

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. Алиханьяна, 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., сохранив 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 ФИАН. 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. Мамиджаняна 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 ФИАН (С. В. Тер-Антонян) были предложены три независимых метода измерения сечения неупругого взаимодей-

ствия протонов с ядрами атомов воздуха σ_{pA}^{In} . Показано, что совместное использование предложенных методов позволит за 3—5 лет работы установки добиться точности в определении σ_{pA}^{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. Авунджаяна 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-эмulsionционными 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 γ -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^* -mesонов, 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_γ для протонов и пионов в железе (С. О. Сохоян) и характеристики частиц альбедо, 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 энергией 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 Цхара-Цхаро рассматривались особенности множественного рождения частиц на различных ядерных мишенях.

Доклады А. П. Гаряки 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 КНО-склейлинг. 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 инклузивные спектры различных частиц, рожденных в hA -столкновениях, рассчитанные по этой модели. В работе А. Д. Ерлыкина 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 склейлинга.

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

Р. Г. Бадаляном обсуждались инклузивные спектры фрагментации P, Π, K в барионные резонансы с малыми поперечными импульсами в рамках многопарточной 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 $\Delta_{\text{эфф}}$ 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 $\Delta_{\text{эфф}} \sim 0,25 - 0,35$.

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 мультиварковых кластерах и дополнительное к EMC-эффекту указание на существование таких кластеров.

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

действии 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 мишениной плоскости и, в частности, появление выстроенных событий.

В докладе Э. В. Шуряка рассматривалась проблема поперечного разлета вещества при пересечении фазового перехода адроны — кваркглюонная 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-Мартиросян «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, обеспечивающим координатную точность ~ 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_y 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}Fe и ^{119}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. Башиджагяном, 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