

Ю. Н. ВАВИЛОВ, С. И. НИКОЛЬСКИЙ и Е. И. ТУКИШ

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ ВБЛИЗИ ОСИ ШИРОКОГО АТМОСФЕРНОГО ЛИВНЯ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ

(Представлено академиком Д. В. Скобельцыным 24 IX 1953)

Летом 1952 г. нами были произведены измерения пространственного распределения потока заряженных частиц вблизи оси широкого атмосферного ливня. Опыты проводились на высоте 3860 м над уровнем моря (Памир).

Использованная для измерений установка состояла из большого числа счетчиков, соединенных с годоскопическими устройствами системы Л. Н. Кораблева (1). Расположение годоскопических счетчиков, служивших для определения плотности потока ливневых частиц, изображено на рис. 1. Каждая группа счетчиков 1—19 содержала по 24 счетчика площадью 100 см² и по 24 счетчика площадью 24 см². Группы счетчиков 20—22 состояли из 24 счетчиков площадью 330 см² и 24 счетчиков по 100 см².

Кроме изображенных на рисунке групп, имелась группа из счетчиков площадью 330 см², которая была расположена на расстоянии ~ 60 м от центра установки. Управление годоскопической системой осуществлялось многократными совпадениями разрядов в счетчиках, выделявшими широкие атмосферные ливни с числом частиц, превышающим некоторую величину.

В случаях прохождения оси ливня вблизи центра установки место попадания оси ливня можно было определить, не пользуясь никакими предположениями, кроме предположения о наличии осевой симметрии ливня.

При этом, так как при определении места прохождения оси принимались во внимание практически все группы годоскопических счетчиков, а ошибка в измерении плотности ливня каждой группой счетчиков составляла ~ 30%, то ошибка в определении места прохождения оси ливня не превышала 1 м. В каждом отдельном случае регистрации широкого атмосферного ливня с определенным местом прохождения оси можно было построить функцию пространственного распределения заряженных частиц в данном ливне.

На рис. 2 приведен пример такого графика пространственного распределения частиц в индивидуальном ливне. Для построения более точной функции пространственного распределения ливневых частиц было прове-

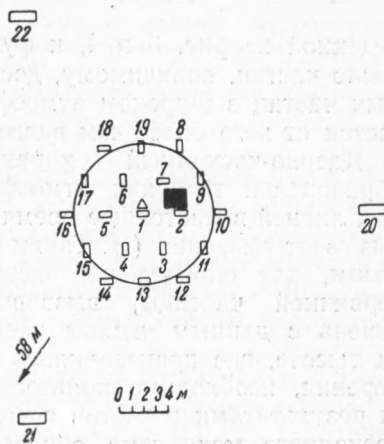


Рис. 1. Расположение годоскопических счетчиков. В группах счетчиков 3, 5, 7, 10, 14 и 18, кроме указанных в тексте, имелись счетчики площадью 330 см²

дено усреднение результатов по многим случаям регистрации широких ливней с одним и тем же числом частиц. На рис. 3 приведен график пространственного распределения, усредненного по случаям регистрации ливней с числом частиц $(7 \pm 4) \cdot 10^4$.

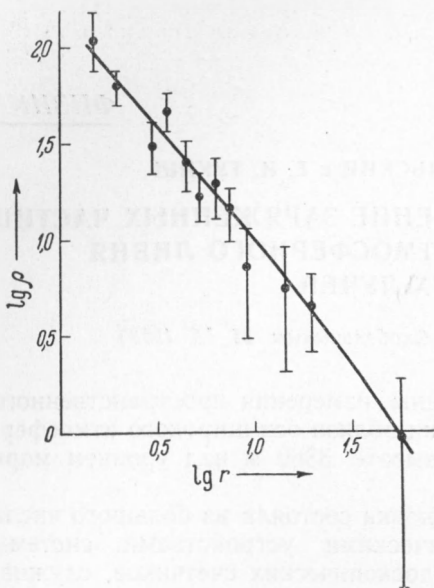


Рис. 2. Пространственное распределение частиц из зарегистрированных широких атмосферных ливней

веденной на рис. 3 и 4, к функции $\sim r^{-3}$. Полученное таким способом число частиц, повидимому, достаточно близко к полному числу заряженных частиц в широком атмосферном ливне и во всяком случае не отличается от него более чем вдвое.

Ядерно-каскадный характер образования широких атмосферных ливней в настоящее время не вызывает сомнения (3). Таким образом, для определения энергии первичной частицы, вызвавшей ливень с данным числом частиц на высоте, где производились измерения, необходимо пользоваться результатами расчетов ядерно-каскадного механизма образования широких атмосферных ливней. Однако ввиду того, что полная количественная теория ядерно-каскадного процесса пока что отсутствует, мы воспользуемся каскадными кривыми для электронно-фотонных ливней в воздухе (2). Тогда рассматриваемые нами ливни с полным числом частиц $2 \cdot 10^4$, $0,7 \cdot 10^5$, $0,6 \cdot 10^6$ соответствуют энергии первичной частицы $6 \cdot 10^{13}$, $1,5 \cdot 10^{14}$ и $1 \cdot 10^{15}$ эв.

В данном случае пренебрежение ядерно-каскадным процессом не вносит грубой ошибки. Это можно видеть из сравнения расчета ядерно-каскадного развития ливней, произведенного И. Л. Розенталем (4), с каскад-

Такое усреднение было проведено и для широких атмосферных ливней других энергий (рис. 4); как видно из приведенного графика, в пределах точности измерений пространственное распределение частиц не меняется при изменении энергии широкого атмосферного ливня в ~ 20 раз.

Для определения полного числа частиц в широком атмосферном ливне необходимо знать функцию пространственного распределения частиц во всем ливне.

В наших опытах получено распределение плотности потока заряженных частиц до расстояний 60 м от оси ливня. Пространственное распределение на расстояниях от оси ливня, превышающих 300 м, принято в согласии с работой (8) в виде $f(r) \sim 1/r^3$.

В интервале расстояний от оси ливня 60—300 м интерполирован плавный переход от функции пространственного распределения, при-

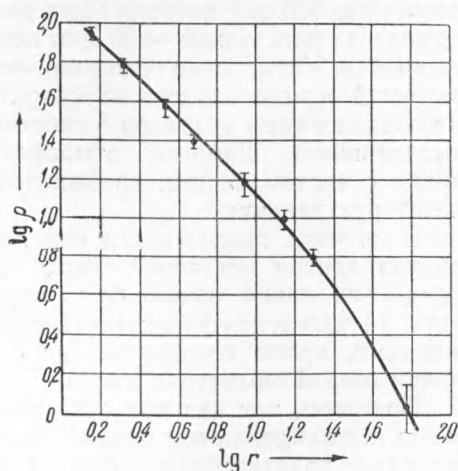


Рис. 3. Пространственное распределение заряженных частиц в широких атмосферных ливнях с полным числом частиц $(7 \pm 4) \cdot 10^4$

ными кривыми для электронно-фотонных лавин (2). Для широких атмосферных ливней от первичных частиц с энергией 10^{16} эв использование электронно-фотонной каскадной теории приводит к заниженному (20—30%) значению первичной энергии по сравнению с ядерно-каскадной схемой развития широких ливней (для высоты Памира). С уменьшением энергии первичной частицы указанное расхождение будет уменьшаться и, вероятно, примет обратный характер из-за более сильной зависимости коэффициента поглощения электронно-фотонных лавин от начальной энергии лавины, чем это наблюдается в широких атмосферных ливнях.

Полученные результаты по пространственному распределению заряженных частиц вблизи оси широкого атмосферного ливня позволяют сопоставить различные теории элементарного акта взаимодействия нуклонов при сверхвысоких энергиях, так как распределение заряженных частиц вблизи оси широкого атмосферного ливня должно быть чувствительно к виду углового распределения частиц, рожденных в элементарном акте взаимодействия нуклонов сверхвысоких энергий. На основании наблюдаемого пространственного распределения частиц вблизи оси широкого атмосферного ливня Г. Т. Зацепин (7) пришел к выводу о существовании анизотропии частиц, рождающихся при столкновении нуклонов с энергией 10^{14} эв*.

Расчеты И. Л. Розенталя и Д. С. Чернавского показывают, что в случае справедливости предложенной Ферми (5) картины элементарного акта взаимодействия частиц сверхвысокой энергии в ливнях от частиц с первичной энергией 10^{14} эв наблюдалась бы область медленного изменения плотности потока частиц. Размеры этой области составляют ~ 9 м. Как видно из рис. 3, плотность потока ливневых частиц сильно возрастает вплоть до расстояний в 2 м.

Тем самым видно, что полученные результаты не согласуются с предсказаниями, следующими из теории Ферми (1)**. Возможные ошибки в оценке энергии ливня не изменяют сделанного вывода, так как пространственное распределение имеет такой же вид и при энергии $6 \cdot 10^{13}$ эв и при энергии $1,0 \cdot 10^{15}$ эв.

В проведении описанных измерений участвовали И. А. Ивановская, А. Ефременков, Ю. Прохоров, В. Саранцев, Л. Билибин, Л. Васильев, В. Гришин, О. Довженко, Б. Журкин, В. Кологривов, Т. Кузнецов, Г. Лымарь, Ю. Плотников, А. Смагин, Ф. В. Филонов.

В заключение авторы выражают благодарность акад. Д. В. Скобельцыну и Г. Т. Зацепину за руководство работой и проф. Н. А. Добротину за ценные советы.

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

Поступило
25 VII 1953

* В системе центра инерции.

** Полученное пространственное распределение заряженных частиц вблизи оси широкого атмосферного ливня не противоречит теории элементарного акта, предложенной Л. Д. Ландау (6).

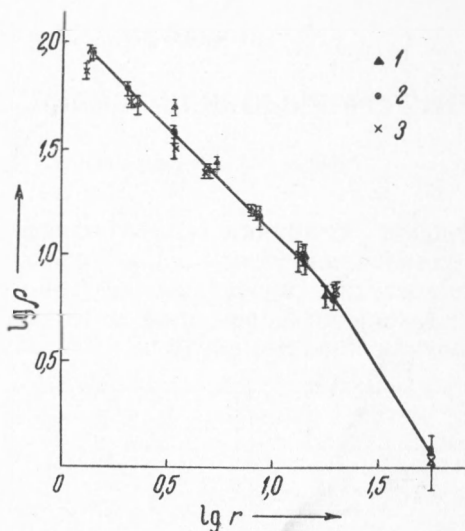


Рис. 4. Пространственное распределение частиц в ливнях трех энергий. 1 — $6 \cdot 10^{13}$ эв, 2 — $1,5 \cdot 10^{14}$ эв, 3 — 10^{15} эв. Кривые нормированы в точке на расстоянии 9 м от оси ливня

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Л. Н. Кораблев, ДАН, 62, 215 (1948). ² С. З. Беленький, Лавинные процессы в космических лучах, 1948. ³ Н. А. Добротин, Г. Т. Зацелин и др., УФН, в. 2, 185 (1953). ⁴ И. Л. Розенталь, ДАН, 80, 761 (1951). ⁵ E. Fermi, Progr. Theor. Phys., 5, 570 (1950); Phys. Rev., 81, 683 (1951). ⁶ Л. Д. Ландау, Изв. АН СССР, сер. физ., 17, № 1, 51 (1953). ⁷ Г. Т. Зацелин, И. Л. Розенталь и др., там же, 17, № 1, 39 (1953).

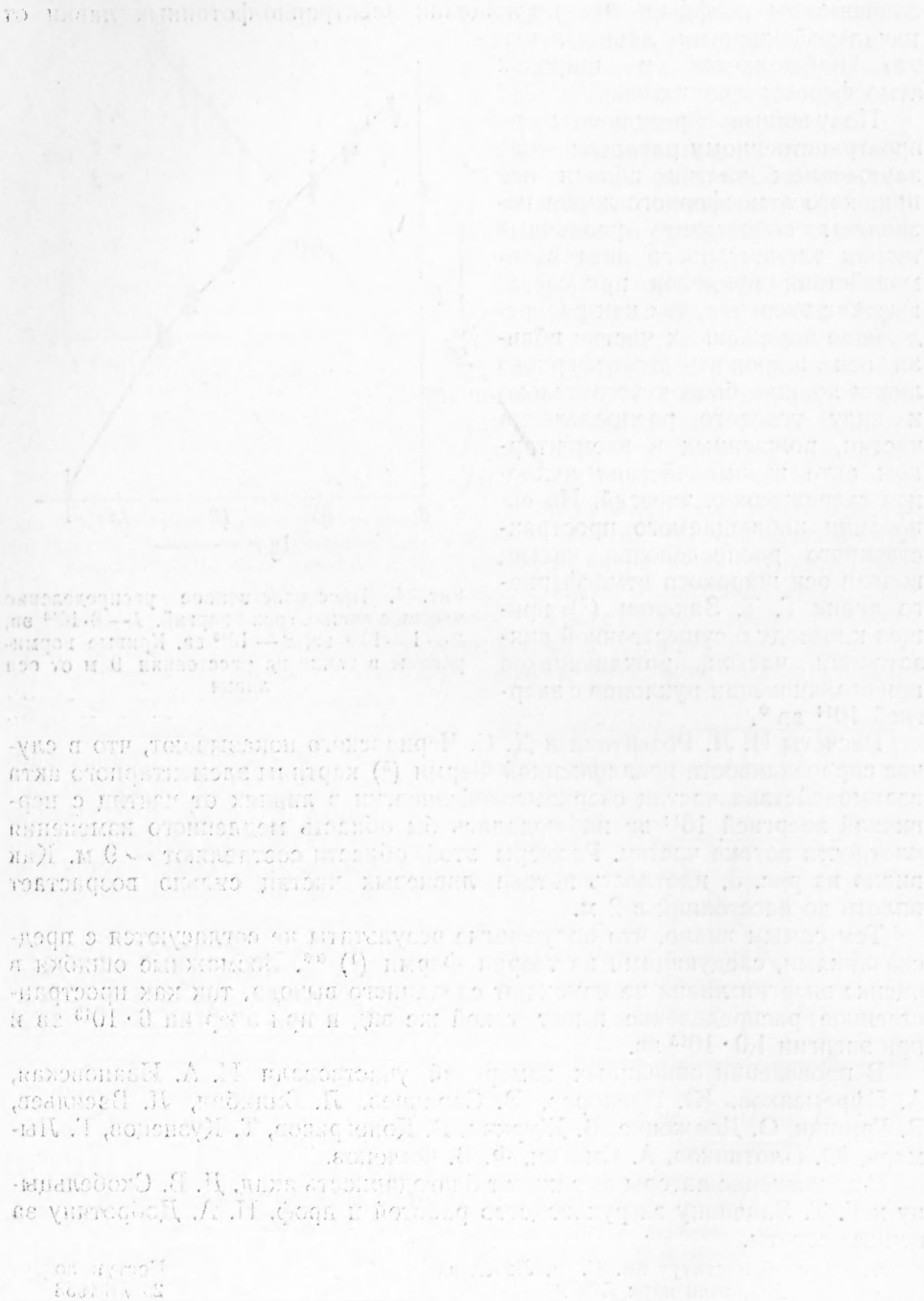


Рис. 1. Зависимость ... от ...