Доклады Академии наук СССР
1955. Том 102, № 2

ФИЗИКА

О. И. ДОВЖЕНКО и С. И. НИКОЛЬСКИЙ

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ НА МАЛЫХ РАССТОЯНИЯХ ОТ ОСИ ШИРОКОГО АТМОСФЕРНОГО ЛИВНЯ

(Представлено академиком Д. В. Скобельцыным 2 II 1955)

Ранее проведенные измерения (1) дали возможность надежно установить пространственное распределение заряженных частиц в широких атмосферных ливнях для интервала расстояний от оси ливня 2—60 м.

Измеренные значения плотности потока заряженных частиц на меньших расстояниях заметно искажены из-за ошибки в определении места прохождения оси ливня. Если средняя относительная ошибка в определении места положения оси $\Delta r/r < 1$, а пространственное распределение имеет вид $\sim 1/r$, то среднее завышение плотности

$$\frac{\Delta\rho}{\rho} \cong \frac{1}{4}\left(\frac{\Delta r}{r}\right)^2 *.$$

Из соотношения видно, что средняя ошибка в определении координат оси $\Delta r = 1$ м приводит к завышению плотности на расстоянии 2 м от оси на 6%. Так как определенное таким образом среднее завышение плотности для расстояний меньше 2 м сравнимо со статистической ошибкой измерений, то представлялось целесообразным получить экспериментальные данные для указанных расстояний, свободные от столь больших поправок.

Пространственное распределение ливневых частиц на расстояниях меньше 1 м изучалось в работе (2) при помощи камеры Вильсона. Полученные экспериментальные данные свидетельствовали о том, что на расстояниях меньше 1 м функция пространственного распределения может быть выражена в виде $\sim r^{-0,5}$, отличающемся от вида функции пространственного распределения ливня на расстоянии 2—10 м от оси ливня $(\sim r^{-(0,95\pm0,05)})$.

Описываемые ниже опыты были предприняты для изучения пространственного распределения заряженных частиц в широком атмосферном ливне на расстояниях 0,5—5 м от оси ливня. Измерения проведены осенью 1953 г. на высоте 3860 м.

Экспериментальная установка, сходная с установкой, примененной в работе (1), представлена на схеме рис. 1. На площади круга с радиусом 105 см равномерно размещались 37 групп по 12 годоскопических счетчиков. Использовались счетчики площадью 14, 17 и 22 см². Кроме этого, имелись 3 группы по 24 годоскопических счетчика площадью 100 см² каждый, расположенные на расстоянии 5 м от центра круга, и одна группа из 24 счетчиков площадью 66 см² каждый, удаленная на 2,2 м от центра круга. При помощи системы многократных

* Приведенное соотношение справедливо в случае усреднения по многим ливням, когда экспериментальную установку можно считать «непрерывной» и «симметричной».

совпадений разрядов в счетчиках, часть из которых помещалась под слой свинца, регистрировались ливни плотностью больше 15 частиц/м² и с осью, не очень удаленной от центра установки. При последующей обработке по соотношению плотностей потоков частиц в центре круга и на расстоянии 5 м отбирались случаи, соответствовавшие прохождению оси широкого атмосферного ливня не далее 1 м от центра установки. Путем сопоставления плотностей ливня в различных участках круга определяли место прохождения оси, пользуясь предположением об осевой симметрии ливня. Ошибка в определении места прохождения оси может быть оценена в ± 15 см.

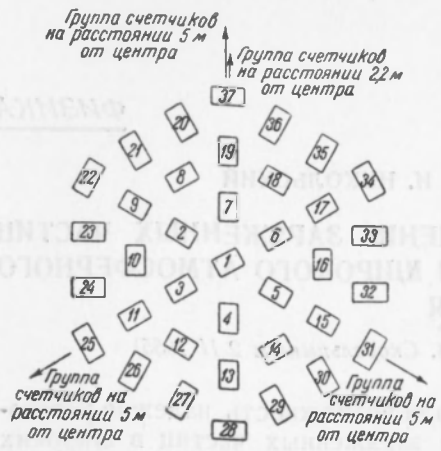


Рис. 1

Для каждого широкого атмосферного ливня с найденным местом прохождения оси строилась функция пространственного распределения ливневых частиц, для чего объединялись данные по всем счетчикам, расположенным на одинаковом расстоянии от оси ливня. Пример графика функции пространственного распределения заряженных частиц в одном из зарегистрированных широких атмосферных ливней приведен на рис. 2. Здесь и на следующих графиках по оси абсцисс отложен логарифм расстояния от оси ливня в сантиметрах, по оси ординат логарифм плотности потока частиц в числе частиц на квадратный метр.

Так как в исследуемом энергетическом интервале ливней ($E_0 \cong (1 \div 4) \cdot 10^{14}$ эв) не было обнаружено зависимости пространственного распределения ливневых частиц от первичной энергии ливня, то экспериментальные результаты были усреднены по всем ливням с осью вблизи центра установки (рис. 3).

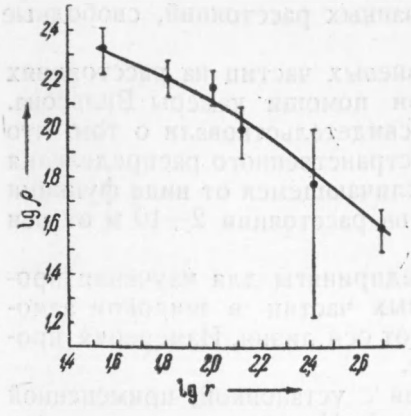


Рис. 2

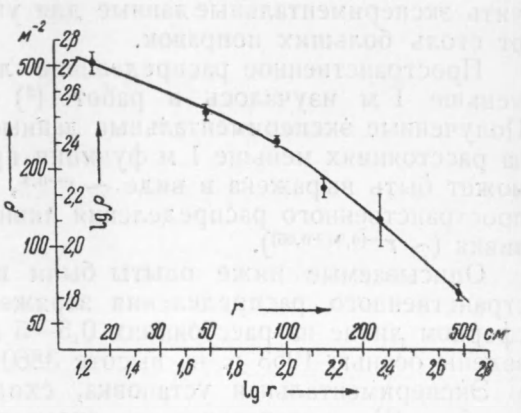


Рис. 3

Сопоставление результатов данной работы и измерений работ [1,2] произведено на рис. 4. Как видно из графика, экспериментальные результаты различных опытов хорошо согласуются между собой.

В соответствии с каскадной теорией [6], пространственное распределение частиц на малых расстояниях от оси широкого атмосферного ливня может быть выражено в виде:

$$\rho(r) \sim \frac{1}{r^{2-s}}. \qquad (1)$$

Параметр s определяется из уравнения

$$-\lambda_1(s)\,t = \ln\frac{E_0}{\beta} - \ln\frac{R}{r}.$$

Здесь t — глубина наблюдения; E_0 — энергия частицы, вызвавшей ливень; β — критическая энергия электронов в воздухе; R — среднеквадратичный радиус ливня; $\lambda_1(s)$ — табулированная функция.

Соотношение (1) и экспериментальные данные (рис. 4) могут быть согласованы лишь при значении $E_0 \cong 2-3\cdot10^{11}$ эв и $t \approx 7-8$ радиационных единиц вместо $t = 20$ единиц и $E_0 \cong 10^{14}$ эв, как это должно было бы быть в случае образования ливня от первичного электрона. Произведенные оценки справедливы и при образовании ливня несколькими фотонами, если можно пренебречь углами разлета фотонов.

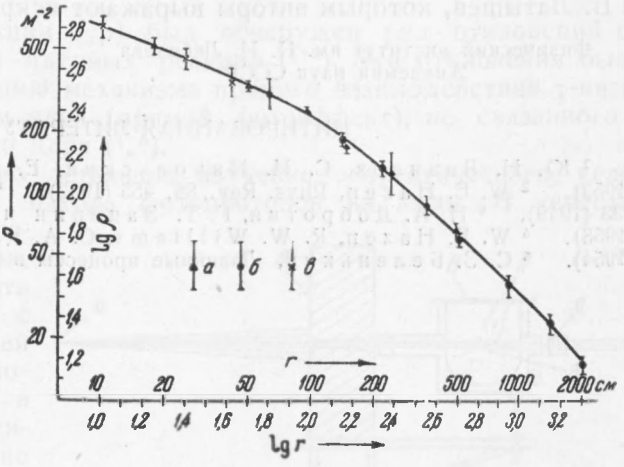


Рис. 4. $а$ — результаты настоящей работы; $б$ — результаты работы (1); $в$ — результаты работы (2)

В некоторых работах (2) делаются попытки рассматривать широкие атмосферные ливни как результат распада нескольких π^0-мезонов, образующихся при столкновении первичного протона с ядром атома воздуха. При этом совершенно не учитываются последующие акты ядерно-каскадного процесса (3).

Такая схема образования широких атмосферных ливней не может объяснить ряд экспериментальных данных.

1. Пространственное распределение заряженных частиц на расстояниях 2—10 м от оси широкого атмосферного ливня с первичной энергией $E_0 = 10^{14}$ эв на высоте Памира соответствует электронно-фотонной лавине вблизи максимума своего развития, в то время как электронно-фотонные лавины, вызванные γ-квантами после распада π^0-мезонов из первого акта, на высоте Памира находятся за максимумом.

2. Не обнаруживается зависимости функции пространственного распределения ливня от энергии первичной частицы (1), что должно было бы наблюдаться в электронно-фотонных лавинах.

3. Высотный ход ливней не соответствует поглощению электронно-фотонных лавин (4).

Указанные экспериментальные результаты могут быть объяснены, если предположить, что бо́льшая часть электронно-фотонной компоненты на уровне наблюдения образуется в результате взаимодействия вторичных ядерно-активных частиц с энергией $E_0 \cong 10^{11}-10^{12}$ эв в глубине атмосферы, а вид энергетического спектра вторичных ядерно-активных частиц в области энергий 10^{11}—10^{12} эв не зависит от энергии первичного нуклона. Это предположение позволяет согласовать результаты работы (5), где было обнаружено малое число электронов и фотонов высокой энергии в стволе широкого атмосферного

ливня, с экспериментальным пространственным распределением ливневых частиц, соответствующим максимуму развития электронно-фотонной лавины.

Сомнения, связанные с применением соотношения (1) в случае, когда, возможно, нельзя пренебрегать углами разлета частиц в элементарном акте, не распространяются на сделанное предположение о незначительной доле энергии, передаваемой π^0-мезонам в актах взаимодействия частиц при сверхвысоких энергиях. В противном случае трудно объяснить совокупность экспериментальных данных по пространственному распределению ливня на расстояниях от оси 2—10 м ([1]), по высотной зависимости числа регистрируемых ливней ([4]) и по энергетическому спектру электронно-фотонной компоненты вблизи оси широкого атмосферного ливня ([5]).

В заключение авторы выражают глубокую благодарность Н. А. Добротину и Г. Т. Зацепину за ценные советы при постановке работы и обсуждении результатов. В измерениях принимали участие Л. Русяева и В. Латышев, которым авторы выражают искреннюю признательность.

Физический институт им. П. Н. Лебедева
Академии наук СССР

Поступило
26 XI 1954

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] Ю. Н. Вавилов, С. И. Никольский, Е. И. Тукиш, ДАН, **93**, № 2 (1953). [2] W. E. Hazen, Phys. Rev., **85**, 455 (1952). [3] Г. Т. Зацепин, ДАН, **67**, 933 (1949). [4] Н. А. Добротин, Г. Т. Зацепин и др., Усп. физ. наук, **49**, 185 (1953). [5] W. E. Hazen, R. W. Williams, C. A. Randall, Phys. Rev., **93**, 578 (1954). [6] С. З. Беленький, Лавинные процессы в космических лучах, 1948.