

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 реакторотокмаке 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.

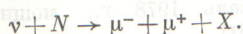
По окончании сессии члены американской делегации посетили ИАЭ им. И. В. Курчатова, ФИАН им. П. Н. Лебедева, ФТИ им. А. Ф. Иоффе и НИИЭФА им. Д. В. Ефремова, где ознакомились с исследованиями в области УТС и физики плазмы, а также с организацией конструирования и изготовления крупных термоядерных систем.

ЕЛИСЕЕВ Г. А.

Международная конференция «Нейтрино-76»

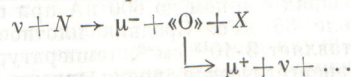
С 8 по 12 июня 1976 г. в небольшом западногерманском г. Аахене состоялась традиционная ежегодная конференция «Нейтрино-76», посвященная проблемам нейтринной физики. В ее работе участвовало свыше 350 представителей различных лабораторий мира. Программа охватывала не только нейтринные исследования, но 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 полулептонным распадом



В рассматриваемой гипотезе вероятными кандидатами в очарованные частицы являются D - и F -мезоны (на кварковом языке состояния $(c\bar{n})$ и $(c\bar{s})$, т. е. с «открытым» очарованием). Добавление этого семейства к ранее зарегистрированному в e^+e^- -столкновениях и pN -взаимодействиях семейству ψ -мезонов, состоявший со «скрытым» очарованием ($c\bar{c}$), 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 полулептонному 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

моделью? Почему не видим образования D - и F -мезонов в e^+e^- -аннигиляции?

Интенсивная работа в этих направлениях велась во всех ведущих ускорительных мировых центрах. Группа ИТЭФ—ИФВЭ (СССР) исследовала образование мюонных пар с помощью детектора с искровыми камерами на Серпуховском ускорителе на 70 ГэВ. Было найдено, что в диапазоне энергии нейтрино 10—30 ГэВ димюоны рождаются на том же уровне сечения, что и зарегистрированные в НЛФ. Это свидетельствует в пользу значения массы очарованных частиц ~ 2 ГэВ. Интересными оказались результаты поисков другого типа лептонных пар μe , которые проводились с помощью больших пузырьковых камер в ЦЕРНе и НЛФ. Выбор пары μe как объекта поиска методически очевиден, поскольку пузырьковые камеры с тяжелым наполнением позволяют с высокой достоверностью регистрировать электроны (позитроны). Добавим к тому же, что в этих приборах имеется возможность детально изучать вершину взаимодействия. В ЦЕРНе в камере «Гаргамель» в пучке нейтрино найдено 16 событий с μ^-e^+ ... конечном состоянии (при ожидаемом фоне $7 \pm 2,5$ событий) и три из них типа $\mu^-e^+V^0$... (при фоне $0,12 \pm 0,5$). Уровень сечения оказался в 20 раз меньше, чем в Серпухове и НЛФ. Но это находит объяснение, если принять во внимание, что диапазон энергии в эксперименте был $E = 3-8$ ГэВ. При такой энергии значительно влияние пороговых эффектов. Немного позднее во времени начались опыты на 15-футовой камере НЛФ, наполненной смесью неона с водородом (20% Ne + 80% H₂). Группой Беркли—Висконсин—ЦЕРН среди ~ 5000 нейтринных взаимодействий с энергией ≥ 5 ГэВ обнаружено 15 событий типа μ^-e^+ ..., причем 11 из них сопровождалось V^0 . Как видно из данных обоих экспериментов, налицо коррелированное образование странных частиц совместно с лептонной парой. В последнем эксперименте число странных частиц пока слишком велико. Пересчитанное из числа зарегистрированных нейтральных K -мезонов с помощью изотопических соотношений среднее число K -мезонов, сопровождающих лептонную пару, оказалось $\langle N_s \rangle = 3,6-4$, что приблизительно вдвое превышает теоретические ожидания.

Неясным остается пока образование лептонных пар в пучке антинейтрино. Они наблюдались приблизительно с такой же интенсивностью, как и в нейтринном пучке, лишь в упомянутой выше электронной установке НЛФ. Ни группе ИТЭФ—ИФВЭ на Серпуховском ускорителе, ни группе Мичиган—НЛФ—ИТЭФ—ИФВЭ, анализировавшей снимки $\bar{\nu}N$ -взаимодействий в 15-футовой камере, обнаружить лептонные пары на уровне 1% от полного сечения пока не удалось.

Кульминацией данного раздела конференции явилось сообщение группы Станфордского ускорителя (США), ведущей поиски новых частиц на встречных e^+e^- -пучках. Она зарегистрировала «узкие» состояния (ширина меньше аппаратного разрешения, $\Gamma < 40$ МэВ) в системах $K^\pm \pi^\mp$ и $K^\pm \pi^\mp \pi^\pm \pi^\mp$ с эффективной массой 1,86 ГэВ. Сечение рождения составляет несколько процентов от полного сечения аннигиляции в адроны и имеет порог при ~ 4 ГэВ. Поскольку в e^+e^- -соударениях очарованные состояния должны рождаться ассоциативно, важно, какое у них сопровождение. В спектре массы отдачи не обнаружен партнер с той же массой, однако явно виден партнер с массой 2—2,45 ГэВ. Пока результаты не имеют исчерпывающего объяснения. В качестве рабочих гипотез рассматри-

ваются варианты

$$e^+ + e^- \rightarrow D^* + \bar{D}^* \text{ или } e^+ + e^- \rightarrow D^* + \bar{D}, D + \bar{D}^*$$

с последующим распадом $D^* \rightarrow D + \pi$.

Еще один экспериментальный факт, указывающий на рождение очарованных частиц в e^+e^- -соударениях, получен на встречных кольцах в DESY (ФРГ). Согласно предварительным данным, на уровне нескольких процентов от полного сечения, начиная с энергии ~ 4 ГэВ, найдено образование одиночных электронов, сопровождаемых в среднем пятью-шестью адронами. Наиболее естественное объяснение эффекта — ассоциативное рождение очарованных частиц с последующим распадом одной из них по полулептонному каналу $D \rightarrow e + \bar{\nu}_e + \dots$, другой — по адронному. На сегодня зарегистрировано 22 таких случая.

Заряженные токи. Исследования в данной области до последнего времени носили достаточно спокойный характер. Уточнялись данные о полных сечениях и структурных функциях в широком интервале энергии от 2 до 100 ГэВ. Много информации поступило от групп, работающих на 15-футовой камере НЛФ. До энергии ~ 30 ГэВ установлен линейный рост с энергией сечений взаимодействия нейтрино и антинейтрино, постоянство их отношения $\sigma_{\bar{\nu}N}/\sigma_{\nu N} \approx 1/3$. Многочисленные

дифференциальные зависимости неплохо согласуются между собой и не показывают заметных отклонений (в пределах 10—15%) от предсказаний простой партонной модели. Поначалу такая тенденция намечалась и при большей энергии. Однако группа Гарвард—Пенсильвания—Висконсин—НЛФ нашла аномалию в распределении $\bar{\nu}N$ -взаимодействий по скейлинговой переменной y (относительная доля энергии, переданной от антинейтрино к адронам). Анализируя данные, они пришли к выводу, что с ~ 40 ГэВ отношение сечений $\sigma_{\bar{\nu}N}/\sigma_{\nu N}$ начинает отклоняться от $1/3$ и вырастает до $0,72 \pm 0,15$ при $E_{\bar{\nu}} = 100$ ГэВ. С меньшей статистической достоверностью результат был подтвержден группой Калифорнийский технологический институт—НЛФ (США), ведущей исследования на электронной установке ускорителя НЛФ. Что это? Нарушение скейлинга, возбуждение «моря» кварк-антикварков, новый тип взаимодействия? Любая из выдвинутых гипотез требует пристального изучения.

Нейтральные токи. С 1973 г., когда в «Гаргамели» были открыты нейтральные токи, они стали предметом усиленного интереса как теоретиков, так и экспериментаторов. Большую популярность завоевала модель Вайнберга—Салама, имеющая один свободный параметр — угол Вайнберга, прямо связанный с массой промежуточного бозона. Экспериментально представление проверялись как в инклюзивном

$$\nu(\bar{\nu}) + N \rightarrow \nu(\bar{\nu}) + X,$$

так и эксклюзивных каналах

$$\nu(\bar{\nu}) + p \rightarrow \nu(\bar{\nu}) + p,$$

$$\nu(\bar{\nu}) + e^- \rightarrow \nu(\bar{\nu}) + e^-.$$

Опытами, выполненными в ЦЕРНе и НЛФ в 1975—1976 гг., установлено, что в нейтральных токах четность нарушается. В интервале энергии от 2 до 40 ГэВ измерено отношение инклюзивных сечений $\sigma_{\nu}^{Nc}/\sigma_{\bar{\nu}}^{Nc} \approx 0,5 \pm 0,2$. Такое значение отвечает взаимодействию

$V = 0,8$ А. В Брукхейвенской лаборатории (США) с помощью сегментированного скинтилляционного калориметра с дрейфовыми камерами общей массой 33 т изучался процесс рассеяния нейтрино (антинейтрино) на протоне. Зарегистрировано ~ 20 случаев каждой из этих реакций. Величина $\sigma(\bar{\nu}_p \rightarrow \bar{\nu}_p)/\sigma(\nu_p \rightarrow \nu_p) = 0,35 \pm 0,2$. Группа Райнеса — Герра (США), в течение многих лет исследовавшая рассеяние электронных антинейтрино на электроне с помощью пучка антинейтрино от реактора, впервые сообщила о наблюдении эффекта. Найденное отличие от $V - A$ -теории (в четыре стандартных отклонения) говорит о вкладе нейтральных токов. «Чистым» процессом, обусловленным нейтральными токами, является рассеяние мюонного нейтрино (антинейтрино) на электроне. К трем событиям, найденным ранее в пучке антинейтрино в «Гаргамели», добавилось 19 $\bar{\nu}_\mu$ -событий (фон 2,9 события) и 25 ν_μ -событий (фон 11,8), зарегистрированных в установке

с искровыми камерами в ЦЕРНе группой Аахен — Падуа (ФРГ — Италия). Данные всех экспериментов, проанализированные в рамках модели Вайнберга — Салама, дают «усредненное» значение параметра $\sin^2 \theta_w \approx 1/3$.

На конференции было несколько оригинальных работ, тематика которых стоит как бы в стороне от главных направлений. Для примера приведем эксперимент, недавно выполненный в ИТЭФ по уточнению массы электронного нейтрино. Поставлен новый, более низкий предел на массу $m \leq 35$ эВ. Среди теоретических работ можно выделить новые подходы к изучению свойств нейтральных токов через эффекты несохранения четности в атомной физике.

Прошедшая конференция принесла много интересных результатов, что в значительной степени отражает широкий размах исследований в этой области физики. Следующая планируется летом 1977 г. в СССР.

ХОВАНСКИЙ В. Д.

Второй семинар по мёссбауэровской спектроскопии

С 16 по 26 июня 1976 г. в Мюнхене (ФРГ) состоялся второй семинар ученых СССР и ФРГ по мёссбауэровской спектроскопии, на котором были рассмотрены следующие вопросы: релаксационные явления, сверхтонкие взаимодействия в магнетиках, экспериментальные методики, водород в металлах, когерентные явления и применение эффекта Мёссбауэра в биологии.

Основы развитой совместно с А. М. Афанасьевым теории зависящих от времени мёссбауэровских спектров излучения в неравновесных системах изложил В. Д. Горобченко (СССР). Полученные формулы позволяют провести корректный анализ экспериментальных спектров в случае, когда в источнике имеют место релаксационные изменения состояния электронной оболочки мёссбауэровского атома вследствие предшествующего распада.

У. Вагнер (ФРГ) сообщила об экспериментальном изучении кинетики процессов радиационного последования на примере переходов ионов $\text{Eu}^{2+} \rightleftharpoons \text{Eu}^{3+}$, образующихся после распада ^{153}Gd путем электронной конверсии. Для оценок времен релаксации успешно применялась теория В. Д. Горобченко и А. М. Афанасьева. Два других доклада по этой тематике продемонстрировали широкие возможности мёссбауэровской спектроскопии при изучении релаксационных процессов.

Результаты исследований нового явления — индуцирования магнитного упорядочения в антиферромагнетиках — были представлены в докладе С. С. Якимова (СССР). На примере YFeO_3 показано, что в «скошенном» антиферромагнетике внешнее магнитное поле 10 кЭ восстанавливает магнитную структуру в области температуры выше точки магнитного превращения. Новые методические возможности мёссбауэровской спектроскопии изложил Ю. В. Балдохин (СССР). Применение радиочастотной (РЧ) накачки во время мёссбауэровского эксперимента позволяет получать такие динамические характеристики магнетиков, как РЧ-магнотстрикция и РЧ-подвижность доменных границ.

Наибольший интерес для советских участников семинара представляли экспериментальные методики.

М. Кальвиус (ФРГ) в своем докладе остановился на обзоре имеющихся в мёссбауэровском институте Мюнхенского технического университета (МТУ) гелиевых криостатах и сверхпроводящих соленоидах для работы в геометрии пропускания. Сообщалось о системе, обеспечивающей высокое давление при низкой температуре. Давление на образце достигает 100 кбар, температура может быть снижена до 1,6 К. Давление носит квазигидростатический характер; в качестве материала для наконечников используется карбид бора.

В этом же институте имеется оригинальный криостат для исследования аморфных пленок, напыляемых при низкой температуре непосредственно в нем. Он соединен с высоковакуумной системой, обеспечивающей вакуум до 10^{-7} . Наиболее низкую температуру 35 мК создают криостатом, где поглотитель находится непосредственно в смесительной камере с $^3\text{He}/^4\text{He}$. Криостат снабжен соленоидом на 50 кЭ.

Описанное в докладах экспериментальное оборудование было показано непосредственно в лабораториях.

Учеными ФРГ представлено несколько докладов, касающихся исследований металлических матриц с примесями водорода. Для исследований использовались ядра ^{57}Fe , ^{181}Ta , ^{197}Au , ^{237}Np .

В обзорном докладе Г. Вортманна (ФРГ) «Мёссбауэровская спектроскопия систем металл — водород» приводились данные, полученные к настоящему времени в МТУ. К наиболее интересным относится обнаружение резкого изменения изомерного сдвига и сверхтонкого поля на ядрах железа в железоникелевых и железопалладиевых сплавах при сравнительно небольших (несколько ат.%) изменениях примеси водорода. Этот результат связан с перераспределением электронной плотности в кристаллической решетке (за счет притяжения электронов атома матрицы к атому водорода).

Обсуждались данные о влиянии водорода на изомерный сдвиг и ширину мёссбауэровской линии ядер ^{181}Ta (А. Хайдемани, ФРГ). Два результата заслуживают наибольшего внимания: 1) с увеличением концентрации водорода до 0,17 ат.% происходит уширение (в 5 раз) мёссбауэровской линии ядер ^{181}Ta и сдвиг ее в область более высокой энергии (от 1 до 10 мм/с);