

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУКСОВЕЩАНИЯ И КОНФЕРЕНЦИИ**МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ПО КОСМИЧЕСКИМ ЛУЧАМ**

В 6—11 июля текущего года в Москве в помещении МГУ на Ленинских горах проходила Международная конференция по космическим лучам. Конференция была созвана Комиссией по космическим лучам Союза чистой и прикладной физики и явилась очередной в ряду аналогичных конференций по космическим лучам, созываемых комиссией регулярно один раз в два года (конференция 1957 г. проходила в Варенне (Италия), конференция 1955 г. — в Гуанахуатте (Мексика) и т. д.). В работе Московской конференции приняло участие 85 иностранных ученых, около 200 делегатов от советских ученых и около 200 гостей, присутствовавших на отдельных заседаниях. По числу своих участников Московская конференция в несколько раз превосходила предыдущие конференции по космическим лучам.

В подготовительную комиссию по проведению конференции поступили заявки примерно на 215 докладов (из них 85 от советских ученых). В целях более эффективного использования времени близкие по тематике доклады были объединены в программе конференции и, таким образом, в повестку дня было включено всего 103 доклада (из них 30 от советских ученых), разбитых на 14 заседаний. (Вечерние заседания проходили параллельно в двух секциях: секция А—ядерные взаимодействия при высоких энергиях и секция В—вариации интенсивности и астрофизические аспекты космических лучей.) Тем не менее повестка дня конференции оказалась перегруженной и основная часть дискуссий и обсуждений проходила вне рамок официальных заседаний (на многочисленных неофициальных совещаниях и в кулуарах). Эти неофициальные совещания явились существенной частью конференции, и организация их позволила обсудить все основные вопросы, рассматривавшиеся на конференции, значительно обстоятельнее, чем это можно было сделать на официальных заседаниях.

Тематика конференции была посвящена следующим основным проблемам:

- 1) ядерные взаимодействия при энергиях, недостижимых в настоящее время для ускорителей (экспериментальные и теоретические работы),
- 2) электромагнитные взаимодействия при высоких энергиях и свойства μ -мезонов,
- 3) широкие атмосферные ливни,
- 4) первичное космическое излучение (в том числе опыты по его изучению, проводимые на баллонах, спутниках и ракетах),
- 5) происхождение космических лучей,
- 6) вариации интенсивности космических лучей.

Программа московской конференции отличалась от тематики предыдущих конференций по космическим лучам не только тем, что на ней впервые обсуждались опыты и результаты, полученные с помощью спутников и ракет, но и значительно большим удельным весом работ, посвященных ядерным взаимодействиям, вызываемых частицами высоких и сверхвысоких энергий.

Это обстоятельство, очевидно, было обусловлено тем, что в последние годы в разных странах были развиты новые методы исследования процессов при высоких энергиях («калориметрический» метод определения энергии; большие, многоклеточные установки с ионизационными камерами; использование фотоэмульсионных стопок весьма большого размера, в сочетании со специфическими методами их обработки и значительные улучшения в технике их экспонирования на больших высотах; сцинтилляционные счетчики больших размеров; сочетание в одной установке ионизационных камер и фотоэмульсий; изучение черенковского излучения широких атмосферных ливней; использование электронно-счетных машин для обработки экспериментальных результатов и проведения теоретических расчетов и др.). Большое влияние, конечно, оказали и успехи теории процессов при высоких и сверхвысоких энергиях.

При изучении ядерных взаимодействий в космических лучах за последние годы был твердо установлен целый ряд фактов, имеющих первостепенное значение для всей этой области физики. К этим фактам мы относим прежде всего следующие: весьма слабая зависимость (или даже приблизительно постоянное) эффективного сечения для

взаимодействия от энергии в очень широком энергетическом интервале; сравнительно малая множественность при рождении вторичных частиц; то обстоятельство, что среди вновь рожденных частиц подавляющее большинство является π -мезонами; наличие в системе центра инерции резкой анизотропии «вперед-назад» в угловом распределении вторичных частиц; независимость поперечного импульса вторичных частиц от энергии первичной в широком диапазоне энергий; сравнительно малая величина и медленное изменение с энергией, вплоть до значения 10^{13} — 10^{14} эв, средней доли первичной энергии, передаваемой в нуклон-нуклонном соударении вторичным частицам, и большие флуктуации этой величины от соударения к соударению, которые можно рассматривать как результат проявления какого-то нового параметра соударения.

Итоги конференции дают основание полагать, что в ближайшем будущем, при изучении процессов при высоких энергиях, будут получены дальнейшие фундаментальные результаты, которые помогут существенно продвинуться не только в понимании этих явлений, но и в связанной с ними проблеме строения нуклонов и других «элементарных» частиц.

С другой стороны, изучение таких свойств и параметров самих «элементарных» частиц, как масса, время жизни, спин, четность, условия генерации и т. п., в последнее время, после получения их с помощью искусственно ускоренных частиц, в основном перешло от космических лучей к ускорителям. В связи с этим работы в этой области рассматривались уже не на конференции по космическим лучам, а на конференции по физике высоких энергий, которая проходила в Киеве 15—25 июля с. г. Близость тематики обеих конференций сделала целесообразным проведение их одна за другой таким образом, чтобы ученые, приехавшие на одну конференцию, могли участвовать и в работах другой.

При рассмотрении экспериментальных работ по ядерным взаимодействиям в области высоких энергий большой интерес и весьма оживленные дискуссии вызвали результаты, полученные методом фотоэмульсий по энергетическим спектрам γ -квантов, генерированных частицами высоких энергий.

Группа проф. Пауэлла в Бристоле (Дж. Дати, С. Фишер, П. Х. Фаулер, А. Каддур, Д. Х. Перкинс, К. Пинкау) воспользовалась испытательными полетами Британских реактивных самолетов и облучила в течение 600 и 1200 часов на высоте ~ 11 км две стопки, объемом около 30 литров каждая, составленные из слоев фотоэмульсии, чередующихся со слоями свинца.

Очень большое время облучения (обычно эмульсионные стопки экспонируются на высотах 25—30 км в течение 8—10 часов) позволило зарегистрировать большое число взаимодействий при высокой энергии. В стопках было найдено около 600 электронно-фотонных лавин с энергией, превышающей $2 \cdot 10^{12}$ эв. Чередование слоев эмульсии и свинца приводило к быстрому размножению частиц в электронно-фотонной лавине и давало возможность обнаруживать такие мощные лавины в эмульсии невооруженным глазом.

Общий фон следов в эмульсии был настолько велик (из-за большого времени экспозиции), что делал обычную микроскопическую обработку эмульсии невозможной. Поэтому она была заменена микрофотометрированием участка эмульсии, содержащего найденную электронно-фотонную лавину. Промеры микрофотограмм давали возможность определить полную энергию, выделившуюся в лавине, и, следовательно, энергию породившего ее γ -кванта.

Этот метод обладает также еще и тем преимуществом перед обычной микроскопической обработкой, что является значительно менее трудоемким.

Обработка полученного материала показала, что в области энергий γ -квантов $2 \cdot 10^{12}$ — $2 \cdot 10^{13}$ эв интегральный энергетический спектр их имеет вид $N_{\gamma}(>E) \sim E^{-3,5 \pm 0,3}$.

Показатель $3,5 \pm 0,3$ характеризует как спектр γ -лучей, образованных в самой стопке, так и γ -лучи, генерированные в воздухе и попадающие на стопку извне.

С другой стороны, из данных по широким атмосферным ливням, хорошо известно, что в весьма широком энергетическом интервале вплоть до энергий по крайней мере 10^{17} эв, интегральный энергетический спектр первичных частиц космических лучей имеет вид $N_p(>E) \sim E^{-1,7 \pm 0,2}$. Сопоставление этих двух спектров показывает, что доля первичной энергии, передаваемой в среднем π_0 -мезонам и через них в γ -излучение, быстро падает с ростом первичной энергии. Абсолютная же величина энергии, переданной γ -квантам, остается приблизительно постоянной и не зависит от энергии первичной частицы.

Так как сейчас нет никаких оснований сомневаться в наличии зарядовой симметрии при образовании π -мезонов, то этот результат означает, что общая доля энергии, передаваемая в актах ядерных взаимодействий π -мезонам или частицам, быстро распадающимся на π -мезоны, падает с увеличением энергии. При обсуждении этого вывода на конференции подчеркивалось, что с экспериментальной точки зрения при обработке фотоэмульсионной стопки легче пропустить электронно-фотонную лавину с малой

энергией, чем с большой. Это соображение, по-видимому, показывает, что нет оснований считать показатель спектра $3,5$ завышенным.

Обширные материалы по ядерным взаимодействиям при высоких энергиях, полученные с помощью фотоэмульсионных стоек, облученных на больших высотах, были сообщены на конференции М. Шайном (США). Но его данные в основном относятся к меньшим энергиям, чем энергии, изучавшиеся Бристольской группой. Поэтому количественное сопоставление данных Шайна и данных Бристольской группы проведено быть не может.

В работе японских физиков (И. Фудзимото, С. Хасагава, М. Кадзуно, Дж. Нишимура, К. Ниуи и Н. Огита) вопрос о спектре γ -квантов, генерированных в актах ядерных взаимодействий, исследовался с помощью огромных «эмульсионных камер» (объемом порядка кубического метра). Такая «эмульсионная камера» состоит из чередующихся слоев фотопластинок, фильтра и зазоров между ними и позволяет, так же как эмульсионная стойка, по почернению пластинок определять мощность электронно-фотонных лавин, образующихся и развивающихся в фильтрах камеры. Японские физики экспонировали две такие камеры на высотах гор в течение нескольких тысяч часов и при просмотре пластинок обнаружили в них около ста электронно-фотонных лавин с энергией свыше 10^{11} эв.

Обработка этих данных показала, что вплоть до энергий примерно 10^{12} эв показатель степени в интегральном спектре γ -квантов имеет величину $1,8 \pm 0,2$; но для больших энергий, в соответствии с тем, что получено в работе Бристольской группы, спектр становится более «крутым» и показатель его равен $2,8 \pm 0,2$.

На основании этих данных японские физики также приходят к заключению, что доля энергии, передаваемая π -мезонам, падает с ростом энергии первичных частиц, но что общий коэффициент неупругости при этом меняется мало (за счет увеличения передачи энергии не π -мезонам, а частицам другой природы).

К аналогичному выводу об уменьшении доли энергии, передаваемой π -мезонам, однако, в области энергий до 10^{12} эв, приходит также и американский физик В. Фреттер на основании своих прецизионных опытов, выполненных с помощью камеры Вильсона, помещенной в магнитном поле (опыты проводились на уровне моря). Подсчитывая число капель вдоль следа частицы в камере Вильсона и определяя таким образом создаваемую частицей ионизацию, а по кривизне следа в магнитном поле ее импульс, В. Фреттер мог установить природу вторичных частиц, генерированных в данном взаимодействии. Энергия первичных частиц определялась по вторичным из кинематических соотношений. Исходя из этих данных, В. Фреттер также получил, что энергия, переданная в акте нуклон-нуклонного столкновения вторичным π -мезонам, заметно падает.

С другой стороны, в работе, доложенной на конференции Н. Л. Григоровым и выполненной им и его сотрудниками из Московского университета на высоте гор другим методом, был получен существенно иной результат. В этих экспериментах с помощью установки, состоящей из двух рядов больших ионизационных камер с слоями графита и свинца над ними и между ними, определялся спектр толчков ионизации, вызванных γ -квантами, приходящимися примерно на тот же энергетический интервал, как и γ -кванты в опытах Бристольской группы. Однако результаты этих опытов привели к интегральному спектру γ -квантов вида $N_{\gamma}(> E) \sim E^{-1,7 \pm 0,5}$. Таким образом, по этим данным спектр γ -квантов больших энергий повторяет спектр первичных ядерно-активных частиц и, следовательно, доля энергии, передаваемая в актах ядерных взаимодействий π -мезонам, в среднем остается приблизительно постоянной.

С результатами Н. Л. Григорова согласуются данные, полученные Ю. А. Смородиным и его сотрудниками также с помощью ионизационных камер на высоте ~ 10 км. В этой работе для показателя степени γ для толчков ионизации, вызываемых электронно-фотонной компонентой в области энергий 10^{10} — 10^{12} эв, т. е. в той области, к которой относятся данные В. Фреттера, получилось значение, близкое к $1,7$, причем полученные кривые не дают указаний на увеличение крутизны спектра в области более высоких энергий.

Проведенное на конференции обсуждение методик обеих групп работ показало, что и те и другие выполнены на высоком экспериментальном уровне и что, следовательно, полученные в них данные, безусловно, заслуживают серьезного внимания. Для разъяснения создавшейся интересной ситуации необходимы дальнейшие исследования, которые, несомненно, будут иметь большое значение для понимания процессов, происходящих при высоких энергиях.

Большой интерес конференции вызвали также предварительные результаты по нуклон-нуклонным взаимодействиям при энергиях 200 — 300 Бэв, полученные в лаборатории космических лучей Физического института АН СССР совместно с работниками Московского университета. В этих опытах, выполненных на высоте 3860 м над уровнем моря, изучались взаимодействия, вызванные в тонком слое гидрата лития, помещенном между двумя камерами Вильсона. Энергия первичной частицы, вызвавшей данное взаимодействие, определялась по полному энерговыделению в многослойном «ионизационном калориметре», помещенном под камерами Вильсона, а энергия вторичных—

по кривизнам следов в нижней камере Вильсона. Так как энергия первичной частицы определялась в этих опытах независимо от углового распределения вторичных и, следовательно, без предположения о симметричном разлете их в системе центра инерции, то это дало возможность проверить, в какой мере это предположение выполняется для индивидуальных актов взаимодействий. Обработанные до настоящего времени немногие случаи, по-видимому, показывают, что довольно часто большинство вторичных частиц вылетает в системе центра инерции либо «вперед», либо «назад» (по отношению к движению первичной частицы в лабораторной системе). Среднее значение коэффициента неупругости (т. е. отношения энергии вторичных частиц к энергии первичной) близко к 0,3. Но для индивидуальных взаимодействий значения этой величины сильно колеблются, и детальное изучение этого распределения показывает, что симметричные ливни весьма соблазнительно рассматривать как результат взаимодействия двух виртуальных π -мезонов, а асимметричные ливни—как столкновение виртуального π -мезона одного нуклона с центральной областью («кernом») другого. Если дальнейшая обработка уже полученного материала и новые данные подтвердят предварительный вывод о существовании асимметричных ливней, то это откроет большие возможности для исследования особенностей внутреннего поля нуклонов.

Следует отметить, что в докладе Н. Л. Григорова о работе, выполненной им и его сотрудниками также с помощью «ионизационного калориметра», были приведены данные, показывающие, что для области энергий $\geq 10^{11}$ эв коэффициент неупругости, характеризующий соударения ядерно-активной частицы с ядром атома железа, примерно равен 1. Таким образом, для этой области энергий переход от легкого ядра (литий, углерод) к ядру со средним атомным номером (железо) существенно меняет средний коэффициент неупругости. С другой стороны, Н. Л. Григоров подчеркнул, что такого изменения коэффициента неупругости не происходит для частиц с энергией 10^{10} эв. Поэтому Н. Л. Григоров и его сотрудники считают, что в области энергий 10^{10} эв происходит качественное изменение характера взаимодействия ядерно-активных частиц с тяжелыми атомными ядрами.

Во время конференции было проведено плодотворное обсуждение вопроса о так называемых «двугорбых» звездах, впервые изученных в работах польских и чехословацких физиков. В ливнях такого типа угловое распределение вторичных частиц соответствует изотропному вылету их в собственных системах двух возбужденных центров («fire ball»), образовавшихся в процессе взаимодействия и разлетающихся в противоположных направлениях. Вопрос о «двухцентровой модели» ядерных столкновений подробно рассматривался также в ряде теоретических работ японских физиков, доложенных на конференции С. Хаякава. Как выяснилось из обсуждения, большинство физиков, работающих в этой области, считает, что подобные «двугорбые» звезды, образующиеся при распаде двух fire ball'ob, составляют сравнительно небольшую долю ливней, хотя установленной точки зрения по этому вопросу еще нет.

В серии работ, выполненных под руководством казахского физика Ж. С. Такибаева, помимо данных о «двугорбых» звездах, был рассмотрен также вопрос о роли последовательных соударений, которые могут происходить при попадании первичной частицы на сложное ядро (в частности, в фотоэмульсиях). При этом авторы приходят к выводу, что ливни, которые во многих работах интерпретируются как результат соударения нуклона с нуклоном, в действительности скорее следует рассматривать образованными в результате соударения первичной частицы с несколькими нуклонами ядра мишени. Существенную роль при этом играет реабсорбция антинуклонов внутри ядра.

В ряде работ, доложенных как советскими, так и иностранными физиками, приводились данные, подтверждающие сделанные несколько лет назад выводы о приблизительном постоянстве поперечного импульса вторичных частиц. Опыты с фотоэмульсиями и камерами Вильсона показывают, что величина поперечного импульса вторичных частиц в первом приближении не зависит от энергии первичной частицы и от угла вылета вторичной. Для вторичных π -мезонов P_{\perp} может быть принято равным примерно $2,5 \mu_{\pi} c$, где μ_{π} —масса π -мезона. Для вторичных тяжелых мезонов P_{\perp} , по-видимому, в несколько раз больше.

Эти результаты нашли себе дальнейшее подтверждение также и в доложенной на конференции работе японских физиков С. Канеко, О. Кусумото, С. Матсумото и М. Танака по изучению характеристик ядерных взаимодействий с энергиями 10—30 Бэв, выполненной с помощью эмульсионной стопки, экспонированной на высоте 29 км над Японией. Твердое установление этих данных, несомненно, имеет большое значение для истолкования процессов взаимодействий при высоких энергиях.

На заседаниях как официальных, так и дополнительных, посвященных теории процессов взаимодействия при высоких и сверхвысоких энергиях, было детально обсуждено современное состояние и перспективы гидродинамической теории взаимодействия. Основные идеи, относящиеся к этой проблеме, уже были высказаны несколько лет назад. Однако в последнее время в дальнейшем развитии этих теорий были достигнуты существенные успехи.

Основные работы в этой области принадлежат советским и японским физикам. На конференции были заслушаны: обстоятельный обзорный доклад Е. Л. Фейнберга, доклад С. Хайакава о теоретических работах по множественному образованию мезонов, выполненных за последнее время в Японии, объединенный доклад по целой группе работ, сделанный Д. С. Чернавским, доклады Г. В. Ваггина (Италия), К. Зитте (Израиль) и др.

В докладе Е. Л. Фейнберга было подчеркнуто, что вопрос о правильности теорий процессов, происходящих при высокой энергии, существенным образом связан с проблемой применимости современных представлений о пространстве и времени для весьма малых расстояний.

Одним из интересных моментов, дискутировавшихся в этих докладах, являлось рассмотрение соотношений между различными теориями процессов при высоких и сверхвысоких энергиях (теория Ферми—Ландау, теория Гейзенберга и др.), проведенное, в частности, в работах молодого советского теоретика Г. А. Милехина. В этом рассмотрении было выяснено влияние вида уравнения состояния ядерного вещества в гидродинамической теории Ландау, с одной стороны, и вида лагранжиана взаимодействия в теории Гейзенберга, с другой, на различные характеристики акта ядерного взаимодействия, вытекающую отсюда связь обеих теорий и условия перехода одной теории в другую. В докладе японского физика З. Коба также подчеркивается, что существующие различные варианты гидродинамической теории ядерных столкновений должны рассматриваться не как исключаящие друг друга, а скорее как взаимно дополняющие.

Большой интерес представляет также разделение нуклон-нуклонных соударений на центральные и периферические. По существу, теории Ландау и Гейзенберга в их первоначальной форме являются теориями центральных соударений, в которых вся энергия сталкивающихся частиц преобразуется в энергию вторичных частиц. Но как показывает целый ряд экспериментальных данных, упоминавшихся выше, и как это следует из общих соображений, значительную долю всех нуклон-нуклонных соударений должны составлять соударения с передачей вторичным частицам лишь сравнительно небольшой доли энергии первичной частицы, или, как говорят, соударения с малой неупругостью. Такой процесс должен быть характерен для периферических соударений нуклонов. Поэтому выяснение особенностей таких соударений и попытки теоретического истолкования периферических соударений, несомненно, имеют большое значение. Как показали доклады Е. Л. Фейнберга и Д. С. Чернавского, изучение проблемы периферических соударений, осуществляющихся через обмен малым числом мезонов, находится еще в начальной стадии. Однако здесь уже получены определенные результаты, да и сам факт постановки вопроса о периферических соударениях показывает наличие определенного успеха в деле изучения структуры нуклонов.

Значительное число докладов на конференции было посвящено широким атмосферным ливням. При этом рассматривались оба аспекта этой проблемы: широкие атмосферные ливни как средство изучения ядерных процессов при наиболее высоких энергиях, встречающихся в природе, и как средство для решения некоторых проблем теории происхождения космических лучей, в частности для выяснения условий генерации частиц с сверхвысокими энергиями.

В последние годы для изучения широких атмосферных ливней был создан ряд больших комплексных установок, работающих как на уровне моря, так и на высотах гор—в Московском университете, в Физическом институте АН СССР на Памире, в Тбилиси, в Токио, в горах Норикюра (Япония), в Харвелле (Англия), в Кембридже (США), в Боливи, в Южной Индии, в Австралии и в других местах. Эти установки непрерывно совершенствуются, дополняются новыми устройствами и дают все более детальные данные о широких ливнях.

При рассмотрении докладов, сделанных на конференции по широкому атмосферным ливням, следует прежде всего отметить близость направлений работы в СССР и в Японии. В обеих странах делаются попытки получить по данным о широких ливнях характеристики процессов, происходящих при высоких энергиях. При этом особое внимание обращается на детальное изучение стволов широких ливней.

В докладе, сделанном Г. Т. Зацепиным о работе по изучению стволов атмосферных ливней, выполненной на уровне моря с помощью установки, созданной в Московском университете, были сообщены подробные данные, полученные по энергетическим и пространственным характеристикам различных компонентов индивидуальных ливней. Примененная методика, в которой основную часть составляла двухслойная система ионизационных камер, позволила установить, что потоки энергии электроно-фотонной компоненты стволы ливней не имеют однозначной связи с числом частиц в ливне, хотя в среднем наблюдается пропорциональность. Разброс энергии стволы ливней вокруг среднего значения зависит от числа частиц в ливнях, уменьшаясь с увеличением числа частиц. Для ливней с общим числом частиц на уровне моря $\sim 10^5$ измеренные энергии стволы ливней различаются в 10 раз и более. Энергетический состав ядерно-активной компоненты ливней вблизи оси также резко меняется от ливня к ливню. Таким образом, экспериментальные данные по стволам ливней устанавливают

наличие больших флуктуаций в их характеристиках. Проведенные теоретические расчеты показывают, что если предположить, что ливень возникает от небольшого числа фотонов высокой энергии, то вычисленное значение для потока энергии электронно-фотонной компоненты в стволе ливня оказывается примерно в 5 раз больше, чем найденное на опыте.

Теоретическое рассмотрение вопроса о развитии ливней было представлено в другом докладе Г. Т. З а д е п и н а, согласно которому возникновение ливней происходит в результате многих взаимодействий первичного нуклона сверхвысокой энергии с ядрами атомов атмосферы. Флуктуации в числе актов соударений, в их распределении в атмосфере и в потерях энергии в отдельном акте определяют флуктуации свойств ливней. Аналогичная картина развития ливней развивалась также в докладе Г. К р а н ш а у (Англия).

Другой точки зрения в этом вопросе придерживается Н. Л. Г р и г о р о в. В своем докладе он подчеркивал роль больших флуктуаций в характеристиках актов взаимодействий при сверхвысоких энергиях и флуктуаций в высоте зарождения широких ливней в атмосфере. Исходя из этих представлений, он считает возможным объяснить характеристики широких атмосферных ливней без представления об определяющей роли ядерно-активных частиц.

Флуктуации в высоте зарождения широких атмосферных ливней рассматривались в докладе японского физика С. М и я к е. При этом С. Мияке приходит к выводу, что наличие флуктуаций может сказаться на определяемом виде энергетического спектра первичных частиц в области очень высоких энергий и истинное число таких частиц может быть существенно меньше, чем это принимается в настоящее время.

Роль флуктуаций в развитии широких ливней подчеркивается также в работе Токийской группы физиков (С. Ф у к у и и др.), выполненной на уровне моря с помощью комплексной установки, состоящей из сцинтилляционных устройств, черенковских счетчиков, неонового бессчетчикового годоскопа, детекторов μ -мезонов и многослойного детектора для изучения переходного эффекта. На высотах гор флуктуации в ливнях изучались С. М и я к а и др. также с помощью комплексной установки, состоящей из сцинтилляционных счетчиков, нейтронного монитора и огромной камеры Вильсона, объемом 2300 литров, внутри которой помещалась 21 свинцовая пластина.

Важным подходом к экспериментальному изучению флуктуаций в широких ливнях является измерение интенсивности генерируемых ливнями вспышек в атмосфере черенковского излучения. Действительно, интенсивность такой вспышки определяется полным числом частиц ливня, образованных по всей толще атмосферы, и поэтому, сопоставляя для данного ливня интенсивность световой вспышки с числом ливневых частиц на уровне наблюдения, найденного, например, с помощью годоскопа, можно получить определенное представление о величинах флуктуаций в развитии ливней. Черенковскому свечению широких атмосферных ливней, по опытам, проводившимся на Памире, был посвящен доклад А. Е. Ч у д а к о в а и его сотрудников. При этом авторы приходят к заключению, что в первом приближении величина вспышки пропорциональна числу частиц в ливне на уровне наблюдения. С увеличением мощности ливня наблюдается лишь небольшое уменьшение интенсивности света, приходящегося в среднем на одну заряженную частицу. Флуктуации же интенсивности света невелики и для ливней с числом частиц $N > 10^5$ не превышают 50%.

В докладе японских физиков Х. Ф у к у д а, Н. О г и т а, А. У е д а был проведен анализ структуры широких ливней с точки зрения механизма множественного образования мезонов при сверхвысоких энергиях. Авторы при этом пришли к заключению, что высотный ход числа электронов в существенной мере определяется неупругостью соударения и энергетическим спектром вторичных μ -мезонов. Напротив, пространственное распределение электронно-фотонной компоненты практически не зависит от характера взаимодействия и от энергии первичной частицы.

Всестороннее количественное изучение широких ливней на уровне моря с помощью большой установки Московского университета было проведено С. Н. В е р н о в ы м, Г. Б. Х р и с т и а н с е м и их сотрудниками. В этой работе получены детальные данные об энергетическом спектре ядерно-активных частиц и о пространственном распределении потоков энергии ядерно-активной и электронно-фотонной компонент ливней разной мощности. С помощью диффузионной камеры, являющейся частью этой установки, было определено пространственное распределение потока ливневых частиц вблизи самой оси ливня. Для расстояний 5—30 см от оси это распределение является

довольно пологим и имеет вид $\sim \frac{1}{r^n}$, где $n = 0,6 \pm 0,1$.

С помощью установки Московского университета изучалась также μ -мезонная компонента широких ливней. Наиболее интересный результат этой части работы состоит в наблюдении таких нерегулярностей в пространственном распределении потока ливневых μ -мезонов, которые не могут быть объяснены статистическими флуктуациями. Это наводит авторов на мысль о существовании в ливнях групп пространственно-коррелированных μ -мезонов.

Результаты, приводящие к аналогичным заключениям об особенностях генерации μ -мезонов при очень высокой энергии, были получены также японскими авторами с помощью камеры Вильсона, расположенной на больших глубинах под землей (доклад С. Х и г а с и, М. М и т а к и и др.). В докладе И. Л. Р о з е н т а л я и его сотрудников вопрос о возможной трактовке μ -мезонных ливней был рассмотрен с теоретической точки зрения.

μ -мезонная компонента широких ливней на уровне моря изучалась также в работе Т. Е. Краншау и др. (Англия) и К. Грейзеном (США); под землей—в работах Э. Л. Андроникашвили и его сотрудников и на высотах гор С. И. Никольским и др.

В работе грузинских физиков на разных глубинах под землей был детально изучен энергетический спектр ливневых μ -мезонов и определена средняя энергия, приходящаяся на один μ -мезон. При этом оказалось, что показатель спектра μ -мезонов не зависит от величины ливня и для интегрального спектра приближенно равен 1, а средняя энергия μ -мезонов на уровне моря оказалась равной $7-8 Bэ$.

Цикл работ по изучению ливней на высотах гор был доложен С. И. Н и к о л ь с к и м и его сотрудниками.

В этих работах были изучены пространственные распределения потоков энергии, несомых электронно-фотонной и ядерно-активной компонентами ливней разной мощности, и энергетический спектр ядерно-активных частиц, а также сопоставлены характеристики ливней с различным числом частиц в них.

Этими опытами было показано, что в центральной области ливня (в пределах одного метра от оси) энергия, несомая ядерно-активными частицами, существенно превышает суммарную энергию электронов и фотонов. Энергетические спектры ядерно-активных частиц, не сопровождаемых широкими атмосферными ливнями, и частиц, входящих в состав достаточно мощных ливней, оказались различными.

В области энергий $6 \cdot 10^{11}-10^{13} эв$ для «одиночных» ядерно-активных частиц интегральный энергетический спектр имеет показатель степени $\sim 1,5$, а для ливневых частиц он равен примерно 1, причем величина этого показателя заметно зависит от эффективного расстояния от оси ливня. Это приводит к существенной разнице в поглощении тех и других частиц. Число толчков ионизации, вызываемых частицами, входящими в состав ливней, убывает с увеличением толщины свинцового фильтра, находящегося над ионизационными камерами с средним пробегом $570 \pm 120 г/см^2$; для всех же толчков ионизации (среди которых большая часть вызывается «одиночными» частицами) этот пробег равен $340 \pm 60 г/см^2$.

В докладах С. И. Никольского и его сотрудников было проведено также рассмотрение совокупности данных о зависимости различных характеристик ливней от мощности ливней, т. е. от полного числа частиц в них.

Как известно, пространственное распределение как всех заряженных ливневых частиц, так и электронов практически не зависит от полного числа частиц в ливне, т. е. от энергии первичной частицы, вызвавшей данный ливень. Но несколько лет тому назад С. И. Никольский и его сотрудники получили указание на то, что кривая, представляющая зависимость числа ядерно-активных частиц в ливне от полного числа ливневых частиц, существенно меняет свой наклон в области ливней с полным числом частиц $\sim 10^5$ (что соответствует энергии первичных частиц $10^{14}-10^{15} эв$). Тогда для объяснения этой особенности ливней было выдвинуто предположение об изменении характера картины ядерного взаимодействия при этих энергиях. Сейчас С. И. Никольским и его сотрудниками получены данные, свидетельствующие о том, что поток частиц в центральных областях ливней с полным числом частиц от 10^5 до $5 \cdot 10^5$ поглощается в плотном фильтре сильнее, чем поток частиц в центре ливней с меньшим числом частиц. Сопоставление различных работ показывает, что зависимость числа μ -мезонов в ливнях от полного числа частиц в них также несколько меняется при переходе к наиболее мощным ливням.

Эти новые данные согласуются с точкой зрения С. И. Никольского о существенной разнице в характеристиках ливней, вызванных первичными частицами с энергиями, меньшими и большими $\sim 10^{15} эв$.

Иная точка зрения на причину этих изменений в ливнях была высказана Б. Петерсом (Индия). Петерс полагает, что основная часть ливней с числом частиц $< 10^5$ вызывается протонами. Но при больших энергиях, из-за того что протоны больших энергий уже не могут удерживаться магнитными полями в пределах нашей Галактики, число их резко падает, и основная часть ливней в этой области генерируется ядрами. Это приводит к некоторым различиям в характеристиках ливней, которые, может быть, могут объяснить особенности, найденные С. И. Никольским.

Для решения этого интересного вопроса нужны дальнейшие исследования.

О своих наблюдениях по многостольности ливней с помощью установки из 27 ионизационных камер на уровне моря доложил В. Хазен (США). Оказалось, что из 18 случаев прохождения осей ливней через установку в 16 случаях наблюдался один ствол, в одном случае два и в одном случае три ствола. Венгерские физики (Г. Гемеш, Т. Шандор и А. Шомоди) с помощью камеры Вильсона исследовали соотношение между числом фотонов и электронов в ливнях.

Основной доклад по астрофизическому аспекту широких атмосферных ливней был сделан Б. Росси и его сотрудниками (США). Б. Росси сообщил о целом цикле работ, выполненных в разных местах на уровне моря и на высотах гор в США, Индии и в Бразилии с мощными установками, которыми регистрировались ливни с различным числом частиц, вплоть до огромных ливней с полным числом частиц 10^9 .

Основной регистрирующей частью этих установок являлись большие сцинтилляционные счетчики (в виде диска из сцинтиллирующей пластмассы с соответствующим образом расположенным фотоумножителем), размещенные на сравнительно больших расстояниях друг от друга. Высокая разрешающая способность таких устройств позволяла определять зааздаваемые импульсы, вызванного ливнем в одном счетчике, относительно другого и тем самым находить не только положение оси ливня, но и плоскость, перпендикулярную к ней, и, следовательно, направление оси ливня в пространстве. В некоторых случаях удалось даже заметить искривление поверхности переднего «фронта» ливня. Радиус кривизны этой поверхности оказался равным нескольким километрам.

Определение направления оси ливня в пространстве представляет большой интерес особенно для ливней, вызванных первичными частицами наибольших энергий, направления движения которых слабее всего искажаются магнитными полями мирового пространства. Полученные данные показывают, что и первичные частицы наибольших энергий распределены в пространстве изотропно, что в свою очередь открывает путь для рассмотрения вопроса об условиях, при которых частицы могут приобретать столь высокие энергии.

В спектре наиболее мощных по числу частиц ливней также не было обнаружено каких-либо аномалий. Показатель степени для интегрального спектра в этой области имеет значение $1,9 \pm 0,1$.

То обстоятельство, что установка давала возможность определять угол наклона оси ливня, позволило получить данные о поглощении ливней в атмосфере. Прогреб для поглощения оказался равным 113 ± 9 г/см², что находится в хорошем согласии с определениями этой величины, выполненными другими методами в работах большинства других авторов.

На конференции был доложен ряд попыток установить изменение числа зарегистрированных широких атмосферных ливней в зависимости от солнечного и звездного времени и широты места наблюдения [К. Грейзен (США); К. Б. А. Мак-Каскер и его сотрудники (Ирландия); С. Озэки (Япония); Д. Д. Крассильников (Якутск); Е. Бредли и Н. Портер (США)]. Однако, несмотря на важность этого вопроса и несмотря на то, что вопрос о вариациях числа широких атмосферных ливней имеет довольно большую историю, до сих пор не получено никаких данных, которые показывали бы действительное существование вариаций числа широких ливней, не обусловленных теми или иными процессами в земной атмосфере.

На конференции был заслушан также цикл докладов, посвященных электромагнитным взаимодействиям и свойствам μ -мезонов при высоких энергиях.

Среди докладов этой группы можно назвать доклады И. П. Иваненко и его сотрудников; А. А. Варфоломеева, И. И. Гуревича и др.; работников Бристольской группы; объединенной группы венгерских и чехословацких физиков, посвященные расчетам развития электронно-фотонных лавин при высокой энергии и сравнению этих расчетов с экспериментальными данными, особенно для начальной стадии развития лавины. Особое внимание в этих работах было обращено на учет влияния многократного рассеяния и поляризации среды на тормозное излучение (эффекты Ландау—Померанчука и Тер-Микаэляна). Измерения производились в фотоэмульсионных стоках, облученных космическими лучами на больших высотах, и относятся к электронно-фотонным лавинам, вызванным фотонами с начальной энергией 10^{10} — 10^{13} эв. Несмотря на то, что измерения здесь довольно трудны, а статистические флуктуации велики, общий результат этих работ сводится к тому, что для области высоких энергий эффекты, обусловленные средой, довольно велики и что формулы Бете—Гайтлера, выведенные без учета их, не могут описать экспериментальных данных. Напротив, теория электромагнитных процессов при высоких энергиях, учитывающая влияние среды, по-видимому, находится в достаточно хорошем согласии с экспериментом.

Обширный цикл расчетов по каскадной теории, в частности по сопоставлению развития электронно-фотонных лавин в воздухе и в алюминии, произведен с помощью электронно-счетной машины Х. Месселем и его сотрудниками (Австралия).

Уникальный случай электронно-фотонного ливня был найден М. Шайном и его сотрудниками (США) в стопке эмульсии, экспонированной на высоте около 35 км. Авторы считают, что первичный протон с энергией, близкой к 10^{15} эв, испытал в эмульсии соударение, в котором был генерирован π^0 -мезон или Σ^0 -гиперон, вызвавший электронно-фотонный ливень. Из сравнения параметров ливня с теорией можно заключить, что энергия, переданная в электронно-фотонную компоненту, составляла около

$2 \cdot 10^{13}$ эк. Ливень можно было проследить в эмульсии на протяжении почти восьми каскадных единиц, причем вблизи от точки выхода из эмульсии в нем насчитывалось почти 7000 заряженных частиц.

Цикл докладов на конференции был посвящен μ -мезонам высокой энергии. Несколько лет назад в литературе появились экспериментальные работы, посвященные так называемому аномальному рассеянию μ -мезонов. В этих работах указывалось, что число случаев рассеяния μ -мезонов на большие углы при их прохождении через плотное вещество превосходит ожидаемое, если исходить из чисто кулоновского взаимодействия. Однако экспериментальные данные были довольно противоречивыми. По этому вопросу на конференции были доложены работы А. И. Алихана и его сотрудников, в которых авторы показывают, что в действительности никакого аномального рассеяния не существует и, следовательно, для объяснения свойств μ -мезонов нет необходимости вводить представления о каких-то дополнительных взаимодействиях.

К. Грейзен (США) в своем докладе сделал попытку из величины «положительного избытка» (т. е. из превышения числа положительно заряженных частиц в проникающей компоненте космического излучения над числом отрицательно заряженных частиц) сделать заключение о коэффициенте неупругости при соударении нуклонов. При этом он пришел к выводу, что в среднем доля энергии, передаваемая в одном акте ядерного взаимодействия протоном с энергией 600 *Бэв* генерированным π -мезонам, составляет $(9 \pm 4)\%$.

В теоретической работе Г. Т. Зацепина произведены оценки интенсивности электронно-фотонной компоненты, сопровождающей μ -мезоны высокой энергии ($\geq 10^{12}$ эк). При этих энергиях большую роль играет процесс прямого образования μ -мезоном электронно-позитронных пар. Оценки, произведенные Г. Т. Зацепиным, показывают, что наличие этих пар в принципе даст возможность измерять энергию отдельных μ -мезонов очень высокой энергии с помощью установки, состоящей из большого числа слоев ионизационных камер, разделенных свинцом.

Из работ, посвященных первичной компоненте космического излучения, наибольший интерес конференции, естественно, вызвали работы, выполненные с помощью спутников и ракет.

Как известно, в результате опытов, проведенных советскими и американскими физиками на спутниках и космических ракетах, было открыто новое явление—ореол заряженных частиц вокруг Земли. Заряженная частица, находящаяся в магнитном поле Земли, движется по винтовой линии вдоль магнитной силовой линии из одного полушария в другое. Попадая вблизи магнитного полюса в область повышенного градиента магнитного поля, частица как бы отражается, поворачивается назад и таким образом начинает совершать колебания вдоль силовых линий относительно экваториальной плоскости. Таким образом, магнитное поле образует вокруг Земли своеобразную «ловушку», в которой накапливаются колеблющиеся частицы. Поэтому сравнительно слабый источник частиц, инжектирующий их в «магнитную ловушку», может обеспечить большую плотность частиц в ореоле. Однако вопрос об инжекции частиц в «ловушку» не является столь простым из-за симметрии условий захвата и вылета. Если заряженная частица не может вылететь из «ловушки», то она не может и попасть в нее извне. Поэтому вопрос о происхождении ореола заслуживает специального рассмотрения.

Проведенные опыты на советских и американских спутниках и ракетах показали, что вокруг Земли имеются две зоны интенсивного излучения—внутренняя и внешняя, разделенные друг от друга областью малой интенсивности. Внутренняя зона представляет собой пояс в экваториальной области, простирающийся в оба полушария до 30 — 35° , начинающийся на высотах между 500 и 1000 километров и оканчивающийся на высотах в несколько тысяч километров. Внешняя зона по широтам доходит, по-видимому, до 65 — 70° , а по высоте в районе экватора занимает область 3—5 радиусов Земли.

Состав обеих зон также существенно различен. Энергия частиц во внутренней зоне значительно больше энергии частиц во внешней зоне, где преобладают электроны с энергиями в десятки киловольт. Кроме того, во внутренней зоне имеются также протоны с сравнительно высокими энергиями.

На конференции доклад об американских работах по ореолу частиц вокруг Земли был сделан их руководителем Дж. А. Ван-Алленом. Этот доклад содержал как уже известные ранее данные, так и новые данные, опубликованные впервые. Измерения, проведенные на американской ракете «Пионер-IV», показали значительное возрастание интенсивности во внешней зоне на расстояниях более 20 000 км от центра Земли. Эти данные говорят о больших флуктуациях интенсивности во внешней зоне и о мощной инжекции в эту зону частиц от Солнца в период, предшествовавший полету ракеты.

Вариации интенсивности на сравнительно небольших расстояниях от Земли были обнаружены при наблюдениях искусственного пояса, созданного проведенным американцами взрывом атомной бомбы (эксперимент «Аргус»).

Большой интерес вызвало сообщение Дж. А. Ван-Аллена об исследовании частиц во внутренней зоне с помощью фотоэмульсий, поднятых на ракете на высоту ~ 1000 км. Полученный в этом эксперименте результат—обнаружение во внутренней зоне протонов с энергиями 50—700 Мэв—согласуется с данными, найденными с помощью третьего советского искусственного спутника.

Доклад о советских экспериментальных работах в этой области был сделан С. Н. Верновым и А. Е. Чудакowym. В нем были изложены систематические данные о внутренней и внешней зонах высокой интенсивности вокруг Земли, а также результаты измерений интенсивности непосредственно первичного космического излучения в межпланетном пространстве. Были приведены данные о пространственном расположении зон, о стабильности интенсивности излучения в них, о составе и об энергетическом спектре составляющих их частиц. При этом было обнаружено изменение энергетического спектра электронов вблизи границы внешней зоны. Во внутренней зоне были отождествлены протоны с энергией порядка 100 Мэв; на краю же внутренней зоны преобладают частицы малых энергий.

Подавляющее большинство частиц внешней зоны является электронами с энергией 20—100 кэв. Если представлять интегральный энергетический спектр этих электронов в районе максимума излучения в виде $E^{-\gamma}$, то $\gamma \approx 5$.

Что касается непосредственно первичного космического излучения, то проведенные опыты показали, что интенсивность его в межпланетном пространстве за пределами внешней зоны остается постоянной и соответствующей той интенсивности, которая получается в опытах на тех высотах вблизи поверхности Земли, где не сказывается поглощение в атмосфере $\left(\text{т. е. } \sim 0,18 \frac{\text{част}}{\text{см}^2 \text{сек стерад}} \right)$.

На конференции были заслушаны также специальные доклады, посвященные попыткам интерпретировать полученные данные о зонах высокой интенсивности излучения. В докладе С. Н. Вернова, А. И. Лебединского, И. П. Иваненко, А. Е. Чудакова подробно анализируется выдвинутая ими ранее гипотеза о том, что внутренняя зона образуется за счет распада нейтронов. Первичные частицы космических лучей, обладающие большой энергией, вызывают в верхних слоях атмосферы ядерные расщепления. Некоторая доля нейтронов, выбитых из ядер атомов атмосферы, распадается на сравнительно небольших расстояниях от Земли, и протоны и электроны от распада нейтронов захватываются в «магнитную ловушку», образованную магнитным полем Земли.

Что касается внешней зоны, то она, по-видимому, образуется в результате воздействия мощных потоков заряженных частиц от Солнца на магнитное поле Земли. При таких воздействиях результирующее магнитное поле Земли и потока в данном месте пространства на какой-то период может стать таким, что станет возможным захват частиц, попавших в область магнитного поля ивне.

Наиболее трудным и до сих пор по существу не решенным остается вопрос о причинах, приводящих к ограниченности области, занимаемой внутренней зоной, и отделению ее от внешней зоны.

В докладе американского физика С. Ф. Сингера был рассмотрен вопрос об утечке протонов высокой энергии за счет несохранения адиабатического инварианта и об утечке медленных протонов за счет их перезарядки.

Большой интерес конференции вызвал доклад Н. В. Пушкова и Д. Ш. Долгинова о наблюдении аномалий магнитного поля Земли в районе максимальной интенсивности внешней зоны, которые были обнаружены ими с помощью магнитометра, установленного на борту советской космической ракеты.

В этой работе были впервые получены непосредственные экспериментальные данные о напряженности магнитного поля Земли на расстояниях от ее поверхности в несколько земных радиусов и установлена связь магнитного поля с ореолом частиц вокруг Земли.

На конференции были заслушаны также сообщения австралийских ученых о данных, полученных ими при наблюдениях за сигналами третьего советского спутника, и японских ученых об аналогичных наблюдениях за американскими спутниками.

В. И. Красовский, И. С. Шкловский и др. сообщили о проведенных ими с помощью третьего советского спутника измерениях числа электронов с энергиями порядка 10 кэв.

Среди доложенных на конференции работ, посвященных изучению первичного космического излучения в верхних слоях атмосферы, основную часть занимают исследования, выполненные с помощью фотоэмульсионных стопок, поднятых на большую высоту на баллонах (доклады С. Дж. Уоддингтона (Англия), Д. Е. Эванса; М. Шайна и группы японских авторов; К. Кристьянссена и др. (Швеция); С. Бисваса и др. (Индия)).

В этих работах исследовался спектр по зарядам тяжелых ядер в составе первичного космического излучения, их энергетический спектр при разной степени активности Солнца, спектры на разных широтах и некоторые методические вопросы.

В работе М. Шапиро и др. на максимальных высотах, доступных для экспериментов с помощью баллонов (при давлении $2,7 \text{ г/см}^2$), получен (по еще не обработан) обширный материал по числу ядер Li, Be и B в составе первичного излучения. Как известно, вопрос о доле ядер Li, Be и B в составе первичного излучения имеет большое значение для оценки того пути, который первичные частицы космических лучей проходят в мировом пространстве до попадания в земную атмосферу. Поэтому в последние годы разными авторами был предпринят целый ряд попыток разрешить его; но пока еще полной ясности не получено. Однако материалы, доложенные на конференции, позволяют рассчитывать, что уже в сравнительно близком будущем доля ядер Li, Be и B в составе первичного излучения будет надежно определена.

В докладе А. Н. и Т. Н. Чарьяни по результатам исследований, выполненных со счетчиками в стратосфере на разных широтах, были приведены данные о полном потоке первичных частиц космического излучения. Для этой величины для экватора получено значение, равное $0,48 \pm 0,04 \frac{\text{част}}{\text{см}^2 \cdot \text{мин} \cdot \text{стерад}}$.

Х. В. Неер (США) сообщил о результатах, полученных в итоге большой серии полетов баллонов с ионизационными камерами, проведенных на разных широтах от северного и почти до южного геомагнитных полюсов. Эти опыты помогли уточнить положение излома на кривой, представляющей зависимость интенсивности космических лучей на больших высотах от широты для южного и северного полушарий.

Н. М. Кочарьяни и его сотрудники с помощью магнитного спектрометра определили спектр протонов на высоте 3200 м над уровнем моря и сопоставили его со спектром первичного излучения.

По вопросу о происхождении космических лучей на конференции больших новых идей высказано не было. В докладах В. Л. Гинзбурга, И. С. Шкловского, А. А. Корчака и С. И. Сыроватского развивались теории происхождения космических лучей во вспышках сверхновых звезд в связи с новыми радиоастрономическими данными. Следует указать, что работы советских авторов, развивающих это направление, получили широкое признание.

Я. П. Терлецкий доложил о своей работе по расчету ускорения зарядов электромагнитным полем земного магнитного диполя.

Японские физики (С. Хайакава, М. Кошиба, М. Нишида и др.) в своих работах по происхождению космических лучей обращают основное внимание на химический состав первичного излучения и в этой связи на условия ускорения частиц в сверхновых звездах. Л. Девис (США) сообщил о результатах своего рассмотрения ряда вопросов, связанных с характером движения частиц космических лучей в Галактике и с обсуждением возможности их ускорения на разных стадиях эволюции Галактики.

Значительное число докладов было представлено на конференцию по вопросу о вариациях интенсивности космических лучей. Но в связи с ограниченностью времени и тем, что эта проблема довольно детально обсуждалась год назад в Москве на Ассамблее по Международному геофизическому году, в программу конференции включались лишь короткие доклады по вариациям с изложением материалов, имеющих значение для астрофизики. Все же для характеристики общей картины состояния проблемы на конференции был заслушан обстоятельный обзорный доклад Л. И. Дормана.

В этом докладе Л. И. Дорман подчеркнул, что изучение вариаций интенсивности космических лучей началось еще в начале двадцатых годов. Но в самое последнее время оно получило мощный импульс в связи с обширными работами по программе МГГ. Перед началом МГГ, в 1956 г., в различных точках Земли непрерывную регистрацию интенсивности космических лучей вело около 40 станций. В настоящее же время работает свыше сотни таких станций, расположенных на территории Советского Союза и почти всех других стран мира на уровне моря и на высотах гор, в том числе в Гренландии и в Антарктиде.

На этих станциях с помощью унифицированной аппаратуры ведутся измерения как суммарной интенсивности космического излучения, так и отдельных компонент его: жесткой и мягкой компонент, идущих по вертикали и под некоторым углом к вертикали с различными азимутами; нейтронной компоненты с помощью специально разработанного нейтронного монитора; μ -мезонная компонента регистрируется с помощью экранированных камер и под землей; в ряде пунктов проводится непрерывная регистрация числа широких атмосферных ливней; в последнее время широкое распространение получило исследование вариаций непосредственно первичной компоненты космических лучей, в частности вариаций потока протонов, α -частиц и тяжелых ядер, с помощью различной аппаратуры (в том числе и фотоэмульсий), поднимаемой на большую высоту на баллонах. Весьма ценные данные о вариациях интенсивности первичной компоненты космических лучей и о распределении их по земному шару могут быть получены и уже получаются с помощью аппаратуры, устанавливаемой на искусственных спутниках Земли.

Такой широкий фронт исследований дает в настоящее время возможность надежно изучать отдельные конкретные изменения интенсивности космических лучей и связывает их с определенными процессами в земной атмосфере, в геомагнитном поле и в атмосфере Солнца. Кроме того, детальное изучение вариаций космических лучей дает ценные сведения о корпускулярных потоках, испускаемых Солнцем и вызывающих магнитные бури на Земле, о состояниях и процессах в межпланетной среде, о слабых, но протяженных космических магнитных полях. Таким образом, данные, получаемые из изучения вариаций космических лучей, существенно дополняют наши сведения, получаемые методами астрономии и радиоастрономии, и примыкают к тем результатам по исследованию космоса, которые следуют из работ со спутниками и ракетами.

Если к этому добавить, что аппаратура для работы по вариациям космических лучей значительно проще установок, необходимых для изучения ядерных процессов при высоких и сверхвысоких энергиях, то это делает понятным весьма широкое распространение работ в этой области.

Вместе с тем следует иметь в виду наличие факторов, значительно осложняющих анализ данных по вариациям интенсивности космических лучей. Прежде всего надо отметить, что, за исключением отдельных, сравнительно редких всплесков, амплитуда этих вариаций, особенно на уровне моря и на небольших высотах, весьма мала; кроме того, изменение атмосферных условий, и в первую очередь давления и распределения температуры, также приводит к изменениям интенсивности космических лучей, причем эти метеорологические эффекты по-разному сказываются на разных компонентах. Учет поправок на метеорологические эффекты не всегда является достаточно точным, так как для их определения необходимо знать для данного момента времени распределение температуры по всей толще атмосферы; наконец, заряженные частицы первичных космических лучей, попадая в область магнитного поля Земли, существенно меняют направление своего движения.

Однако эти трудности не являются принципиальными, и в последнее время достигнуты существенные успехи в их преодолении.

Из многочисленных докладов по конкретным вопросам вариаций интенсивности космических лучей, представленных на конференцию советскими, японскими, американскими, английскими, венгерскими, индийскими, немецкими, шведскими, аргентинскими, боливийскими, итальянскими и австралийскими физиками, в этом, ограниченном по объему обзоре мы можем указать лишь на малую часть.

Большой интерес конференции вызвал доклад С. Н. Вернова, А. Н. Чарачьяна и др. об исследовании вариаций интенсивности космических лучей в стратосфере. Проводя систематические и достаточно частые запуски в стратосферу шаров-зондов с регистрирующей аппаратурой на трех широтах, авторы подробно изучили замеченные ими ранее на большой высоте вариации с 27-дневным периодом (очевидно, обусловливаемые вращением Солнца вокруг оси) и зависимость их амплитуды от активности Солнца. Оказалось, что эти вариации вызываются частицами малых энергий, и поэтому амплитуда их сильно зависит от высоты места наблюдения.

Существенными представляются также проведенные ими наблюдения, относящиеся к моментам магнитных бурь. Эти наблюдения еще раз подчеркивают большую сложность картины вариаций космических лучей, обусловленных магнитными бурями. Проведенные измерения показывают, что иногда (например, во время магнитной бури 8 июля 1958 г.) примерно двукратное увеличение числа частиц малых энергий (меньше 1,5 Бэв) сопровождается уменьшением числа частиц более высоких энергий.

Ряд докладов по этим вопросам представила московская группа физиков, занимающаяся изучением вариаций космических лучей (Я. Л. Блох, Е. Г. Глокова, Л. И. Дорман, Н. С. Каминер и др.). В этих работах удалось провести детальный анализ вариаций интенсивности космических лучей в период 20 с лишним магнитных бурь и получить отсюда некоторые характеристики каждой бури (распределение магнитного поля во фронте корпускулярного потока, вызывающего данную бурю, характер вхождения Земли в поток и др.).

Детальное изучение изменений интенсивности космических лучей, связанных с магнитными бурями, о которых сообщалось в докладах Р. Чессона и М. Маеда (США), А. М. Кюфорта, Д. Каттани, М. Галли (Италия) и др., по-видимому, позволяет получить определенные сведения о корпускулярных потоках и об их связи с магнитной активностью. Так как магнитные бури существенно различны не только по своей интенсивности, но и по своему характеру, по скорости своего нарастания, по степени влияния на интенсивность космических лучей и т. п., то для получения таких сведений необходимы всесторонние исследования на различных высотах всех компонент космического излучения на многих станциях, расположенных по всему земному шару. Делая некоторые предположения о скоростях и размерах корпускулярных потоков, несущих в межпланетном пространстве замороженные магнитные поля, и о характере охвата Земли этими потоками (боковой стороной, передним фронтом на разных расстояниях от оси и т. п.), можно сопоставить теоретически ожидаемые и экспериментальные данные о вариациях интенсивности космических лучей и тем

самым с большей или меньшей определенностью выбрать из различных предположений о корпускулярных потоках наиболее правдоподобные.

Естественно, что для этого направления исследований большая сеть станций, ведущих непрерывные измерения разных компонент космического излучения, особенно необходима, и поэтому можно думать, что широкий фронт работы, развернувшийся во время МГГ, позволит существенным образом изменить всю ситуацию с изучением корпускулярных потоков в межпланетном пространстве по вариациям интенсивности космических лучей.

Об обширной программе комплексного изучения вариаций в одном пункте сообщила якутская группа физиков. Измерения жесткой компоненты проводились на уровне моря и на разных глубинах под землей, при полетах шаров-зондов с помощью телескопа на двойных совпадениях и на уровне моря для широких атмосферных ливней с разным числом частиц.

Резко континентальный климат Якутска особенно благоприятен для определения барометрических и температурных коэффициентов для различных компонент космического излучения, и естественно, что данные якутских физиков в этом отношении являются особенно обстоятельными.

Подземные измерения интенсивности жесткой компоненты для определения атмосферных коэффициентов производились также венгерской группой физиков.

Группа докладов: Дж. Симпсона (США), Г. Эллиота (Англия), А. Эмерта (ФРГ)—была посвящена вопросу о модуляции энергетического спектра первичного излучения солнечной активностью и вызвала большой интерес конференции. В докладе Г. Эллиота данные об энергетической зависимости вариации с 11-летним периодом и о солнечной вариации сопоставляются с различными моделями солнечного или межпланетного магнитного поля. При этом оказывается, что эти данные не противоречат предложенному Х. Альфвенем представлению о дипольном характере этого поля.

Доклад В. А. Сарабай и других индийских физиков был посвящен изучению на низких широтах энергетического спектра анизотропной части первичного излучения и вариаций космических лучей, связанных с геомагнитными возмущениями.

Аргентинские физики представили на конференцию большую группу докладов по наблюдениям вариаций нуклонной и жесткой компонент космического излучения в южном полушарии и о связи их с солнечными вспышками.

В докладах Дж. Эскобара и других физиков из Боливии сообщалось об определении температурных коэффициентов для жесткой компоненты и для широких ливней на высотах гор в районе экватора. В этих опытах, в согласии с уже имеющимися данными, было получено, что восточно-западная асимметрия имеет величину около 14%. Опыты показали также, что она имеет суточную вариацию с амплитудой около 0,3%, причем вариации для частиц, приходящих с востока, заметно больше, чем для частиц, приходящих с запада.

В целом конференция, несомненно, сыграла серьезную роль в развитии исследований по космическим лучам, и прошедшие на ней обсуждения и дискуссии будут способствовать значительно более глубокому пониманию процессов, происходящих при высоких энергиях, и выявлению связи космических лучей с различными астрофизическими явлениями.

Конференция с самого начала и до конца прошла в деловой и дружеской атмосфере, и проведение ее, бесспорно, поможет дальнейшему укреплению контактов и связей между учеными разных стран.

Н. А. Добротин