

рассматривалась динамика частиц в диверторном слое при сильной циркуляции. Отмечалась возможность существенного снижения температуры плазмы в диверторном слое за счет усиления циркуляции. В докладе ИАЭ им. И. В. Курчатова о возможности использования струи падающих шариков на границу плазмы в качестве диафрагмы показано, что такой способ позволяет уменьшить среднюю тепловую нагрузку на элементы диафрагмы на порядок. Такая диафрагма может выполнять некоторые функции дивертора. Один из докладов США был посвящен загрязнению плазмы в ИНТОРе. При использовании покрытий стенок из карбида кремния можно надеяться на несущественное загрязнение плазмы в течение 20—30 с. Оживленную дискуссию вызвало высказанное мнение о том, что в этой установке можно будет обойтись без дивертора. Однако этот вопрос нуждается в тщательном теоретическом и экспериментальном обосновании.

Несколько докладов, представленных советскими специалистами, были посвящены интенсивно изучаемому в настоящее время взаимодействию быстрых атомов с различными материалами, применительно к проблеме первой стенки термоядерного реактора. Сообщалось об экспериментальном изучении механизма формирования потоков атомов, которые могут поступать в плазму (МИФИ), об изучении отражения от поверхности нержавеющей стали легких и тяжелых ионов энергией 3—30 кэВ на установке «Ирис» (ИАЭ им. И. В. Курчатова), приводились первые результаты изучения газовой выделенности из гидридов циркония в процессе ионной бомбардировки в зависимости от температуры и вакуумных условий (МИФИ). Изучалось влияние технологии обработки поверхности на процесс рассеяния. Предложена оригинальная методика определения коэффициента диффузии и энергии активации дейтерия, внедренного в молибден (МИФИ).

Представляет интерес сообщение США о последних результатах изучения стойкости различных материалов к высоким удельным тепловым нагрузкам. Эксперименты проводили с помощью электронного пучка энергией 10 кэВ и мощностью 180 МВт/м<sup>2</sup>. Результаты позволяют рекомендовать в качестве материала для диафрагмы карбида материалов с малым  $z$  (например, TiC—C) или различного рода графиты. В докладе США о результатах изучения свойств покрытий с малым  $z$  показано, что удовлетворительным является покрытие TiV<sub>2</sub> на графитовой основе. В результате разработана конструкция диафрагмы, в которой на графитовую подложку наносится слой TiV<sub>2</sub> толщиной 35 мкм. Такая диафрагма установлена на ISX-B и будет сооружена на PDX. Подобные вопросы рассматривались в докладах специалистов ИАЭ им. И. В. Курчатова, ИФХ АН СССР. По мнению авторов, решением проблемы первой стенки является создание возобновляемого покрытия из напыляемого на нержавеющей сталь титана и разработка экранов, несущих радиационную и тепловую нагрузку.

На совещании рассматривали униполярные дуги как возможные источники примесей. Как показало обсуждение результатов, в настоящее время еще есть противоречия в экспериментальных результатах, полученных на различных токамаках, а имеющаяся теория не может объяснить некоторые эффекты. Поэтому представляется целесообразным дальнейшее изучение этой проблемы.

В целом работа совещания показала, что изучению взаимодействия плазмы со стенкой в СССР и США уделяется большое внимание.

АБРАМОВ В. А

## II заседание международной Рабочей группы по ИНТОРу

Заседание состоялось в июне — июле 1979 г. в Вене (Австрия). Его работа была организована таким образом, что можно было сравнить материалы по физико-техническому обоснованию ИНТОРа, подготовленные специалистами — участниками Рабочей группы в своих странах, установить расхождения по каждому из обсуждаемых вопросов и наметить темы дальнейших исследований. Первые в обсуждении некоторых вопросов участвовали эксперты Евратома, СССР и США.

Для создания более логичной структуры доклада по ИНТОРу для Международного совета по термоядерным исследованиям ранее намеченные темы были сгруппированы в более общие разделы: плазма; магниты и энергетика; blanket и тритий; инженерные вопросы; безопасность и окружающая среда.

Много внимания было уделено обсуждению основных параметров ИНТОРа. Более подробно рассматривали его технические цели и место в программе работ по УТС. В программе токамаков ИНТОР является промежуточным между установками следующего поколения (T-15, TFTR, JT-60, JET) и демонстрационным энергетическим реактором (DEMO) для производства электричества. В связи с этим было признано, что он должен представлять нечто более крупное, чем инженерно-технологический термоядерный реактор. В соответствии с определением ИНТОРа как максимального разумного шага за последним физическим установками установлены главные задачи.

1. Режим работы должен быть близок к режиму энергетического реактора. Это означает зажигание термоядерной реакции в DT-плазме; длительность рабочих импульсов не менее 100 с; нейтронную нагрузку на первую стенку не ниже 1 МВт/м<sup>2</sup>; сваяжность между рабочими импульсами не более 30%.

2. В ИНТОРе должны быть использованы основные технологические решения, пригодные для реактора: сверхпроводники в торо- и полоидальных катушках; дивертор для обеспечения стационарного горения термоядерной реакции; способы контроля баланса мощности в плазме; системы дополнительного нагрева; замкнутый плазменный тритиевый контур; технология дистанционного обслуживания; вакуумная технология.

3. В ИНТОРе должны быть предусмотрены модули blanketа для проведения инженерных испытаний: технологии наработки и извлечения трития из blanketа; конструктивных решений элементов; технологии blanketа для одновременного производства электроэнергии и трития; материалов на радиационную стойкость; решений по управлению плазмой и контролю за ней.

4. ИНТОР должен продемонстрировать: возможность производства электричества в термоядерном реакторе и воспроизводства трития; способность термоядерного реактора к устойчивой и продолжительной работе; максимальный коэффициент нагрузки до 50%.

Эти задачи могут быть выполнены в три стадии. Первая — три года работы с коэффициентом нагрузки 10—20%, сначала с водородной, затем DT-плазмой, отработка режимов работы и демонстрация производства электричества. Вторая — четыре года работы с нагрузкой 25%, проведение инженерных испытаний различных модулей blanketа для производства трития, совместного производства трития и электричества, испытания материалов, а также альтернативных решений по нагреву и контролю за плазмой. Третья — пять лет работы с нагрузкой 50% для испытания всей установки в режиме, близком к энергетическому, ресурсные испытания материалов и проверка

альтернативного предложения по наработке значительного количества трития.

До конца 1979 г. предполагается рассмотреть альтернативные возможности, которые могут изменить задачи и параметры ИНТОРа:

увеличение производства трития до половины потребляемого количества или полного;

возрастание масштаба производства электричества до 50 МВт (эл.) или выход на положительный электрический баланс;

повышение удельной нагрузки реактора и полной нейтронной нагрузки до 5 МВт·год/м<sup>2</sup>.

Указанные альтернативные задачи приближают ИНТОР к реактору DEMO, который должен производить электроэнергию, достаточную для его работы количество трития и демонстрировать работоспособность конструкции, являющейся прототипом коммерческого реактора.

Предполагают, что ИНТОР начнет работать в 1990 г. Решение физических вопросов для DEMO можно ожидать в 1993 г., испытание blanketа и решение инженерных проблем термоядерного реактора, необходимых для его

строительства, — в 1997 г., испытание материалов — в 2002 г. Таким образом, он начнет работать в 2005 г. или позже.

На заседании был подготовлен первый (черновой) вариант сводного отчета по ИНТОРу и таблицы рекомендуемых параметров. Сформулированы новые специальные вопросы по каждой теме, ответы на которые должны быть подготовлены к третьему заседанию. К тому же времени должна быть оценена стоимость ИНТОРа, определены необходимые людские ресурсы и график строительства.

По решению МАГАТЭ работа международной Рабочей группы пролонгирована до июня 1980 г. Предполагается, что в 1980 г. группа начнет разрабатывать предэскизный концептуальный проект. По мнению членов Руководящего комитета, эта работа может быть организована через коллективы институтов стран-участниц без создания специальной проектной группы.

Третье заседание международной Рабочей группы состоится в октябре 1979 г.

ПИСТУНОВИЧ В. И., ШАТАЛОВ Г. Е.

## Европейская конференция по физике высоких энергий

В работе конференции, состоявшейся в июне—июле 1979 г. в Женеве (Швейцария), участвовали более 820 специалистов. Программа включала пять разделов: физика нейтрино, электрон-позитронные соударения при высоких энергиях, заряженные лептоны, адронные взаимодействия, вопросы теории. На пленарных заседаниях выступили с обзорными докладами 17 репортеров и 52 приглашенных докладчика.

На крупном ускорителе со встречными электрон-позитронными пучками PETRA в Гамбурге (ФРГ) достигнута энергия частиц 27,8 ГэВ в с. ц. и. В ближайшее время она будет повышена до 32 ГэВ. На этом ускорителе проводят поиск нового *t*-кварка, массу которого оценивают 14—15 ГэВ, исследуют распады семейства *v*-частицы массой ~9,5—10 ГэВ. В рамках кварк-глюонных представлений *v*-мезоны являются связанным состоянием кварка и антикварка *b*,  $\bar{b}$  аналогично тому, как семейство *J/ψ*-частиц — связанное состояние кварка и антикварка *c*,  $\bar{c}$ , *φ*-мезон — кварка и антикварка *s*,  $\bar{s}$ . Напомним, что протон и нейтрон есть связанное состояние трех легких кварков *u*, *u*, *d* и *d*, *u* соответственно. Тяжелые кварки *s*, *c*, *b* имеют отличную от нуля странность, «очарование», «красоту». Взаимодействие между кварками осуществляется восьмеркой глюонов. В результате взаимодействия с большой передачей импульса наличие кварков и глюонов приводит к появлению струй адронов — сильновзаимодействующих частиц. При изучении распада *v*-частицы, обладающей «скрытой красотой», наблюдали распады на три струи. Если считать, что струи вызваны глюонами (интерпретация неоднозначна), то их спин равен единице, как и ожидали теоретически. Интенсивно проводят поиск *t*-кварка, но ко времени конференции он не привел к успеху.

На пучке пионов энергией 150—175 ГэВ в ЦЕРНе обнаружен узкий резонанс в системе *J/ψ*—*K*—*π*. Это указывает на существование частицы массой около 5,3 ГэВ с явным очарованием. Такая частица может образоваться в результате распада новых частиц с кварковой структурой (*bū*)<sup>0</sup> и (*bū*)<sup>0</sup>. В Станфорде (США) на встречных электрон-позитронных пучках PEP исследуют спектроскопическое семейство *J/ψ*-частиц. В последних экспериментах применяли новую высокоэффективную методику — детектор *γ*-квантов, который состоит из большого числа счетчиков, включающих кристаллы из иодистого натрия (кристаллический шар). В результате установлена новая картина уровней шармония — связанной системы *c*,  $\bar{c}$ -кварков. Под-

тверждено существование триплетных *P*-состояний и не подтверждено — синглетных состояний *s*,  $\bar{c}$ -кварков. В исследованиях на установке MARK II обнаружено существование редких нелептонных распадов очарованных *D*-мезонов, что означает начало нового, более глубокого изучения свойств очарованных частиц. До конца 1979 г. в Станфорде должны быть завершены работы по созданию PEP — новой ускорительной установки с пучками электронов и позитронов энергией в с. ц. и. 36 ГэВ.

В течение последних двух лет были экспериментальные указания на существование серии связанных состояний («узкие резонансы») *p* $\bar{p}$ -системы массой 1,94; 2,02 и 2,2 ГэВ. Некоторые из новых опытов, предварительные результаты которых обсуждали на конференции, не подтвердили их существование. Новые эксперименты проведены на пучке антипротонов в Брукхейвене и пучке пионов в ЦЕРНе. Исследования продолжают, и окончательный результат будет получен при анализе данных всех экспериментов.

Большую программу исследований проводят с нейтрино высоких энергий, а также по физике слабых взаимодействий. На пучках нейтрино исследования проводят с использованием гибридных установок: эмульсионная камера в качестве верхнего детектора, пузырьковая камера для целеуказания и электронная часть для идентификации мезонов. По этой методике надежно идентифицировано несколько событий рождения очарованных гиперонов и измерено их время жизни, которое составляет около 7·10<sup>-13</sup> с.

В ЦЕРНе начала работать небольшая пузырьковая камера, работающая с большой частотой повторения — 20 расширений в секунду с высоким пространственным разрешением (по проекту ~15 мкм), что позволяет использовать ее в качестве детектора вершины взаимодействия.

Суммарный результат исследования нейтральных токов в слабых взаимодействиях сводится к тому, что справедлив вариант единой теории Вайнберга — Салама, причем единственный параметр теории — угол Вайнберга определяют весьма точно  $\sin^2 \theta_W = 0,23 \pm 0,015$ . Следующим важным шагом, если справедлива эта теория, является обнаружение переносчика слабых взаимодействий *Z*<sup>0</sup>-бозона массой 88,7 ГэВ/с<sup>2</sup>. Впервые наблюдали процесс нейтрального расщепления дейтрона  $\nu_e + D \rightarrow \nu_e + p + n$ . Проведен первый нейтринный эксперимент для проверки мультипликативного закона сохранения лептона на линейном ускорителе протонов в Лос-Аламосе (США).