Изв. АН Армянской ССР, Физика, 3, 189-195 (1968)

СПЕКТР ШИРОКИХ АТМОСФЕРНЫХ ЛИВНЕЙ ПО ЧИСЛУ ЧАСТИЦ НА ВЫСОТАХ ГОР

Х. П. БАБАЯН, Н. Г. БОЯДЖЯН, Н. А. ГРИГОРОВ, Л. С. ДАВЫДОВА, Р. А. НЫММИК, Л. И. САРЫЧЕВА, В. А. СОБИНЯКОВ, В. Я. ШЕСТОПЕРОВ

Приводятся результаты измерения спектра ШАА по числу частиц на высоте 3200 м над уровнем моря (г. Арагац).

Приведенная абсолютная интенсивность ШАЛ не противоречит экспериментальным данным других авторов, полученных на высотах 3860 и 5200 м над уровнем моря.

Для изучения ряда существенных характеристик широких атмосферных ливней (ШАЛ) авторами была создана установка для регистрации центральных областей ливней. Измерения проводились на высокогорной станции Ереванского физического института на горе Арагац. К настоящему времени на этой установке получено большое количество экспериментальных данных.

На первом этапе анализа полученного материала была определена частота регистрации ливней с заданным числом частиц и проведено сравнение с результатами других работ. Это необходимо для того, чтобы убедиться в правильности работы аппаратуры и отсутствии какой-либо дискриминации при регистрации ливней. В настоящей статье приводятся результаты измерения спектра ШАЛ по числу частиц на высоте 3200 м над уровнем моря (глубина атмосферы 695 г см⁻²).

Установка для регистрации ШАЛ состояла из десяти сцинтилляционных счетчиков площадью 0,25 m^2 каждый, ионизационного калориметра с рабочей площадью 10 m^2 и нескольких групп счетчиков Гейгера-Мюллера. Сцинтилляционные счетчики находились над калориметром (один счетчик) и на расстояниях 3,3; 7 и 12 метров от него (по три счетчика на каждом расстоянии). План взаимного расположения счетчиков и калориметра и описание радиотехнических блоков установки приведены в работе [1]. Схематическое изображение ионизационного калориметра приведено в- работе [2].

Сцинтилляционные счетчики служили для регистрации ШАЛ, определения положения оси ливня (с точностью~1 м) и полного числа частиц в ливне. При измерении спектра ливней показания ионизационного калориметра использовались только для уточнения координат оси и определения угла прихода ливня. При помощи верхних двух рядов камер калориметра, расположенных под 3 и 4 см свинца, положение оси определялось с точностью 20-30 см.

Установка срабатывала каждый раз при совпадении импульсов в четырех центральных сцинтилляционных счетчиках. При этом через счетчик, расположенный над калориметром, должно было проходить более 30 частиц и через каждый из счетчиков, расположенных на расстоянии 3,3 м от центра установки, более 6 частиц. Как показал приведенный расчет, при таком требовании установка со $100^{0}/_{0}$ эффективностью должна регистрировать ливни с числом частиц $N \Longrightarrow (1 \div 2) \cdot 10^{5}$, оси которых падают на ионизационный калориметр. При выполнении указанного требования производилась регистрация амплитуд импульсов во всех сцинтилляторах и ионизационных камерах калориметра. Одновременно с этим фотографировалась годоскопическая картина срабатывания счетчиков Гейгера-Мюллера.

Для того чтобы отобрать только те ливни, оси которых падают на ионизационный калориметр, мы поступили следующим образом. Были выделены события, когда $\rho_0 > \overline{\rho_3}, 3 > \overline{\rho_7} > \overline{\rho_{12}}$, где ρ_0 плотность ливневых частиц, измеренная центральным сцинтилляционным счетчиком, $\overline{\rho_{5,3}}$ – средняя плотность на расстоянии 3,3 *м* от центра установки и т. д. Если при этом плотность частиц, измеренная центральным сцинтиллятором, была максимальной среди показаний всех счетчиков, мы считали, что ось ливня упала на калориметр.

В случаях, когда плотность, измеренная одним из счетчиков, расположенных на расстоянии 3,3 *м* от центрального, была больше ρ_0 , проводился более детальный анализ. При этом мы считали, что ось ливня упала на калориметр только в том случае, если положение оси, вычисленное по показаниям всех счетчиков, с точностью до 1 *м* совпадало с местом пересечения камер двух верхних рядов калориметра, в которых наблюдалась максимальная ионизация. При определении положения оси по счетчикам полагалось, что в центральной области ливня функция пространственного распределения частиц имеет вид $\rho(r) \sim r^{-1}$.

После того, как указанным способом было установлено, что ось ШАЛ падает на калориметр, ее точное положение определялось по показаниям ионизационных камер.

Для того, чтобы определить полное число заряженных частиц N, в общем случае нужно знать плотность частиц на разных расстояниях от оси ливня. На практике часто для определения полного числа частиц в ливне измерения проводят на сравнительно небольших расстояниях от оси ливня и используют известную усредненную функцию пространственного распределения электронов в ливне [3]

$$p(r) = 1.75 \cdot 10^{-3} r^{-1} \exp((r/80) \cdot N.$$
(1)

Точность измерения числа частиц N при этом несколько уменьшается из-за флуктуаций функции пространственного распределения заряженных частиц в индивидуальных ливнях.

Для определения числа частиц в ливне мы использовали показания сцинтилляционных счетчиков. Однако при этом необходимо учитывать, что величина импульса от сцинтиллятора не соответствует плотности заряженных частиц в ШАЛ на данном расстоянии от оси ливня. Измеряемая сцинтиллятором функция пространственного распределения частиц отличается от истинной главным образом за счет ре-

Спектр широких атмосферных ливней

гистрируемых ими ядерных расщеплений и ү-квантов. Степень отличия зависит как от характеристик ливня (полное число частиц, энергия различных компонент ливня), так и от конструктивных особенностей самого счетчика (толщина и материал сцинтиллятора).

Поэтому пока отсутствует хорошо разработанная методика измерения числа частиц в ШАЛ при помощи сцинтилляторов приходится

сцинтилляционную методику объединять со счетчиками Гейгера-Мюллера. В связи с этим для нашей установки при помощи гейгеровских счетчиков была определена функция пространственного распределения плотности частиц, измеряемой сцинтилляторами, и выяснена ее зависимость от числа частиц в ливне N.

Для каждого ливня, регистрируе установкой, известны показания мого всех сцинтилляционных счетчиков, расстояние от оси и полное число заряженных частиц N, определяемое при помощи счетчиков Гейгера-Мюллера по формуле (1). Таким образом, имеются данные о плотности частиц, измеряемой сцинтиллятором в ливне с числом частиц N на расстоянии r от оси $-\rho_c(N, r)$. Все зарегистрированные ШАЛ были разбиты на три группы: $1 \cdot 10^5 \leqslant N \leqslant 2 \cdot 10^5$ $\overline{N} = 1,6 \cdot 10^5, \ 2 \cdot 10^5 \leqslant N < 5 \cdot 10^5 \quad \overline{N} = 3,2 \cdot \times -\overline{N} = 1,6 \cdot 10^5; \ \bigcirc -\overline{N} = 3,2 \cdot 10^5;$ 10⁵, $N \ge 5 \cdot 10^5$, $\overline{N} = 9.6 \cdot 10^5$. Для каждой из этих групп ливней были построе-





ны усредненные пространственные распределения плотности частиц, регистрируемой сцинтилляторами. Эти распределения, нормированные к полному числу частиц в ливне N=10⁵, приведены на рис. 1. Полученные распределения имеют вид

$$P_{c}(N, r) = 5.8 \cdot 10^{-2} \cdot r^{-1.5} (N/10^{5})^{0.8}, \qquad (2)$$

для $N \ge 10^5$ частиц и 4 $m \le r \le 14$ м. Отметим, что этот результат качественно (р_с~N^{0,8}) хорошо согласуется с результатами работы [14]. После преобразования формулы (2) получим

$$N = 33,3 \ \rho_c^{1,25} \cdot r^{1,9}. \tag{3}$$

В описанном варианте установка работала 400 часов. Для каждого случая, когда ось ливня падала на калориметр, по формуле (3) определялось полное число частиц в ливне. При этом, чтобы уменьшить ошибку, связанную с некоторой неопределенностью локации оси ливня (~20 см), при определении N использовались показания счетчиков, расположенных на расстоянии 7 и 12 метров от центра установки. В

191

-			-	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·		the second se
	0		D	COTTL	11	11.15
	100.00	100 C 100 C	1.221	12121 21 21		ALC:
				o carries		

253 ливнях число частиц оказалось выше 1.10⁵, в 193 выше 1,6.10⁵ и в 56 выше 4.10⁵.

Для того, чтобы от измеренной частоты регистрации осей ливней перейти к абсолютной интенсивности ШАЛ необходимо учесть





ряд обстоятельств. Во-первых, может оказаться, что эффективность регистрации ШАЛ зависит от расстояния их осей от центра калориметра и несколько убывает при приближении к его краям. В этом случае мы будем несколько занижать истинную частоту ШАЛ.

Чтобы проанализировать этот эффект мы поступили.

следующим образом. Вся поверхность ионизационного калориметра была разбита на квадраты увеличивающейся площади S, центры которых совпадают с центром калориметра. Для каждого из них была определена плотность осей зарегистрированных ШАЛ d = n/S, где n число осей ШАЛ, упавших на площадь S. Зависимость плотности d от S для ливней с $N > 1, 5 \cdot 10^5$ частиц приведена на рис. 2. Как видно из рисунка, для всей площади ионизационного калориметра $(10,3 \ m^2)$ эффективность регистрации осей ШАЛ составляет 86^{0}_{i0} от эффективности в центре установки. Поэтому, чтобы

в центре установки. Поэтому, чтобы получить истинное количество осей ШАЛ, LgN пересекающих верхнюю поверхность калориметра, число зарегистрированных ливней следует увеличить в 1,15 раза. 2

Второе — это угловое распределение осей ШАЛ. Знание его необходимо для перехода от частоты падения осей ШАЛ на некоторую площадь к их интенсивности в вертикальном направлении. В примененной установке имелась возможность определять угол прихода каждого ливня по направлению создаваемых им в ионизационном калориметре электронно-фотонных и электронно-ядерных каскадов. Если в стволе ливня присут-





ствовали ядерно-активные частицы, то каскады прослеживались по всей глубине калориметра и точность определения угла была около 5°. Если ядерноактивных частиц в стволе ливня не было, то угол прихода ливня определяется по распределению ионизации в четырех верхних рядах камер с точностью ~10°. Измеренное таким образом интегральное

192

Спектр широких атмосферных ливней

распределение ливней по зенитному углу () приведено на рис. 3. Из него можно получить, что частота осей ШАЛ, проходящих в вертикальном направлении в единице телесного угла, в 1,1 раза больше частоты регистрации осей ШАЛ, падающих на ту же площадь по всем направлениям.

Наконец, нужно учесть, что ошибки при определении числа частиц в ливнях приводят к тому, что зарегистрированная частота ШАЛ больше истинной частоты. Это завышение зависит от величины показателя спектра ливней по числу частиц и ошибки при определении N[5]. По нашим оценкам, число частиц в индивидуальном ливне изме-

ряется с точностью ~40°/0. Эта величина определяется в основно м флуктуациями функции пространственного распределения заряженных частиц в ШАЛ [6] и погрешностями при определении числа частиц, прошедших через сцинтиллятор (статистические ошибки). В соответствии с работой [5] такая ошибка (~40%)) при показателе интегрального спектра ливней по числу частиц $\gamma = 1,5$ (см. ниже) приведет к тому, что измеренная нами частота ШАЛ будет на 20% больше истинной. В соответствии с этим зарегистрированную частоту падения на установку осей ШАЛ мы уменьшили в 1,2 раза.

Полученный с учетом этих замечаний спектр ШАЛ по числу по числу частиц • — данные настоячастиц на высоте 3200 м над уров- щей работы, ---- работа [3], нем моря приведен на рис. 4. При $N > 1.6 \cdot 10^5$ частиц интегральный



Рис. 4. Интегральный спектр ливней _._. pабота [7].

спектр ШАЛ имеет вид
$$F (> N) = (4,7 \pm 0,5) \cdot 10^{-2} \left(\frac{N}{1,6 \cdot 10^5}\right)^{-(1,5\pm0,2)}$$

осей m^{-2} час⁻¹ стера a^{-1} .

При N < 1,6.10⁵ частиц измеренный спектр отклоняется от степенного закона. Это связано с радиотехническим порогом установки (требование определенной плотности ливневых частиц в четырех центральных счетчиках).

Для сравнения на рис. 4 приведены спектры ШАЛ, полученные в работах [3] и [7] на высотах 3860 и 5200 м соответственно. Результаты этих работ были пересчитаны к высоте 3200 м в предположении, что число ливней изменяется экспоненциально с высотой. Как видно из рисунка, измеренная нами абсолютная интенсивность ШАЛ не противоречит экспериментальным данным других авторов.

Ереванский физический институт НИИЯФ МГУ

Поступила 29 января 1968

ЛИТЕРАТУРА

- Х. П. Бабаян, Н. Г. Бояджян, Н. Л. Григоров, Л. С. Давидова, Р. А. Ныммик, Л. И. Сарычева, В. А. Собиняков, В. Я. Шестоперов, Изв. АН АрмССР, Физика, в печати.
- 2. Х. П. Бабаян, Н. Г. Бояджян, Н. Л. Григоров, Р. А. Ныммик, В. Я. Шестоперов, Изв. АН СССР, сер. физ., 30, 1713 (1966).
- 3. Ю. Н. Вавилов, О. Н. Довженко, Н. М. Нестерова, С. И. Никольский, А. А. Поманский, Е. И. Тукиш, В. И. Яковлев, Труды ФИАН, 26, 43 (1964).
- 4. К. Уоллас, Труды междунар. конф. по космич. лучам Москва. т. 2, 334, 1960.
- 5. В. С. Мурзин, Изв. АН СССР, сер. физ. 29, 1644 (1965).
- 6. С. И. Никольский, УФН, 78, 365 (1962).
- H. Bradt, G. Clark, M. La. Pointe, V. Demingo. J. Escobar, K. Kamata, K. Murakami, K. Suga, J. Toyoda, Proc. Int. Conf. Cosmic Rays, London, EAS 715, 1965.

ԼԱՅՆ ԱՏՄՈՍՖԵՐԱՅԻՆ ՀԵՂԵՂՆԵՐԻ ՍՊԵԿՏՐԸ ԸՍՏ ՄԱՍՆԻԿՆԵՐԻ ԹՎԻ, ԱԵՌՆԱՅԻՆ ԲԱՐՁՐՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՎՐԱ

Խ. Պ. ԲԱԲԱՏԱՆ, Ն. Գ. ԲՈՅԱՋՅԱՆ, Ն. Լ. ԳՐԻԳՈՐՈՎ, Լ. Ս. ԳԱՎԻԳՈՎԱ, Ռ. Ա. ՆԻՄՄԻԿ, Լ. Ի. ՍԱՐԻՉԵՎԱ, Վ. Ա. ՍՈԲԻՆՅԱԿՈՎ, Վ. Ց. ՇԵՍՏՈՊԵՐՈՎ

Հոդվածում ներկալացված են լ. ա. «. ըստ մասնիկների թվի սպեկտրի ուսումնասիրության արդյունըները ծովի մակերևույթից 3200 մ բարձրության վրա (Արագած)։

ζ. ω. 5. υպեկտրի չափումները կատարվել են այնպիսի սարքավորման օգնությամբ, որը բաղկացած է տասը սցինտիլյացիոն հաշվիչներից յուրաքանչյուրը 0,25 մ2 մակերեսով, իոնիղացիոն կալորիմետրից 10 մ2 էֆեկտիվ մակերեսով և մի քանի խումբ Գեյգերի-Մյուլլերի հաշվիչներից։

 $l. ա. հ. ստացված դումարային սպեկտրը մասնիկների թվի <math>N > 1,6\cdot 10^5$ արժեքների դեպբում ունի հետևյալ տեսքը՝

$$F(>N) = (4,7 \pm 0,5) \cdot 10^{-2} \left(\frac{N}{1,6 \cdot 10^5}\right)^{-(1.5 \pm 02)}$$

ζ. ω. 5. բացարձակ ինտենսիվուβյան ստացված արժեքները չեն հակասում այլ հեղինակների եքսպերիմենտալ տվյալներին, որոնք ստացվել են մակերևույβից 3860 մ և 5200 մ բարձրուβյունների վրա։

SPECTRUM OF EXTENSIVE AIR SHOWER WITH RESPECT TO THE NUMBER OF THE PARTICLES AT MOUNTAIN ALTITUDE

Kh. P. BABAYAN, N. G. BOYADJIAN, N. L. GRIGOROV, L. S. DAVIDOVA R. A. NIMMIK, L. I. SARICHEV, V. A. SOBINIAKOV AND V. Ya. SHESTOPEROV

The results of the investigation on the spectrum of EAS with respect to the number of the particles at an altitude of 3200 m above sea level (Mt. Aragats) are given.

194

Х. П. Бабаян и др.

Спектр широких атмосферных ливней

EAS spectrum measurement is performed with the help of an arrangement consisted of 10 scintillation counters with an 0.25 m^2 area each, an ionization calorimeter with 10 m² working area and some groups of Geiger-Mueller counters.

The obtained integral EAS spectrum in the region of particle numbers $N > 1,6.10^5$ has the form

$$F (> N)_{i}^{s} = (4.7 \pm 0.5) \cdot 10^{-2} \left(\frac{N}{1.6 \cdot 10^{5}}\right) - (1.5 \pm 0.2)$$

The given EAS absolute intensity does not contradict to the experimental data given by other authers obtained at altitudes of 3860 and 5200 m above sea level.