

Конференции и семинары

Всесоюзная конференция по инженерным проблемам термоядерных реакторов

В работе конференции, проходившей 28—30 июня 1977 г. в Ленинграде, участвовало более 250 специалистов из США, ФРГ, Англии, Италии, Франции, Японии и социалистических стран. На двух пленарных и 11-ти секционных заседаниях обсуждено более 100 докладов по различным аспектам проблемы.

Достижения последних лет в физике плазмы, особенно на установках Т-10, РЛТ, установках с использованием релятивистских электронных пучков, стимулировали создание крупных установок следующего поколения с плазмой, имеющей реакторные параметры, а также разработку проектов опытных термоядерных электростанций. Поэтому естественно, что обсуждались проекты этих установок, так как в них сконцентрированы те сложные научно-технологические проблемы, которые сейчас решает и которые должна будет решить в ближайшее время инженерная наука.

К первой группе установок с магнитным удержанием плазмы, рассмотренных на конференции, относятся TFTR (США), JET (ЕВРАТОМ), Т-20, Т-10М. Параметры первых трех установок приведены в журнале «Атомная энергия», 1977, т. 42, вып. 5, с. 431.

Наиболее успешно идут работы по реализации проекта TFTR. Как известно, TFTR — крупная установка, предназначенная для создания плазмы температурой 5—10 кэВ и размерами, достаточными для исследования возможности получения термоядерной энергии от реакции на дейтерии и тритии. Установка в главных чертах является прототипом экспериментального энергетического реактора, а ожидаемая информация о нагреве плазмы различными способами (омическим, нейтральными пучками, адиабатическим сжатием и α -частицами), а также о способах тепловой и радиационной защиты, о методах управления положением плазменного шнура, об обеспечении надежной и безопасной работы с тритием является основой для разработки демонстрационных электростанций. О масштабах этой установки свидетельствует мощность системы питания 950 МВА с запасом энергии 4500 МДж. Для нагрева плазмы создается мощная система инжекторов энергией 120 кэВ мощностью 10 МВт. В проекте установки Т-20 главное внимание уделяется исследованиям D—T-плазмы, бланкетов, изучению технологических и инженерных вопросов. Эта установка по своим масштабам будет еще более крупной — мощность систем питания 1500 МВт с запасом энергии $5 \cdot 10^{10}$ Дж. Принципы и конструктивные решения установки JET остались без изменения, и поскольку, по заявлению Бертолини, административно-политическая ситуа-

ция по отношению к ней является благоприятной, можно надеяться на реализацию проекта. Продолжается разработка проекта реконструкции установки Т-10, технической основой которой является создание сверхпроводящей обмотки тороидального поля, камеры с увеличенным поперечным сечением и комплекса средств дополнительного нагрева. По своим размерам и параметрам плазмы Т-10М приближается к TFTR и JET и будет наиболее крупной из сооружаемых сейчас сверхпроводящих систем.

Часть докладов была посвящена проектам термоядерных электростанций. В. В. Орлов (ИАЭ) от группы авторов выступил с докладом, где обосновал целесообразность сооружения гибридного реактора и представил его проект на основе токамака. Оказывается, уже сейчас гибридные реакторы открывают большие возможности. Оценки показывают, что при равной мощности гибридного реактора на основе токамака с урано-литиевым бланкетом и реактора-размножителя в первом можно ожидать в 5—10 раз большуюработку плутония. Поскольку нет необходимости в достижении критерия Лоусона, существенно ниже оказываются тепловые нагрузки. А это позволяет уже сейчас проектировать реактор на основе современной технологии, тем более что в «чистых» и гибридных реакторах много общих технологических проблем.

Проект гибридного реактора на основе магнитной ловушки с пробками, представленный В. А. Чуяновым (ИАЭ), отличается от реакторов на основе токамаков сравнительной простотой, высоким КПД, возможностью работы в стационарном режиме, небольшими размерами и т. д. Особенно привлекательными являются преимущества, связанные с простотой конструкции, стационарным режимом работы и упрощением проблемы вывода примесей. Однако необходимы физические исследования, которые показали бы возможность удержания плазмы в подобной ловушке.

В докладах Т. Джеймса (США), А. В. Недоспасова, М. В. Кривошеева (ИБТАН) описывались проекты термоядерных электростанций с реакторами различного типа: на основе θ -пинча с обратным полем, с кумулирующим лайнером, на основе токамака. Были кратко рассмотрены важнейшие системы и элементы электростанций и реакторов, приведены результаты оценок параметров реакторов и проанализированы проблемы физического и технического характера. Представляет интерес проект высокотемпературного реактора токамака с газоохлаждаемым графито-керамическим бланкетом и МГД-системой преобразования энергии (проект

ТВЭ-2500). Область использования высокотемпературного термоядерного реактора токамака не ограничивается электроэнергетикой, а благодаря возможности получения высокотемпературного тепла без загрязнения теплоносителя радиоактивными продуктами открывается перспектива применения такого рода реакторов в энерготехнологических процессах, например для получения водорода из воды.

Вопросы, связанные с энергетическими аспектами лазерной термоядерной электростанции и с процессами, происходящими в камере реактора, были рассмотрены в докладах, представленных сотрудниками ФИАНа и ИВТАНа. Экономическое рассмотрение лазерной термоядерной электростанции, работающей на CO_2 -лазере, выполнено для «чистого» и гибридного вариантов; показано, что удельные капитальные вложения составляют для «чистого» и гибридного вариантов 370 и 250 руб./кВт соответственно. Были обсуждены различные инженерные проблемы, возникающие при создании многоканальных лазерных систем, в первую очередь устройств мишеней. В частности, в НИИЭФА проектируется камера взаимодействия для сферически-симметричного облучения малоразмерных мишеней. Разработана камера взаимодействия для установки УМИ-35 с несколькими вариантами узла механического выведения мишеней в зону облучения. Были представлены экспериментальные результаты по системам выведения мишеней, свободных от материального носителя.

На конференции представлена обширная программа создания экспериментальных реакторов с использованием релятивистских электронных пучков. В частности, сообщалось о проекте демонстрационного термоядерного реактора «Ангара-5», разработанного НИИЭФА и ИАЭ. Установка позволит получить электронный пучок общей энергией 5 МДж, положительный выход энергии за счет термоядерной реакции составит 50—100 МДж. Среди отдельных систем реакторов большее внимание уделялось электромагнитным системам и прежде всего разработке систем с использованием сверхпроводящих материалов. Сейчас еще не сложилась единая точка зрения относительно наиболее целесообразных конструкций электромагнитных систем и криогенного охлаждения.

В США для крупных сверхпроводящих систем тороидального поля разрабатываются равновесные конфигурации (D -образная и овальная) и сверхпроводники на основе Nb-Ti и Nb_3Sn как массивные, так и в виде кабелей; погружные и циркуляционные системы охлаждения. Готовится эксперимент по созданию крупной тороидальной сверхпроводящей магнитной системы из шести D -образных катушек с полем в центре 3,3 Т и на обмотке 8 Т при внутреннем отверстии в катушке $3,5 \times 2,5$ м. Значительный интерес вызвал доклад представителя ИАЭ о создании и испытании сверхпроводящего соленоида на основе многожильного Nb_3Sn провода в максимальном поле 10 Т при конструктивной плотности поля 9,5 кА/см² и относительной деформации во время намотки до 0,4%. Этот результат открывает перспективу применения токонесущего элемента (ТНЭ) из Nb_3Sn для токамаков самого ближайшего будущего. Продолжаются работы по выбору ТНЭ для Т-10М. Рассматриваются варианты ТНЭ с погружной и циркуляционной системами охлаждения. Окончательный выбор будет сделан к концу 1977 г.

Обширная программа исследований сверхпроводящих систем в Карлсруэ (ФРГ) была представлена Хайнцем. Эта программа предусматривает создание катушек

размерами до нескольких метров с полем до 8 Т током до 15 кА. Программа имеет ряд общих моментов с программой Ок-Риджа (США).

Большое внимание на конференции было уделено системам питания и источникам энергии. Представлены проекты комплексных систем питания термоядерных установок и реакторов, импульсные источники энергии на основе индуктивных, емкостных и инерционных накопителей, коммутационная аппаратура в основном для систем с индуктивными накопителями, источники импульсов высокого напряжения нано- и микросекундного диапазонов, источники питания инжекторов нейтралей для устройств дополнительного нагрева. Большие успехи достигнуты в создании индуктивных накопителей энергии и коммутационной аппаратуры.

В настоящее время мощность единичного коммутационного аппарата однократного действия, разработанного в НИИЭФА, достигла 10^{10} Вт. Существенное место в технических средствах, применяемых в системах питания для управляемого термоядерного синтеза, занимает полупроводниковая техника, включая управляемые тиристорные преобразователи, требуемая мощность которых значительно превосходит мощность типового промышленного оборудования, и мощные тиристорные ключи для коммутации токов и защиты сверхпроводящих магнитных систем. Отмечено, что для систем питания будущих реакторов потребуются инерционные накопители энергии с предельными параметрами — турбогенераторы с высокой скоростью маховиков, высокоточные униполярные генераторы (на миллионы ампер) с запасом энергии в десятки гигаджоулей.

На конференции были подробно рассмотрены системы дополнительного нагрева плазмы, в частности комплексы СВЧ-нагрева для установки Т-10М. Сейчас имеется реальная возможность приступить к созданию комплекса с полной выходной мощностью 5 МВт длительностью импульса 1,5 с и длиной волны излучения 3,5 мм. Для комплекса Т-10М разрабатываются генераторы единичной мощностью 200 кВт. Расчеты показывают возможность создания генераторов единичной мощностью до 1 МВт.

Ряд докладов был посвящен принципам построения инжекторов быстрых атомов для проектируемых физических установок и реакторов. Обсуждались инженерно-физические аспекты инжекторов установок Т-10М и Т-20.

Особое внимание на конференции уделялось рассмотрению перспективных конструкционных материалов для установок термоядерного синтеза и изменению их поверхностных и объемных свойств под действием излучения термоядерной плазмы. Продемонстрированы некоторые интересные пути снижения blister-эффекта в некоторых материалах, например предварительным ионным легированием или созданием специальных защитных покрытий. В докладах также нашли отражение радиационное распухание некоторых конструкционных материалов; ядерные превращения в материалах, предполагаемых для использования в конструкциях blankets; влияние растворенного водорода на механические и другие свойства материалов; роль радиационно-стимулированных процессов в кристаллохимических превращениях и т. д. Обсуждены вопросы вакуумной техники, проблемы трития, различные типы blankets. Показано, что наиболее целесообразной комбинацией средств откачки являются криогенные и турбомолекулярные насосы.

Большой интерес вызвали результаты первых экспериментов по воспроизводству трития с использованием нейтронов деления калифорния и экспериментальные данные о вакуумной технологии дейтерия и трития.

В связи с возможностью применения гибридных термоядерных реакторов часть докладов была посвящена обоснованию параметров реакторов токамаков с урановым blanketом, расчету и конструкции blanketов, тепловым циклам и системам преобразования энергии. Сформулированы требования к схемам blanketов, обоснован выбор применяемого теплоносителя, его входных и выходных параметров, представлены

результаты экспериментальных и численных исследований параметров МГД-течения жидкометаллического теплоносителя в канальных элементах blanketа, а также эффективности МГД-преобразования энергии.

Таковы основные научно-технические проблемы, вокруг которых шла дискуссия на конференции. Обсуждение показало несомненный прогресс в этой области. Отрадно отметить, что все большее число организаций включается в решение сложных инженерных задач создания будущих термоядерных реакторов, а это является определяющим условием успешного выполнения проблемы.

ГЛУХИХ В. А.

Конференция по нейтронной физике

В конференции, которая проводилась в Киеве 18—22 апреля 1977 г., приняли участие научные институты страны, занимающиеся исследованиями по нейтронной физике и различным прикладным аспектам ее применения, а также ученые из США, Англии, Франции, ГДР, ФРГ, Польши, Болгарии, Японии, Австрии, Бельгии, Венгрии, Чехословакии, Румынии, Египта, Голландии.

На пленарном заседании были заслушаны следующие доклады: «Ядерная энергетика и нейтронная физика» (О. Д. Казачковский); «Несохранение четности в ядерных реакциях с нейтронами» (Ю. Г. Абов); «Необычные состояния атомных ядер» (А. Б. Мигдал); «Почему атомные ядра деформированы» (В. М. Струтинский); «Актуальные вопросы физики деления» (С. М. Поликанов).

В обзорном докладе Ю. Г. Абова, посвященном исследованиям слабого межнуклонного потенциала, отмечалось, что совокупность экспериментальных результатов указывает на необходимость переоценки роли слабых сил в сильных взаимодействиях. Экспериментальные результаты за небольшим исключением систематически превышают теоретические предсказания, и в рамках существующих моделей не удается согласовать теорию с экспериментом. В связи с этим большой интерес вызвал доклад Г. В. Данильяна об обнаружении нового явления — несохранения четности при делении ^{235}U . Пока экспериментальные данные о процессе ограничены, и его теоретическая интерпретация затруднена.

В работах по систематике плотности уровней, проводимых в ОИЯИ и ФЭИ, рассмотрены противоречия в описании статистических свойств возбужденных ядер и намечены пути для их устранения. Разработанные теоретические методы указывают на значительную роль коллективных эффектов в высоковозбужденных ядрах. Микроскопические методы описания нейтронных и радиационных силовых функций в рамках оболочечного подхода позволили уточнить некоторые погрешности статистических методов описания сечений и объяснить ряд «нестатистических» эффектов, наблюдаемых для резонансных нейтронов. Решаемые задачи актуальны и важны для построения единой теории ядерных реакций и структуры ядра.

В обзорном докладе В. Н. Кононова анализировались экспериментальные усредненные сечения захвата нейтронов. Результаты анализа указывают на существенную разницу в радиационных силовых функциях

для S и p нейтронов, что трудно объяснить с точки зрения господствующей сейчас статистической теории. Интересная дискуссия возникла по докладам А. Л. Кирилюка (СССР) и Р. Блока (США) об интерференционном минимуме в сечении скандия. Этот вопрос имеет важное значение как для используемых на реакторах скандиевых фильтров, так и для понимания фильтрации нейтронных потоков вообще.

Ряд докладов был посвящен изучению нейтронных резонансов тяжелых ядер, в частности сечению захвата ^{238}U (доклады Ю. Г. Щепкина, СССР и Е. Корнелиса, Бельгия). О новой области ядер, в которой исследована реакция (n, α) на резонансных нейтронах, рассказал Ю. М. Гledenov. Полученные им результаты можно использовать для выяснения изменений в конструкционных материалах в результате накопления ядер гелия из-за реакции (n, α) . Обзор работ по изучению спектров γ -излучения, возникающих при захвате резонансных нейтронов, сделал Ю. П. Попов.

На конференции был рассмотрен широкий круг проблем, связанных с исследованиями процесса деления. Проведенное обсуждение позволяет выделить следующие актуальные направления таких исследований.

Исследование интегральных и дифференциальных сечений деления трансурановых ядер нейтронами и доактиноидных ядер заряженными частицами дало значительную информацию о свойствах переходных конфигураций делящихся ядер: барьерах деления, эффективных моментах инерции, корреляционных функциях и параметрах плотности уровней аномально деформированных состояний ядер. Такая информация оказывается во многих отношениях уникальной и труднодоступной для изучения в других реакциях.

Усовершенствование экспериментальных методик в исследованиях реакции (γ, f) на микротроне в ИФП АН СССР и реакций (d, pf) , проводимых в ФРГ, позволило изучить вероятность деления ^{238}U и ^{240}Pu в глубоководбарьерной области. Обнаруженные в этой области «изомерный шельф» и резонансная структура сечения представляют значительный интерес для проверки ряда основных положений модели двугорбого барьера деления.

Процесс движения делящегося ядра от седловой точки до точки разрыва по-прежнему остается одним из актуальных в физике деления, но экспериментальных данных, демонстрирующих взаимосвязь характеристик переходных конфигураций с распределением продук-