

Третья сессия советско-американской Координационной комиссии по термоядерной энергии

В соответствии с программой обмена между СССР и США в области управляемого термоядерного синтеза (УТС) в Москве 1—3 июня 1976 г. проходила 3-я сессия советско-американской Координационной комиссии. На сессии обсуждались состояние и перспективы развития работ в США и СССР в области УТС, были подведены итоги сотрудничества в 1975 г., уточнена программа сотрудничества 1976 г. и подготовлен проект программы на 1977 г.

В ходе состоявшегося обмена мнений было отмечено, что за год, прошедший со времени 2-й сессии, в исследованиях достигнуты существенные результаты, способствовавшие подъему оптимизма в научных коллективах, занятых решением этой проблемы. В первую очередь следует отметить получение относительно большого энергетического времени удержания плазмы (~ 60 мс) на советском токамаке Т-10 и рекордной температуры ионной компоненты плазмы (~ 2 кэВ) на токамаке TFR в Фонтене-о-Роз (Франция), успешные эксперименты по нагреву плазмы инжекцией нейтральных пучков мощностью ~ 300 кВт на американском токамаке ОРМАК, значительное увеличение параметра $n\tau$ в экспериментах на открытой магнитной ловушке 2ХПВ в Ливерморской лаборатории им. Лоуренса (США). В области инженерных разработок для УТС успешно развивались работы по конструированию мощных инжекторов нейтральных пучков, созданию методики нагрева плазмы в токамаках с помощью гиротронных генераторов, разработке новых сверхпроводящих кабелей и конструкционных материалов для термоядерных систем.

Руководители термоядерных центров М. Готтлиб (Принстон), Дж. Кларк (Ок-Ридж), Т. Фаулер (Ливермор) и Ф. Рибби (Лос-Аламос) сообщили о состоянии исследований на основных экспериментальных термоядерных установках США.

Успешно развивались исследования систем типа токамак. В экспериментах на установке PLT, вошедшей в строй в Принстоне в конце 1975 г., получен устойчивый разряд с током до 600 кА при продольном магнитном поле 35 кГс. Средняя плотность плазмы при этом составляет $3 \cdot 10^{15}$ см $^{-3}$, температура электронов 2 кэВ, энергетическое время жизни ~ 40 мкс. Намечается начать эксперименты при магнитном поле до 50 кГс. В конце 1976 г. войдет в строй первый инжек-

тор PLT (40 кВ, 25 А), а в марте 1977 г. предусматриваются эксперименты со всеми четырьмя инжекторами суммарной мощностью инжекции 2—3 МВт. На токамаке ОРМАК (Ок-Ридж) в результате увеличения мощности инжектируемого нейтрального пучка до 300 кВт получена плазма с ионной температурой, существенно превышающей электронную (соответственно 1500 и 660 эВ). К концу 1976 г. намечено довести мощность инжекции до 500 кВт. На токамаке АЛКАТОР в Массачусетском технологическом институте в магнитном поле 75 кГс получен разряд с рекордной плотностью плазмы ($5 \cdot 10^{14}$ см $^{-3}$). После его модернизации предполагается начать эксперименты с магнитным полем ~ 90 кГс. Разрабатывается проект реконструкции установки, предусматривающей последовательное увеличение тороидального поля до 100 кГс (АЛКАТОР-В), а затем и до 140 кГс (АЛКАТОР-С). На установке ДУБЛЕТ-IIA (токамак некруглого сечения, фирма «Дженерал атомик») получены эллиптическая и дублетная конфигурации плазменного шнура. Показано, что вытянутая конфигурация плазмы позволяет получить при том же значении тороидального магнитного поля больший ток разряда. Однако преимущества вытянутых конфигураций пока еще не очень убедительны. Параметры новых токамаков США таковы (см. таблицу).

Значительный прогресс намечился в области открытых магнитных ловушек. На установке 2ХПВ (Ливермор) комбинация потока холодного газа и холодной плазмы с интенсивной инжекцией высокоэнергетичных нейтралей позволила получить большие значения β ($\sim 0,7$). При инжекции 225 экв. А получена плазма плотностью $1,2 \cdot 10^{14}$ см $^{-3}$ с температурой ионов 9 кэВ и $n\tau \sim 10^{11}$ с. В конце 1976 г. предполагались эксперименты с плазмой большего размера, при большей длительности импульса. Кроме того, принято решение расширить работы по открытым ловушкам, и, в частности, начать сооружение крупной установки МХ, рассчитанной на получение $n\tau = 10^{12}$ см $^{-3}$ с при плотности плазмы 10^{14} см $^{-3}$ и ионной температуре 50 кэВ.

В экспериментах с системами с большим β заметных успехов достигнуто не было. Продолжались исследования по улучшению устойчивости плазмы в установке СЦИЛЛАК. С помощью системы обратных связей

Параметры сооружаемых в США токамаков

Установка (лаборатория)	R, см	a, см	B, кГс	I, кА	Ввод в строй, назначение
ISX, Ок-Ридж	90	25	18	150	Февраль 1977 г., исследование примесей
АЛКАТОР-В/С, Масачус. технол. институт	64	17	100/140	800/1200	Декабрь 1977 г., эксперименты с большим β
ДУБЛЕТ-III, «Дженерал атомик»	140	45×150	26	5000	Февраль 1978 г., плазма некруглого сечения
ОРМАК-V, Ок-Ридж	92	30	40	800	Апрель 1978 г., мощная инжекция (2 МВт)
РДХ, Принстон	145	47	25	500	Апрель 1978 г., дивертор

была получена вертикальная стабилизация плазменного шнура. Предпринимаются попытки обеспечить горизонтальную стабильность за счет использования профилированных разрядных камер.

Руководитель американской делегации Э. Кинтнер (ERDA) сообщил о ходе разработки долгосрочной программы США по УТС вплоть до создания коммерческой термоядерной электростанции. Конечной целью национальной программы является включение термоядерной энергетики в общий энергобаланс США в начале следующего столетия. Программа делится на три последовательные фазы:

1. Ближайшие задачи до 1985 г. — получение и исследование поведения плазмы с реакторными параметрами, осуществление $D - T$ -реакции с положительным энергетическим выходом на испытательном реакторном реакторе TFTR.

2. Разработка первых энергетических систем до 1990 г. — получение электрической мощности более 10 МВт на одном или двух экспериментальных реакторах.

3. Решение проблемы в целом к 2000 г. — создание прототипа промышленного термоядерного реактора электрической мощностью не менее 500 МВт для демонстрации технической осуществимости, экономической целесообразности и радиационной безопасности коммерческой термоядерной энергетики.

В основу программы поставлены системы типа «Токамак». Конкурирующими могут быть открытые ловушки, а также импульсные системы на основе лазеров и релятивистских электронных пучков. Общая стоимость программы (до 2000 г.) оценивается в 14,5 млрд. долл. Наряду с последовательным сооружением основных термоядерных установок и реакторов программа предусматривает инженерное обеспечение проблемы. В частности, предусматривается сооруже-

ние нескольких мощных источников нейтронов с энергией 14 МэВ, а также инженерного испытательного реактора ETR для всесторонних испытаний конструкционных материалов при нагрузках, соответствующих промышленным энергетическим термоядерным реакторам.

При обсуждении итогов сотрудничества 1975 г. и сотрудничества в 1976 г. комиссия отметила успешное выполнение согласованных программ, что принесло безусловную пользу обеим сторонам. Советские и американские специалисты участвовали в начальных экспериментах на установках PLT и T-10. Плодотворные дискуссии имели место на рабочих совещаниях по проблемам диверторов, открытых ловушек, примесей и т. д. Практиковалось проведение совместных расчетных работ на ЭВМ, выпущено несколько совместных отчетов и статей. Согласована программа обменов на 1977 г., предусматривающая проведение 32 совместных мероприятий (экспериментальные и теоретические исследования, разработка и испытания элементов демонстрационных термоядерных реакторов, совместные исследования инженерных проблем УТС). Отмечена целесообразность организации обмена аппаратурой и оборудованием и осуществления в связи с этим унификации некоторых узлов экспериментальных установок. Подготовленная программа будет представлена на утверждение советско-американской совместной комиссии по мирному использованию атомной энергии.

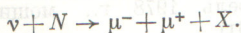
По окончании сессии члены американской делегации посетили ИАЭ им. И. В. Курчатова, ФИАН им. П. Н. Лебедева, ФТИ им. А. Ф. Иоффе и НИИЭФА им. Д. В. Ефремова, где ознакомились с исследованиями в области УТС и физики плазмы, а также с организацией конструирования и изготовления крупных термоядерных систем.

ЕЛИСЕЕВ Г. А.

Международная конференция «Нейтрино-76»

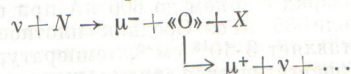
С 8 по 12 июня 1976 г. в небольшом западногерманском г. Аахене состоялась традиционная ежегодная конференция «Нейтрино-76», посвященная проблемам нейтринной физики. В ее работе участвовало свыше 350 представителей различных лабораторий мира. Программа охватывала не только нейтринные исследования, но и включала важнейшие аспекты физики наших дней — новых частиц.

Новые частицы. Именно в этой области за прошедший год произошли бурные события. Ко времени прошлой конференции были известны единичные факты, указывающие (правда, косвенно) на существование частиц, обладающих новым квантовым числом — «очарованием». Наиболее статистически обеспеченными являлись результаты нейтринного эксперимента, выполненного с помощью электронной установки на 400-ГэВ ускорителе Национальной Лаборатории им. Э. Ферми (НЛФ) в США. Группа Гарвард — Пенсильвания — Висконсин — НЛФ (США) обнаружила события с двумя мюонами в конечном состоянии



Анализ их характеристик свидетельствовал в пользу гипотезы образования очарованных частиц с последую-

щим полуплептонным распадом



В рассматриваемой гипотезе вероятными кандидатами в очарованные частицы являются D - и F -мезоны (на кварковом языке состояния (cn) и $(c\bar{l})$, т. е. с «открытым» очарованием). Добавление этого семейства к ранее зарегистрированному в e^+e^- -столкновениях и pN -взаимодействиях семейству ψ -мезонов, состояний со «скрытым» очарованием (cc), делало аргументы в пользу «реальности» c -кварка весьма вескими. Эффект рождения мюонных пар наблюдался при энергии $E_\nu \gtrsim 30$ ГэВ. Доля полного сечения взаимодействия нейтрино, приходящаяся на образование очарованных частиц и умноженная на относительную вероятность распада по полуплептонному каналу, оценивалась в $\approx 1\%$.

Однако оставались нерешенные вопросы. В частности, почему при ожидаемом значении массы D - и F -мезонов 1,8–2,0 ГэВ эффект рождения мюонных пар наблюдается при столь большой энергии? Присутствуют ли среди адронов, сопровождающих димюоны, странные частицы, предсказываемые четырехкварковой