

## ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ АДРОНОВ ПРИ СВЕРХВЫСОКИХ ЭНЕРГИЯХ

(Школа в Нор-Амберде, АрмССР, 30 сентября—5 октября 1985 г.)

Осенью 1985 г. на высокогорной станции Ереванского физического института Нор-Амберд была проведена школа «Взаимодействие адронов при сверхускорительных энергиях». Тем самым после 10-летнего перерыва возобновили работу традиционные Нор-Амбердские школы, хорошо известные в нашей стране и за рубежом. Впервые организованные в 1961 г. по инициативе А. И. Алиханяна, эти школы сыграли важную роль в развитии физики высоких энергий. Широта охвата проблем, возможность оперативного получения информации о новейших достижениях, оживленные и плодотворные дискуссии — все это неизменно привлекало в работе школ как ведущих советских и зарубежных физиков, так и научную молодежь. Международный характер школы способствовал укреплению сотрудничества ученых разных стран, популяризации достижений отечественной науки.

В своем вступительном слове научный руководитель школы С. Г. Матинян подчеркнул, что школа 1985 г., сохраняя традиционную широту программы, вместе с тем в значительной степени ориентирована на физику космических лучей и прежде всего на крупномасштабный эксперимент АНИ, подготавливаемый совместно Ереванским физическим институтом и Физическим институтом им. П. Н. Лебедева АН СССР.

Доклад С. И. Никольского был посвящен исследованию широких атмосферных ливней (ШАЛ) и адронов с первичной энергией 5—1000 ТэВ на Тянь-Шаньской высокогорной станции ФИАНа. В докладе было обращено внимание на то, что характер зависимости формы ливневого сопровождения лидирующих адронов в ШАЛ от их энергии, по-видимому, не может быть объяснен в предположении о постоянном коэффициенте неупругости нуклонов и неизменном составе первичного космического излучения. В соотношениях между различными компонентами ШАЛ с первичной энергией 20—600 ТэВ обнаруживается противоречие с моделью, использующей монотонную экстраполяцию ускорительных данных. Объяснить эксперименты можно, предположив нарушение скейлинга во фрагментационной части спектра вторичных нуклонов.

В докладе А. П. Гаряки и Э. А. Мамиджанияна было проведено сопоставление результатов экспериментов в космических лучах с ускорительными данными и различными теоретическими моделями.

Несколько докладов было посвящено самому крупному из подготавливаемых в настоящее время экспериментов — комплексу АНИ. С ходом строительства основных сооружений этого эксперимента участники школы имели возможность ознакомиться во время посещения высокогорной станции Арагац. В совместном докладе ЕрФИ и ФИАНа (С. В. Тер-Антонян) были предложены три независимых метода измерения сечения неупругого взаимодей-

ствия протонов с ядрами атомов воздуха  $\sigma_{\text{РА}}^{\text{in}}$ . Показано, что совместное использование предложенных методов позволит за 3—5 лет работы установки добиться точности в определении  $\sigma_{\text{РА}}^{\text{in}}$  не хуже 5% для энергий  $E > 10^3$  ТэВ.

Для определения энергии первичной частицы, вызвавшей атмосферный ливень, в установке АНИ наряду с другими методами будет использоваться и оптическое (черенковское и сцинтилляционное) излучение ШАЛ. Особенности регистрации этого излучения в ливнях высоких ( $10^{11} - 10^{15}$  эВ) и сверхвысоких ( $> 10^{15}$  эВ) энергий были рассмотрены в докладе А. Т. Авунджяна и Ф. А. Агароняна.

В целях накопления и систематизации экспериментального материала в эксперименте АНИ будет создан центр данных. Структура и общие принципы этого центра были описаны в докладе А. А. Чилингаряна.

Методы исследований на будущей установке АНИ отрабатываются на макетных установках меньшего масштаба — «Адрон» на Тянь-Шане и «Макет» на Арагаце. О вводе в строй установки «Адрон» сообщалось в докладе С. Б. Шаулова.

Большой опыт работы с рентген-эмульсионными камерами накоплен в нашей стране в рамках эксперимента «Памир». Основное внимание в этом эксперименте сейчас уделяется так называемым суперсемействам, т. е. семействам с максимально большой энергией ( $\sum E_{\gamma} > 10^3$  ТэВ). В докладах В. М. Максименко и С. А. Славатинского, а также Т. Л. Асатиани и Л. Э. Гениной приводились экспериментальные данные о вероятности регистрации суперсемейств, описание «Гало» и причин его возникновения, событий с множественным образованием «Гало», их выстроенности вдоль прямой линии. Приведены данные об азимутальной анизотропии для всех энергетически выделенных  $\gamma$ -квантов суперсемейств и их корреляции с выстроенностью «Гало». Показано, что данные по суперсемействам указывают на достаточно сильное нарушение скейлинга, однако меньшее, чем в моделях типа СКР.

В докладе Ю. А. Смородина анализировались миникластеры — узкие группы частиц, наблюдаемые в гамма-адронных семействах. Рассматривалась возможность объяснения этих групп последовательными распадами  $D^*$ -мезонов, первые стадии которых идут с малыми поперечными импульсами.

Ряд докладов на школе подвел итоги недавно закончившихся экспериментов в космических лучах. Были представлены данные по сечениям неупругого взаимодействия протонов и пионов в свинце и углероде при энергиях 0,5 — 5 ТэВ, полученные в эксперименте «Пион» (Г. В. Карагезян). Рассматривалась корреляция между измеряемым сечением взаимодействия адронов в ионизационном калориметре «Пиона» и мощностью ливневого сопровождения (М. И. Керопян). Анализировались данные по парциальным коэффициентам неупругости  $K_{\gamma}$  для протонов и пионов в железе (С. О. Сохоян) и характеристики частиц альbedo, генерируемых во взаимодействиях заряженных и нейтральных адронов космического излучения с ядрами свинца и железа (Г. Т. Оганян).

В. И. Яковлев подвел предварительные итоги анализа так называемого «Тянь-Шаньского эффекта» — каскадов с аномально малым поглощением в веществе. Основной вывод авторов: эти каскады связаны с образованием очарованных частиц, уносящих значительную долю энергии первичного адрона. Сечение образования таких частиц при энергиях выше 10 ТэВ оценивается как  $3,5 \pm 0,4$  мбн/нуклон.

Очарованные частицы могут служить источником «быстрых», или «прямых», мюонов, которые при больших энергиях могут превзойти по интенсивности обычные мюоны от распадов пионов и каонов. С этой точки зрения интересен доклад Ю. Н. Вавилова, проанализировавшего интенсивность горизонтальных ШАЛ. Оценка интенсивности мюонов с энергий выше 100 ТэВ, приведенная в этом докладе, составляет  $(2,7 - 3,0) \cdot 10^{-8} \text{ м}^{-2} \text{ с}^{-1} \text{ ср}^{-1}$

В докладе Ю. М. Котляревского на основе данных с установки Цхраро рассматривались особенности множественного рождения частиц на различных ядерных мишенях.

Доклады А. П. Горяки и А. Г. Арутюнова были посвящены моделированию каскадных процессов в атмосфере. В первом из этих докладов был изложен метод расчета средних пространственно-энергетических характеристик различных компонент ШАЛ. Во втором был проведен расчет в одномерном приближении средних энергетических спектров компонент ШАЛ, инициированных фотонами.

Наибольшее внимание в теоретических докладах было уделено описанию адрон-адронных взаимодействий на основе кварк-глюонной картины.

В докладе А. Б. Кайдалова обсуждался подход, основанный на  $1/N$ -разложении в КХД и модели струн. Модель хорошо воспроизводит экспериментальные данные о поведении полных и упругих сечений взаимодействия, множественности заряженных частиц. При умеренных энергиях возникает приближенный KNO-скейлинг. Успешно описываются данные, полученные на ISR и SPS-коллайдере. Предсказания модели надкритического померона для полных сечений и множественности адронов для будущих ускорителей были представлены К. А. Тер-Мартиросяном.

Два доклада были посвящены развитию модели кварк-глюонных струн для описания адрон-ядерных взаимодействий. В докладе Ю. М. Шабельского были продемонстрированы инклюзивные спектры различных частиц, рожденных в hA-столкновениях, рассчитанные по этой модели. В работе А. Д. Ерыкина эти спектры были применены для расчета прохождения космических лучей через атмосферу. Сравнение с существующими экспериментальными данными показывает в основном удовлетворительное согласие с предсказаниями этой модели, хотя при самых больших энергиях (выше  $10^{15}$  эВ) требуется несколько большая степень нарушения скейлинга.

В докладе О. И. Пискуновой были приведены расчеты на основе той же модели инклюзивных характеристик рождения очарованных частиц и антипротонов. Показано, что модель описывает качественные особенности спектров — преимущественно центральное рождение D-мезонов и фрагментационный характер спектра  $\Lambda_c$ . Результаты расчета спектров  $\bar{p}$  использованы для обсуждения природы излучения Лебеда X-3. Ш. С. Еремян рассмотрел проблемы перенормировки интерсепта и порога рождения померона в реджеонной теории поля и показал, что при критическом и надкритическом режимах получается одинаковое поведение интерсепта на асимптотике.

Р. Г. Бадаляном обсуждались инклюзивные спектры фрагментации P, П, К в барионные резонансы с малыми поперечными импульсами в рамках многопартонной рекомбинационной модели.

В докладах Б. З. Копелиовича и Н. Н. Николаева обсуждался вопрос об асимптотике нуклон-нуклонных сечений в рамках представлений пертурбативной КХД. При умеренно высоких энергиях двухглюонный обмен удовлетворительно воспроизводит постоянную часть полного сечения. С ростом энергии начинает доминировать вклад серии полюсов с  $j - 1 = \Delta > 0$ , причем  $\Delta_{\text{эф}}$  растет с ростом энергии. Показано, что данные по поглощению КЛ в атмосфере при  $E \sim 10^5 - 10^6$  ТэВ требуют  $\sigma_{pp}^{\text{tot}} \sim 160 - 200$  мбп, что дает в асимптотике  $\Delta_{\text{эф}} \sim 0,25 - 0,35$ .

Подробный анализ экспериментальных данных по адрон-ядерным сечениям, представленный в докладе Н. Н. Николаева, показал, что сечение взаимодействия адронов со связанными нуклонами систематически на 5—10% превышает сечение взаимодействия со свободными нуклонами. Это интерпретируется как КХД усиление сечения рассеяния на мультикварковых кластерах и дополнительное к ЕМС-эффекту указание на существование таких кластеров.

И. И. Ройзенем был изложен КХД-подход к описанию процессов двойной дифракционной диссоциации с большой передачей импульса при взаимо-

действию адронов высокой энергии и обсуждена его связь с реджевской феноменологией. Показано, что доля таких процессов логарифмически растет с энергией. Обсуждаются возможные экспериментальные следствия: положительная корреляция между продольными и поперечными импульсами вторичных адронов при больших быстротах и рост их инклюзивного распределения при больших поперечных импульсах, а также асимметрия ШАЛ в мишенной плоскости и, в частности, появление выстроенных событий.

В докладе Э. В. Шурыка рассматривалась проблема поперечного разлета вещества при пересечении фазового перехода адроны — кварк-глюонная плазма. Обнаруженные в космических и ускорительных экспериментах корреляции  $\langle p_{\perp} \rangle$  и плотности частиц интерпретируются автором как проявление «взрыва» плазмы.

М. Г. Рыскиным была подчеркнута важная роль, которую при высоких энергиях играют полужесткие процессы. Есть основание считать, что уже сейчас в опытах на коллайдере и в космических лучах наблюдается образование кварк-глюонной плазмы. Однако, в отличие от обычно предлагаемого равновесного характера, из-за малого числа соударений между партонами термодинамическое равновесие в плазме не успевает установиться.

Значительный интерес вызвали также обзорные доклады по более широкой тематике (А. А. Петрухин «Развитие оптического и акустического ДЮМАНДа», А. Д. Линде «Раздувающаяся Вселенная», В. А. Царев «Нейтринная геофизика», К. А. Тер-Мартirosян «Супергравитация и суперпартнеры») и материалы международных конференций, изложенные в докладах А. Б. Кайдалова и Э. А. Мамиджаняна.

С обзорным докладом о создаваемых детекторах на ускорителях и коллайдерах следующего поколения выступила Т. Л. Асатиани. В лекции В. А. Иванова были рассмотрены вопросы мюонной спектроскопии в области энергии мюонов более 1 ТэВ. На методической секции школы с интересным сообщением о новом способе съема информации с искровых детекторов с помощью волоконно-оптических световодов, обеспечивающем координатную точность  $\sim 200$  мкм, выступил М. В. Анохин. В сообщении В. Д. Воловика о возможном совмещении ионизационного и нейтринного калориметров было показано, что такое совмещение позволит увеличивать точность измерения энергии, уверенно измерять парциальный коэффициент неупругости  $K_{\nu}$  в каждом событии, определять случаи предельной передачи энергии в адронные или электронно-фотонные компоненты, выделять долю энергии, уходящей на ядерные взаимодействия, и т. д. Группой К. М. Авакяна было представлено сообщение об изготовленном в ЕрФИ годоскопическом модуле пропорциональных счетчиков на основе алюминиевых труб прямоугольного сечения. Приведенные амплитудные спектры сигналов от источников  $^{55}\text{Fe}$  и  $^{118}\text{Sn}$  указывают на хорошее энергетическое разрешение и высокую эффективность разработанного модуля, который может быть использован во многих годоскопических устройствах комплекса АНИ. На секции рассматривалось также предложение группы авторов от ЕрФИ и НИИЯФ МГУ, представленное Г. Л. Башиджаганом, о поиске частиц больших масс на комплексе АНИ. В работе предлагается использовать сцинтилляционные детекторы с быстрым съемом информации для определения продольной структуры ШАЛ. Разместив группу таких детекторов над калориметром и дополнив их черенковскими счетчиками, можно получить дополнительную информацию о запаздывающих частицах в составе ШАЛ, оценить их массу и поток.

По единому мнению участников возрождение и регулярное проведение в будущем Нор-Амбердских школ принесет несомненную пользу для усиления взаимного общения физиков, работающих на ускорителях и с космическими лучами, для концентрации усилий по созданию комплекса АНИ.

*Э. А. Мамиджанян, А. Д. Ерлыкин, В. А. Царев*