



В дирекции ЛВЭ (слева направо): А.М.Балдин, Э.Н.Цыганов, Д.Дрикки (США) и А.А.Кузнецов обсуждают вопросы проведения совместного эксперимента на ускорителе ИФВЭ

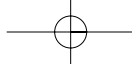
Началом долговременного советско-американского сотрудничества в области физики высоких энергий явились первые совместные эксперименты по изучению структуры пионов в опытах по упругому пион-электронному рассеянию при энергии 50 ГэВ, поставленные на ускорителе ИФВЭ группами физиков ЛВЭ и Калифорнийского университета (Лос-Анджелес, США) под руководством Э.Н.Цыганова и Д.Дрикки соответственно.

Исследования реакции пион-электронного рассеяния изучались в области переданных импульсов от $0,013$ до $0,036$ (ГэВ/с)², поэтому необходимо было точно измерять углы и импульсы рассеянных пионов и электронов. В эксперименте впервые безмодельным образом был также измерен электромагнитный радиус заряженного пиона. Он оказался равным $(0,78 \pm 0,10)$ фм (напомним, что результат пропановой камеры ранее давал оценку электромагнитного радиуса пиона $\leq 6,6$ фм).

Дальнейшие исследования электромагнитной структуры заряженных адронов, проведенные в ФНАЛ и ЦЕРН, базировались в значительной степени на методике, апробированной в данном опыте.

5. Эксперименты ЛВЭ на ускорителях Западной Европы

Группой физиков и специалистов ЛВЭ под руководством И.А.Савина и И.А.Голутвина в сотрудничестве с учеными других лабораторий ОИЯИ и ЦЕРНа была создана установка NA4 для поиска новых частиц и изучения глубоконеупругого рассеяния мю-



онов на мишенях из водорода, дейтерия и углерода в области максимально возможных энергий и переданных четырехимпульсов.

На этой установке, которая с 1979 года начала работать на ускорителе в ЦЕРН в пучке мюонов с энергией от 100 до 280 ГэВ, был проведен цикл исследований глубоконаепругих взаимодействий мезонов с нуклонами и ядрами с целью изучения их структуры вплоть до расстояний 10^{-15} см.

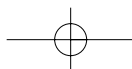
Помимо этого в эксперименте исследовались и ядерные эффекты. В частности, были проведены измерения структурных функций нуклонов в различных ядрах и определены их отношения в зависимости от переменных x и Q^2 . Измерения были выполнены с целью проверки EMC эффекта, указывавшего на то, что в области масштабной переменной $x \leq 0,6$ нуклоны в ядрах могут существовать в другом виде (например, в виде многокварковых состояний), чем в свободном состоянии. Впервые этот факт был установлен в экспериментах группы физиков ЛВЭ, возглавляемых А.М.Балдиным и В.С.Ставиным.

Сейчас изучение кварковых степеней свободы в ядрах — весьма актуальная область исследований, реализацией которых заняты многие группы физиков на всех крупнейших ускорительных комплексах мира.

Активно участвуют группы из лаборатории в исследованиях на пучках ядер свинца с энергией 158 ГэВ на нуклон в ЦЕРН на ускорителе SPS в коллаборациях NA45 (руководитель Ю.А.Панебратцев) и NA49 (руководители А.И.Малахов и Г.Л.Мелкумов). Сигналы, полученные в этих экспериментах, были интерпретированы как указание на существование нового состояния материи (кварк-глюонная плазма).

Наблюдение фазового перехода при деконфайнменте наблюдалось в NA49 в эксперименте при активном участии группы специалистов из ЛВЭ, которые отвечали за измерение и анализ спектров заряженных каонов и спектров протонов и дейтронов в Pb+Pb соударениях при 20 и 30 А·ГэВ, а также участвовали в завершении программы сканирования по энергии (при энергиях пучка 20, 30, 40, 80 и 158 А·ГэВ). Были получены следующие основные результаты анализа спектров: число рожденных пионов при нормировке на число нуклонов, участвующих в соударении, возрастает с ростом энергии и в p - p - и в NN -реакциях. Однако скорость возрастания в NN -реакции становится выше в области энергии SPS, а затем стабилизируется при энергиях RHIC (верхний график на рис.12); наиболее драматичный эффект наблюдается в энергетической зависимости отношения $\langle K^+ \rangle / \langle \pi^+ \rangle$ средних множественностей K^+ и π^+ -мезонов, рожденных в центральных Pb+Pb соударениях (средний график на рис.12); третий важный результат состоит в том, что температура K^+ -мезонов в центральных Pb+Pb соударениях при энергиях SPS является постоянной (нижний график рис.12). На основании этих результатов можно предположить, что фазовый переход при деконфайнменте существует и что в Pb+Pb соударениях в области энергий SPS он начинает проявляться.

Недавно сотрудники коллаборации NA49, исследуя спектр эффективных масс в $\Xi^- \pi^-$, $\Xi^- \pi^+$, $\Xi^+ \pi^-$, $\Xi^+ \pi^+$ системах, образующихся в протон-протонных столкновениях при энергии 150 ГэВ ($\sqrt{s} = 17,2$ ГэВ), обнаружили (оценка дает $4,0\sigma$) новое многокварковое резонансное состояние с массой $1,862 \pm 0,002$ ГэВ/с и шириной, меньшей разрешения детектора $\sim 0,018$ ГэВ/с (рис. 13). Это состояние является кандидатом на гипотетическое экзотическое $\Xi^- \bar{\Xi}^- (3/2)$ барионное состояние с $S = -2$, $I = 3/2$ и квар-



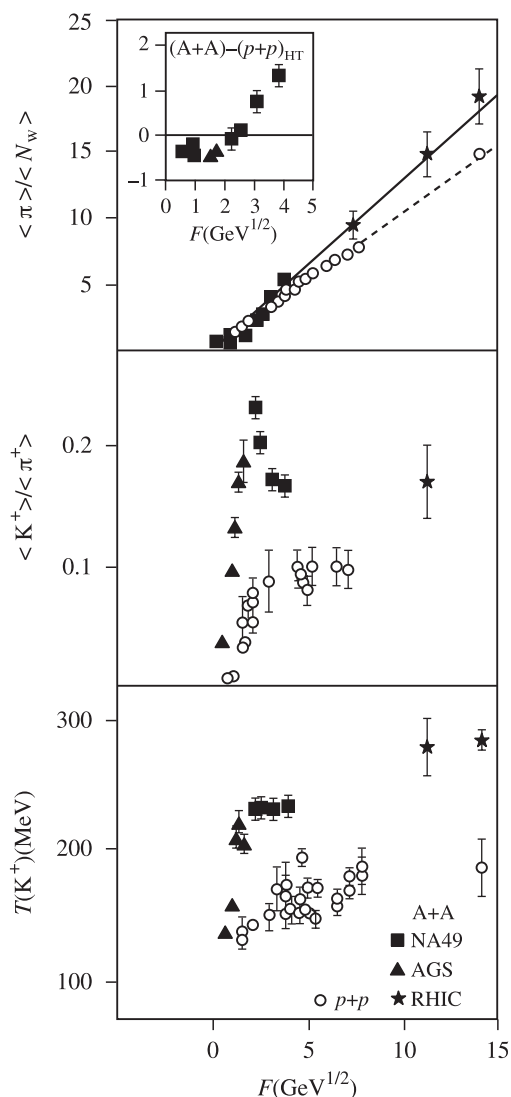
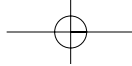
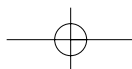


Рис. 12. Зависимость от энергии соударения выходов различных адронов, измеренных в центральных Pb+Pb и Au+Au соударениях (заштрихованные символы) по сравнению с результатами, полученными для реакций $p+p$ (незаштрихованные кружки). Изменения в области SPS энергии (заштрихованные квадраты) предполагают начало фазового перехода ($F = (\sqrt{S_{NN}} - 2m_0)^{3/4} / (\sqrt{S_{NN}})^{1/4} \sim S_{NN}^{1/2}$, где m_0 – масса нуклона)

ковым составом ($dsds\bar{u}$). При той же массе наблюдается пик в $\Xi^-\pi^+$ спектре, который является кандидатом в члены $\Xi^0(3/2)$ этого изоспинового квартета с кварковым содержанием ($dsus\bar{d}$).

Ряд групп физиков лаборатории принимает активное участие в проектах ALICE (руководитель А.С.Водопьянов), CMS (руководитель А.И.Малахов) и NA45 (руководитель Ю.А.Панебратцев).

Проект ALICE предназначен для изучения Pb+Pb взаимодействий на LHC при энергии в системе центра масс около 5,5 ТэВ на нуклон. Целью эксперимента является изучение свойств сильно взаимодействующей материи при экстремально высоких плотностях. Основной вклад ОИЯИ в создание установки – разработка и изгото-



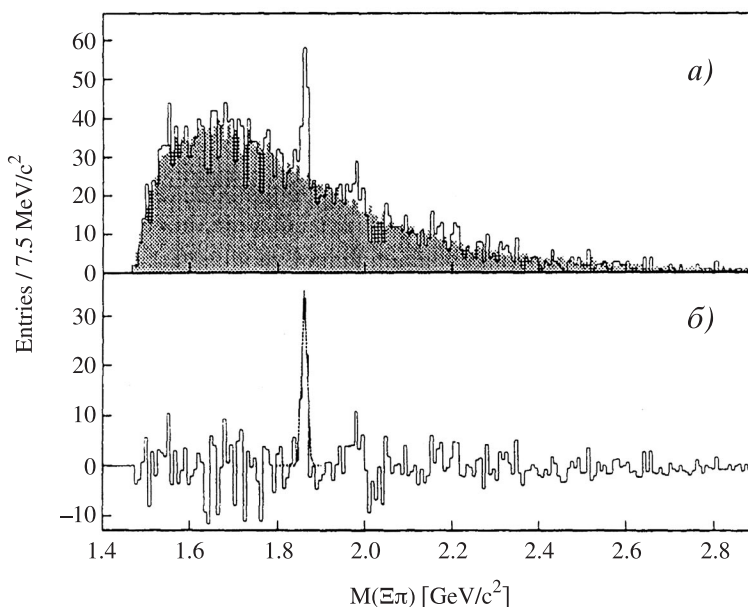


Рис. 13. Спектры суммы инвариантных масс a : $\Xi^- \pi^+$, $\Xi^- \pi^+$, $\bar{\Xi}^- \pi^+$, $\bar{\Xi}^+ \pi^+$, заштрихованная гистограмма – фон, полученный путем перемешивания событий; b : спектр суммы инвариантных масс после вычитания фона. Сплошная линия – гауссова аппроксимация пика

товление ярма дипольного магнита мюонного плеча установки и участие в разработке и изготовлении элементов системы идентификации частиц на основе детекторов переходного излучения (TRD). Также ведется работа по разработке физической программы и моделированию процессов, которые планируется исследовать. Группа Дубны прорабатывает вопросы, связанные с исследованием рождения векторных мезонов и Бозе–Эйнштейна корреляциям вторичных частиц.

Проект CMS, кроме задач на адронных пучках, содержит программу исследований $Pb+Pb$ взаимодействий на LHC. В разработке этой программы активное участие принимают физики ЛВЭ. В частности, в рамках модели HIJING были изучены глобальные характеристики ядро-ядерных столкновений для области энергий LHC. Интересным предсказанием модели оказалось указание на наличие широкого максимума в центральной области быстрот на фоне плато в распределении по псевдобыстроте полной поперечной энергии. Этот подъем вызван эффектом гашения струй в плотной ядерной материи. Показано, что калориметр с широким захватом по псевдобыстроте $-5 < \eta < 5$ позволит получить экспериментальную проверку существования такого эффекта.

Эксперимент NA45 ориентирован на регистрацию электрон-позитронных пар и прямых фотонов, рождаемых в адронных, адрон-ядерных и ядерных столкновениях. Главной целью этого эксперимента является систематическое изучение спектра электрон-позитронных пар в области масс от $50 \text{ МэВ}/c^2$ до $2 \text{ ГэВ}/c^2$ и рождения ρ -, ω - и

ϕ -мезонов. Благодаря отсутствию взаимодействий в конечном состоянии регистрируемых в этом эксперименте вторичных частиц, он является уникальным для изучения динамики ультррелятивистских взаимодействий тяжелых ионов.

В ОИЯИ для установки NA45 были созданы элементы системы быстрого триггера и изготовлен большой магнит для времяпроекционной камеры (TPC).

Довольно активное участие принимает группа Ю.В.Заневского в эксперименте HADES в GSI (Германия). Для этого эксперимента специалисты группы изготовили систему уникальных дрейфовых камер. Установка HADES представляет собой широкоапертурный диэлектронный спектрометр для изучения рождения лептонных пар в столкновениях тяжелых ядер в области кинетических энергий до 2 ГэВ на нуклон. Эта установка способна работать при интенсивностях пучка до 10^8 частиц/с. Детектор имеет геометрический акцептанс почти 40% для e^+e^- пар и разрешение по массам 0,8% для ρ - и ω -мезонов.

В настоящее время началось плодотворное сотрудничество ЛВЭ с GSI по участию в работах по новому проекту Международного ускорительного центра для исследований с ионами и антипротонами.

Многолетнее плодотворное международное научное сотрудничество в рамках проекта WASA/PROMICE осуществляется ЛВЭ (руководитель Б.А.Морозов) с Университетом в Уппсала (Швеция). В этом проекте с помощью 4 π -детектора проводятся прецизионные исследования порогового образования и редких распадов легких мезонов на ускорительном накопительном комплексе CELSIUS с использованием внутренней каплеобразной водородно-дейтериевой мишени.

На установке WASA/PROMICE в пучках ускорителя CELSIUS получены экспериментальные данные о механизмах взаимодействий протонов с протонами и дейтронами в надпороговой области энергий. Измерены дифференциальные сечения реакции $pd \rightarrow {}^3\text{He} + \eta$ в интервале энергий протонов от 930 до 1100 МэВ. Впервые в эксклюзивной постановке экспериментально изучена реакция $dp \rightarrow dp\gamma$ в интервале энергий дейтронов от 436,7 до 559,0 МэВ. Впервые экспериментально изучена реакция $pp \rightarrow pp\pi^+\pi^-$ с большой статистикой вблизи энергетического порога.

6. Эксперименты ЛВЭ на ускорителях ФНАЛ и БНЛ

Дальнейшее развитие методики исследования упругого рассеяния протонов на малые углы (ранее успешно использованной в экспериментах на синхрофазотроне и ускорителе ИФВЭ) позволило группам физиков ЛВЭ под руководством В.Г.Кадышевского, А.А.Кузнецова, В.А.Матвеева, С.В.Мухина и В.А.Никитина провести первые совместные эксперименты на вновь созданном в то время крупнейшем в мире ускорителе ФНАЛ (Батавия, США). Огромная заслуга в организации этого сотрудничества и успешном проведении этого цикла экспериментов принадлежит ГКАЭ СССР, дирекции ОИЯИ, а также дирекции ФНАЛ.

В совместных советско-американских экспериментах, начиная с марта 1972 года, была детально изучена закономерность поведения вещественной части амплитуды упругого рассеяния протонов и дифракционного конуса в широком интервале энер-