

С и N. Наличие экзотических пучков в ЛВЭ и автоматического сканирующего микроскопа в ФИАН делает эти исследования весьма перспективными.

Цель исследования — прояснить роль ^3He кластеризации в предстоящих облучениях с использованием ^7Be ($^4,^3\text{He}-^3\text{He}$), ^8B ($^1,^2\text{H}-^4,^3\text{He}-^3\text{He}$), ^9Be ($^4\text{He}-^4\text{He}$), ^9C ($^3\text{He}-^3\text{He}$), ^{10}C ($^3\text{He}-^3\text{He}-^4\text{He}$), ^{11}C ($^3\text{He}-^4\text{He}-^4\text{He}$).

На рис. 10 можно видеть примеры периферической диссоциации ядер ^7Be с энергией 1,23 А·ГэВ на пары ядер He (верхнее фото: диссоциация без возбуждения ядра мишени и без рождения заряженных мезонов; нижнее фото: диссоциация, сопровождаемая рождением фрагмента мишени и мезонной пары).

Вторичный пучок, содержащий значительную часть ядер ^7Be с энергией 1,23 А·ГэВ, был сформирован во время сеанса на нуклотроне путем отбора продуктов перезарядки первичных ядер ^7Li с помощью канала транспортировки пучка. Проводилось облучение эмульсионных стопок. Ядра ^7Be удобны для выбора магнитной оптики благодаря максимальной величине отношения заряда к весу. Это обстоятельство позволяет проводить наиболее полное наблюдение конечных фрагментов. Путем визуального сканирования треков были найдены 22 распада входящих ядер на гелиевые фрагменты без других сопровождающих треков. Изотопы гелия были идентифицированы по их полному импульсу, полученному из данных измерений многократного рассеяния. Это позволяет заключить, что доминирующая доля этих распадов связана с когерентной диссоциацией $^3\text{He} + ^4\text{He}$, и только 3–4 распада — с $^3\text{He} + ^3\text{He} + n$. Можно заключить, что ^3He кластеризация проявляется в распадах возбужденных релятивистских ядер ^7Be .

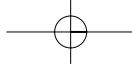
Совсем недавно группой сотрудников ЛВЭ и монгольских физиков ИФТ (Улан-Батор) были заново проанализированы экспериментальные материалы с двухметровой пропановой пузырьковой камеры с целью поиска экзотических многокварковых резонансных состояний в СС-взаимодействиях при импульсе 4,2 ГэВ/с на нуклон. В результате анализа было установлено, что в спектре эффективных масс системы (pK_s^0) наблюдается образование резонансов при значениях масс 1535 ± 2 ; 1739 ± 3 и 1911 ± 2 МэВ/ c^2 с шириной, равной разрешению по массе. На рис.11 в качестве иллюстрации приводится изображение спектра эффективных масс в области резонанса с массой 1530 МэВ/ c^2 .

4. Эксперименты ЛВЭ на ускорителе ИФВЭ

Лаборатория высоких энергий проводит исследования не только на своей ускорительной базе.

В октябре 1967 года в ИФВЭ фактически на первых оборотах пучка нового ускорителя объединенная группа физиков ОИЯИ–ИФВЭ уже приступила к исследованию упругого рассеяния протонов на протонах на малые углы.

Группой, возглавляемой В.А.Свиридовым (а впоследствии — В.А.Никитиным), была проведена существенная модернизация экспериментальной установки. Ядерные фотоэмульсии были заменены на полупроводниковые детекторы (Ю.К.Акимов, Л.С.Золин и др.), а тонкая пленочная мишень — на струйную газовую водородную мишень, созданную в ЛВЭ группой специалистов под руководством Ю.К.Пилипенко.



Одной из важнейших характеристик дифракционного рассеяния частиц, имеющих фундаментальное значение для теории, является величина дифракционного конуса при малых углах рассеяния, а также его поведение в зависимости от энергии. В различных лабораториях мира пытались разными методами решить эту проблему, но определенного ответа о поведении дифракционного конуса при малых переданных импульсах получить не удалось.

В экспериментах на ускорителе ИФВЭ была впервые обнаружена энергетическая зависимость дифракционного конуса рассеяния протонов на протонах до 70 ГэВ, что указывало на несоответствие простой дифракционной модели взаимодействия частиц; а также было установлено, что радиус сильного нуклон-нуклонного взаимодействия растет с увеличением энергии налетающих нуклонов.

В этой же серии экспериментов при изучении упругого рассеяния протонов на дейтроне были получены новые важные сведения о распределении ядерной материи в дейтроне.

Экспериментальные данные по упругому рассеянию протонов на малые углы, полученные физиками ЛВЭ на ускорителе ИФВЭ, вызвали большой интерес мировой научной общественности. Они впервые показали, что для указанного явления фундаментальные принципы теории (причинность, унитарность) не нарушаются вплоть до энергий 70 ГэВ.

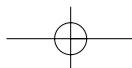
Этот принципиально важный для теории результат был признан открытием и зарегистрирован в Государственном реестре открытий СССР под названием «Закономерность изменения радиуса сильного взаимодействия протонов при высоких энергиях» с приоритетом от 1961 года в части теоретического обоснования и 1969 года – в части экспериментального подтверждения.

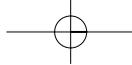
Большим международным коллективом ученых, возглавляемым В.Г.Гришиным и М.И.Соловьевым, при обработке снимков с двухметровой пропановой пузырьковой камеры, облученной отрицательными пионами с импульсом 40 ГэВ/с на ускорителе ИФВЭ, впервые наблюдалось обильное образование короткоживущих частиц-резонансов, установлено явление «раннего скейлинга» в пион-нуклонных взаимодействиях при импульсе 40 ГэВ/с и обнаружено существование в этих взаимодействиях линейной корреляции при рождении отрицательных и заряженных пионов.

В цикле работ А.М.Балдина, В.Г.Гришина, Л.А.Диденко и А.А.Кузнецова по поиску и изучению свойств сильно возбужденной ядерной материи в релятивистских ядерных столкновениях на основе нового релятивистски-инвариантного метода описания этих процессов в пространстве четырехмерных скоростей обнаружен асимптотический характер таких процессов и их свойства самоподобия.

Этой же группой физиков ЛВЭ впервые экспериментально подтверждена классификация ядерных систем и установлено существование барионных кластеров и адронных струй в этом пространстве, а также показано, что их свойства универсальны (т. е. не зависят ни от энергии взаимодействия, ни от типа фрагментирующей системы) и представляют собой наиболее достижимые возбуждения ядерной материи в релятивистских ядерных взаимодействиях¹. Обнаруженная универсальность указывает

¹ Baldin A.M., Malakhov A.I. // JINR Rapid Communications. 1998. No. 1 (87). P. 5–12.





Участники международного сотрудничества 2-метровой пропановой пузырьковой камеры. Руководители сотрудничества: М.И.Соловьев (1-й справа в первом ряду) и В.Г.Гришин (1-й справа во втором ряду)

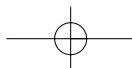
на то, что адронизация кварковых систем определяется динамикой взаимодействия цветного заряда с КХД-вакуумом.

По методу, разработанному в ЛВЭ Г.И.Копыловым и М.И.Подгорецким, были подробно исследованы интерференционные корреляции тождественных частиц и определены пространственно-временные параметры области генерации адронов в широкой области энергий.

Сегодня эта методика получила общее признание: она успешно развивается и активно используется в исследованиях на всех крупнейших ускорительных комплексах мира.

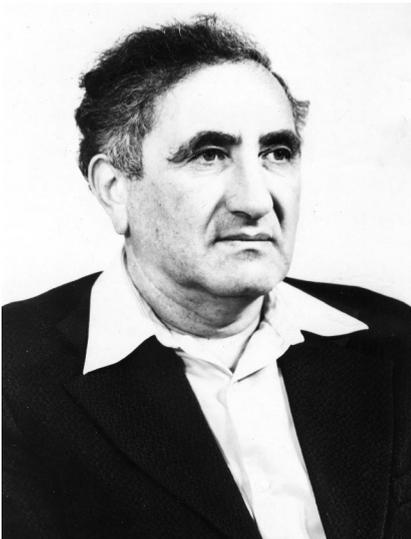
С помощью двухметровой жидководородной пузырьковой камеры «Людмила», созданной специалистами ЛВЭ под руководством Н.М.Вирясова, при изучении свойств антипротон-протонных взаимодействий при импульсе 22,4 ГэВ/с группой физиков лаборатории (руководитель И.М.Граменицкий) были измерены топологические сечения и инклюзивные спектры вторичных частиц в этих взаимодействиях, детально изучены интерференционные эффекты идентичных пионов и определена их область испускания.

Кроме этого, этой же группой была обнаружена выстроенность спина ро-мезона, что прямо указывает на наличие поляризации кварков на стадии перед их соединением в мезон, и изучены свойства образования других резонансов.





Г.И.Копылов



М.И.Подгорецкий

Используя грекочувствительную жидкодейтериевую мишень внутри рабочего объема камеры, они также измерили свойства топологических сечений и характеристик инклюзивных спектров частиц в никем еще не наблюдавшихся антинейтрон-дейтронных столкновениях при импульсе 12 ГэВ/с.

Этой же группой были впервые измерены сечения антинейтрон-нейтронной аннигиляции, а также изучены свойства образования резонансов в антинейтрон-протонных столкновениях при импульсе антинейтронов 6,1 ГэВ/с.

Проверка выполнимости гипотезы И.Я.Померанчука о том, что при очень высоких энергиях сечения взаимодействия частиц и античастиц с веществом совпадают (т. н. теорема Померанчука), проводилась на ускорителе ИФВЭ под руководством И.А.Савина (и впоследствии – М.Ф.Лихачева).

Эксперимент выполнялся с помощью бесфильмового искрового спектрометра (БИС) на линии с ЭВМ. В качестве мишени – регенератора использовались трехметровые жидководородная и жидкодейтериевая мишени, разработанные в ЛВЭ под руководством Л.Б.Голованова, и мишень из углерода.

В эксперименте изучалась регенерация нейтральных каонов на водороде, дейтерии и углероде при энергии от 10 до 50 ГэВ.

Обнаруженные закономерности полностью исключали нарушение теоремы Померанчука об асимптотическом равенстве полных сечений взаимодействия частиц и античастиц, на возможность чего указывали некоторые имевшиеся в то время данные. Результаты эксперимента устанавливали также справедливость основных выводов теории комплексных угловых моментов и дисперсионных соотношений о поведении амплитуд рассеяния в новой тогда области энергий.

С помощью этой установки изучены также некоторые свойства распада нейтральных каонов, которые позволили выяснить многие вопросы теории слабых взаимодействий.

Эти результаты вошли в банк мировых данных.



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-