

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ СПЕКТР АДРОННОЙ КОМПОНЕНТЫ КОСМИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ВЫСОТЕ 3333 м НАД УРОВНЕМ МОРЯ

Р. А. Нам, Н. М. Никольская, С. И. Никольский,
В. И. Соколовский, Е. И. Тукиш, В. И. Яковлев

Данный эксперимент является продолжением исследования энергетического спектра адронной компоненты космического излучения с помощью ионизационного калориметра¹. Задача такого исследования возникла довольно давно, когда из вида спектра ионизационных толчков на высоте 3860 м был сделан вывод об изменении показателя в энергетическом спектре ядерно-активных частиц, что связывалось с изменением картины неупругого взаимодействия нуклонов при энергии вблизи 10^{14} эв.² Впоследствии выяснилось, что приблизительно в той же области энергий изменяется энергетический спектр первичных частиц, а также были получены указания на влияние пространственного разрешения детектора ядерных взаимодействий на вид наблюдаемого спектра,³ чем ставился под сомнение сам факт изменения показателя энергетического спектра ядерно-активных частиц в глубине атмосферы.

Измерения,¹ выполненные с помощью ионизационного калориметра, подтвердили наличие изменения энергетического спектра адронов на высоте 3333 м над уровнем моря в области энергий вблизи $5 \cdot 10^{12}$ эв. Однако статистическая точность результата была невелика, и непосредственные данные о спектре частиц с энергией $\leq 10^{12}$ эв были искажены пороговыми эффектами измерений. Новая серия измерений на том же ка-

лориметре отличалась более строгим исключением краевых эффектов на калориметре и снижением энергетического порога регистрируемых событий. Отсутствие влияния порога регистрации на весь приводимый ниже спектр событий проверялось в дополнительной серии измерений с вдвое сниженным порогом регистрации. Переход от спектра энерговыделений в калориметре к энергетическому спектру адронов на высоте 3333 м над уровнем моря был осуществлен тем же методом, что в работе¹. Результаты представлены на рис. 1, где для сравнения приведены также данные работы¹.

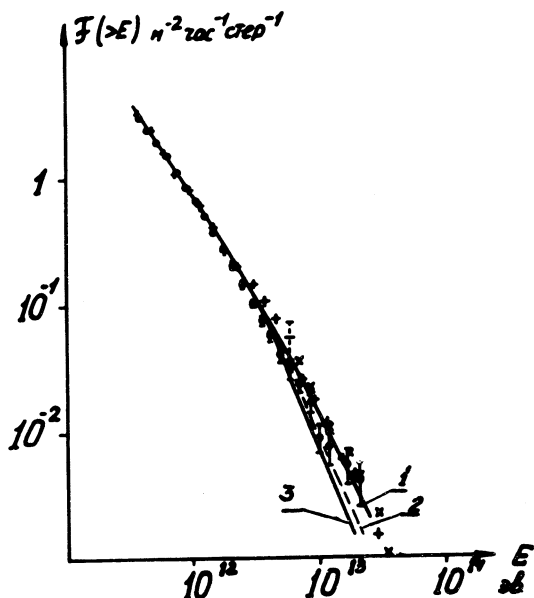
В интервале энергий $5 \cdot 10^{11} - 10^{14}$ эв энергетический спектр адронов на высоте 3333 м над уровнем моря может быть выражен в виде

$$F(>E) = 0,85 \left(\frac{E}{10^{12} \text{ эв}} \right)^{-1,6} \left(1 + \frac{E}{6 \cdot 10^{12} \text{ эв}} \right)^{-0,6} \frac{\text{м}^2}{\text{час стер}}$$

что хорошо согласуется с приведенным в работе¹ энергетическим спектром с показателем γ , изменяющимся при $\sim 5 \cdot 10^{12}$ эв (от $\gamma = 1,58 \pm 0,08$ для $E < 5 \cdot 10^{12}$ эв до $\gamma \approx 2,2$ для $E > 5 \cdot 10^{12}$ эв). Некоторое различие данных в интервале энергий $(3 - 6) \cdot 10^{12}$ эв может быть приписано чисто статистическим флуктуациям. На рис. 1 приведена двукратная ошибка для наиболее отклоняющейся от наших данных точки. Так как изображен интегральный спектр, то те же 12 "лишних" событий объясняют отклонение от наших данных остальных трех точек в серии измерений¹.

В области энергий ядерно-активных частиц выше $7 \cdot 10^{12}$ эв в части событий (до 30%) имеется объективная трудность в разделении лавин от двух частиц, одновременно попадающих на калориметр на малых расстояниях друг от друга. Однако это, по-видимому, слабо влияет на величину показателя спектра, так как в той же области энергий показатель спектра суммарного энерговыделения во всем ионизационном калориметре площадью $0,9 \text{ м}^2$ практически не отличается от показателя энергетического спектра адронов ($\gamma = 2,14$ для

спектра энерговыделения, данные показаны на рис. 1 (косым крестом). Наблюдающееся изменение энергетического спектра может быть связано с изменением показателя спектра первичных нуклонов, или с изменением коэффициента неупругости, или с изменением эффективного сечения для неупругих столкновений нуклонов с ядрами⁴. На рис. 1 приведены результаты расчетов влияния указанных трех факторов по отдельности: разного изменения первичного спектра ($\gamma = 1,6$ при энергии первичных нуклонов $E < 4 \cdot 10^{13}$ эв и $\gamma = 2,1$ при $E > 4 \cdot 10^{13}$ эв), порогового изменения при той же энергии коэффициента неупругости (от $\bar{k} = 0,45$ при $E < 4 \cdot 10^{13}$ эв до $\bar{k} = 0,66$ при большей энергии) и изменения свободного пробега для неупругого столкновения ($\lambda = 90$ г/см² при $E < 4 \cdot 10^{13}$ эв и $\lambda = 60$ г/см² при большей энергии). При этом были использованы результаты расчетов методом Монте-Карло прохождения нуклонов через атмосферу и генерации ими вторичных пионов⁵. На первый взгляд наилучшее согласие расчета с экспериментом получается в предположении соответствующего изменения первичного энергетического спектра. Однако энергия, при которой нужно предположить это изменение, в несколько раз ниже энергии изменения первичного энергетического спектра по данным о широких атмосферных ливнях. К тому же предположение о плавном изменении показателя первичного энергетического спектра ухудшает согласие расчета с экспериментом, резкое же изменение первичного энергетического спектра представляется физически необоснованным. Что касается двух других причин изменения энергетического спектра адронов на горах, то приведенные расчетные кривые на рис. 1 характеризуют предельную величину изменения пробега для неупругого столкновения и коэффициента неупругости. Однако при этом следует иметь в виду, что влияние увеличения эффективного сечения было бы меньше, если бы оно было связано либо с дополнительными взаимодействиями при



Р и с. 1. Энергетический спектр адронов космического излучения на высоте 3333 м над уровнем моря. Кружками показаны результаты наших измерений, прямой крест — данные¹ (пунктиром показана величина двукратной ошибки), косой крест — спектр суммарного энерговыделения в ионизационном калориметре под 10 см свинца. Расчетные спектры даны для изменения показателя спектра первичных нуклонов (кривая 1), изменения коэффициента неупругости (кривая 2) и изменения величины эффективного сечения (кривая 3).

малом коэффициенте неупругости, либо с отдельными актами передачи энергии налетающего нуклона одному энергетически выделенному пиону. Сильное влияние увеличения коэффициента неупругости на энергетический спектр адронов в глубине атмосферы, которое видно из рис. 1, объясняется тем, что увеличение среднего коэффициента неупругости в расчетах⁵ было достигнуто путем резкого уменьшения вероятности столкновения с малым коэффициентом неупругости. Дальнейшее увеличение статистической точности экспериментальных данных об энергетическом спектре адронов на высотах гор вряд ли позволит сделать выбор между перечисленными выше тремя возможностями объяснения причин изменения спектра в интервале между $2 \cdot 10^{12}$ и 10^{13} эв. Более перспективным кажется исследование зарядового состава адронной компоненты на уровне гор, так как согласно изложенным здесь расчетам изменение энергетического спектра вследствие изменения эффективного сечения или коэффициента неупругости должно сопровождаться увеличением доли пионов в несколько раз.

Поступила в редакцию
9 июля 1970 г.

Л и т е р а т у р а

1. С. И. Никольский, В. И. Яковлев. Труды Всесоюзной конференции по физике космических лучей. Ташкент, 1968 г., часть 1, вып. 2.
2. Е. А. Мурзина, С. И. Никольский, В. И. Яковлев. ЖЭТФ, 35, 1298 (1958).
3. Х. П. Бабаян и др. Изв. АН СССР, сер. физ., 26, 228 (1962).
4. С. И. Никольский. Изв. АН СССР, сер. физ. 33, 1501 (1969).
5. Т. В. Данилова. Краткие сообщения по физике, № 10, 27 (1970).