

также исследуются процессы включения ^{85}Kr в металлические матрицы и пористые стекла. Интересным оказался сплав состава $\text{Fe}_{0,16}\text{Zr}_{0,19}\text{Kr}_{0,05}$. Преимущество процесса — сравнительно низкое давление $\sim 1,3$ Па и невысокая температура. При растворении ^{85}Kr в стеклах, пористость которых достигает 30%, можно добиться включения 7 см^3 криптона на 1 г стекла. Утечка из стекла составляет не более 1,8% за 10 лет.

В Карлсруэ проводятся работы по изучению возможности хранения ^{85}Kr в различных адсорбентах. Исследования показали, что лучшие результаты достигаются на цеолите марки 5А. При давлении $3 \cdot 10^7$ Па и температуре 520°C можно адсорбировать $30\text{—}40\text{ см}^3$ $^{85}\text{Kr}/\text{г}$.

В Нидерландах, несмотря на Лондонскую конвенцию и решение МАГАТЭ, разрабатываются сферические контейнеры с двойными стенками для захоронения ^{85}Kr в море. Рассматривались контейнеры объемом 0,01; 0,05 и 0,1 м³ с зазором между внутренним и внешним шарами 0,01 м; общая масса контейнеров 1300, 2500, 3700 кг соответственно.

В ФРГ и Бельгии изучается возможность хранения ^{85}Kr в течение длительного времени в баллонах под давлением. Для снижения давления и адсорбции рубидия, получающегося в результате распада ^{85}Kr , бельгийские специалисты предлагают помещать в баллоны активный уголь.

В настоящее время не принят процесс «волоксиации», поэтому тритий почти полностью ($\sim 90\%$) находится в водных растворах на заводе по переработке ядерного топлива. Перед удалением для последующего хранения необходимо

его концентрирование. В Бельгии исследуется метод окисления трития с применением гидрофобного катализатора (процесс «элекса»), являющийся комбинацией двух процессов: электролиза воды и обмена трития между водородом и водой. В качестве катализатора применяется платина (30—40%) с политетрафторэтиленом. Для уменьшения объема в 100 раз требуется пять ступеней изотопного обмена.

В Карлсруэ рассматривались различные процессы выделения трития из водных растворов и из растворов, содержащих кислоту. Для обогащения трития предлагается рециркуляция раствора. По полученным данным после 15-кратной рециркуляции концентрация трития в растворе возрастала в 15 и более раз.

Для улавливания ^{14}C прорабатываются следующие методы: непосредственные реакции с неорганическими веществами; окисление всех углеродных соединений до CO_2 с последующим улавливанием CO_2 различными поглотителями; улавливание CO_2 твердыми адсорбентами. В Оксфордской национальной лаборатории испытывались твердые гидроксиды: $\text{Mg}(\text{OH})_2$, $\text{Ca}(\text{OH})_2$, $\text{Ba}(\text{OH})_2$. Наиболее эффективно действие гидроксиды бария, но стоимость ее выше. Для удаления CO_2 перед криогенной дистилляцией ^{85}Kr испытывались молекулярные сита. Лучшие результаты получены для цеолита марки 4А. Различные методы улавливания ^{14}C исследуются в ФРГ: адсорбция на молекулярных ситах; вымораживание при низких температурах; улавливание в суспензии $\text{Ca}(\text{OH})_2 - \text{Na}(\text{OH})_2$.

СМИРНОВА Н. М., ГОРБУНОВ С. В.

Стадия эскизного проектирования реактора ИНТОР

В 1979 г. Международная рабочая группа (МРГ) закончила нулевую фазу проекта ИНТОР — физическое обоснование реактора и выпустила Отчет, который был утвержден Международным советом по термоядерным исследованиям на совместном заседании с Руководящим комитетом МРГ 16—18 января 1980 г. На заседании были сформулированы задачи МРГ для следующей фазы проекта ИНТОР — фазы эскизного проектирования, которая продлится до июля 1981 г. С 24 по 28 марта 1980 г. в Вене проходила вторая сессия МРГ по ИНТОРУ на этой стадии. Руководящий комитет предложил следующую организационную структуру МРГ на стадии эскизного проектирования реактора: Руководящий комитет, Координационный совет, рабочие группы и подгруппы. Определены рабочие группы: по физике, инженерии, нейтронике, балансу систем, планированию и безопасности; созданы две подгруппы: по конструкционным материалам и испытательным модулям. На пленарном заседании МРГ обсуждены и уточнены связи между рабочими группами и подгруппами.

На второй сессии проходили заседания Руководящего комитета, Координационного совета и трех рабочих групп. Координационный совет и рабочие группы обсудили представленные участниками материалы, согласовали их и составили детальный список вопросов, на которые необходимо дать ответы к следующей сессии (16—27 июня 1980 г.).

Вторая сессия показала, что наступил новый этап проекта, качественно отличающийся от нулевой фазы. На этом этапе необходимо выбрать и принять конкретные решения как по отдельным узлам, так и по реактору в целом и подготовить единый международный эскизный проект. Детально обсуждались основные вопросы, решение которых необходимо для проектирования реактора. В группе физики к таким вопросам относятся: конфигурация полоидальных магнитных полей; диверторы; проблема управления горением термоядерной реакции и гофрировка тороидального магнитного поля; неустойчивость срыва тока плазмы;

сценарии изменения плазмофизических параметров во времени.

Большое внимание обращалось на изучение возможности создания полоидального дивертора с одной нулевой точкой. Для этого необходимо определить, смогут ли обмотки полоидального поля, расположенные снаружи тороидальных обмоток, обеспечить требуемую форму плазмы с устойчивыми предельными значениями $\beta = 5 \div 6\%$ в стационарном режиме горения термоядерной реакции. На стадии дополнительного нагрева плазмы необходимо обеспечить магнитную конфигурацию, когда сепаратриса проходит через диверторный канал в течение всего времени нагрева плазмы.

Обсуждалась также возможность поддержания равновесия плазмы как при наличии полоидального дивертора с двумя нулевыми точками, так и в случае внутреннего и внешнего расположения полоидальных обмоток относительно тороидальных.

При рассмотрении вертикальной устойчивости плазменного шнура требуется определить условия, при которых должна работать система обратных связей для стабилизации вертикальной неустойчивости с учетом электрических свойств первой стенки и защиты.

Изучение вопроса, связанного с выбором и обоснованием дивертора, предусматривает изложение требований, предъявляемых к диверторным пластинам, ширине и длине диверторного канала и системе откачки гелия. Хотя в настоящее время предпочтение отдается полоидальному дивертору, по-прежнему актуально изучение других вариантов — бандл-дивертора, локального полоидального (гибридного) дивертора. Остается возможность для анализа бездиверторного варианта.

При обсуждении проблемы управления горением термоядерной реакции ставилась цель достигнуть понимания возможности стабилизации температурной неустойчивости с помощью увеличения гофрировки тороидального магнитного поля, а также при работе в подкритическом режиме

вблизи зажигания реакции. К следующей сессии должны быть представлены результаты расчетов различных способов создания увеличенной гофрировки тороидального магнитного поля. К таким способам относятся использование гофрированных компенсирующих катушек, которые могут быть обесточены, дополнительных гофрированных катушек, изменение тока в тороидальных катушках, смещение плазменного шнура в область с повышенной гофрировкой.

Целью изучения неустойчивости срыва тока плазмы в ИНТОРе является изучение природы этой неустойчивости и создание способов ее регулирования. В качестве первого шага на этом пути на следующей сессии должны быть представлены результаты экспериментального изучения подобных неустойчивостей на установках PLT, T-10, TFR, ISX, DITE, T-11, D III, «Alcator», JFT-2. Из анализа этих данных требуется предсказать время спада тока плазмы при срыве, которое возможно в ИНТОРе.

Для расчета системы катушек полоидального поля и индуктора требуется создание сценария изменения во времени проводимости плазмы, ее движения, формы поперечного сечения и других параметров. Сценарий изменения во времени плазмофизических параметров должен включать стадию ионизации, начальную стадию подъема тока до 1 МА, стадию подъема тока до оптимального значения 6 МА, стадию нагрева плазмы до зажигания термоядерной реакции, фазу горения реакции и выключение.

Группа инженеров рассмотрела материалы по следующим разделам: положение вакуумных границ; конфигурация механических конструкций; коэффициент нагрузки *; конфигурация испытательных модулей; использование поверхности плазменной камеры; вопросы монтажа и ремонтного обслуживания.

В результате обсуждения решено сократить число проблем до четырех.

1. **Механическая конфигурация.** Необходимо подготовить технические решения по размеру катушек тороидального поля (в связи с вариацией их числа от 8 до 16), по проекту катушек полоидального поля, дивертору (выбор варианта), опорной конструкции криостата вакуумной камеры, электроподводам и т. п.

2. **Коэффициент нагрузки.** К следующей сессии необходимо рассмотреть вариант с достаточно большими значениями коэффициента нагрузки оборудования для обеспечения производства электроэнергии, инженерных испытаний и наработки трития.

3. **Инженерные испытания.** Необходимо определить число и размеры испытательных каналов или модулей, их геометрическую конфигурацию, способ перемещения.

4. **Вопросы монтажа и технического обслуживания.** Должны быть определены общие принципы перемещения компонентов реактора, а также установлено, какие компоненты будут ремонтироваться на месте.

В группе нейтроники в соответствии с решением декабрьской сессии МРГ были рассмотрены предварительные результаты проектного анализа четырех наименее согласованных проблем ИНТОРа: первой стенки, лимитера, диверторных контактных устройств, литиевого blankets. Окончательные результаты этого анализа должны быть представлены на следующей сессии.

Признано, что вариант создания первой стенки реактора из нержавеющей стали без специальных защитных устройств против эрозии, по-видимому, будет неприемлемым. Были рассмотрены ожидаемые последствия неустойчивости срыва тока в плазме токамака.

На совместном заседании групп нейтроники и физики согласованы исходные проектные параметры, относящиеся к неустойчивости срыва (длительность, поверхность и неравномерность тепловыделения). Высказано мнение, что неустойчивость срыва чревата весьма тяжелыми последствиями, и поэтому следует разработать меры ее предотвращения. Были заданы потоки частиц и энергии, падающие на первую стенку и уходящие в дивертор, оценены соответствующие коэффициенты неравномерности, согласовано принимаемое при анализе и проектировании число рабочих циклов по годам эксплуатации реактора.

При обсуждении литиевого blankets три стороны (кроме США) высказали мнение, что с учетом возможных трудностей с поставками и транспортировкой трития целесообразно воспроизводить в blankets ИНТОРа его максимально возможное количество. Американский представитель высказался за воспроизводство трития «только в количестве, достаточном для демонстрационных целей». Пока нет более или менее единого мнения о литийсодержащем материале blankets. Советская и японская стороны ориентируются на твердые керамические соединения. При этом японская сторона предпочитает окись лития. Представители Западной Европы и США в основном рассматривают жидкие соединения, в частности американская сторона пропагандирует жидкую смесь свинца и лития. Совместно с инженерной группой группа нейтроники согласовала размеры площади для размещения литиевого blankets. Согласовано, что при проектировании литиевого blankets средняя нейтронная нагрузка на первую стенку будет принята равной 1,3 МВт/м².

ПИСТУНОВИЧ В. И.

IX симпозиум по взаимодействию быстрых нейтронов с ядрами

С 26 по 30 ноября 1979 г. в Гауссиге (ГДР) проходил симпозиум, посвященный актуальным теоретическим и экспериментальным проблемам взаимодействия нейтронов с ядрами. В работе симпозиума приняли участие около 60 физиков из различных институтов ряда социалистических и капиталистических стран и трех международных научных центров.

О широте диапазона охваченных проблем нейтронной физики свидетельствуют такие работы, как изучение изомерного сдвига нейтронных резонансов, измеряемого десятками микроэлектронвольт, и поиски нейтронов деления ядер энергией до 200 МэВ.

Серия докладов посвящена экспериментальному изучению нейтронных каналов реакций. Основная направленность работ — получение информации о соотношении рав-

новесных и неравновесных процессов и установление природы последних. Представлены результаты исследований неупругого рассеяния нейтронов энергией около 1 МэВ на четно-четных ядрах со средней атомной массой. Анализ результатов показывает, что вклад прямых процессов достигает 40%.

Обширный экспериментальный материал в широкой области значений масс исследуемых ядер получен с использованием нетрадиционной методики измерения спектров неупругорассеянных нейтронов с начальной энергией 14 МэВ в открытой геометрии. Результаты достаточно полно объясняются в рамках моделей равновесного и прямого процессов взаимодействия нейтронов с ядрами. Должен принципиально важный эксперимент, в котором механизм распада ядра по нейтронному каналу изучался при раз-

* Коэффициент нагрузки = $\frac{\text{Среднее время между повреждениями}}{\text{Среднее время между повреждениями ремонта}}$