенивание облученного горючего при расплавлении, разрушение оболочки газовым давлением в местах перегрева, оценено возрастание газового давления в твэле при выбросе мощности в реакторе TREAT. В результате предварительных исследований выяснилось, что разрушение твэлов в нестационарных режимах можно связать с быстрым выделением газа из расплавленного горючего. Существенную роль в нестационарном режиме начинает играть газовыделение из твердого горючего до его

расплавления, приводящее к дополнительному массопереносу; начало разрушения оболочки зависит от исходной структуры сердечника. Отмечается, что кратковременный выброс мощности не может привести к серьезным повреждениям оболочек твэлов.

Влияние работоспособности твэлов на безопасность эксплуатации быстрых реакторов связывают с возможностью распространения аварии (в том числе при аномальных режимах работы) за пределы сборки твэлов с охватом части активной зоны или всей зоны. Разрабатываются модели механизмов развития подобных гипотетических аварий для выявления условий полной локализации разрушений в пределах сборки твэлов, чтобы обеспечить возможность замены такой сборки без нарушения эксплуатационного графика реактора. Полагают, что при использовании окисного горючего уверенное определение местоположения, степени повреждения и безопасная замена сборки твэлов вполне осуществимы при условии, что будут разработаны необходимые измерительные средства, регистрирующие наличие и тип активности осколков деления в реакторе.

ГОЛОВНИН И. С.

## Конференции и совещания

### III Конференция по нейтронной физике

Конференция состоялась в Киеве 9—13 июня 1975 г. В ее работе приняли участие 300 советских ученых из 42 институтов и научных центров страны и 50 зарубежных представителей из 16 стран. С обзорами и отдельными сообщениями выступили 92 докладчика. Работа проводилась на семи секциях, на которых рассмотрены наиболее актуальные вопросы нейтронной физики.

**Потребности в ядерных данных и их оценка.** Конференция начала работу с рассмотрения потребностей в ядерных данных для реакторной технологии, термоядерных реакторов, астрофизики и реакторной физики. Представленные доклады показали, что к настоящему времени сформулированы, получены технико-экономическое обоснование и доведены до научной общественности потребности в ядерных и в первую очередь в нейтронных данных со стороны многих областей науки и техники. Наиболее обширны эти потребности в области реакторной технологии и защиты от проникающего излучения.

Л. Н. Усачев (ФЭИ, Обнинск) сообщил о разработке в Физико-энергетическом институте математического аппарата и комплекса программ экспериментальных исследований. При этом исходили из условий достижения необходимой точности в ядерных данных с минимальными затратами. В докладе М. Н. Николаева (ФЭИ, Обнинск) намечена стратегия достижения требуемой точности нейтронных данных, состоящая в оптимальном сочетании усилий в области микроскопических и интегральных экспериментов. Отмечены те направления работ на имеющихся в нашей стране экспериментальных установках, которые позволяют внести наиболее существенный вклад в дело обеспечения первоочередных потребностей. Г. Е. Шаталов (ИАЭ им. И. В. Курчатова, Москва) изложил вопросы влияния ядерных констант на нейтронно-физический расчет бланкета

термоядерного реактора. Интерес к нейтронным данным со стороны ученых, занятых разработкой термоядерных реакторов, с каждым годом возрастает. Большой интерес вызвало развертывание работ по оценке ядерных данных. Представлены два полных файла (набора данных) по  $^{235}\text{U}$  (ИЯЭ АН БССР, Минск) и по железу (ФЭИ, Обнинск) и ряд других работ по оценке сечений никеля, хрома, золота, углерода и других важных конструкционных материалов, а также стабильных ядер — осколков деления.

Следует отметить вклад в новую информацию по оценке ядерных данных, сделанный в докладе Ж. Салви (Франция), в котором дана методика оценки сечений захвата, деления, неупругого рассеяния для тяжелых ядер в диапазоне энергий 3 кэВ — 1 МэВ, а также сечений процессов  $n, xp$  и  $n, xnf$  в диапазоне энергий 2—20 МэВ.

В настоящее время, как это следует из ряда докладов, осуществлено автоматическое получение групповых констант из файлов микроскопических оцененных данных (первая очередь системы СОКРАТОР), завершена разработка методики подгонки ядерных данных по интегральным экспериментам на основании полученных групповых констант.

Интерес вызвал доклад Н. А. Власова (ИАЭ им. И. В. Курчатова, Москва) о нейтронных реакциях в звездах \*. Указана важность точного определения сечений радиационного захвата нейтронов в области энергий от 30 до 200 кэВ для решения фундаментальной проблемы происхождения элементов.

**Фундаментальные свойства нейтрона.** Эта секция организована впервые. Итоги ее работы показали, что включение такого раздела в программу конференции вполне целесообразно, так как наряду с чисто приклад-

\* См. ж. «Атомная энергия», 1975, т. 39, вып. 2, с. 103.

ыми вопросами необходимо обсуждение проблем большого принципиального значения. В. М. Лобашев (ЛИЯФ им. Б. П. Константинова) выступил с обзором современного состояния исследований по поиску дипольного электрического момента нейтрона и общезначимого значения этой проблемы. Докладчик рассказал об экспериментальной установке для измерения дипольного момента нейтрона с применением ультрахолодных нейтронов (УХН). Эта работа, выполненная на высоком экспериментальном уровне, показала перспективность использования УХН для дальнейших исследований. В. И. Лущиков (ОИЯИ) рассказал о современном состоянии работ по УХН и дал обзор ряда представленных на конференцию работ по УХН, в частности по развитию детекторов, конвертеров, нейтронотводов, сосудов для удержания УХН. Это многообещающее направление нейтронной физики находится на подъеме.

Б. Г. Ерозолимский (ИАЭ им. И. В. Курчатова, Москва) и Ю. А. Александров (ОИЯИ, Дубна) сообщили о новых измерениях угловой корреляции спин—электрон в распаде поляризованных нейтронов, об изучении  $n$ — $e$  взаимодействия и о состоянии работ по изучению других фундаментальных свойств нейтрона в нашей стране и за рубежом.

**Общие вопросы взаимодействия нейтронов с ядрами.** Проблемы теории ядерной структуры и механизма ядерных процессов, освещенные в обзорных докладах и сообщениях, традиционны для ядерной физики. Это модельные оценки плотности ядерных состояний как функции энергии возбуждения ядра (В. Г. Соловьев и В. В. Воронов, ОИЯИ; А. В. Игнатюк, ФЭИ), различные аспекты оптической модели и ее новые варианты, фрагментация выделенных одночастичных состояний (В. Г. Соловьев, ОИЯИ), структура аналоговых состояний (Д. Ф. Зарицкий, М. Г. Урин, ИАЭ им. И. В. Курчатова). В докладах отмечается общая закономерность: оснащение основных институтов СССР современной электроно-вычислительной техникой позволяет сейчас ставить и решать такие задачи в рамках уже установленных представлений о структуре ядра, постановка которых ранее была практически невозможна. Теперь можно более детально и широко сопоставлять теоретические и расчетные результаты с экспериментальными данными, что способствует развитию более глубокого понимания структуры атомного ядра. Характерна в этом отношении работа группы теоретиков ОИЯИ, в которой выполнены весьма трудоемкие расчеты плотности ядерных состояний в рамках известной феноменологической микроскопической теории ядра, причем результаты допускают прямое сопоставление с экспериментальными данными.

На секции был заслушан также обзорный доклад Ж. Сальви (Франция), обобщающий результаты работ четырех групп по развитию новых вариантов оптической модели. Представляют интерес работы по оптической модели с нелокальным реальным потенциалом, требующие значительных затрат времени на ЭВМ. В докладе Ж. Сальви освещались в основном методические вопросы, но в ближайшее время следует ожидать появления работ, где будут получены и новые физические результаты.

**Экспериментальное изучение взаимодействия тепловых и резонансных нейтронов с ядрами.** В последнее время все большее внимание уделяется изучению структуры резонансов (компаунд-состояний). В связи с этим обратили на себя внимание доклады об экспериментах в ОИЯИ по изучению ( $n$ ,  $\alpha$ )- и ( $n$ ,  $\gamma$ )-реакций на резонансах, по определению магнитных моментов компаунд-состояний и изучению особенностей захватно-

го  $\gamma$ -излучения на резонансах. Наряду с этим следует отметить некоторые общие тенденции, обозначившиеся во время работы конференции. Это, во-первых, расширенные исследования с радиоактивными и трансураниевыми ядрами, измерение энергетических зависимостей нейтронных сечений, анализ параметров нейтронных резонансов (ИЯИ АН УССР, Киев; ИТЭФ, Москва; НИИАР, Димитровград); во-вторых, ввод в строй и получение первых результатов на установках для работы с поляризованными нейтронами и ядрами (В. П. Алфименков, ОИЯИ); К. Абрахамс, Нидерланды).

**Экспериментальное изучение взаимодействия быстрых нейтронов с ядрами.** Обсуждались доклады, посвященные изучению радиационного захвата и неупругого рассеяния быстрых нейтронов, нейтронным сечениям, спектрам быстрых нейтронов и исследованиям структур атомного ядра с помощью быстрых нейтронов (В. А. Толстикова, ФЭИ; М. Б. Федоров, ИЯИ АН УССР; О. А. Сальников, ФЭИ; Л. И. Говор, ИАЭ УССР; И. В. Курчатова). В докладе Л. И. Говора показано, что реактор и впрямь может успешно использоваться в качестве источника не только медленных, но и быстрых нейтронов для работ в области нейтронной физики. З. Цириакс (ФРГ) еще раз продемонстрировал экспериментальные возможности нейтронного спектрометра на базе изохронного циклотрона в Карлсруэ. В связи с этим большое значение имеет скорейший ввод в строй нейтронного времяпролетного спектрометра наносекундного диапазона для работы с быстрыми нейтронами на базе Киевского циклотрона У-240. Новые возможности, открываемые спектрометрами на изохронных циклофонах, позволяют выполнять исследования в широкой области энергий и с такой точностью, какая сейчас нужна потребителям ядерных данных для ядерных и термоядерных реакторов.

**Сечения и другие характеристики процесса деления тяжелых ядер нейтронами.** Этому вопросу было посвящено особенно много работ (42 советских и 24 зарубежных). В теоретических и расчетных работах истолковывались экспериментальные факты с точки зрения двугорбого барьера деления. Единодушно отмечено, что, хотя и нет прямого эксперимента, подтверждающего существование двугорбого барьера, вся совокупность экспериментальных фактов в настоящее время может быть описана только с точки зрения существовавшей такой формы.

Как показали выступления зарубежных участников (Г. Шпехт и Г. Паули, ФРГ; Ж. Блон, Франция; Ч. Сюкос, Венгрия и др.), концепция двугорбого барьера общепринята и служит важной теоретической базой для постановки новых экспериментов и развития новых концепций.

Очень важны повышение точности измерения сечений деления в широкой области энергий и абсолютные измерения сечений деления. По-прежнему большой интерес вызывают эксперименты с  $^{252}\text{Cf}$  как с точки зрения более глубокого изучения процесса деления, так и для получения надежных констант для относительных измерений, где эталоном служит  $^{252}\text{Cf}$ . В цикл подобных работ входит детальное изучение спектров нейтронов деления, времени испускания и углового распределения. Обращено внимание на заметную роль изотропной составляющей спектра нейтронов деления и на необходимость дальнейшего изучения этого вопроса.

Были доложены результаты последних измерений сечений деления тяжелых изотопов плутония в области 1—7 МэВ, точные данные о сечениях деления  $^{235}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,

$^{237}\text{Np}$ ,  $^{239}\text{Pu}$  на спектре нейтронов деления  $^{252}\text{Cf}$ . Например, для  $^{235}\text{U}$  получено сечение деления с погрешностью  $1,5\%$  ( $1265 \pm 19$  мб).

Высокие по точности и разрешению результаты измерений на ядрах  $^{237}\text{Np}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{243}\text{Am}$  и  $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Am}$  были сообщены в докладе Д. Пэйя (Франция), а также в докладе К. Аттли (Англия) об измерениях сечения деления  $^{239}\text{Pu}$  и отношения сечений деления  $^{238}\text{U}$  и  $^{235}\text{U}$ .

**Экспериментальные методы нейтронной физики.** Рассмотрены вопросы получения и формирования интенсивных пучков холодных поляризованных нейтронов, создания импульсных источников быстрых нейтронов, а также вопросы автоматизации сбора и обработки физической информации. Несколько докладов посвящено системам детектирования нейтронов. Большой интерес вызвал доклад «Источники нейтронов с использованием лазерной техники», в котором показаны возможности создания импульсных источников с высокими параметрами по длительности и интенсивности нейтронного импульса. Получение холодных поляризованных нейтронов с большим выходом свидетельствует о том, что реактор как источник нейтронов может еще шире использоваться в исследованиях по нейтронной физике. Интерес к импульсным источникам резонансных и быстрых нейтронов со стороны экспериментаторов и потребителей ядерных данных по-прежнему большой.

Участники конференции с удовлетворением встретили сообщение о вводе в строй линейного ускорителя «Факел» (ИАЭ им. И. В. Курчатова, Москва) и о построении первой очереди спектрометра ГНЕИС на базе фазотрона ЛИЯФ. В ближайшее время ожидается создание спектрометра быстрых нейтронов на базе изохронного циклотрона У-240 в ИЯИ АН УССР.

Из сообщений зарубежных ученых наибольший интерес вызвал доклад М. Ашгара (Франция) о создании спектрометра незамедленных продуктов деления — ЛОЭНГРИН. Ввод в строй этой установки на самом мощном исследовательском реакторе в Гренобле уже позволил получить детальные сведения о некоторых характеристиках продуктов деления и открывает большие перспективы в будущем.

Конференции по нейтронной физике, уже ставшие традиционными, привлекают к себе все больший интерес. Они способствуют широкому обмену мнениями, идеями и информацией, позволяют проводить плодотворные дискуссии. Все это стимулирует дальнейший прогресс в этой важной области ядерной физики.

Следующую конференцию по нейтронной физике намечено провести в 1977 г.

КАЛЬЧЕНКО А. И., БАЗАВОВ Д. А., ГОРБАЧЕВ Б. И., КИРИЛЮК А. Л., КОЛОТЫЙ В. В., ПШЕНИЧНЫЙ В. А., ФЕДОРОВА А. Ф., ЧЕСНОГОВА В. Д.

## Научный семинар по комплексной оптимизации энергетических установок

23—26 сентября 1975 г. в Иркутске в Сибирском энергетическом институте (СЭИ) СО АН СССР состоялось первое заседание Всесоюзного научного семинара по методам комплексной оптимизации установок по преобразованию тепловой и атомной энергии в электрическую. Тема данного заседания — методы математического моделирования и оптимизации параметров, вида технологических схем и профиля оборудования атомных электростанций. В работе семинара приняли участие 55 человек от 21 организации. Было прочитано и обсуждено 27 докладов. Руководил семинаром чл.-к. АН СССР Л. С. Попырин.

С некоторой условностью все доклады можно разделить на следующие группы: общие вопросы математического моделирования АЭС (девять докладов); математическое моделирование и оптимизация ядерных реакторов (шесть докладов); математическое моделирование теплосиловой части АЭС (семь докладов); математические модели АТЭС (пять докладов).

Практика последних лет показала, что многообразные задачи ядерной энергетики от определения системных характеристик ее развития до определения и оптимизации параметров АЭС и ее элементов можно и целесообразно решать с помощью математического моделирования. Для АЭС методы математического моделирования дополняют проектно-расчетные работы, позволяют решать задачи, связанные с многовариантными оптимизационными расчетами технико-экономических показателей (пока преимущественно на начальных стадиях проектирования). Подобные задачи возникают в связи с многопараметрической оптимизацией, неопределенностью и неточностью исходной информации, недостатками расчетных методик, критериев эффективности, а также в связи с непрерывной корректировкой технических решений в процессе проектирования. Расчеты на математических моделях реакторов и АЭС

позволяют выявить перспективные тенденции в изменении сочетания параметров, получить большое количество информации для инженерного анализа и направить более детальной проектно-расчетной работы.

Одна из важных областей использования математических моделей — комплексная оптимизация объектов, т. е. целенаправленный выбор таких значений определяющих конструктивно-технических показателей объекта (с учетом технических ограничений), которые соответствуют оптимуму выбранного критерия эффективности (целевой функции, чаще всего расчетным затратам).

Для лучшего понимания иерархии комплекса математических моделей, используемых в ядерной энергетике, на семинар были представлены два доклада о математическом моделировании ядерно-энергетической системы. Результаты моделирования свидетельствуют о сильной связи показателей АЭС как объектов моделирования с показателями системы АЭС и о влиянии системных требований и условий на подходы к методике и выбору ограничений при комплексном моделировании собственно АЭС.

Поскольку семинар на эту тему был методическим и проводился впервые, его участникам важно было возможно шире ознакомиться с методами моделирования, применяемыми в разных организациях. Необходимо было также оценить широту и масштабы работ, особенности подходов и главные акценты, обменяться мнениями и попытаться систематизировать основные, уже используемые или намечающиеся методы математического моделирования АЭС. Поэтому оправдано присутствие представителей довольно большого числа организаций, применяющих методы математического моделирования АЭС, несмотря на то что основные задачи этих организаций в области развития ядерной