

С. Н. ВЕРНОВ и А. М. КУЛИКОВ

## УГЛОВОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ В СТРАТОСФЕРЕ

(Представлено академиком Д. В. Скобелевым 22 V 1950)

В 1948 г. продолжались опыты по изучению углового распределения космических лучей в стратосфере <sup>(1)</sup>. Интенсивность космического излучения под различными углами измерялась вращающимся телескопом (см. рис. 1) из трех самогасящихся счетчиков. Применявшиеся в этой работе счетчики имели диаметр 3 см и рабочую длину 14 см. Между счетчиками помещался поглотитель (8 см свинца или 4 см алюминия). При помощи миниатюрного моторчика угол наклона телескопа непрерывно изменялся от 0 до 90° и обратно. Полный цикл продолжался около 2 минут.

Прибор был смонтирован таким образом, что собственно телескоп помещался в верхней части установки, а под ним на некотором расстоянии монтировались остальные части прибора. Это было сделано для того, чтобы уменьшить влияние ливней частиц, создаваемых космическими лучами в деталях прибора.

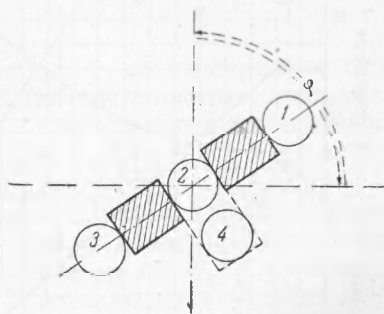


Рис. 1

Вне телескопического угла телескопа в непосредственной близости к центральному счетчику помещался четвертый счетчик. Радиосхема отбирала две системы тройных совпадений  $N_{123}$  и  $N_{134}$ . В случае отсутствия поглотителя измерение числа совпадений  $N_{134}$  давало возможность оценить число совпадений в телескопе, вызываемых боковыми ливнями и случайными совпадениями. При опытах с поглотителем число совпадений  $N_{134}$  увеличивается за счет ливней, созданных в поглотителе. Число совпадений  $N_{134}$  в приборе с алюминиевым фильтром составляло 5% от числа совпадений  $N_{123}$ . Полученное значение практически совпадает с числом совпадений  $N_{134}$ , измеренным при полетах без поглотителя <sup>(1)</sup>. Это означает, что в 4 см алюминия не образуется заметного числа ливней.

Данные о ливнях в приборах со свинцовым поглотителем приведены в табл. 1, где дано отношение  $\frac{N_{134}}{N_{123} + N_{134}}$ . Значительное увеличение числа совпадений  $N_{134}$  в этом случае обусловлено образованием первичными частицами ливней в свинце. Это находится в согласии с опытами К. И. Алексеевой <sup>(2)</sup> и Ю. А. Смородина <sup>(3)</sup>. Различные варианты передачи по радио сигналов, соответствующих совпадениям  $N_{123}$  и

$N_{134}$  позволяют определить в одном полете общее число совпадений  $N_{143}$  (см. табл. 1), а в другом полете число совпадений  $N_{143}$ , не сопровождающихся разрядом во втором счетчике.

Таблица 1

Высота в км	Общее число совпадений $N_{143}$ в %			Число совпадений $N_{143}$ , не сопровождающихся разрядом во втором счетчике, в %		
	Угол наклона телескопа $\varphi$					
	0—30°	30—60°	60—90°	0—30°	30—60°	60—90°
12	11	9	28	6	4	10
18	15	12	23	4	7	9
22	20	19	20	6	4	11
26	28	28	25	—	—	—

Сопоставление данных табл. 1 показывает, что большая часть совпадений  $N_{134}$  сопровождается разрядом во втором счетчике. Это означает, что совпадения  $N_{134}$

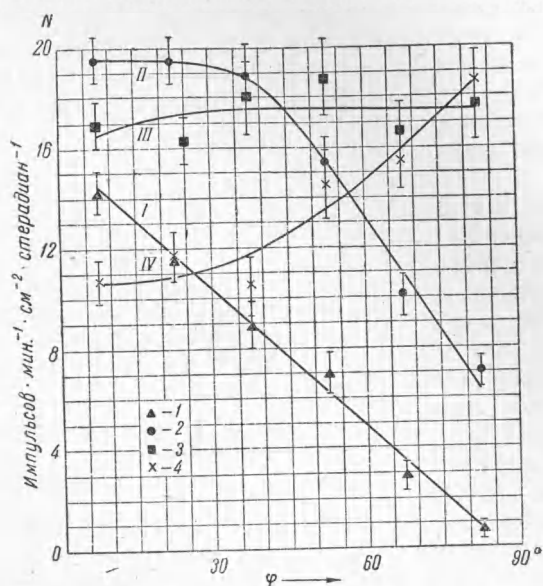


Рис. 2. Угловое распределение общего числа космических частиц, без поглотителя. 1 — для высоты 10 км, 2 — 15 км, 3 — 21 км, 4 — 26 км

вызываются частицами, проходящими через телескоп (1, 2, 3) и создающими ливень частиц в свинце. Статистическая точность данных левой части табл. 1—15%, правой части—25%.

Кроме импульсов тройных совпадений  $N_{123}$ ,  $N_{134}$  и сигналов барографа по радио передавались специальные сигналы, когда телескоп проходил положения, соответствующие углам 30 и 82° с вертикалью.

Разрешающая способность радиосхемы  $1 \cdot 10^{-5}$  сек. Эффективность телескопа при регистрации максимального числа космических частиц была не менее 98%. Приборы весили 13 кг со свинцовым фильтром и 9 кг с алюминиевым. Было про-

ведено 4 полета на шарах-зондах до высот 29, 25, 20 и 24 км. Время полетов—лето 1948 г.

На рис. 3 приведены результаты опыта, когда между счетчиками помещался алюминиевый фильтр. Сопоставляя эти данные с результатами, полученными для углового распределения общего числа космических частиц, найденного в предыдущей работе (см. рис. 2), следует сделать вывод, что частицы, идущие в горизонтальном направлении, в основном поглощаются в 4 см алюминия, т. е. их энергия меньше  $2 \cdot 10^7$  эв. Значительный наклон кривых в области углов, близких к 90°, показывает, что число горизонтальных частиц с энергией больше  $2 \cdot 10^7$  эв очень мало.

Частицы, идущие в горизонтальном направлении, возникают в результате того, что вторичные частицы не сохраняют направления первичных. Если вторичные частицы сохраняют направление первичных, то число частиц, идущих в горизонтальном направлении, будет ничтожно в результате поглощения в атмосфере. Поэтому сделанный выше вывод об очень малом числе горизонтальных частиц с энергией больше  $2 \cdot 10^7$  эв приводит нас к заключению, что вторичные частицы с энергией больше  $2 \cdot 10^7$  эв практически сохраняют направление первичных частиц.

На рис. 4 представлены результаты опытов, когда между счетчиками помещался свинцовый фильтр (8 см).

Сопоставление интенсивностей жесткой компоненты по вертикали  $(N(\frac{p}{\cos \varphi}, 0))$

и под углом  $\varphi$  ( $N(p, \varphi)$ ), т. е. после прохождения одинакового количества вещества от границы атмосферы, показывает, что  $N(p, \varphi) < N(\frac{p}{\cos \varphi}, 0)$ .

Уменьшение интенсивности для наклонного направления по сравнению с соответствующей вертикальной интенсивностью доказывает присутствие в составе космических лучей в стратосфере распадающихся частиц.

Данные об угловом распределении космических частиц дают возможность сделать количественные выводы о среднем угле отклонения вторичных частиц от направления первичных. Можно показать, что энергия, передаваемая первичными космическими лучами всем частицам, отклоняющимся от направления первичных на угол больше  $20^\circ$ , достаточно мала.

Это может быть показано следующим образом.

По полученным данным вычисляется энергия  $E_\varphi$ , выделяемая космическими частицами, идущими под углом  $\varphi$  к вертикали:

$$E_\varphi = \int_{p=0}^{p=\infty} N(p, \varphi) \frac{dp}{\cos \varphi}, \quad (1)$$

где  $N(p, \varphi)$  — общее число космических частиц, идущих под углом  $\varphi$  к вертикали на высоте, где давление равно  $p$ . Можно доказать, что

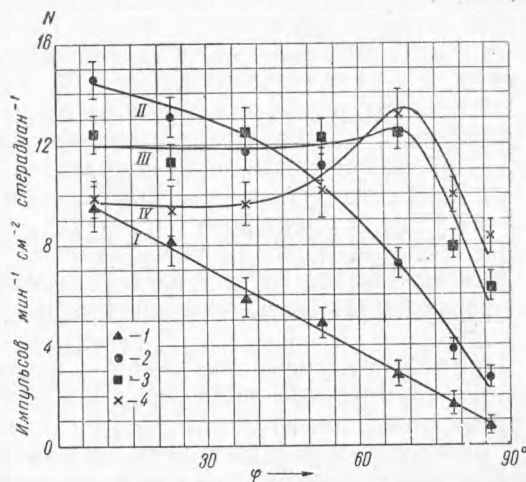


Рис. 3. Угловое распределение числа космических частиц в опытах 1948 г. Поглотитель — 4 см алюминия. 1 — для высоты 10 км, 2 — 15 км, 3 — 21 км, 4 — 26 км

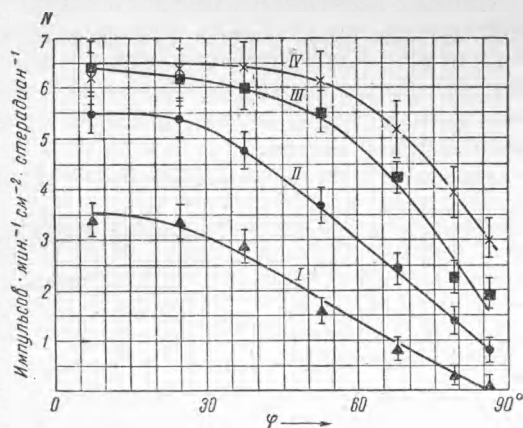


Рис. 4. То же, что на рис. 3. Поглотитель — 8 см свинца

величина  $E_\varphi$  однозначно определяется полярной диаграммой распределения энергии, передаваемой первичными космическими частицами всем вторичным частицам, идущим под различными углами к первичной\*.

Вычисления показывают, что:

1) Если вторичные частицы полностью сохраняют направления первичных,  $E_\varphi$  от  $\varphi$  не зависит.

2) Если вторичные частицы распределены изотропно относительно первичных и можно пренебречь ионизацией, вызываемой первичной частицей по сравнению с ионизацией вторичных, то  $E_\varphi \sim 1/\cos\varphi$ .

3) Когда вторичные частицы отклоняются от направления первичной на углы в пределах от 0 до  $\alpha$ ,  $E_\varphi = \text{const}$  при  $0 < \varphi < 90 - \alpha$  и  $E_\varphi$  возрастает при больших углах  $\varphi$ .

Вычисление  $E_\varphi$  из полученных экспериментальных данных  $N(p, \varphi)$  по формуле (1) дает, что при  $0 \leq \varphi \leq 70^\circ$   $E_\varphi = \text{const}$ , следовательно,  $\alpha \cong 20^\circ$ .

При выводе указанных выше положений предполагается, что первичное космическое излучение на границе атмосферы изотропно и энергия, выделяемая в атмосфере за счет первичных частиц, идущих под различными углами с вертикалью, одинакова. Это будет справедливо в том случае, когда можно пренебрегать, по сравнению с энергией первичных космических частиц: 1) энергией, передаваемой нейтрино, и 2) энергией, уносимой вторичными частицами, идущими снизу вверх, за пределы атмосферы.

Данные опытов по угловому распределению жесткой компоненты дают возможность оценить число мезонов в составе космических лучей. Это позволяет доказать, что энергией, передаваемой нейтрино, можно пренебрегать. Энергия, уносимая вторичными частицами, идущими снизу вверх, также достаточно мала. Выше было показано, что горизонтальные частицы обладают малой энергией (меньше  $2 \cdot 10^7$  эв). Естественным считать, что частицы, идущие снизу вверх, обладают еще меньшей энергией.

Таким образом, на основании изучения углового распределения космических лучей в стратосфере может быть показано, что:

1. Энергия, передаваемая вторичным частицам, идущим под углами больше  $20^\circ$  по отношению к первичным, весьма мала по сравнению с энергией первичных космических частиц.

2. Вторичное излучение (отклоняющееся от направления первичных) состоит в основном из частиц малой энергии ( $E < 2 \cdot 10^7$  эв).

3. В составе жесткой компоненты имеются распадающиеся частицы.

Поступило  
18 IV 1950

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> С. Н. Вернов и А. М. Куликов, ДАН, 61, № 6 (1948). <sup>2</sup> К. И. Алексеева и С. Н. Вернов, ДАН, 62, № 2 (1948). <sup>3</sup> Л. Т. Барадзей, С. Н. Вернов и Ю. А. Смородин, ДАН, 62, № 4 (1948).

\* В данном случае учитываются вторичные частицы, вызывающие совпадения разрядов в телескопе  $N_{123}$ , и предполагается, что все эти частицы являются релятивистскими.