

РЕНТГЕНОВСКИЕ ФОТОНЫ В ШИРОКИХ АТМОСФЕРНЫХ ЛИВНЯХ

Г. А. Базилевская, Г. В. Куликов,^{*} В. И. Назаров^{*},
В. И. Соловьева^{*}, Ю. А. Фомин^{*}, А. Н. Чарахчян,
Т. Н. Чарахчян^{*}

УДК 537.591.15

Проведено исследование рентгеновских фотонов в широких атмосферных ливнях с помощью комплексной установки ШАЛ МГУ. Получено отношение плотности фотонов к плотности электронов в зависимости от расстояния до оси ливня.

Изучение рентгеновских фотонов в ШАЛ было проведено ранее /1/ статистическим методом. Был получен спектр плотностей фотонной компоненты и определено отношение числа событий, вызываемых фотонами, к числу событий, вызываемых электронами в сцинтилляторе, в зависимости от порога энерговыделения. Представляет интерес провести изучение рентгеновских фотонов в индивидуальных ливнях, так как регистрация рентгеновских фотонов может явиться одним из методов исследования ШАЛ.

Исследования были выполнены на комплексной установке ШАЛ МГУ. Наземная годоскопическая система этой установки имеет 84 детектора плотностей заряженных частиц, расположенных в круге радиуса 200 м. Детекторы плотностей представляют собой группы газоразрядных счетчиков. Семь сцинтилляционных детекторов служили для определения угловых координат ливня: зенитного (θ) и азимутального (φ) углов. С помощью наземной годоскопической установки определялись основные параметры ливня: координаты следа оси ливня X, Y в плоскости, перпендикулярной оси ливня, полное число частиц в ливне N и параметр v , характеризующий вид функции пространствен-

^{*} НИИЯФ Московского Государственного университета им М. В. Ломоносова.

ного распределения электронов. Подробное описание установки, методики и точность определения параметров ливня приведены в работе /2/. Комплексная установка ШАЛ МГУ позволяет изучать индивидуальные ливни с числом частиц N , начиная с $5 \cdot 10^4$.

Для регистрации рентгеновских фотонов был применен сцинтиллятор NaJ(Tl) цилиндрической формы диаметром и высотой по 40 мм с фотоумножителем ФЭУ-42. Толщина обшивки сцинтиллятора составляла $0,27 \text{ г/см}^2 \text{ Al}$. На выходе фотоумножителя имелся делитель напряжения, с помощью которого устанавливались пороги для регистрации импульсов, соответствующих различным значениям энерговыделений $E_{\text{пор}}$. Измерения проводились при двух значениях $E_{\text{пор}}$: 50 КэВ и 1200 КэВ. Калибровка сцинтилляционного счетчика проводилась с помощью препаратов Co^{60} , Cs^{137} и Hg^{200} . Импульс от делителя напряжения и импульс от управляющей системы ШАЛ поступали на схемы двойных совпадений и соответствующая индикаторная лампа, помещенная на фотографическом табло комплексной установки, загоралась при наличии в сцинтилляторе энерговыделения выше $E_{\text{пор}}$. Две индикаторные лампочки соответствовали двум порогам регистрации: 50 КэВ и 1200 КэВ. Сцинтиллятор размещался на расстоянии 4 м от центра установки. Измерения были проведены в здании под крышей из алюминия толщиной 2 г/см^2 . Эксплуатация установки проводилась в течение 200 часов.

Зарегистрированные ливни с $\theta \leq 30^\circ$ были распределены по интервалам N и R_1 - расстоянию фотонного сцинтиллятора до оси ливня. Всего было 3 интервала по N : $5 \cdot 10^4 + 10^5$, $10^5 + 10^6$, $10^6 + 5 \cdot 10^6$ и 5 интервалов по R_1 : 5-10, 10-20, 20-30, 30-50 и 50-100 м. В каждом интервале определялись средние значения \bar{N} , \bar{R}_1 , $\bar{\alpha}$ и $\bar{\theta}$ по формулам

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^n x_i / n,$$

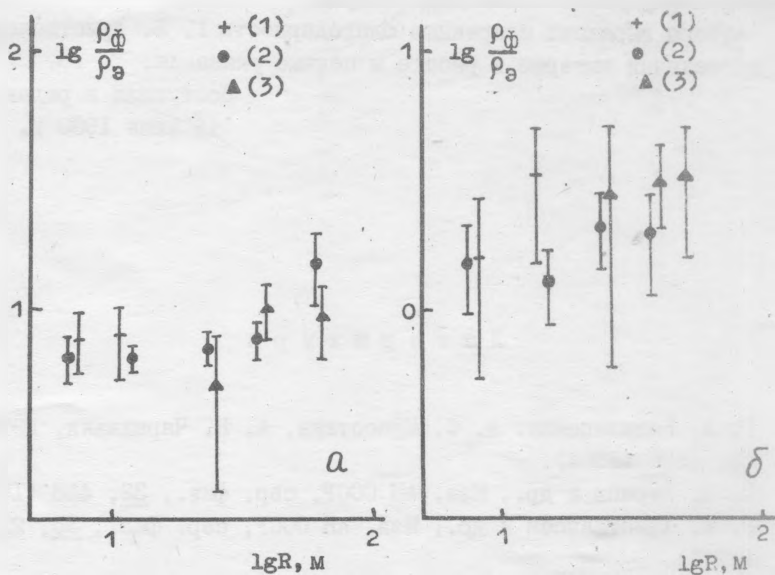
где x_i - измеряемая величина в i -ом ливне, а n - число ливней в данном интервале. Значения \bar{N} для различных интервалов по N , усредненные по всем интервалам R_1 , равнялись соответственно $0,7 \cdot 10^5$, $2,8 \cdot 10^5$ и $20 \cdot 10^5$. Для данного интервала N и различных интервалов R_1 значения \bar{N} отличались не более, чем на 20%, $\bar{\alpha}$ - на $\pm 0,02$, $\bar{\theta}$ - на $2^\circ - 3^\circ$.

Плотность зарегистрированных фотонов находилась следующим образом. Если в m_j ливнях из n_j , зарегистрированных в j -ом интервале ($\bar{n}_j, \bar{E}_{\perp j}, \bar{s}_j, \bar{\theta}_j$) сработал фотонный счетчик с порогом $E_{\text{пор}}$, то плотность таких событий вычислялась по формуле:

$$\rho_j = \frac{1}{\sigma_j} \ln \frac{n_j}{n_j - m_j}.$$

За величину σ_j была принята эффективная площадь, значение которой определялось как угловым распределением ливней по зенитному углу θ , так и угловым распределением фотонов в ливне /3/.

В вычисленные значения ρ вносилась поправка на регистрацию электронов. Число электронов вычисляли, используя полученные значения \bar{N} , \bar{E}_{\perp} и \bar{s} : $\rho_{\text{э}} = \bar{N}f(\bar{E}_{\perp}, \bar{s})$, где f - функция Нишимуры-Каматы-Грейзена. Плотность фотонов определялась по формуле $\rho_{\text{ф}} = \rho - \rho_{\text{э}}$.



Р и с. I. Отношение плотности фотонов к плотности электронов:
 а) $E_{\text{пор}} = 50$ КэВ; б) $E_{\text{пор}} = 1200$ КэВ. + - $\bar{N} = 0,7 \cdot 10^5$;
 • - $\bar{N} = 2,8 \cdot 10^5$; ▲ - $\bar{N} = 2 \cdot 10^6$

На рис. 1а и 1б приведены отношения плотности зарегистрированных фотонов к плотности электронов для двух значений $K_{пор} = 50$ КэВ и 1200 КэВ и для трех значений N .

Как видно из приведенных данных, отношение плотности фотонов к плотности электронов в широком диапазоне расстояний от оси ливня (5 - 100 м) остается примерно постоянным и равным 7 и 2 соответственно для двух значений $E_{пор}$ и не зависит от N .

Таким образом, плотность фотонов с энергией порядка 50 КэВ почти на порядок больше плотности электронов, что позволит в случае применения спинтилляторов NaJ(Tl) увеличить эффективные площади регистрации ШАЛ.

Для интерпретации полученных результатов и перехода от числа регистрируемых фотонов к первичной энергии или к полному числу частиц в ливне необходимы дополнительные измерения дифференциальных энергетических спектров фотонов и расчеты по электронно-фотонной каскадной теории.

Авторы выражают искреннюю благодарность Г. Б. Христиансену за постоянный интерес к работе и ценные указания.

Поступила в редакцию
16 июня 1980 г.

Л и т е р а т у р а

1. Г. А. Базилевская, А. Ф. Красоткин, А. Н. Чарахчян, ЖЭТФ, 46, 1556 (1964).
2. С. Н. Вернов и др., Изв. АН СССР, сер. физ., 32, 458 (1968); Г. Б. Христиансен и др., Изв. АН СССР, сер. физ., 35, 2107 (1971).
3. А. А. Беляев, И. П. Иваненко, Б. Л. Каневский и др. Электронно-фотонные каскады в космических лучах при сверхвысоких энергиях, М., "Наука", 1980 г.