

Совещание МХО Интератомэнерго по контролю за состоянием металла оборудования АЭС при эксплуатации

Совещание состоялось 16—19 июня 1981 г. в Козлодуде (Болгария). В нем участвовали специалисты Болгарии, Венгрии, ГДР, Советского Союза и МХО Интератомэнерго. Было заслушано девять докладов, охватывающих следующие вопросы неразрушающего контроля оборудования АЭС с ВВЭР: организация работ и техническая документация, регламентирующая их; использование серийной аппаратуры и стандартных методик для дефектоскопии металла различных элементов оборудования; разработка и применение специальных защитных контейнеров при контроле, ремонте оборудования, а также автоматизированных дистанционных систем контроля; направления работ по дальнейшему развитию методов и средств неразрушающего контроля.

На совещании отмечалась актуальность проводимых в рамках МХО Интератомэнерго работ по созданию единой нормативно-технической документации и прежде всего Правил устройства и безопасной эксплуатации оборудования АЭС и Правил контроля сварных соединений и наплавки оборудования АЭС. Введение в действие этих документов создает благоприятные условия для дальнейшего развития сотрудничества в области ядерной энергетики между странами — членами СЭВ.

Особый интерес вызвало обсуждение методов и аппаратуры для контроля за состоянием металла корпуса реактора. В докладе специалистов ГДР отмечалась необходимость выработки концепции создания системы контроля корпуса реактора, призванной определить оптимальные технические и технико-экономические принципы построения этой системы. Специалисты ГДР высказали мнение, что более перспективными являются системы контроля, предназначенные для дефектоскопии металла корпуса реактора со стороны внутренней поверхности и которые должны использоваться не на одном, а на нескольких объектах.

В докладе о системе контроля корпуса реактора, разработанной в нашей стране, указывалось, что для корпусов, имеющих антикоррозионную аустенитную наплавку, совмещение в одной системе отдельных устройств (подсистем) для дефектоскопии корпуса с наружной и внутренней стороны является рациональным, так как при этом учитываются преимущества и недостатки каждого из этих способов для контроля различных элементов корпуса.

В некоторых докладах приводились сведения о разработке и применении защитных кабин для обследования и ремонта внутренней поверхности корпуса реактора. Так, доклад специалистов Болгарии был посвящен опыту эксплуатации на АЭС «Козлодуд» защитной кабины, разработанной в нашей стране и изготовленной в Болгарии.

Использование этой кабины позволяет применить для контроля внутренней поверхности корпуса реактора внешний осмотр, магнитопорошковую и цветную дефектоскопию. Подготовка поверхности и выборка дефектов при необходимости может осуществляться с использованием стандартных шлифовальных машинок. Кабина надежно защищает персонал, находящийся в ней, от облучения. В связи с тем, что защитные кабины имеют отдельные конструктивные недостатки, отмечена необходимость продолжения работ по их совершенствованию.

На совещании сообщалось о разработке в Чехословакии механизированных устройств для визуального (телевизионного) обследования внутренней поверхности трубопроводов главного циркуляционного контура, коллекторов первого контура парогенераторов, компенсатора объема. В этих устройствах использованы импортные телевизионные камеры.

Большое внимание на совещании было уделено развитию ультразвуковых методов дефектоскопии металла (доклады специалистов ГДР, Советского Союза, Чехословакии). В ГДР проведены исследования по ультразвуковому контролю аустенитных сварных соединений толщиной до 100—120 мм. Аустенитные сварные соединения большой толщины контролировали специальными искателями на продольных волнах.

В сообщениях специалистов Венгрии, ГДР и Советского Союза содержалась информация о разработке систем контроля состояния оборудования, основанных на методе виброакустической диагностики.

В памятной записке совещания указывалось на необходимость ускорения создания единой нормативно-технической документации по неразрушающему контролю за состоянием металла оборудования АЭС; продолжения работы по совершенствованию системы контроля корпуса реактора; разработки дистанционных автоматизированных средств контроля металла корпуса компенсатора объема, коллекторов первого контура парогенератора; дальнейшего развития специализации и кооперирования производства средств контроля металла в странах — членах СЭВ.

Взаимная информация и обмен мнениями между участниками совещания позволили наметить основные направления работ по созданию средств контроля за состоянием металла оборудования АЭС в условиях эксплуатации и будут способствовать дальнейшему развитию международного сотрудничества в этой области.

БРодский В. Р

2-й Всесоюзный семинар по программе экспериментальных исследований на мезонной фабрике ИЯИ АН СССР

Семинар состоялся в Звенигороде. На нем было заслушано 76 докладов об актуальных проблемах физики элементарных частиц и атомного ядра, а также многих других прикладных исследований.

Строющийся в ИЯИ АН СССР линейный ускоритель позволит получать пучки ионов H^+ и H^- интенсивностью 0,5 мА и энергией до 600 МэВ. На семинаре было рассмотрено состояние дел по сооружению ускорителя,

возможности его применения для получения пучков вторичных частиц и развития в ближайшие 15—20 лет. Для максимального использования возможностей ускорителя разработан проект многопучкового экспериментального комплекса, который позволит проводить независимо несколько различных экспериментов. Для этой цели применена система дробления высокоинтенсивного протонного пучка. В первой очереди мезонной фабрики будет соору-

жено восемь независимых каналов мезонных пучков энергией от 10 до 250 МэВ и интенсивностью до 10^{11} частиц/с. При этом основное внимание будет уделено получению пучков мезонов низкой энергии (до 50 МэВ), интенсивность которых может достигать 10^9 частиц/с. Два канала являются спектрометрическими с разрешением по энергии около 100 кэВ. В экспериментальный зал выводится пучок поляризованных протонов энергией до 600 МэВ и степенью поляризации до 90%. Его же будут использовать для получения пучка квазиодноэнергетических поляризованных нейтронов. На втором этапе развития экспериментального комплекса предусмотрено создание накопителя-группирователя для получения коротких сгустков частиц (в том числе мезонов) при сохранении средней интенсивности мезонной фабрики.

Временная структура пучка из ускорителя обеспечивает создание комплекса импульсных источников нейтронов. На семинаре были рассмотрены технические аспекты получения интенсивных импульсных потоков тепловых нейтронов на основе мишеней из естественного урана (пиковые потоки до $6 \cdot 10^{15}$ нейтр./см²·с) при длительности импульсов около 20 мкс) и бустера-размножителя из окиси плутония с водяным охлаждением (соответственно до $2 \cdot 10^{17}$ нейтр./(см²·с) и около 50 мкс). Накопитель-группирователь с мишенью из естественного урана даст возможность генерировать короткие (5—200 нс) импульсы со средней интенсивностью до $6 \cdot 10^{16}$ нейтр./(см²·с).

Обсуждались конструкции и образцы радиационно-стойких узлов оборудования, выдерживающих длительную эксплуатацию в потоке частиц до 10^{15} см⁻²·с⁻¹. Для ремонта и обслуживания сильноактивированного оборудования разработан робот-манипулятор.

Благодаря высокой интенсивности пучков, одновременной работе большого числа установок, мезонная фабрика будет современным ядерно-физическим прибором, открывающим новые возможности для проведения исследований в области физики элементарных частиц, атомного ядра, твердого тела, химии, материаловедения, ядерной энергетики, биологии, медицины и в других областях науки и техники. Поэтому основное внимание на семинаре было уделено выбору наиболее перспективных направлений на столь широком фронте научной работы.

Исследования на мезонных фабриках приобретают в настоящее время особое значение, когда намечалась возможность единого описания взаимодействий и свойств элементарных частиц на основе калибровочных теорий. Предсказания этих теорий, например, теории «великого объединения», в наиболее существенной части относятся к области сверхвысокой энергии, недостижимой ускорительными методами. Поэтому исключительно важными являются поиски процессов перехода между различными классами частиц, связанные с нарушением барьонного или лептонного квантовых чисел, которые предсказываются теорией «великого объединения». На семинаре обсуждались эксперименты по поиску распадов с нарушением мюонного квантового числа $\mu \rightarrow e\gamma$, $\mu^\pm \rightarrow e^\pm$ конверсия, $\mu^+e^- \rightarrow \mu^-e^+$ и т. д. Использование высокоинтенсивных пульсирующих во времени мюонного и протонного пучков дает преимущества для постановки таких экспериментов на мезонной фабрике ИЯИ АН СССР.

Рассматривались эксперименты по поиску осцилляции нейтрон-антинейтрон на нейтронных источниках мезонной фабрики. Осцилляции такого типа предсказываются некоторыми калибровочными теориями, и их обнаружение имело бы принципиальное значение для физики.

Импульсные нейтронные источники могут быть использованы для генерации и накопления ультрахолодных нейтронов, что дает возможность существенно повысить точность экспериментов по поиску электрического дипольного момента нейтрона, являющегося ключевой величиной для решения проблемы CP-нарушения в калибровочных теориях. Одним из следствий теории является возможность существования необычного класса легких частиц, слабо взаимодействующих с веществом. Одной из них является

аксион. Предварительные опыты, выполненные на мезонной фабрике в Швейцарии, указывают на существование такой частицы, хотя их достоверности пока недостаточно для однозначных выводов. Обнаружение и исследование свойств частиц типа аксиона — важнейшая задача мезонных фабрик. Обсуждался поиск аксиона в распадах π -мезонов.

Не решена проблема невылетаия кварков и глюонов, или так называемая проблема конфаймента. С нею также связывается сохранение «цветного» заряда, который приписывается кваркам и глюонам. На семинаре обсуждалось существование целочисленных зарядов кварков и указывалось, что при имеющейся точности экспериментов нет строгих доказательств, отвергающих такую возможность. Конфаймент может проявиться в области энергии, характерной для мезонных фабрик, поскольку эта область является пограничной между низкой энергией, где адроны представляются элементарными, и высокой, где их несомненные элементы — кварки и глюоны. Хотя сегодня трудно указать конкретные эксперименты, однако повышение точности и качества нуклон-нуклонных и пион-нуклонных экспериментов может выявить явления, необъяснимые с точки зрения чисто адронного описания. Не исключено, что имеющиеся на сегодня экспериментальные указания, обычно описываемые как проявление дибарионных многокварковых состояний, относятся к таким качественно новым явлениям. Важно исследовать роль многокварковых состояний в ядерных процессах. Экспериментальные данные весьма неоднозначны, и проблема в целом требует дальнейшего изучения.

На семинаре были рассмотрены возможные эксперименты по изучению взаимодействия протонов средней энергии с ядрами. Они могут дать ценную информацию о механизме ядерной реакции, например при изучении эмиссии частиц в кинематической области, запрещенной для взаимодействия с покоящимся нуклоном. В реакциях неупругого рассеяния и перезарядки протонов можно исследовать структуру возбужденных ядерных состояний, в частности гигантских резонансов. Высокая интенсивность протонного пучка позволяет получать и исследовать свойства ядер, удаленных от области β -стабильности.

Значительное место было уделено предложениям по исследованию пион-ядерного взаимодействия. Наиболее интересна для изучения пион-ядерных процессов энергия пионов ниже и выше энергии, соответствующей образованию (3,3)-резонанса. Поскольку выход пионов такой энергии существенно уменьшается, при проектировании установок экспериментального комплекса планируется проведение работ по пион-ядерной физике со светосильными пионными каналами и спектрометрами высокого разрешения. Для разработки последовательной теории пион-ядерного взаимодействия намечается изучать на таких установках упругое и неупругое рассеяние пионов, ядрами. Важным направлением исследований являются также реакции однократной и двойной перезарядки пионов так как малое сечение не позволило до сих пор получить достаточно точные данные. Обсуждались предложения по измерению однонуклонного поглощения и радиационного захвата пионов ядрами, рассеяния пионов ориентированными ядрами для обнаружения пионной конденсации или предконденсатного состояния в ядрах. Проведение этих экспериментов на мезонной фабрике особенно важно, поскольку реакции с электронами и протонами не могут дать однозначного ответа в решении этой проблемы.

В нескольких сообщениях рассматривались перспективы, открывающиеся для радиационного материаловедения при применении протонного пучка. Объемный характер радиационных повреждений, вызываемых протонами, и высокая интенсивность позволяют проводить имитационные исследования конструктивных материалов ядерной энергетики (быстрых реакторов, установок термоядерного синтеза). Использование пучка протонов, сфокусированного на площади 0,3 см², по темпу образования первично смещенных атомов эквивалентно нейтронному потоку

плотностью 10^{17} нейтр./ $(\text{см}^2 \cdot \text{с})$. Пространственная локализация пучка создает уникальные возможности изучения изменения свойств материалов в процессе облучения. Создание импульсных источников нейтронов открывает широкие перспективы исследований в области нейтронной ядерной физики низкой энергии, физики конденсированных сред, для получения прецизионных нейтронных данных, используемых в ядерной энергетике. Применение высокоинтенсивных мюонных пучков даст новый толчок развитию работ по химии и физике конденсированных сред, мюонному катализу термоядерной реакции. Перспективным является утилизация оставшегося после проведения экспериментов протонного пучка для производства

нейтронодефицитных медицинских нуклидов: ^{67}Ga , ^{82}Rb , ^{123}I , ^{127}Xe , ^{167}Tm и др. Высокая интенсивность пучка протонов позволит получать широкий ассортимент радионуклидов в количестве, необходимом для удовлетворения запросов крупных регионов.

Эффективное использование мезонной фабрики для проведения экспериментов в разнообразных областях современной науки и техники возможно только при активном участии научных центров СССР. На семинаре были рассмотрены вопросы организации широкого научного сотрудничества — институтов, заинтересованных в исследованиях на мезонной фабрике ИЯИ АН СССР.†

ИЛЬИНОВ А. С.

4-я Международная конференция по сверхмощным электронным и ионным пучкам

Начатые в 60-х годах исследования сильноточных импульсных релятивистских электронных пучков (РЭП) продолжаются с неослабевающей интенсивностью. Стимулирующим фактором являются многочисленные области приложений, в которых РЭП с присущей им высокой мощностью и энергией обеспечивают проведение уникальных экспериментов. В настоящее время во многих лабораториях мира используются сильноточные ускорители. Физические и технические проблемы этой области обычно рассматривались на многих конференциях с широким профилем. Однако существовала необходимость организации специальных встреч с детальным обсуждением вопросов сильноточных пучков. Первая такая конференция состоялась в 1975 г. в США. К ее официальному названию в дальнейшем было добавлено слово «ионные», что связано с интенсивным развитием физики и техники сильноточных пучков легких ионов, формируемых в диодах ускорителей РЭП.

4-я конференция состоялась в Палезо под Парижем с 29 июня по 3 июля 1981 г. На ней присутствовали более 200 специалистов из ведущих лабораторий СССР, США, Франции, Японии и других стран. Тематика конференции была традиционной: применение ионных и электронных пучков для нагрева термоядерных мишеней и плазмы в ловушках, физика электронных и ионных диодов, транспортировка энергии пучков, коллективное ускорение, СВЧ-генерация, лазеры на свободных электронах, применение пучков для возбуждения лазеров, техника ускорителей. На этой конференции так же, как и на предыдущей, обсуждалось применение пучков тяжелых ионов для нагрева мишеней. Впервые обстоятельно излагались результаты опытов по схлопыванию пламенных оболочек, разгоняемых давлением магнитного поля тока сильноточных ускорителей.

Наибольшее внимание было уделено сильноточным пучкам легких ионов. Это направление возникло в США и развивается во многих крупных лабораториях этой страны, СССР, Франции, Японии, ФРГ. Основной его целью является поджиг термоядерной мишени. Потенциальными преимуществами ионов по сравнению с электронами является отсутствие тормозного излучения, нагревающего мишень, а также ожидаемый классический механизм энерговклада в оболочку и лучшая фокусировка ионов, обеспечивающая концентрацию пучка на мишень. Специфической чертой современного этапа исследований США по инерционному удержанию на основе пучков является ориентация на демонстрацию возможности поджига мишени в однократных режимах. Реакторные проблемы, обусловленные режимом повторяющихся микровзрывов, отошли пока на второй план. В результате оказалось допустимым применять системы формирования пучков

и концентрации их энергии, рассчитанные на однократное использование. Программа сильноточных пучков легких ионов включает получение ускоренных ионов, изучение механизма, вызывающего угловой разброс, фокусировки и транспортировки ионов на поверхность мишени, исследование механизма взаимодействия с веществом при больших потоках мощности. Как и прежде, основные результаты были представлены в докладах США. По сообщению К. Кусава (Сандиевская лаборатория), для поджига мишени необходима энергия, запасенная в пучке $1-2$ МДж при фокусировке до плотности потока ~ 40 ТВт/см² и длительности импульса $10-30$ нс. Достичь такую плотность предполагается или с помощью баллистической транспортировки сходящихся нейтрализованных по заряду и току пучков, или с помощью плазменных каналов с внешним азимутальным магнитным полем. В Сандиевской лаборатории отдается предпочтение первому методу концентрации ионов на мишень. При предполагаемом радиусе диода 40 см и размере мишени 1 см угловой разброс ионов на выходе диода не должен превосходить 1° .

Для формирования ионных пучков используются главным образом диоды с магнитной самоизоляции и отражением электронов (пинч-рефлексные диоды ПРД), а также с изоляцией внешними полями. Рекордный ток пучка протонов, по сообщению Дж. Куперштейна, достигнут на установке «Питон» в пинч-рефлексном диоде (Международная физическая компания МФК): $I = 1$ МА, $W = 130$ кДж. Максимальная плотность ионного тока на выходе из ПРД на установке «Геймбл-2» (Лаборатория ВМФ, США) составляла 30 кА/см², что соответствует плотности потока $3 \cdot 10^{-3}$ ТВт/см². Типичная угловая расходимость пучков в таких диодах составляет $6-10^\circ$, что превосходит ожидаемую из расчетов траекторий ионов, и требуются дополнительные эксперименты для объяснения этих результатов. Примерно такие же результаты по угловой расходимости и эффективности получены в Сандиевской лаборатории на установке «Прото-1» в диоде с изоляцией внешним магнитным полем. Профилирование анода обеспечило плотность потока протонов ~ 1 ТВт/см², при этом энерговклад в мишень не противоречил классическому механизму торможения ионов. В дальнейшем в этой лаборатории предполагают использовать для опытов на установке РВФА-1 диод нового типа, получивший название амфион. В нем магнитное поле, подавляющее ток электронов, создается током диода, а ионы вытягиваются из плазмы, предварительно инжектируемой в диод. Импеданс диода растет во времени импульса. Такой рост автоматически создает условия для последующей группировки ионного пучка из-за увеличения напряжения на диоде.