

## ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ СПЕКТР АДРОНОВ БЕЗ ЛИВНЕВОГО СОПРОВОЖДЕНИЯ

В. И. Соколовский

Энергетический спектр ядерно-активных частиц, не сопровождающихся ливнем в атмосфере, является отражением энергетического спектра первичных протонов космического излучения и зависимости от энергии эффективного сечения для неупругого взаимодействия нуклон - ядро атома воздуха. Актуальность исследования спектра ядерно-активных частиц без ливневого сопровождения возросла в связи с новыми данными /8,10/ о росте эффективного сечения неупругого взаимодействия нуклон-ядро и изменением показателя энергетического спектра первичных протонов при энергии  $\sim 2 \cdot 10^{12}$  эв. Имеющиеся в настоящее время экспериментальные данные /1-7/ о спектре ядерно-активных частиц без сопровождения охватывают диапазон энергий ядерно-активных частиц, простирающийся до  $10^{14}$  эв.

В настоящей работе обсуждаются результаты измерений такого типа, выполненные на Тянь-Шаньской высокогорной станции (высота 3300 м над уровнем моря).

Измерения проводились с помощью ионизационного калориметра размером  $3 \times 3$  м<sup>2</sup>, системы 144 годоскопических счетчиков ГС-80 и системы из 64 сцинтилляционных детекторов (площадь каждого 0,25 м<sup>2</sup>), входящих в состав комплексной установки /11,12/.

Установкой отбирались случаи прохождения через ионизационный калориметр адронов, когда суммарное энерговыделение в калориметре превышало  $6 \cdot 10^{10}$  эв. В каждом событии определялась величина энергии, вы-

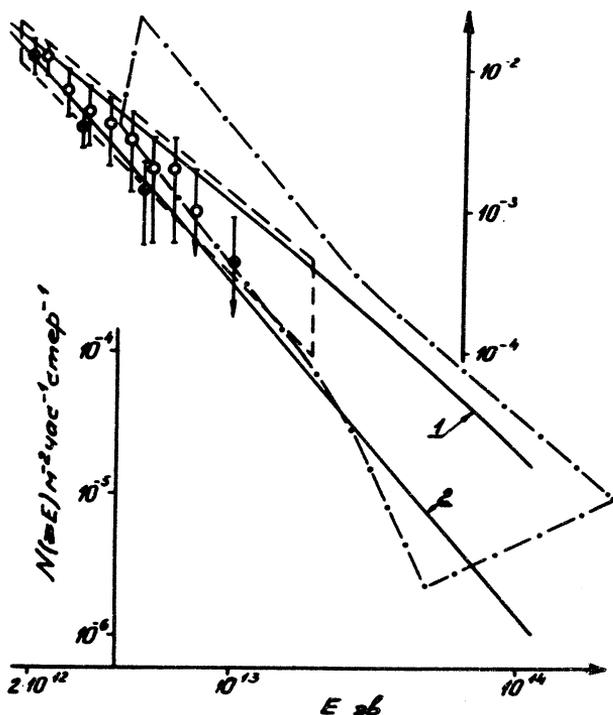
деленной в калориметре лавиной, генерированной адронном высокой энергии. В процессе последующей обработки были отобраны лишь те события, в которых не сработал ни один годоскопический и сцинтилляционный счетчик. Одновременное использование, в отличие от работ /1-7/, двух независимых систем (годоскопической и сцинтилляционной) для регистрации ливневого сопровождения позволило более надежно выделять события с нулевым сопровождением.

Толщина калориметра (3,5 пробега для ядерного взаимодействия) недостаточна для полного поглощения энергии ядерно-активных частиц /13/. При переходе от энергии лавины, измеренной с помощью калориметра, к энергии ядерно-активной частицы, вызвавшей эту лавину, использовалось среднее значение проноса энергии за пределы данного калориметра, определенное в работе /14/.

Наличие случайных совпадений в детекторах ливневого сопровождения и прохождение регистрируемого первичного протона через один из этих детекторов приводит к тому, что часть случаев регистрации одиночного протона исключается из рассмотрения при наших критериях отбора событий. Поправочный коэффициент для учета этих эффектов был определен экспериментально и равен 1,27.

Энергетический спектр ядерно-активных частиц без сопровождения, полученный таким образом, приведен на рис. 1.

Как упоминалось выше, ядерно-активная частица без сопровождения может рассматриваться как первичный протон, прошедший атмосферу без взаимодействия. Однако на опыте одновременно с такими частицами регистрируются нуклоны, испытавшие взаимодействия в атмосфере и сопровождающиеся ливнем с числом частиц, меньшим пороговой чувствительности установки, или даже вторичные пионы с таким сопровождением. С ростом энергии первичной частицы растет вероятность регистрации установкой ливня, возникающего при вза-



Р и с. 1. Энергетический спектр адронов без ливневого сопровождения на высоте 3300 м над уровнем моря. Черные точки - данные работы /2/; кружки - данные настоящей работы; область, ограниченная штрих-пунктиром - работа /4/; область, ограниченная штриховой линией - работа /3/. Спектры из работ /2,3,4/ пересчитаны к высоте 3300 м с использованием величины пробега взаимодействия протонов в атмосфере  $80 \text{ г/см}^2$ . Сплошные линии: кривая 1 - спектр первичных протонов /9/, пересчитанный к высоте 3300 м (пробег взаимодействия протонов  $80 \text{ г/см}^2$ ), кривая 2 - спектр первичных протонов /8/, пересчитанный к высоте 3300 м (пробег взаимодействия  $80 \text{ г/см}^2$ ).

взаимодействии первичного протона в атмосфере. Значение энергии нуклонов, начиная с которого примесь нуклонов, испытавших ядерное взаимодействие в атмосфере, можно пренебречь и считать, что все зарегистрированные нуклоны являются первичными протонами, прошедшими до уровня наблюдения без потерь энергии, зависит от параметров установки и определяется расчетным путем. Для установки, использованной в настоящей работе, эта энергия  $\sim 2 \cdot 10^{12}$  эв. В работах /6,7/ параметры установок и критерии отбора событий таковы, что поток ядерно-активных частиц без сопровождения может превышать в несколько раз поток прошедших без взаимодействия первичных протонов. Поэтому данные этих работ не включены в наше рассмотрение.

На рис. 1 сопоставлены экспериментальные данные, полученные в настоящей работе, и результаты измерений /2,3,4/. Спектры ядерно-активных частиц из работ /3,4/ пересчитаны к высоте 690 г/см<sup>2</sup>. При пересчете использовано значение пробега для взаимодействия протона в атмосфере, равное 80 г/см<sup>2</sup>. Как видно из рисунка 1, спектр одиночных ядерно-активных частиц, полученный в настоящей работе, совпадает в пределах ошибок с результатами работ /2,3,4/.

На рисунке 1 изображены также спектры протонов на высоте 690 г/см<sup>2</sup>, полученные путем пересчета спектров первичных протонов, приведенных в работах /8,9/. Использованное значение пробега для взаимодействия протона равно 80 г/см<sup>2</sup>. Сравнивая эти кривые с результатами настоящей работы и работ /2,3,4/ можно сделать вывод, что имеющаяся в настоящее время совокупность экспериментальных данных о спектре ядерно-активных частиц без ливневого сопровождения хорошо согласуется со спектром первичных протонов, полученным путем анализа экспериментальных данных об интенсивности различных компонент космического излучения в атмосфере /9/ при пробеге взаимодействия протонов  $\sim 80$  г/см<sup>2</sup>.

Спектр первичных протонов, полученный авторами работы /8/, обнаруживает меньшее согласие с совокупностью данных о спектре адронов без ливневого сопровождения. Если принять во внимание вывод тех же авторов /10/ об уменьшении пробега для взаимодействия протонов с ростом энергии протонов, то различие между спектром /8/ и экспериментальными данными о спектре ядерно-активных частиц без ливневого сопровождения увеличивается.

Поступила в редакцию  
30 ноября 1970 г.

#### Л и т е р а т у р а

1. Х. П. Бабаян, Н. Л. Григоров, Г. Г. Дулян и др. Изв. АН СССР, Сер. физич., **30**, 107 (1966).
2. В. А. Собиняков. Диссертация, НИИЯФ МГУ, 1970 г.
3. Е. А. Мурзина. Диссертация, НИИЯФ МГУ, 1969 г.
4. **K. Kamata, T. Maeda et al. Proc. ICSR, Budapest, 1969.**
5. Е. А. Мурзина, С. И. Никольский, Е. И. Тукиш, В. И. Яковлев. Ядерная физика, **1**, 1079 (1965).
6. А. Д. Ерлыкин, С. И. Никольский, В. И. Яковлев. Изв. АН СССР, Сер. физ., **32**, 427 (1968).
7. И. Н. Ерофеева. Труды Всесоюзной конф. по косм. лучам, Ташкент, 1968 г.
8. **H. L. Grigorow et al. Proc. ICSR, Budapest, 1969.**
9. С. И. Никольский. Препринт ФИАН, № 35, 1970 г.
10. Н. Л. Григоров, В. Е. Нестеров, И. Д. Рапопорт, И. А. Савенко, Г. А. Скуридин, Препринт МГУ, Москва, 1969 г.
11. А. Д. Ерлыкин, Н. М. Нестерова, С. И. Никольский, В. И. Соколовский, Е. И. Тукиш, Е. П. Юдин, В. И. Яковлев. **Proc. ICSR, 2**, 731 (1965).
12. Т. П. Аминова, В. С. Асейкин, Ю. Н. Вавилов, Т. Главач, Т. В. Данилова и др. Сб. Космические лучи, № 10, 104, 1969 г.
13. В. С. Мурзин. Препринт А-5, ФИАН, 1969 г.
14. В. И. Яковлев. Диссертация, ФИАН, 1969 г.