1967 г. Март *Том 91. вып. 3*

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК

СОВЕЩАНИЯ И КОНФЕРЕНЦИИ

ВСЕСОЮЗНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ПО ФИЗИКЕ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ

С 12 по 18 октября 1966 г. в г. Алма-Ате была проведена Всесоюзная конференция по физике космических лучей. В работе конференции приняли участие около 300 делегатов из различных научных центров Советского Союза, а также 10 физиков из Польши, Чехословакии, Венгрии и Германской Демократической Республики.

За шесть дней работы конференции было сделано 16 обзорных и приглашенных докладов (по 30 минут с последующей 30-минутной дискуссией) на пленарных заседаниях и около 150 оригинальных сообщений (по 10 минут с последующей пятиминутной дискуссией) на заседаниях двух параллельно работавших секций: ядерно-физической и космофизической. В последний день работы конференции утренние заседания проводились в трех секциях, обсуждавших вопросы аппаратуры и методики эксперимента.

Делегатам была предоставлена возможность ознакомиться с работой Тянь-Шаньской высокогорной научной станции по исследованию космических лучей, расположенной на высоте 3200 *м* в горах вблизи Алма-Аты.

В дальнейшем мы попытаемся кратко изложить основные направления исследований, доложенных на конференции.

1. ЯДЕРНО-ФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Одним из наиболее важных вопросов взаимодействия элементарных частиц при сверхвысоких энергиях, недоступных в настоящее время для ускорителей, является вопрос о зависимости полного сечения ядерных взаимодействий от энергии. Интересные экспериментальные данные получены с помощью спутников «Протон-1» и «Протон-2». Сечение неупругого взаимодействия протонов с ядрами углерода промерено в интервале энергий от $2\cdot10^{10}$ до 10^{12} *эв*. Обнаружено, что сечение растет в этом интервале примерно на 15—20%, а затем остается постоянным. При этом значение, полученное при энерргии $2\cdot10^{10}$ *эв*, согласуется с полученными ранее на ускорителях данными для 10—20 *Бэв* (210—220 *мб*), однако примерно на 15% меньше, нежели результат повторных измерений, проведенных недавно группой Коккони в ЦЕРНе (254 ± 7 *мб* для 20 *Бэв*). Поэтому если верны последние ЦЕРНовские измерения, выполненные, по-видимому, наиболее тщательно, то сечение постоянно от 10^{10} *эв* до 10^{12} *эв*.

С теоретической точки зрения вопрос о предасимптотическом росте сечений был исследован в рамках некоторых моделей для ядра уравнения Бете — Солпитера. Было показано, что возможность роста сечений в диапазоне энергий 10^{10}—10^{14} *эв* может быть связана с явлением образования в этой области энергий файрболов, т. е. короткоживущих состояний с массой 3—5 *Бэв*/c^2 с нулевым барионным числом и без определенного значения спина.

Вопрос об образовании файрболов и однозначности трактовки полученных экспериментальных данных о файрболах был одним из наиболее острых и дискуссионных пунктов на конференции. Было показано, что если в области энергий $\sim$20 *Бэв* образование одного файрбола маловероятно, то при энергиях $\sim10^{11}$ *эв* это явление проявляется уже довольно четко, а при энергиях $\sim10^{12}$ *эв* в заметной доле событий образуются два файрбола. С теоретической точки зрения файрболы могут образовываться в периферических процессах. При этом, однако, необходимо четко разделять взаимодействия нуклон-нуклон и нуклон-ядро. В частности, в последних может появиться два максимума в распределении вторичных частиц по углам, даже если взаимодействие нуклон-нуклон носит «центральный», гидродинамический характер, но налетающий нуклон, а затем энергетически выделенный вторичный мезон взаимодействуют последовательно с двумя нуклонами одного и того же ядра.

Тесно связана с вопросом о файрболах и обсуждавшаяся на конференции проблема разделения центральных и периферических неупругих нуклон-нуклонных соударений. Были предложены два новых метода, которые могли бы помочь в решении этой проблемы,— метод разделения по квадратам 4-мерного передаваемого импульса и метод, использующий корреляцию между коэффициентами неупругости сгустков, движущихся вперед и назад в системе центра инерции. Обсуждались также экспериментальные данные о роли статистических (при ускорительных энергиях) и гидродинамических (при более высоких энергиях) процессов. Указания на наличие последних следуют, в частности, из явления генерации очень быстрых нейтральных π-мезонов. Рассматривался также вопрос о выделении когерентных и дифракционных событий.

Некоторые противоречия в экспериментальных данных в области сверхвысоких энергий можно успешно объяснить, если использовать доложенную на конференции гипотезу о существовании пассивного состояния, в котором нуклон может находиться в течение $\sim 10^{-10}$ *сек* после ядерного взаимодействия. Однако ряд возражений, выдвинутых в процессе дискуссии, показывает, что сама эта гипотеза еще требует серьезной проверки.

Следует отметить еще интересные, хотя и предварительные данные (полученные с помощью ионизационного калориметра и камеры Вильсона) о наблюдавшейся в ряде случаев угловой асимметрии разлета вторичных нейтральных и заряженных мезонов при ядерных взаимодействиях нуклонов и мезонов с энергиями в сотни *Бэв*. Заслуживают внимания также данные о больших значениях поперечных импульсов (свыше 1 *Бэв/с*) вторичных нуклонов, которые, как правило, являются и энергетически выделенными частицами при энергиях свыше 10^{12} *эв*. К сожалению, точность определения энергий частиц в этих случаях (работы выполнялись с помощью очень больших фотоэмульсионных стопок) еще недостаточна для получения окончательных результатов.

Все описанное выше относится к неупругим взаимодействиям частиц. Известно, что исследование упругих взаимодействий в космических лучах сталкивается с серьезными техническими трудностями. На конференции был описан проект установки, которая позволила бы получить данные об упругом взаимодействии частиц в области от 30 до 700 *Бэв*.

Подробно обсуждалась теория упругих и слабо неупругих (с образованием малого числа частиц) процессов при этих энергиях, опирающаяся на рассмотрение полюсов в плоскости орбитальных моментов. Было показано, что как в этой теории, так и при рассмотрении некоторых моделей в рамках уравнения Бете — Солпитера можно ожидать, что асимптотическая область энергий лежит достаточно высоко и начинается при энергиях $\sim 10^{13}$—10^{14} *эв*.

С большим интересом на конференции обсуждалась проблема поиска кварков в космических лучах. В настоящее время верхняя граница потока кварков в космических лучах равна $1{,}5\cdot 10^{-9}$ *см*$^{-2}$*стер*$^{-1}$*сек*$^{-1}$ для заряда $1/3\,e$ и $1{,}4\cdot 10^{-9}$ *см*$^{-2}$ *стер*$^{-1}$ *сек*$^{-1}$ для заряда $\frac{2}{3}\,e$. Было сообщено о том, что создается установка, которая позволит снизить этот предел еще на порядок величины. Мы не будем здесь подробно обсуждать эту проблему, так как она рассматривается в нашем журнале (см. УФН **91**, 541 (1967)).

Отдельный раздел составляют опыты с широкими атмосферными ливнями и проникающей (мюонной) компонентой космических лучей. Получены серьезные аргументы в пользу того, что наблюдавшиеся за последнее время группы проникающих частиц (на глубинах ~ 40 *м вод. экв.*) невозможно объяснить уже известными процессами развития широких ливней. Велись также интересные дискуссии о возможном появлении при энергиях $(3 \div 4)\cdot 10^{13}$ *эв* дополнительного процесса (так называемой «гамманизации»), обеспечивающего значительную ($\sim 80\%$) долю энерговыделения в электронно-фотонную компоненту широких ливней.

Путем регистрации радиоизлучения широких ливней на волне ≈ 10 *м* выявлен ряд важных и отчасти неожиданных свойств этого излучения, в частности, его когерентный характер, поляризация и значительно более высокая (по сравнению с теоретическими предсказаниями) интенсивность.

Наконец, на конференции обсуждалась работа по созданию гигантской установки в Якутске для регистрации рекордно больших ливней. Актуальность этого опыта связана, прежде всего, с необходимостью проверить предсказание теории о резком спаде первичного энергетического спектра на энергиях $\sim 10^{20}$ *эв*, обусловленном взаимодействием первичного космического излучения с реликтовым тепловым радиоизлучением в Метагалактике.

2. КОСМОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Был доложен целый ряд новых результатов по исследованию первичных космических лучей. Среди них отметим прежде всего абсолютные измерения на шарах-зондах интенсивности протонов с данной магнитной жесткостью R. Полученное значение $I\,(R > 17$ *Гв*$) = 75 \pm 5$ *протонов/м*$^2\cdot$*сек*$\cdot$*стер* хорошо согласуется с оценкой энер-

гии, вносимой космическими лучами в атмосферу на соответствующей геомагнитной широте и оказывается существенно меньшим значений, приводимых обычно в литературе. Точное значение этой интенсивности важно для построения спектра первичных космических лучей в области энергий от 10^{10} до $10^{14} \div 10^{15}$ *эв*.

Большой интерес вызвали предварительные результаты измерений спектра первичного излучения в области энергии $10^{10} - 10^{14}$ *эв* на космических станциях серии «Протон». К ним относится измерение спектра полного излучения в области энергий $5 \cdot 10^{10} \div 10^{14}$ *эв*. В указанной области энергии интегральный спектр всех частиц оказался степенным с единым показателем $\gamma = 1{,}73 \pm 0{,}1$. Ранее эта область спектра детально не исследовалась, и, хотя экстраполяция от геомагнитной области к области энергий широких атмосферных ливней приводила к близким значениям γ, нельзя было исключить наличие немонотонности («изломов») в этой части спектра.

Предварительные данные станции «Протон-1» и «Протон-2» свидетельствуют о значительном количестве в потоке первичных космических лучей ядер более тяжелых, чем железо, вплоть до элементов с $Z = 48$. Уточнение этих данных может пролить новый свет на природу источников и ускорение космических лучей.

Длительные измерения вариации интенсивности ш. а. л. в области энергии $10^{14} \div 10^{15}$ *эв*, проведенные в Якутске, позволили получить наилучшую для настоящего времени оценку максимальной возможной анизотропии космических лучей в этой области энергий. Она составляет менее 0,1%.

Существенным вкладом в решение проблемы первичных электронов являются выполненные в Долгопрудненском филиале ФИАН измерения интенсивности электронов в области энергии выше 3 *Бэв*. В этих работах впервые надежно установлен спектр электронов в этой области энергии, а также присутствие электронов с энергиями вплоть до $80 \div 100$ *Бэв*.

В области теории происхождения космических лучей или, точнее, астрофизики космических лучей и примыкающих к ней разделах отметим следующие результаты.

В итоге весьма трудоемкой работы были получены уточненные значения параметров фрагментации для различных групп ядер, и в частности для ядер никеля, методом вкрапления в фотоэмульсию, облучаемую пучком протонов заданной энергии. Уточнение этих параметров имеет первостепенное значение для анализа механизмов генерации и характера движения космических лучей в межзвездной среде.

Значительное развитие получили теоретические работы в области нейтринной астрофизики, которая в настоящее время начинает становиться реальным новым направлением экспериментального изучения процессов во Вселенной.

Анализ взаимодействия космических лучей сверхвысоких энергий с реликтовым тепловым излучением во Вселенной позволил оценить верхнюю границу энергетического спектра космических лучей. Эта граница обусловлена процессами фоторождения пионов и составляет $(3 - 5) \cdot 10^{19}$ *эв*.

Были также проанализированы существующие гипотезы о происхождении космических лучей и представлены аргументы в пользу стационарной галактической модели и против метагалактической модели. Основными из этих аргументов являются: малая по сравнению с наблюдаемой в Галактике плотность энергии релятивистских частиц в метагалактическом пространстве (для электронов сейчас имеются непосредственные данные рентгеновской астрономии); присутствие в Галактике электронов с энергиями до 100 *Бэв*, которые быстро теряют энергию в результате магнитнотормозного излучения и комптон эффекта и, следовательно, не могли генерироваться в далеком прошлом; данные о составе в области малых энергии, об относительном составе элементов и изотопов, отсутствующих в источниках, но наблюдаемых в космических лучах, данные об изотопном составе бериллия и «космическом» возрасте метеоритов. Все эти данные трудно согласовать с предположением о генерации космических лучей в одном акте, например, при взрыве галактического ядра. Они свидетельствуют в пользу стационарной или квазистационарной генерации космических лучей в Галактике (см. УФН 88, 485 (1966)).

Много докладов было посвящено проблеме космических лучей в солнечной системе, а именно, вопросам генерации солнечных космических лучей, их распространению в межпланетных магнитных полях и модуляции галактических космических лучей.

Характерным для этого направления является переход к строгому количественному анализу экспериментальных данных. С одной стороны, это относится к оценке достоверности выделения тех или иных гармоник вариаций космических лучей. С другой стороны, интенсивно развиваются количественные теории наблюдаемых вариаций. В этом плане можно отметить предложенную на конференции теоретическую интерпретацию случаев преимущественного возрастания интенсивности тяжелых ядер, генерируемых в активных областях на Солнце. Экспериментальные данные удовлетворительно согласуются с представлением о преимущественном «убегании» тяжелых ионов при статистическом ускорении частиц.

Особо следует отметить работы, в которых дается теоретический анализ диффузии быстрых частиц в хаотических магнитных полях, а также работы, в которых развивается теория модуляции галактических космических лучей в солнечной системе. Эта тео-

рия позволяет связать такие наблюдаемые параметры, как скорость солнечного ветра, структура межпланетного магнитного поля, частотный спектр его неоднородностей и другие, с амплитудой вариаций и степенью и направлением анизотропии космических лучей у Земли. Важными следствиями этой теории являются определение размеров области модуляции, связь модуляции с солнечной активностью и относительное запаздывание первой, возможность восстановления первичного спектра галактических космических лучей за пределами солнечной системы.

Помимо этих работ обобщающего характера был представлен также ряд новых экспериментальных результатов о конкретных случаях возрастания интенсивности космических лучей в различных диапазонах энергии, в том числе на больших расстояниях от Земли.

И. М. Дрёмин, Г. Б. Жданов, С. И. Сыроватский