

личных входных каналах. На примере реакций  $^{113}\text{In}(n, n')^{113}\text{In}$  и  $^{113}\text{Cd}(p, n)^{113}\text{In}$  показано, что роль неравновесных процессов в случае реакции  $(p, n)$  несущественна. Этот факт послужил основой для вывода о подавляющей роли прямых процессов при неупругом рассеянии нейтронов в той части взаимодействий, которые можно отнести к неравновесным явлениям. Дважды дифференциальные сечения неупругого рассеяния нейтронов энергией около 10 МэВ изучались на ядрах серы и кремния. Энергетическое разрешение было достаточным для выделения отдельных (3—4) состояний. Теоретическое представление результатов в виде некогерентной суммы процессов, описываемых с использованием механизма Хаузера — Фешбаха и метода связанных каналов, дало хорошее согласие с экспериментальными результатами. Учет связи каналов оказался необходимым и для описания результатов рассеяния нейтронов энергией 3,4 МэВ с возбуждением оболочки  $2p - 1f$ . Измерения угловых и энергетических распределений нейтронов в реакции  $(p, n)$  при энергии протонов 22 МэВ показали, что неравновесные процессы практически полностью обусловлены прямыми процессами, ответственными за асимметричное угловое распределение нейтронов.

Теоретические работы в основном содержали результаты вычислений по известным моделям и программам. Сечение неупругого рассеяния нейтронов исследовалось на основе модели В. Г. Соловьева и метода связанных каналов. При возбуждении состояний ядра-мишени ниже 5 МэВ удавалось удовлетворительно описать существующие экспериментальные данные. Для описания реакций подхвата сформулирована модель, в которой учтены конечные состояния, лежащие в сплошном спектре. Исследован метод связанных каналов для описания ядерных состояний, находящихся в континууме. Получены интересные результаты, касающиеся учета кулоновских взаимодействий при расчете различных характеристик ядер.

Вопросы деления ядер были представлены в нескольких докладах. Они касались измерения сечений деления ядер, спектров нейтронов деления в низкоэнергетической области и в области высокой энергии. Обсуждалась также диссипация энергии коллективного движения при делении ядер.

Проблема ядерных данных нашла свое отражение в ряде методических и экспериментальных работ. Анализ

потребностей в ядерных данных для термоядерных установок показал, что для их удовлетворения необходимо выполнить значительный объем измерений в интервале энергии нейтронов 6—15 МэВ. При оценке ядерных данных рекомендовано использовать плотность ядерных уровней с учетом коллективных состояний. Эта рекомендация апробирована при вычислении сечений взаимодействия нейтронов с ядрами актиноидов. На симпозиуме был представлен обзор последних результатов изучения нейтронных реакций с образованием заряженных частиц, важных для интерпретации радиационных нарушений под воздействием быстрых нейтронов. Энергетические спектры заряженных частиц свидетельствуют о наличии процессов  $(n, n'x)$ . Новые данные по измерению энергетической зависимости сечений реакции  $^{238}\text{U}(n, 2n)$  в пределах погрешности измерений совпали с результатами, полученными другими методами, что указывает на необходимую надежность значения сечения этой реакции, являющейся родоначальницей ядерных превращений, ведущих к образованию ядер  $^{232}\text{U}$ .

Значительное внимание было уделено технике эксперимента и системам сбора и обработки экспериментальной информации. Были представлены последние разработки устройств детектирования заряженных частиц и осколков деления ядер, нашедшие применение в лаборатории электростатических ускорителей в Гиле; доклады с изложением метода абсолютных измерений сечений деления по сопутствующим частицам, описанием роли рассеянных нейтронов при измерении сечений для нейтронов энергией 14 МэВ активационным способом, техники измерений сечений активации с образованием короткоживущих изотопов.

В ряде докладов описаны существующие или планируемые к развитию системы сбора экспериментальной информации в приложении к конкретным экспериментальным работам.

Многие работы имеют практическое значение для ядерной энергетики.

Следует отметить непринужденную творческую атмосферу заседаний. Симпозиум был плодотворным и способствовал развитию модельных представлений о нейтронных реакциях.

КУЗЬМИНОВ Б. Д.

## XV Марионская встреча по проблемам взаимодействия элементарных частиц

Встреча проходила в Лез-Арке (Франция) в марте 1980 г. Программа встречи включала два основных направления: квантовую хромодинамику и струи, а также лептонные взаимодействия.

Традиционные марионские встречи являются первыми в году среди ряда важнейших ежегодных конференций по физике высоких энергий. Это определяет высокий уровень материалов и широкую представительность. Наибольшее внимание на данной встрече было уделено предсказаниям единой теории взаимодействий относительно нарушения закона сохранения барионного числа и осуществяемым и планируемым экспериментам по проверке стабильности нуклонов. Время жизни протона, согласно представленным расчетам П. Сорба (Франция) и М. Гавела (ЦЕРН), в рамках  $SU(5)$ -модели близко к  $10^{31}$  лет, что согласуется с самыми последними расчетами ряда советских и зарубежных теоретиков. К. Ланде (США) доложил первые результаты эксперимента по обнаружению распада протона, проводимого в шахте Хоумстейк в том же помещении, где расположен хлор-аргоновый

детектор Брукхейвенской лаборатории (глубина 4400 м водного эквивалента — в. э.). Масса мишени детектора Ланде, состоящего из водных черенковских модулей объемом  $2 \text{ м}^3$  каждый, в настоящее время составляет 400 т. К концу года она будет доведена до максимально возможной в данном помещении — 600 т. Регистрируются  $\mu - e$ -распады, причем мюоны образуются как непосредственно при распадах протонов (малая доля), так и при распаде  $\pi$ -мезонов. В настоящее время полученные данные дают возможность утверждать, что для всех возможных типов распадов  $\tau_p > 1,2 \times 10^{30}$  лет. К концу года ожидается (при отсутствии эффекта), что предел  $\tau_p$  будет доведен до  $2 \times 10^{31}$  лет.

Дж. Вандер-Вельде (США) рассказал о состоянии проекта Эрвайн-Мичиган—Брукхейвен, в котором черенковский счетчик будет состоять из мишени массой 8000 т воды и около 2400 ФЭУ. Установка, строительство подземного помещения для которой ведется в настоящее время в соляных шахтах вблизи Кливленда, будет введена в эксплуатацию в конце 1980 г.

Ф. Жаке (Франция) сообщил о начале строительства в тоннеле Фрежюс специализированной подземной лаборатории на глубине около 4000 м в. э. для эксперимента, водная мишень в которой будет иметь массу несколько тысяч тонн. В Японии также решено построить большой водный черенковский счетчик, в котором для сбора света будут использованы новые ФЭУ с рекордно большим диаметром фотокатода — 50 см. Среди других проектов экспериментов по проверке стабильности нуклонов следует отметить проект Фраскати — Милан — Турин с детектором, состоящим из стальных пластин толщиной 1 см, являющихся одновременно мишенью и размножителем электронных и адронных каскадов. Между пластинами проложены слои газонаполненных трубок с резистивным катодом, работающих в ограниченном стримерном режиме. По мнению авторов, тонкозернистая структура установок позволит хорошо идентифицировать различные типы распадов нуклонов. Полная масса мишени установки более 1000 т. Установки для исследования стабильности протонов пригодны для изучения космических нейтрино высоких энергий и исследования взаимодействия мюонов космического излучения и измерения их потоков. Такие работы в настоящее время проводятся на подземных установках Института ядерных исследований АН СССР, однако размеры некоторых вновь вводимых зарубежных установок будут значительно превышать размеры установок ИЯИ АН СССР.

Большое внимание было уделено физике  $e^+e^-$ -взаимодействий: поискам  $t$ -кварка, тяжелых лептонов, спектроскопии чармония ( $\Psi$ ) и  $b$ -кварка ( $\Upsilon$ ). По данным разных групп исследователей, масса  $t$ -кварка  $m_t > 14$  ГэВ, если, конечно, его не «просмотрели» при меньшей энергии, на что сейчас обращается особое внимание. Обнаружение  $t$ -кварка будет весомым подтверждением существующих схем единой теории взаимодействий; его отсутствие может поколебать ее основы. Вплоть до энергии 14 ГэВ не обнаружено также тяжелых лептонов, которые указывали бы на неправильность современных схем единой теории с тремя генерациями фермионов. В этой связи особый интерес вызвало сообщение М. Холленбика (США) о строительстве в Стэнфорде ускорителя со встречными  $e^+e^-$ -пучками по 50 ГэВ каждый. Запуск ускорителя стоимостью 60 млн. долл. намечен на октябрь 1984 г. Второй ступенью будет увеличение энергии к 1986 г. до  $2 \times 70$  ГэВ.

Обратило на себя внимание исследование радиационных распадов  $\Psi$  (3095 МэВ) и  $\Psi'$  (3684 МэВ) частиц. С точки зрения квантовой хромодинамики изучение таких распадов означает исследование процессов аннигиляции кварков в глюоны и фотоны. Инклюзивный энергетический спектр  $\gamma$ -квантов в области высоких энергий показывает наличие резонансов, соответствующих состояниям  $\eta$  (548 МэВ),  $\eta'$  (958 МэВ), а также  $E$  (1420 МэВ). О последнем резонансе свидетельствуют наблюдения распадов  $\Psi \rightarrow \gamma K K \pi^0$  и  $\Psi \rightarrow \gamma \pi \pi \pi$ , относительные вероятности которых  $(3,4 \pm 2,4) \cdot 10^{-4}$  и  $(2,3 \pm 1,5) \cdot 10^{-4}$  соответственно. Остается неясным спин  $E(1420)$ . В реакциях  $p\bar{p} \rightarrow E\pi^+\pi^-$  есть указание на  $0^-$ , в  $\pi^+p \rightarrow E_n$  явное предпочтение отдается  $1^+$ ; о  $e^+e^-$ -взаимодействиях пока ничего определенного сказать нельзя. В общем можно считать доказанным, что в нескольких процентах всех случаев распадов  $\Psi$ -частиц появляются прямые фотоны при больших  $x$  ( $x > 0,6$ ), однако в отличие от предсказаний квантовой хромодинамики спектр этих фотонов более мягкий.

Значительный интерес вызвали доклады, посвященные исследованию ипсилон ( $\Upsilon$ )-резонансов. Результаты были представлены группами США и ФРГ, работающими на встречных  $e^+e^-$ -пучках. Повысилась статистическая обеспеченность данных по  $\Upsilon$ ,  $\Upsilon'$  и  $\Upsilon''$ . Так, по результатам группы CLEO (США), различия между основным состоянием  $\Upsilon$  (9,46 ГэВ) и вышележащими состояниями  $\Upsilon'$ ,  $\Upsilon''$  и  $\Upsilon'''$  (разница масс в ГэВ) такие:  $M(\Upsilon') - M(\Upsilon) =$

$= 0,5607 \pm 0,0030$ ;  $M(\Upsilon'') - M(\Upsilon) = 0,8911 \pm 0,0050$  и  $M(\Upsilon''') - M(\Upsilon) = 1,120$ . Отношение соответствующих значений лептонной ширины резонансов:  $\Gamma_{ee}(\Upsilon')/\Gamma_{ee}(\Upsilon) = 0,44 \pm 0,07$ ;  $\Gamma_{ee}(\Upsilon'')/\Gamma_{ee}(\Upsilon) = 0,35 \pm 0,05$  и  $\Gamma_{ee}(\Upsilon''')/\Gamma_{ee}(\Upsilon) = 0,20$ . Эти результаты хорошо согласуются с теоретическими оценками. Данные по  $\Upsilon'$ -резонансу были приведены впервые. По результатам  $\Upsilon$ -спектроскопии масса  $b$ -кварка  $m_b = 5,23 \pm 0,05$  ГэВ.

И. Мейер (ЦЕРН) представил данные группы SHARM по изучению реакции  $\nu_\mu e^- \rightarrow \mu^- \bar{\nu}_e$ , которая фактически является реакцией обратного  $\mu$ -распада. Наблюдалось  $9400\mu^-$  в пучке  $\nu_\mu$  и  $24000\mu^+$  в пучке  $\bar{\nu}_\mu$ . При  $E_\nu \geq 10$  ГэВ получено:  $(\nu_\mu e^- \rightarrow \mu^- \bar{\nu}_e)/(\nu_\mu N \rightarrow \mu^- X) = (5,7 \pm 1,0) \cdot 10^{-4}$ , что согласуется с предсказаниями V — A-теории. Найден предел на мультипликативность лептонного числа: измерены сечения реакций  $\bar{\nu}_\mu e^- \rightarrow \mu^- \bar{\nu}_e$  (1) и  $\nu_\mu e^- \rightarrow \mu^- \bar{\nu}_e$  (2). Показано, что  $\sigma(1)/\sigma(2) < 0,11$  при уровне значимости 0,95%. Об измерении сечения упругого рассеяния  $\nu_\mu e^- \rightarrow \nu_\mu e^-$  в эксперименте E-253 в Лаборатории им. Э. Ферми рассказал Л. Мо. К моменту конференции проанализировано 70% из 249 000 зарегистрированных взаимодействий нейтрино. Для указанной реакции  $\sigma = (1,4 \pm 0,3) \times 10^{-42} \times E_\nu \text{ см}^2$ , что соответствует  $\sin^2 \Theta_W = 0,25^{+0,07}_{-0,05}$ .

Об исследованиях взаимодействий нейтрино в 5-метровой пузырьковой камере, наполненной дейтерием, выполненных в Лаборатории им. Э. Ферми, рассказал Дж. Сноу. Получены сечения взаимодействия нейтрино и антинейтрино с протонами и нейтронами:  $\sigma(\bar{\nu}n)/\sigma(\bar{\nu}p) = 1,92 \pm 0,16$  и  $\sigma(\bar{\nu}n)/\sigma(\bar{\nu}p) = 0,56 \pm 0,16$ .

Были представлены результаты по мультилептонным процессам. М. Стровинк (США) привел примеры событий с 4 и даже 5 мюонами, из которых один — первичный рассеянный мюон пучка. Аналогичные данные представил П. Хулт (Европейская мюонная объединенная группа). Результаты хорошо объясняются в рамках теории квантовой хромодинамики процессом прямого образования чарма:  $\sigma(\mu N \rightarrow \mu c\bar{c}X) = 6,9^{+1,9}_{-1,4} 10^{-37} \text{ м}^2$ . Для двухмюонных событий, которых сейчас зарегистрировано более 20 000, вклад  $\pi$ - и  $K$ -мезонов составляет не более 19%, и лишь пренебрежимо малое количество может быть объяснено процессами квантовой электродинамики.

Несколько докладов было посвящено анализу beam dump-событий в ЦЕРНе. Показано, что безмюонные и одномюонные события можно отнести к результатам взаимодействия нейтрино, образованных при распаде  $D$ -мезонов, ожидаемое сечение рождения которых по реакции  $p\bar{p} \rightarrow D\bar{D}X$  согласуется с наблюдаемым. Однако в этом случае ожидаемое отношение  $\nu_e/\nu_\mu = 1$ , в то время как наблюдаемое  $0,62 \pm 0,13$ .

Дж. Тришук (Канада) сделал обзор данных, полученных при помощи фотоэмulsion. Если просуммировать результаты всех лабораторий, то с учетом указанных ошибок, соответствующих одному стандартному отклонению, получим следующие значения времени жизни чармированных частиц:  $\tau(\Lambda_c^+) = (1,14^{+0,82}_{-0,42}) \cdot 10^{-13} \text{ с}$ ;  $\tau(F^+) = (2,24^{+2,78}_{-1,03}) \cdot 10^{-13} \text{ с}$ ;  $\tau(D^+) = (10,0^{+8,9}_{-4,05}) \cdot 10^{-13} \text{ с}$ ;  $\tau(D^0) = (1,03^{+0,56}_{-0,32}) \cdot 10^{-13} \text{ с}$ .

Во многих работах затрагивался вопрос о несоответствии для  $SU(5)$ -модели рассчитанного теоретически и измеренного значений параметра  $\sin^2 \Theta_W$ . Наиболее подробно это рассмотрено в докладе К. Гевенигера (ФРГ), где максимально возможная экспериментальная неопределенность  $\Delta \sin^2 \Theta_W < 0,01$ , а теоретическая  $< 0,005$  при средневзвешенном значении  $\sin^2 \Theta_W$  (эксперим.) = 0,23 и теоретическом значении для  $SU(5)$ -модели  $\sin^2 \Theta_W = 0,20$ . Таким образом, имевшееся расхождение пока не снято с повестки дня.