

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ СПЕКТР μ -МЕЗОНОВ И АТМОСФЕРНЫЕ ЛИВНИ ПОД БОЛЬШИМИ ЗЕНИТНЫМИ УГЛАМИ

В.Д.Воловик, И.И.Залюбовский, В.М.Карташев

В работе получен интегральный спектр μ -мезонов под большими зенитными углами в интервале энергий $0,28 \text{ Тэв} \leq E_{\mu} \leq 35 \text{ Тэв}$. Произведено сравнение с данными других авторов.

Изучение энергетического спектра μ -мезонов сверхвысоких энергий космических лучей может позволить оценить вклад в формирование этого спектра μ -мезонов, рожденных, например, в "прямых" процессах

[1] или от распада сверхтяжелых частиц [2]. Наиболее светосильным методом исследования энергетического спектра μ -мезонов при сверхвысоких энергиях является метод измерения спектра горизонтальных атмосферных ливней ГАЛ [3]. Пересчет от спектра ГАЛ по числу частиц N к энергетическому спектру μ -мезонов возможно проводить, предполагая, нормальные или аномальные взаимодействия μ -мезонов в атмосфере. Сравнение энергетического спектра μ -мезонов, полученного в результате пересчета от спектра ГАЛ, с "истинным" энергетическим спектром дает возможность судить о роли аномальных взаимодействий μ -мезонов [4, 5] в образовании ГАЛ.

Измерение спектра ГАЛ по числу частиц производилось на специализированной установке Харьковского госуниверситета, содержащей восемь сцинтилляционных детекторов площадью 1 м^2 , предназначенных для отбора ГАЛ и для измерения положения оси ливня в пространстве. Мощность ливня определялась с помощью 12 годоскопических детекторов, каждый из которых состоит из ~ 200 счетчиков Гейгера — Мюллера типа МС-9, работающих в режиме импульсного высоковольтного питания. Светосила установки для ГАЛ с $N = 5 \cdot 10^3$ составляет $2,4 \cdot 10^2 \text{ м}^2 \cdot \text{стерад}$ и для ГАЛ с $N = 3 \cdot 10^4 - 3,55 \cdot 10^3 \text{ м}^2 \cdot \text{стерад}$.

За 900 часов непрерывной работы было обнаружено 8 ливней мощностью $3,8 \cdot 10^3 \leq N \leq 4 \cdot 10^4$ в области величин зенитных углов $70 \leq \theta \leq 90^\circ$ при среднем значении возрастного параметра $\bar{s} = 1$.

Интегральный спектр ГАЛ по числу частиц для всей совокупности ливней (включая данные работы [6]) может быть описан степенной функцией с единым показателем степени γ_1 :

$$J (> N > 70^\circ) = K \left(\frac{N}{2 \cdot 10^2} \right)^{\gamma_1} \text{ см}^{-2} \cdot \text{сек}^{-1} \cdot \text{ср}^{-1}, \quad (1)$$

где $K = (4,13 \pm 0,67) \cdot 10^{-9}$, $\gamma_1 = 2,65 \pm 0,1$. Такой вид интегрального спектра согласуется с результатами измерений спектра ГАЛ, полученными в работах [7, 8].

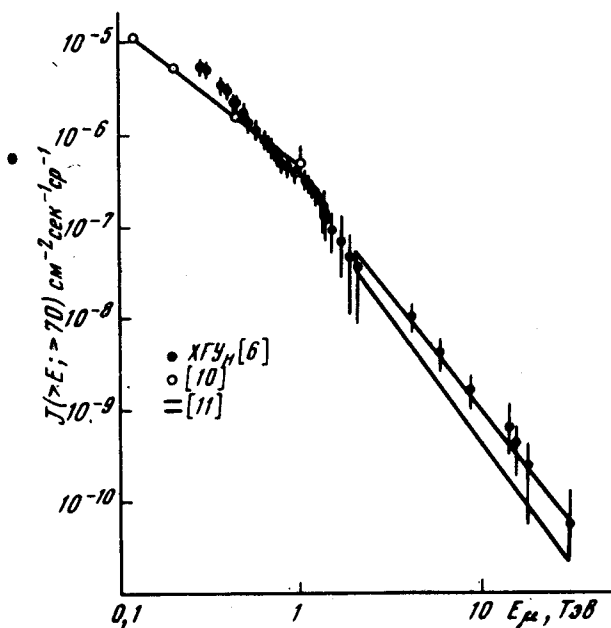
Полагая, что ГАЛ образуется фотонами тормозного излучения μ -мезонов, получаем, что интегральный спектр ГАЛ по числу частиц связан с энергетическим спектром μ -мезонов $P_\mu(E', \theta)$ [9] следующим выражением:

$$J (> N > \theta) = \frac{N_0 t_0}{A} \int_0^\infty P_\mu(E', \theta) W(E', E) dE' dE \int_0^\infty \left[\frac{N}{E_N(t)} \right]^\gamma dt, \quad (2)$$

где N_0 — число Авогадро, $t_0 = 37,1 \text{ г} \cdot \text{см}^{-2}$ радиационная единица длины воздуха, A — атомный вес воздуха, $P_\mu(E', \theta) dE'$ — дифференциальный энергетический спектр μ -мезонов, $W(E', E) dE$ — вероятность рождения мюоном с энергией E' фотона с энергией E , $E_N(t)$ — энергия фотона, вызвавшего ливень мощностью N на расстоянии t , γ — показатель интегрального энергетического спектра μ -мезонов.

На рисунке показан интегральный энергетический спектр μ -мезонов, полученный в результате пересчета от интегрального спектра ГАЛ (1) с помощью выражения (2). Для сравнения приведены спектры μ -мезонов,

измеренные под углом $\theta \approx 83^\circ$ методом магнитного спектрометра [10] и калориметра с рентгеновскими пленками [11].



Энергетический спектр μ -мезонов можно представить в виде:

$$J(>E > 70^\circ) = (1,73 \pm 0,28) \cdot 10^{-5} \left(\frac{E}{0,2} \right)^{-2,53 \pm 0,10} \text{ см}^{-2} \cdot \text{сек}^{-1} \cdot \text{ср}^{-1}$$

в интервале энергий E от 0,28 до 35 Тэв и

$$J(>E > 70^\circ) = (3,15 \pm 1,00) \cdot 10^{-7} E^{-2,59 \pm 0,20} \text{ см}^{-2} \cdot \text{сек}^{-1} \cdot \text{ср}^{-1}$$

в интервале энергий E от единицы до 35 Тэв.

Анализ показывает, что в пределах ошибок наблюдается согласие энергетического спектра μ -мезонов, полученного в настоящей работе, с данными работы [11]. Расхождение абсолютных величин интенсивности μ -мезонов в области энергий $0,28 \text{ Тэв} \leq E \leq 0,4 \text{ Тэв}$, полученных в работе [6] и в работе [10], может быть устранено пересчетом эффективной площади регистрации [6] с учетом индивидуальных значений величин возрастных параметров маломощных ливней.

В результате данной работы можно сделать следующие выводы: наблюдается совпадение формы спектров ГАЛ и горизонтального потока μ -мезонов вплоть до энергий μ -мезонов $\sim 35 \text{ Тэв}$; наблюдается хорошее согласие в абсолютных величинах значений интегральной интенсивности ГАЛ и μ -мезонов. Поэтому можно заключить, что нет, по-видимому, существенных изменений ни в механизме генерации μ -мезонов таких энергий, ни в механизме их взаимодействия с ядрами атомов воздуха вплоть до энергий $\sim 35 \text{ Тэв}$.

При существенно больших энергиях исследование рождения и взаимодействия μ -мезонов может проводиться лишь методом регистрации

ГАЛ. Для этого следует создать большую специализированную комплексную установку, обладающую светосилой в 10 раз больше данной установки. Подобный проект, очевидно, может быть осуществлен лишь в предгорной местности или при использовании загородных высотных строений.

Авторы благодарны В.И.Карташевой за обработку первичной ливневой информации.

Харьковский
государственный университет
им. А.М.Горького

Поступила в редакцию
1 июля 1976 г.

Литература

- [1] Б.А.Долгошеин, Ю.П.Никитин, Г.В.Рожков. Письма в ЖЭТФ, **22**, 381, 1975.
- [2] Г.В.Куликов, Ю.А.Фомин, Г.Б.Христиансен. Космическое излучение сверхвысокой энергии, М., Атомиздат 1975.
- [3] В.Д.Воловик, И.И.Залюбовский, А.Д.Иванов, А.Т.Каминский, В.М.Карташев, В.К.Мялицын. Изв. АН СССР, сер. физ., **37**, 1421, 1973.
- [4] В.В.Борог, В.Г.Кириллов-Угрюмов, А.А.Петрухин, В.К.Чернятин. Изв. АН СССР, сер. физ., 1761, 1972.
- [5] M.Nagano, T.Naga, S.Kawaguchi, S.Mikamo, K.Suga, G.Tanahashi, T.Matano. J.Phys. Soc. of Japan, **30**, 33, 1971.
- [6] А.Т.Бараник, В.Д.Воловик, И.И.Залюбовский, А.Т.Каминский, В.М.Карташев, В.А.Кныш. Изв. АН СССР, сер. физ., **38**, 1017, 1974.
- [7] E.Böhm, M.Nagano. J. Phys. A: Math., Nucl. Gen., **6**, 1262, 1973.
- [8] P.Catz, J.P.Nachart, G.Milleret, I.Gawin, I.Wdowczyk. Papers 14 Int. Conf. Cosmic Rays, Munich, **6**, 2097, 1975.
- [9] P.Kiraly, M.G.Thompson. A.W.Wolfendale. J. Phys. A: Gen. Phys., **4**, 367, 1971.
- [10] O.C.Allkofer, K.Carstensen, W.D.Dau, E.Fähnders, R.Sobania. Papers 13 Int. Conf. Cosmic Rays, Denver, USA, **3**, 1748, 1973.
- [11] Т.Р.Аmineva, I.Р.Ivanenko, М.А.Ivanova, К.В.Mandritskaya, Е.А.Murzina, S.I.Nikolsky, F.A.Osipova, I.V.Kakobolskaya, N.V.Sokol'skaya, N.I.Talinova, А.Ya. Varkovitskaya, Е.А.Zamchalova. G.T.Zatsepin. Papers 13 Int. Conf. Cosmic Rays, Denver, USA, **3**, 1788, 1973.