

## ОСЕННЯЯ ШКОЛА "ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ АДРОНОВ ПРИ СВЕРХУСКОРИТЕЛЬНЫХ ЭНЕРГИЯХ"

(Нор-Амберд, Армения, 24 — 30 сентября 1990 г.)

Традиция осенних школ по физике взаимодействия адронов при сверхускорительных энергиях, организуемых регулярно раз в два года Ереванским физическим институтом (ЕрФИ), не была нарушена и в 1990 г., хотя экономические трудности республики, многократно усиленные землетрясением 1988 г. и блокадой, ставили возможность проведения школы под сомнение. К чести ее организаторов, нужно сказать, что они очень постарались, чтобы эти трудности минимально отразились на работе школы. Она состоялась в Нор-Амберде в последнюю неделю сентября.

Школа собрала более 50 лекторов и слушателей. Новым для этого года явилось участие в работе школы иностранных ученых. Откликнулись на приглашение и приехали 7 физиков из 5 стран: Болгарии, Ирландии, Польши, Франции и Японии. Их участие оживило работу школы, повысило интерес к представленным на ней материалам и было, несомненно, полезным.

Открывая школу, председатель оргкомитета Э.А. Мамиджян и директор ЕрФИ А.Ц. Аматауни напомнили, что эти школы возникли в 80-х годах как прямое продолжение школ по физике элементарных частиц, проводившихся в Нор-Амберде в 60-е годы под руководством А.И. Алиханяна. С другой стороны, они являются наследниками рабочих совещаний, проводившихся регулярно в 80-е годы в связи со строительством на высокогорной станции Арагац комплекса АНИ для изучения космических лучей сверхвысоких энергий, создаваемого совместно ЕрФИ и ФИАН СССР. Трудности, переживаемые республикой, сказались и на замедлении темпов строительства АНИ. Однако несмотря на все, работы по его созданию продолжались. За два года, прошедшие со времени прошлой школы, заработала установка "Макет АНИ", су-

щественно продвинулось строительство ионизационного калориметра площадью 1600 м<sup>2</sup>. Вокруг этого калориметра появились наземные сцинтилляционные детекторы, которые вместе с аналогичными детекторами в подземной лаборатории должны составить установку "Гамма" для регистрации электронной и мюонной компонент широких атмосферных ливней (ШАЛ). Начат монтаж обмоток гигантского подземного магнита — основной части магнитного спектрометра для исследования мюонов высоких энергий в стволах ШАЛ. Все это участники школы смогли увидеть во время экскурсии на высокогорную станцию Арагац. На Нор-амбердской станции смонтирован и готов к работе зеркальный гамма-телескоп для исследования дискретных источников гамма-излучения в области Тэвнских энергий.

Хотя в название школы была вынесена проблема взаимодействия адронов при сверхскоростных энергиях, фактическая тематика заслушанных на ней обзорных лекций и оригинальных сообщений была значительно шире. Она охватывала первичное космическое излучение, вопросы гамма-астрономии, новые проекты и установки, методы детектирования излучений и обработки экспериментальных данных, вопросы теории. Большую долю времени, как это и было запланировано на предыдущей школе, заняло обсуждение новых явлений, наблюдающихся в космических лучах.

Как уже сообщалось ранее в докладах и публикациях, посвященных проекту АНИ, взаимодействие адронов на этой установке будет изучаться путем исследования макро- и микроструктуры стволов ШАЛ в области энергий 10<sup>3</sup> — 10<sup>6</sup> ТэВ. При этом информацию о макроструктуре стволов будут давать ливневые детекторы установки "Гамма", подземный магнитный спектрометр и ионизационный калориметр. Микроструктуру стволов можно будет увидеть в рентгеновских пленках, помещенных внутрь ионизационного калориметра. Таким образом, в комплексе АНИ будут сочетаться активные электронные методы регистрации ШАЛ и пассивные детекторы, какими являются рентгеновские пленки. Для отработки методов такого сочетания у нас в стране были созданы две экспериментальные установки в 7 — 10 раз меньшей площади. Уже упоминавшийся "Макет АНИ", в котором должна отрабатываться сложная техника движущихся рентгеновских пленок, еще только начал давать информацию. Другая, более простая установка с неподвижными рентгеновскими пленками, получившая название "Адрон", работает на Тяньшаньской станции ФИАН с 1985 г. и уже накопила значительный экспериментальный материал.

Результатам анализа этого материала был посвящен доклад С.Б. Шаулова (ФИАН). В нем были приведены энергетические спектры электронов и фотонов в стволах ШАЛ различной энергии. Показано существенное смягчение этих спектров при переходе к ливням с полным числом частиц  $N_e > 10^7$ , что означает резкое нарушение скейлинга во фрагментационной области вторичных адронов, генерированных в неупругих столкновениях с ядрами атомов воздуха в интервале энергий  $5 \cdot 10^{15} — 2 \cdot 10^{16}$  эВ.

На этот результат в значительной степени опирался в своем докладе С.И. Никольский (ФИАН). Доклад носил обзорный характер, посвящен рас-

смотрению ядернофизических задач, стоящих перед комплексом АНИ на современном этапе развития физики высоких энергий. Ряд эффектов, наблюдавшихся ранее в космических лучах, позволяет думать, что нарушение скейлинга в районе  $10^{16}$  эВ является отражением особенностей адрон-ядерных взаимодействий, проявлявшихся еще при энергиях порядка  $2 \cdot 10^{13}$  эВ. Эти особенности выражаются в виде дополнительных потерь энергии нуклонами и связаны с наличием пространственно-временного масштаба адронизации кварков. Для того чтобы выяснить, в какие вторичные компоненты переходит избыток энергии, потерянной нуклонами, целесообразно под ионизационный калориметр АНИ поместить сцинтилляционные детекторы для исследования частиц, проносающих энергию в глубь адронного каскада, и определения временной задержки их появления.

Поддержавший основные идеи, содержащиеся в докладе С.И. Никольского, А. Осава (Япония) привел свидетельства в пользу того, что нарушение скейлинга в нуклон-нуклонных столкновениях проявляет себя и при энергиях меньше  $10^{16}$  эВ. Наблюдение гамма-адронных семейств с необычными свойствами типа "кентавров" в рентгено-эмульсионных камерах, экспонируемых японо-бразильской коллаборацией на г. Чакалтая в Боливии, заставляет думать, что дополнительная энергия, теряемая нуклонами, передается новым тяжелым частицам, которые затем распадаются на барионы.

А. Осава рассказал о новом проекте японо-бразильской коллаборации "Омега", задуманном для исследования семейств с необычными свойствами и первичного космического излучения при энергиях выше  $10^{16}$  эВ. По своему замыслу он совпадает с АНИ, т.е. представляет собой установку, сочетающую рентгено-эмульсионную камеру площадью  $900 \text{ м}^2$  с электронными детекторами: детектором энергии электромагнитной компоненты на основе сцинтиллирующих волокон и обычными пластическими сцинтилляционными детекторами для целеуказания и определения параметров ШАЛ. Установка будет располагаться там же, на г. Чакалтая.

Характеристикам адрон-ядерных столкновений по результатам исследований на высокогорной станции Цхра-Цхаро был посвящен доклад Д.М. Котляревского (ИФ АН Грузии). Приводились данные о парциальных и полном коэффициентах неупругости во взаимодействиях адронов космических лучей ( $75 - 80\% \text{ N}$ ,  $20 - 25\% \pi$ ) с атомными ядрами  $\text{CH}_2$ ,  $\text{Al}$ ,  $\text{Cu}$  и  $\text{Pb}$  в интервале энергий  $0,22 - 1,5 \text{ ТэВ}$ . Для сравнения приводились и анализировались также экспериментальные данные по адрон-нуклонным, адрон-ядерным и ядро-ядерным столкновениям, полученные на ускорителях. Показано, что для коэффициентов неупругости  $K_{\text{ch}}$ ,  $K_{\gamma}$ ,  $K_{\text{tot}}$  практически нет зависимости от начальной энергии, наблюдается  $A$ -зависимость типа  $\sim A^{0,10 \pm 0,02}$ , существует сильная зависимость от природы налетающих частиц; для  $AA$ -взаимодействий: наблюдается асимметрия  $K_{\pi^-}$  в передней (f) и задней (b) полусферах, причем  $(K_{\pi^-})_f$  слабо зависит, а  $(K_{\pi^-})_b$  растет с ростом атомного номера мишени.

Доклад И.И. Ройзена (ФИАН) касался вопросов исследования глубоко-неупругих процессов и жесткого рассеяния на будущих коллайдерах в связи с проблемой плотности партонов при малых значениях  $x$ . Сейчас информация

о структурных функциях нуклонов, полученная из глубоконеупругого рассеяния, есть для области  $x > 10^{-2}$ , где партоны можно считать независимыми. Из теории ожидается, что при  $x < 10^{-3}$  плотность партонов должна настолько возрасти, что они начнут взаимодействовать друг с другом и перестанут быть независимыми. Поведение сечений рассеяния, обусловленного взаимодействием таких мягких партонов, должно измениться. Чтобы проникнуть в область малых  $x$  и больших передаваемых импульсов  $Q^2 > 10$  (ГэВ/с)<sup>2</sup>, необходимы достаточно высокие энергии. В докладе показано, что провести количественные исследования структурных функций нуклонов в области  $x \approx 10^{-4}$  можно будет только на будущих коллайдерах — электрон-позитронном HERA и протон-протонных LHC и SSC.

Несколько докладов на школе было посвящено первичному космическому излучению (ПКИ). В.Я. Шестоперов (НИИЯФ МГУ) от имени группы сотрудников привел экспериментальный спектр первичных протонов в области энергий 2 — 100 ТэВ, измеренный на спутнике с помощью аппаратуры "Сокол". В отличие от предыдущего сообщения на этой же школе и публикаций, авторами учтен ряд новых, более "тонких" эффектов, что, однако, не привело к существенному изменению результатов. Дифференциальный энергетический спектр протонов при энергии свыше 5 ТэВ имеет показатель  $\gamma + 1 = 2,82 \pm 0,21$ . Если принять во внимание, что энергетический спектр всех частиц ПКИ в интервале 2 — 100 ТэВ имеет более пологий характер, чем спектр протонов ( $\gamma + 1 = 2,65 - 2,70$ ), то из этой разницы следует, что доля протонов в ПКИ имеет тенденцию к медленному уменьшению. Однако это уменьшение не носит столь резкого характера, как это было получено на спутниках "Протон" и утверждается на основе самостоятельного анализа данных "Сокола", проведенного Н.Л. Григоровым. Кроме этого расхождения, остается вопрос, сохраняется ли эта тенденция к уменьшению доли протонов при более высоких энергиях  $\sim 10^3$  ТэВ, или ядерный состав ПКИ постепенно стабилизируется.

Прямых экспериментальных данных о составе в области энергий около нескольких ПэВ пока нет. Косвенный анализ состава в области "перегиба" (2 — 3 ПэВ) был выполнен в совместной советско-французской работе ФИАН и Университета г. Бордо. Рассказал о ней французский физик Ж. Прокурор (Бордо). В работе были заново проанализированы экспериментальные результаты по флуктуациям мюонной и электронной компонент ШАЛ, полученные на Тянь-Шане. Анализ был проведен с использованием более реалистичной модели независимых нуклонов для АА-столкновений. В соответствии с экспериментальными данными эта модель приводит к значительно большей величине флуктуаций по сравнению с моделью суперпозиции, использовавшейся в более раннем анализе того же материала. Как следствие этого, увеличивается неопределенность результатов анализа. Однако несмотря на увеличившиеся ошибки в определении вклада различных ядер, можно сказать, что полученный массовый состав ПКИ, по-видимому, тяжелее, чем при более низких энергиях. При энергии 2 — 3 ПэВ он характеризуется следующими величинами:  $17 \pm 4\%P$ ,  $15 \pm 7\%He$ ,  $16 \pm 10\%M$ ,  $20 \pm 8\%N$ ,  $32 \pm 8\%VN$ . Опираясь на этот результат, можно предполагать, что уменьшение доли про-

тонов и, наоборот, увеличение доли ядер группы VH в ПКИ продолжается вплоть до области перегиба спектра.

Решающее слово здесь, конечно, за будущими прямыми измерениями, которые планируются как у нас в стране, так и за рубежом. Та же группа из НИИЯФ МГУ, которая работала с аппаратурой "Сокол", представила проект установки для продолжения исследований энергетических спектров различных ядер высокой энергии от протонов до железа и продвижения этих исследований до энергии 1 ПэВ на ядро (Д.И. Подорожный). В предлагаемой аппаратуре АЯКС используется дальнейшее развитие основных принципов, примененных в приборе "Сокол". При общих геометрических параметрах и весе, как и у "Сокола", фактор экспозиции у новой аппаратуры удастся увеличить более чем в 100 раз.

Предварительные результаты начатой в ЕрФИ теоретической работы по расчету эволюции ядерного состава космических лучей в фотонном поле источников и межзвездной среды были сообщены А.С. Амбарцумяном.

Как и на прошлой школе, большое место среди обсуждавшихся проблем заняла гамма-астрономия. Это связано с неослабевающим интересом к этому направлению. На школе был заслушан доклад, в котором рассказывалось об уникальном пока что результате. С ним выступил М. Коули (Ирландия). Он рассказал об исследованиях Крабовидной туманности с помощью 10-метрового рефлектора Уипплской обсерватории в США. В фокусе этого телескопа помещена камера из 109 ФЭУ, которая позволяет получать изображение пятна от вспышки черенковского света, вызванной прохождением ШАЛ через атмосферу. Наблюдения Крабовидной туманности велись в течение 30 часов между ноябрем 1988 г. и мартом 1989 г. Из более ранних сообщений и публикаций было известно, что набранный за это время материал  $\sim 500$  тысяч событий как в направлении на Краб, так и вне этого направления — позволили добиться превышения сигнала над фоном  $\sim 5\sigma$ . Применение отбора событий по такой характеристике изображения, какой является азимутальная ширина, позволило снизить фон и добиться превышения над ним  $\sim 19\sigma$ , что уже является выдающимся результатом. Однако на этом участники эксперимента не остановились. В сотрудничестве с советскими физиками из ЕрФИ и Алтайского госуниверситета они применили еще более сложную технику анализа, использующую корреляции между различными параметрами изображения (ширина, азимутальная ширина и длина), и улучшили значимость эффекта до  $\sim 27\sigma$ .

Полученный в этой работе поток гамма-квантов от Краба:  $(7,0 \pm 0,4) \cdot 10^{-11} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$  при энергии выше 0,4 ТэВ позволяет использовать его для калибровки других инструментов. Наклон интегрального спектра характеризуется показателем  $\gamma = 1,4 \pm 0,1$ . Не обнаружены вариации этого потока в масштабе времени от 0,5 ч до 1 месяца. Также не обнаружено пульсирующей компоненты излучения, и авторы оценивают, что поток гамма-лучей от пульсара с периодом 33 мс не превышает 10% полного потока Крабовидной туманности.

М. Коули сообщил и об исследованиях других дискретных источников гамма-излучения, хотя и менее успешных. 124 часа наблюдений над пульса-

ром 4U0115+63 в течение 1985—1988 гг. не привели к его обнаружению ни в прямом токе, ни после применения фазового анализа с периодом пульсара и его второй гармоникой. Верхний предел потока от этого источника оценивается как  $1 \cdot 10^{-11} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$  при энергии выше 0,7 ТэВ.

Такой же отрицательный результат получен за 6 лет наблюдений (1984 — 1989 гг., 445 часов) бинарной системы Геркулес X-1. Гамма-излучения от этого источника не удалось обнаружить ни в прямом токе, ни после фазового анализа, ни в результате анализа изображений. Был, однако, короткий период — май—июль 1986 г., когда три обсерватории: Уиппл, Халеакала на Гавайях и Лос-Аламос — независимо наблюдали излучение от Геркулеса X-1. Станным в этом излучении оказалось то, что оно имело синее смещение величиной 0,16% по сравнению с периодом пульсара 1,24 с. Кроме того, по-видимому, оно не имело электромагнитной природы, так как, во-первых, применение анализа изображений в Уипплской обсерватории не улучшило отношения сигнал/фон, а во-вторых, доля мюонов в ШАЛ от этого источника, наблюдавшихся в Лос-Аламосе, была отнюдь не меньше, чем в обычных ШАЛ ядерного происхождения.

Не было найдено излучения и от бинарного рентгеновского источника IE2259+586. 13 часов наблюдений в течение 1985—1988 гг. позволили определить только верхний предел потока:  $I < 2,4 \cdot 10^{-11} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$ , что в 8 раз меньше результата Дарэмской группы, полученного в то же время.

Обзор Ф.А. Агароняна (ЕрФИ) был посвящен нейтральному излучению очень высоких ( $> 1$  ТэВ), сверхвысоких ( $> 1$  ПэВ) и предельно высоких ( $> 1$  ЕэВ) энергий от компактных астрофизических объектов. Исследование компактных источников в ближайшем будущем будет приоритетным из-за жесткости спектров их излучения, благодаря которой их и удастся обнаружить. К нейтральному излучению относились  $\gamma$ -кванты, нейтрино и нейтроны. Рассматривались механизмы формирования спектров гамма-квантов, нейтрино и нейтронов в источниках, подавление нейтринных спектров из-за каскадирования адронов, поглощение и каскадирование гамма-квантов, их взаимодействие с магнитными полями, вынос энергии релятивистскими нейтронами из аккрецирующей плазмы. Обсуждалось  $\gamma/p$ -отношение в области чернотельного обрезания спектров космических лучей ( $E > 5 \cdot 10^{19}$  эВ) и указывалось, что при достаточно малой энергетической плотности радифона и магнитных полей в межгалактической среде вклад гамма-квантов в поток ПКИ может стать доминирующим. Тогда расхождение данных о ШАЛ предельно высоких энергий можно объяснить разной чувствительностью экспериментальных установок к регистрации электромагнитных ливней. Указывалось также, что из-за взаимодействия с геомагнитным полем гамма-квант предельно высокой энергии каскадирует еще до прилета в атмосферу, и электромагнитный ливень от него может быть похожим на протонный, так как будет ослаблено влияние эффекта Ландау — Померанчука — Мигдала. Кроме того, количество мюонов с энергией порядка нескольких сот МэВ в электромагнитном ливне может стать сравнимым с полным числом таких мюонов в ливне от первичного протона или даже превзойти его.

Детали расчета особенностей развития электромагнитных ливней пре-

дельно высоких энергий, делающих их похожими на обычные ШАЛ ядерного происхождения, были также приведены в докладе В.А. Саакяна (ЕрФИ).

О результатах поиска и исследования компактных источников на базе материала, накопленного Тяньшаньской установкой ШАЛ в 1974 — 1982 гг., сообщалось в докладе Й.Н. Стаменова (Болгария). Поиск велся в области энергий выше 150 ТэВ ячейкой с угловым раствором  $15^\circ$ . Значимые потоки на уровне  $\sim 3\sigma$  получены только при использовании фазового анализа для трех источников: 4U0115+63 ( $I = (4,4 \pm 1,5) \cdot 10^{-14} \text{ см}^{-2}\text{с}^{-1}$ ,  $\phi = 0,5 - 0,6$ ), V1727Cyg ( $I = (4,2 \pm 1,5) \cdot 10^{-14} \text{ см}^{-2}\text{с}^{-1}$ ,  $\phi = 0,8 - 0,9$  и  $(5,2 \pm 2,0) \cdot 10^{-14} \text{ см}^{-2}\text{с}^{-1}$ ,  $\phi = 0,4 - 0,5$ ) и  $\beta$ Per ( $I = (5,7 \pm 2,1) \cdot 10^{-14} \text{ см}^{-2}\text{с}^{-1}$ ,  $\phi = 0,3 - 0,4$ ). Обнаружены долгопериодические вариации интенсивности источника Лебедь X-3: получен пик величиной  $4\sigma$  на фазе  $\phi = 0,04 - 0,14$  для периода  $P = 321 \pm 3$  дня. Наличие орбитальной периодичности установлено для источников Геркулес X-1 ( $I = (4,4 \pm 2,0) \cdot 10^{-13} \text{ см}^{-2}\text{с}^{-1}$ ,  $P = 1,7$  дней,  $\phi = 0,86 - 0,96$ ) и Лебедь X-1 ( $I = (5,8 \pm 2,1) \cdot 10^{-13} \text{ см}^{-2}\text{с}^{-1}$ ,  $P = 5,6$  дней,  $\phi = 0,5 - 0,8$ ). Эта периодичность сохраняется и при отборе ШАЛ, обедненных мюонами, с  $N_\mu / \langle N_\mu \rangle < 0,3$ . По-видимому, существует корреляция между типом источника и шириной пика на фазовой диаграмме: массивные двойные системы типа Лебедь X-1, 4U0115+63 характеризуются наличием широкого пика, а двойные системы с малой массой типа Лебедь X-3, V1727Cyg, Геркулес X-1 — относительно узкими пиками.

Об отрицательных результатах поиска излучения от Крабовидной туманности на телескопической системе "Гамма", смонтированной на Тянь-Шане, сообщил В.С. Асейкин (ФИАН). Поиск проводился в телесном угле  $8^\circ \times 8^\circ$  с разрешением  $0,8^\circ$  в течение 34 часов в 1989 г. Работа носила методический характер, пороги регистрации превышали пороги Уипплского телескопа более чем на порядок, анализа изображений не проводилось. Может быть, поэтому пока что удалось поставить только верхние пределы потоков:  $< 7,4 \cdot 10^{-11} \text{ см}^{-2}\text{с}^{-1}$  выше 7 ТэВ и  $< 2,4 \cdot 10^{-12} \text{ см}^{-2}\text{с}^{-1}$  выше 20 ТэВ.

Там же, на Тянь-Шане была проведена проверка указания на наличие избытка адронных групп в направлении на источник Лебедь X-3. Это указание было получено по данным установки ПИОН на Арагаце, и о нем рассказывалось на прошлой школе. Тяньшаньские данные были получены за другой промежуток времени — 1978 — 1982 гг. против 1984 — 1985 гг. — у ЕрФИ, хотя за больший период работы — 12 тыс. часов — и с помощью вчетверо большего калориметра. О них докладывал Е.И. Тукиш (ФИАН). Избытка адронных групп не найдено. Хотя, как уже указывалось, условия наблюдения и критерии отбора групп были различными, отрицательный результат поиска на Тянь-Шане может говорить, в соответствии с результатами других исследований, о спорадическом характере излучения Лебеда X-3 или ставит под сомнение само существование "адронной" астрономии.

Несколько докладов на школе были посвящены новым проектам, детекторам, а также методам анализа и обработки экспериментальных данных. Обзорный доклад Б.И. Лучкова (МИФИ) был посвящен регистрации гамма-

квантов в интервале энергий 1 ГэВ — 1 ТэВ. Этот интервал — "белое пятно" гамма-астрономии. Пока еще не найден универсальный метод, сочетающий большую площадь ( $> 1 \text{ м}^2$ ), высокое угловое разрешение детектора ( $< 1^\circ$ ) с простотой и надежностью. Однако в последнее время появился ряд проектов, основанных как на традиционных методах, так и на новых идеях. Среди традиционных детекторов докладчик отметил три: проект "Гамма-400" (СССР, ФИАН — МИФИ), SSCT (Япония) и Wizard (США). На новых идеях основан разрабатываемый в ЦЕРНе твердотельный черепковский счетчик, позволяющий строить изображение кольца от ливня, вызванного гамма-квантом. Измеряя эллиптичность этого кольца, можно определить угол входа гамма-кванта с точностью порядка нескольких мрад.

Прошел первые испытания детектор "Вега" (Япония) для регистрации гамма-квантов с  $E_\gamma > 40 \text{ ГэВ}$  по измерению вторичных электронов на самолетных высотах. Он включает в себя сцинтилляционный годоскоп, адронный счетчик и калориметр. Метод основан на поиске избытков электронов с энергией выше 1 ГэВ в направлении исследуемых астрофизических объектов. "Вега" совмещает большой геометрический фактор ( $S\Omega = 1,4 \text{ м}^2\text{ср}$ ) с хорошей угловой точностью ( $\delta\theta = 1,2 \pm 0,1^\circ$ ) и режекцией протонов (95%). Очевидный недостаток метода — огромный фон космических лучей на самолетных высотах 10 км, что и было показано в первом полете.

Принципиально новый метод узконаправленного телескопа ( $\delta\theta = 1 \text{ мрад}$ ) основан на использовании мозаики ориентированных монокристаллов кремния в качестве конвертора гамма-квантов и для измерения выходящего из кристалла ливня. Преимуществом такого детектора является полное отсутствие адронного фона. Группой ФИАН — МИФИ, а также новосибирским ИЯФ и датскими физиками предложены различные модификации таких телескопов для работы на спутниках. Их главное назначение — уточнение координат уже известных дискретных источников, например из каталога COS-B.

Р.Г. Мирзоян рассказал о сотрудничестве ЕрФИ с коллаборацией HEGRA, создающей на Канарских островах комплексную астрономическую установку. Основная часть установки — ливневая с добавлением большого количества мюонных детекторов — создается рядом зарубежных университетов. Вклад ЕрФИ заключается в создании 5 черенковских телескопов типа того, что уже можно было увидеть в Нор-Амберде. Докладчик рассказал о характеристиках этого телескопа: 18 зеркал диаметром 0,6 м, угловое разрешение  $0,4^\circ$ , камера состоит из 37 ФЭУ-130. Анализ изображений черенковской вспышки позволит подавить протонный фон в 50 раз при потере эффекта 1/2. Пороговая энергия ливня от гамма-кванта  $\sim 1 \text{ ТэВ}$ . Планируемое расстояние между телескопами в установке HEGRA — 100 м. Такая система способна за 50 часов наблюдений почувствовать минимальный поток гамма-квантов  $10^{-12} \text{ см}^{-2}\text{с}^{-1}$ . Программы работ ливневой и черенковской части установки HEGRA дополняют друг друга, так как рассчитаны на работу в смежных областях энергий. Важным преимуществом расположения телескопов на Канарских островах, кроме помощи в изготовлении ряда узлов со стороны западных партнеров, являются почти идеальные погодные условия и высокая прозрачность атмосферы на высоте установки 2200 м над уровнем океана.



Похожую систему из двух зеркальных телескопов на расстоянии 260 м друг от друга планируется создать на Тянь-Шане в рамках проекта ШАЛОН. Об этом проекте рассказала В.Г. Синицина (ФИАН). Важным дополнением к зеркальным телескопам является их окружение гексагональными кольцами из 6 широкоугольных черенковских детекторов радиусом 130 м для локации оси и определения направления прихода ШАЛ.

Оригинальное предложение эксперимента по исследованию стволов ШАЛ в горном озере акустическим методом прозвучало в выступлении А.Ю. Медведева (МИФИ). Его уникальность заключается в возможности изучения структуры ствола больших ШАЛ. Установка должна представлять собой редкую решетку подводных антенн на глубинах до 30 м с шагом 300 — 500 м. Расчетные и экспериментальные исследования, а также полевые испытания прототипа антенны подтверждают реальность предложенного эксперимента. В качестве начального этапа предлагается создание установки площадью 3 км<sup>2</sup>, для которой потребуется 30 антенн.

В сообщениях Г.Ц. Авакяна (ЕрФИ), Я. Олейничака (Польша) и Н.А. Арванова (ФИАН) рассказывалось об аппаратуре и детекторах установки АНИ: ионизационных, пропорциональных камерах и рентгеновской части адронного модуля "Макета АНИ", применении видеодигитайзера для обработки треков в искровых камерах магнитного спектрометра АНИ и о протяженном сцинтилляционном детекторе с хорошей однородностью светосбора вдоль длины 4,5 м. Этот сцинтилляционный детектор предполагается использовать в качестве модуля для размещения их в большом количестве под ионизационным калориметром с целью исследования проникающей способности адронных лавин.

В течение ряда лет в ЕрФИ успешно развиваются методы анализа экспериментальных данных, основанные на теории распознавания образов. На этой школе Г.З. Зазяном (ЕрФИ) была представлена работа по определению параметров сильных взаимодействий. В ней предложен метод совместного анализа модельных и экспериментальных данных в многомерном пространстве измеряемых признаков ШАЛ. Этот метод позволяет путем решения обратной задачи с эффективностью 70 — 80% определить сорт и с точностью 25% энергию первичной частицы, а затем оценить некоторые параметры взаимодействия протонов и ядер с ядрами атомов воздуха. В частности, обсуждается возможность оценки неупругого сечения и коэффициентов неупругости в рА-взаимодействиях.

С такими же непараметрическими методами связана идея оценки энергии гамма-квантов от точечных источников с помощью черенковских телескопов, высказанная в совместной работе ЕрФИ и Алтайского госуниверситета, с которой выступил А.К. Конопелько (АГУ). Идея основана на сильной корреляции интенсивности света с начальной энергией в случае отдельного анализа событий по зонам, определяемым по местоположению в фотокамере ячейки с максимальной интенсивностью. Полученная высокая точность оценивания (25 — 30%) совместно с применением техники многомерной дискриминации фона позволит не только исследовать спектры дискретных источников в области 0,1 — 10 ТэВ, но и поставить задачу исследования взаимодействия "пучков" гамма-квантов очень высоких энергий с атомами атмосферы.

Как обычно, значительное место на школе заняли теоретические работы по гамма-астрономии. Существенное развитие за время, прошедшее с прошлой школы, получили расчеты фотоядерного механизма генерации космического гамма-излучения, о которых рассказал И.В. Москаленко (НИИЯФ МГУ). Показано, что можно ожидать заметного количества сложных ядер ( $A > 12$ ) в корпускулярном излучении нейтронных звезд. Фотоядерный механизм может доминировать в определенном диапазоне энергий над другими механизмами генерации гамма-излучения. Описаны данные об энергетических спектрах гамма-квантов от источников Лебедь X-3 и Крабовидной туманности и получены характеристики среды, окружающей эти источники.

В докладе А.Н. Атояна (ЕрФИ) была предложена модель пульсирующего гамма-излучения от двойных рентгеновских источников, в которой предполагается, что это излучение возникает в результате бомбардировки облака-мишени, выбрасываемого из звезды-компаньона, пучком релятивистских частиц, стационарно ускоряемых пульсаром. В рамках этой модели естественным образом объясняются все особенности гамма-излучения такого источника, как Геркулес X-1: а) уже упоминавшееся синее смещение частоты гамма-пульсаций относительно частоты рентгеновских пульсаций; б) спорадичность излучения с характерной длительностью менее 1 часа; в) отсутствие корреляций между гамма-вспышками и фазой орбитального вращения; г) возможность наблюдения гамма-вспышки в фазе полного затмения рентгеновского излучения.

Высокоэнергичные  $\gamma$ -кванты и электроны, рожденные в источнике, проходя через низкоэнергичное фотонное поле, генерируют электромагнитный каскад. Каскадные процессы могут в значительной степени определять форму энергетического спектра гамма-квантов от источника. Хотя эта проблема неоднократно рассматривалась раньше, она пока еще не нашла своего окончательного решения в силу противоречий между результатами различных авторов. На школе этой проблеме были посвящены доклады В.В. Сизова (НИИЯФ МГУ) и А.А. Лагутина (АГУ). В них установлены простые соотношения между спектрами каскадных частиц, параметрами фотонного поля и первичного гамма-излучения. Показано, что энергетические спектры фотонов каскада, развивающегося в достаточно плотном фотонном поле со степенным спектром, круче по сравнению со спектром каскада, развивающегося в моноэнергетическом поле. Наклон такого спектра в некотором интервале энергий, определяемом границами степенного спектра фотонного поля, на единицу круче спектрального индекса этого поля. В первом докладе дается оценка влияния магнитного поля на характеристики каскада. Во втором, кроме средних энергетических спектров фотонов, впервые получены дисперсии их числа и доли несомой ими энергии. Поставлена и решена задача чувствительности характеристик каскада, развивающегося в фотонном поле, к вариациям этого поля около среднего значения, описываемого степенной функцией. Исследована также чувствительность различных участков спектров каскадных фотонов к структуре фотонного поля.

Как и предполагалось организаторами школы, значительное место на ней было отведено обсуждению проблем существования "новой физики" при высоких энергиях. Интерес к этой проблеме был существенно подогрев необычными свойствами ливней от Лебеда X-3. Нейтральное излучение этого источ-

ника генерировало в атмосфере ливни, практически не отличавшиеся по своему мюноносодержанию от обычных адронных ливней. Похожие свойства обнаруживали и некоторые другие источники, например уже упомянутая вспышка Геркулеса X-1 в мае — июле 1986 г. Как правило, все попытки объяснения этого явления сводились или к увеличению величины фотоядерного сечения, или к введению новых нейтральных квазистабильных адронов. Любое из этих предположений должно привести к изменению картины развития ШАЛ при высоких энергиях. Здесь уже упоминались доклады, в которых в той или иной степени затрагивались эти вопросы (С.И. Никольский, А. Осава, Е.И. Тукиш, С.Б. Шаулов). Были и доклады, специально посвященные возможному существованию новых частиц.

В докладах Ю.Н. Бажутова (ЦНИИмаш) были изложены экспериментальные указания на существование в космических лучах новых стабильных адронов с массой  $\sim 100$  ГэВ. Предложена новая "зеркальная" версия  $U(1) \times SU(2)_L \times SU(2)_R \times SU(3)$  калибровочной модели, в которой эти адроны получают интерпретацию. Установлены свойства взаимодействий новых адронов с нуклонами и атомными ядрами. Показано, что эти свойства позволяют согласовать теорию с жесткими космохимическими ограничениями на существование новых стабильных частиц. Предложена программа возможных экспериментов на комплексе АНИ по поиску таких адронов.

Любопытным следствием возможного существования тяжелых стабильных адронов в том случае, если они несут отрицательный электрический заряд, является катализ с их помощью реакции холодного ядерного синтеза подобно  $\mu$ -катализу. В ЦНИИмаш начаты эксперименты по исследованию холодного ядерного синтеза в электролитически насыщенных дейтерием титановых электродах. О них сообщил Ю.П. Чертов.

Еще одним следствием гипотезы о наличии в нейтральном излучении Лебеда X-3 тяжелых стабильных адронов является возможность объяснения широкого углового распределения мюонов от этого источника, наблюдавшегося в подземных экспериментах SOUDAN-I и NUSEX. С докладом на эту тему выступил Г.С. Мартиросян (ЕрФИ). Искажение направления прихода ШАЛ от Лебеда X-3 связывается с запаздыванием прихода тяжелых частиц по отношению к фотонам и с движением наблюдателя из-за суточного вращения Земли.

Экспериментальное свидетельство в пользу существования тяжелых распадающихся частиц привел Г.Ж. Оганян (ЕрФИ). В калориметре установки ПИОН было зарегистрировано событие, когда наблюдались два каскада с энергиями 0,5 и 0,6 ТэВ, выходящие из одной точки под углом  $80^\circ$ . Масса нейтральной распадающейся частицы, дающей начало этим двум каскадам, оценивается как  $M_x > 600$  ГэВ.

Критический обзор проблемы аномальных ливней от Лебеда X-3 сделал А.Ю. Ходжамирян (ЕрФИ). По его мнению, экспериментальные данные о вспышках излучения от Лебеда X-3 пока еще настолько противоречивы, что в отсутствие каких-либо указаний на появление "новой физики" на ускорителях вряд ли стоит создавать мир новых частиц в космических лучах, чтобы объяснить противоречивые экспериментальные факты. Что касается большой

величины фотоядерного сечения при высоких энергиях, то применение методов теории возмущений в КХД вплоть до столь малых  $p_T$ , как 1 ГэВ/ $c$ , вызывает сомнение, и, как следствие этого, есть сомнения в корректности проведенных расчетов  $\sigma_{\gamma N}$ . В любом случае вопрос о величине  $\sigma_{\gamma N}$  при высоких энергиях будет решен экспериментально в недалеком будущем на ускорителях HERA, УНК.

Так как школа проходила сразу же после летних каникул, являющихся обычно периодом интенсивного проведения различных конференций, то была заслушана информация о тех конференциях, которые могли представлять интерес для слушателей школы. С докладом о 25-й Международной конференции по физике высоких энергий в Сингапуре выступил научный руководитель школы С.Г. Матинян (ЕрФИ), о Международном симпозиуме по взаимодействиям космических лучей сверхвысоких энергий в г. Тарбе (Франция) — С.А. Славатинский (ФИАН), о 7-м Европейском симпозиуме по космическим лучам в г. Ноттингеме (Англия) — Т.Л. Асатиани (ЕрФИ).

С заключительным словом на школе выступил председатель оргкомитета Э.А. Мамиджян. Подводя итоги школе, можно отметить, что отставание отечественной экспериментальной базы в развитии физики высоких энергий,  $\gamma$ -астрономии, и, в частности, замедление темпов создания комплекса АНИ, сказались и на этот раз в недостатке новых экспериментальных результатов, доложенных на школе. Преобладание теоретических и интерпретационных работ стало не совсем приятной традицией, преодолеть которую можно лишь совместными усилиями всего сообщества физиков, работающих в этих чрезвычайно интересных и актуальных областях.

*А.Д. Ерлыкин, Э.А. Мамиджян*