

264
I 49183 2-4 м.

Краткие сообщения по физике № 7 1974

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕНТГЕНОВСКИХ ПЛЕНОК
В УСТАНОВКЕ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ШИРОКИХ АТМОСФЕРНЫХ ЛИВНЕЙ

Н. П. Кузина, С. И. Никольский, К. В. Чердынцева

УДК 539.171.017

Обсуждаются результаты сочетания методики рентгеновских пленок с комплексной установкой для регистрации широких атмосферных ливней. Примеры регистрации семейств γ -квантов и показывают, что метод дает возможность получать более детальную информацию о семействах γ -квантов, о структуре стволов широких атмосферных ливней и об энергетическом спектре электронов и фотонов с энергией $\gg 10^{12}$ эв в ливнях с заданным числом частиц.

Целесообразность сочетания методики рентгеновских пленок с другими способами измерений в космических лучах вытекает из ограниченности методики рентгеновских пленок вследствие высокого порога регистрации, с одной стороны, и из ее экономичности и высокого (~ 100 мкм) пространственного разрешения с другой. Применяемые для измерения энергии частиц устройства большой площади (ионизационные калориметры, спектрометры полного поглощения и т.п.) имеют хорошее временное разрешение, но их пространственное разрешение ($\gg 10$ см) недостаточно для измерения энергии отдельных частиц в электромагнитных и ядерных каскадах высокой и сверхвысокой энергии, идущих из атмосферы.

Основной проблемой объединения весьма различающихся методов измерения является однозначность отождествления событий, зарегистрированных электронной аппаратурой при хорошем временном разрешении и плохом пространственном, с потемнением на рентгеновской пленке, экспонировавшейся длительный период. Метод уточнения времени прохождения частицы космического излучения через стопку ядерных эмульсий путем смещения слоев эмульсии друг относительно друга предлагался И. М. Граменицким и М. И. Подгоренским более 20 лет тому назад. Использование смещающихся рентгеновских пленок для уточнения времени образования электронно-фотонных каскадов было осуществлено в установке /1/.

Нами эта идея была использована при создании Тянь-Цзиньской комплексной установки "ШАЛ" /2/. В ней движущиеся рентгеновские пленки были помещены в большой ионизационный калориметр, что позволяло изучать связь семейств γ -квантов, наблюдаемых в рентгеновских пленках, с ядерными каскадами из атмосферы, воссоздавать структуру стволов широких атмосферных ливней (ШАЛ) и спектр из электронно-фотонной компоненты в области энергий выше 10^{12} эв.

Из 33 семейств, зарегистрированных за время экспозиции пленок, было выбрано 9 семейств γ -квантов, время падения которых на пленку, определенное с точностью 1-3 дня, соответствовало дням работы всей комплексной установки. Магнитная запись экспериментальных данных за эти дни была обработана на ЭВМ. Исследовались случаи, когда энерговыделение в ионизационных камерах, расположенных вблизи места регистрации семейства на рентгеновских пленках, было $> 2,5$ Тэв. Установление тождественности проводилось по совпадению зенитного и азимутального углов падения частиц. Одновременность между семействами γ -квантов и данными остальной установки была найдена в двух случаях, семь семейств не имели данных по ливневой части установки из-за малого эффективного времени работы ее в этот период.

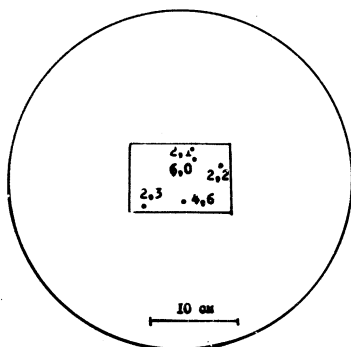
Характеристики семейств γ -квантов, а также ливней, в составе которых они обнаружены, приведены в таблице I, где N - число γ -квантов в семействе; ΣE_γ , E_k , и E_γ - энергии γ -квантов семейства, энергии, выделившаяся в электронно-фотонную и ядерно-активную компоненту, по данным калориметра в месте прохождения семейства γ -квантов, а E_γ и E_a - полная наблюдаемая энергия обеих компонент, выделившаяся в калориметре; H - высота образования семейства над установкой; s - возраст ливня и N_e - полное число частиц в нем. (Все энергии даны в Тэв).

Таблица I

№	N	ΣE_γ	E_k	$\Sigma E_\gamma / E_k$	E_γ	E_γ	E_a	H (км)	s	$N_e \cdot 10^5$
1	5	17,2	167	0,10	30	216	60	0,6	0,6	0,4
2	6	14,5	17,5	0,83	0,6	40	5	2,7	1,1	4,0

Семейство I (рис. I) образовалось в результате акта сильно-го взаимодействия, и анализ его в рамках фэйрболльной модели /3/

дает значение массы ступки, переданной в γ -кванты, $m_\gamma = 1,0 \pm 0,2$ Гэв/ c^2 и лоренц-фактора системы симметричного разлета $\chi_S = (1,7 \pm 0,4)10^4$. Минимальная оценка энергии адрона, вызвавшего это семейство, получается суммированием энергии γ -квантов семейства и энергии E_K , определенной по данным ионизационного calorиметра непосредственно под местом обнаружения семейства.

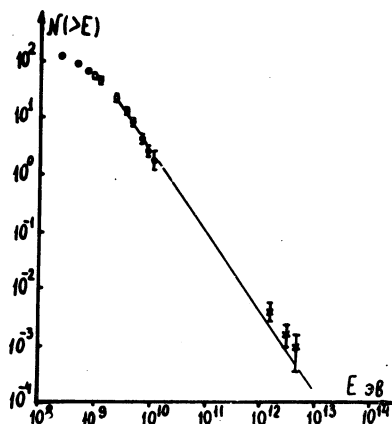


Р и с. 1. Мишеньная диаграмма семейства γ -квантов (№1) в плоскости calorиметра. Цифрами указаны энергии γ -квантов семейства в единицах Тэв. На очерченной площади по данным calorиметра выделена энергия, равная 197 Тэв

Величина этой энергии (47 Тэв) сравнима с энергией первичной частицы, вызвавшей весь атмосферный ливень. В предположении "среднего" ливня, первичная энергия определяется по полному числу частиц в ливне N_0 и равна 80 Тэв. Однако, это значение не согласуется с энергией электронов и фотонов в стволе ливня по данным calorиметра (~ 197 Тэв). Расхождение объясняется тем, что наблюдаемый ливень образуется в глубине атмосферы. Это подтверждается и малым значением параметра возраста лавины $S = 0,6$.

Близость энергий семейства γ -квантов ΣE_γ с энергией адронной компоненты E_A и узкая адронная струя в calorиметре позволяют предположить, что зарегистрированные частицы образовались в одном акте. Однако, удивляет большая величина энергии электронно-фотонной компоненты, зарегистрированная calorиметром (~ 197 Тэв). Эта энергия при наблюдаемом числе частиц в ливне превышает ожидаемую энергию всей электронно-фотонной компоненты ливня на уровне

не наблюдения и энергию первичной частицы в предположении максимума развития ливня. Если принять, что наблюдаемый поток энергии электронно-фотонной компоненты образовался вблизи уровня наблюдения в глубине атмосферы, то обращает на себя внимание отсутствие сравнимого по величине потока в адронной компоненте ствола ливня.



Р и с. 2. Энергетический спектр электронов и фотонов в стволах широких атмосферных ливней с $N_0 = 1,3 \cdot 10^7$. ϕ - наши данные, ψ - данные из работы /7/

Семейство 2 скорее всего представляет электромагнитный каскад, развившийся в воздухе от энергичного γ -кванта ($E_0 = 26$ Тэв, $t = 4$), что не противоречит как возрасту ливня, так и положению семейства на расстоянии 25 см от его оси. Энерговывделение в ядерно-активную компоненту под семейством незначительно. Кроме того, следует отметить хорошее энергетическое согласие между показаниями calorimetра и данными об энергии семейства γ -квантов, полученными по рентгеновским пленкам.

Комплексная методика при исследовании семейств γ -квантов дает недостающие сведения о заряженных и нейтральных пионах, образующихся в актах сильного взаимодействия, о количестве энергии, уносимой разными компонентами ливня.

Исследование энергетического спектра электронно-фотонной компоненты "ШАЛ" в области максимальных энергий важно для выяс-

нения процессов передачи энергии адронов γ -квантам и электронам. Для этой цели мы рассмотрели 70 ливней с полным числом частиц $> 10^5$, в 10 из них были найдены одиночные каскады с энергией выше 10^{12} эв. Вероятность случайного совпадения $3 \cdot 10^{-3}$ на один ливень. Исходя из известной интенсивности стволов такой мощности, на высоте Тянь-Шаня /4/ можно получить энергетический спектр фотонов и электронов с энергией $\geq 10^{12}$ эв в широких атмосферных ливнях. Результат приведен на рис. 2 вместе с данными, полученными в работе /5/ с помощью камеры Вильсона. Как видно из рисунка, экстраполяция этих данных согласуется с нашими результатами. Для сравнения с теоретическими расчетами необходимо существенно увеличить статистическую точность, чтобы иметь возможность перейти к дифференциальному спектру.

В заключение следует отметить большую перспективность комплексных исследований с рентгеновскими пленками. Такие эксперименты являются пока единственной реальной возможностью для изучения электронно-фотонной компоненты широких атмосферных ливней в области энергий выше 10^{12} эв. Метод дает также возможность получать более детальную информацию о структуре стволов ливней и связывает эту проблему с исследованием семейств γ -квантов.

Поступила в редакцию
12 марта 1974 года

Л и т е р а т у р а

1. С. И. Бриккер, Н. Л. Григоров, А. В. Подгурская, и др. Изв. АН СССР сер. физ., 31, 1420 (1967).
2. A. D. Erlykin, N. M. Nesterova, S. I. Nikolsky, et al. Proc. Int. Conf. on Cosmic Rays, London, 2, 731 (1966).
3. Chacaltaya Emulsion Chamber Experiment. Progr. Theoret. Phys. Suppl., 47, 1 (1971).
4. С. И. Никольский. Труды ФИАН, т. 46, 100 (1970).
5. О. Н. Довженко, С. И. Никольский, И. В. Ракобольская. ЖЭТФ, 38, 1361 (1960).