

## О ПРИСУТСТВИИ ЯДЕР ЛИТИЯ, БЕРИЛЛИЯ И БОРА В ПЕРВИЧНОМ КОСМИЧЕСКОМ ИЗЛУЧЕНИИ

Первые подьёмы чувствительных фотопластинок на высоты 25—30 км, произведённые в 1947—1948 гг.<sup>1</sup>, показали, что кроме протонов, составляющих основную долю первичного космического излучения (п. к. и.), в нём содержатся ядра более тяжёлых элементов, начиная от гелия, до элементов с  $Z = 27 - 28$  (никель, железо). Авторы первых работ утверждали, что относительная распространённость ядер Li, Be и B в п. к. и. весьма невелика. Так например, по данным<sup>2</sup> на геомагнитной широте  $\lambda = 30^\circ N$  и на глубине атмосферы, соответствующей давлению  $20 \text{ гсм}^{-2}$ , поток ядер Be, Li и B составляет только около 20% от потока ядер C, N, O. Этот факт связывался авторами с хорошо известной из астрофизических данных малой распространённостью Be, Li и B в веществе звёзд. Очевидно, что этот вопрос имеет большое значение для проблемы происхождения п. к. и. и превращений, испытываемых им до того, как оно попадает в земную атмосферу. Допустим, например, что вследствие малой распространённости ядер Be, Li и B они не участвуют в создании п. к. и., происходящем где-то во вселенной в неизвестных нам ускорительных процессах. В этом случае эти ядра всё же могут появиться в составе п. к. и., наблюдаемого в опытах на границе земной атмосферы.

Действительно, п. к. и. взаимодействует с веществом в межзвёздном пространстве, и столкновение тяжёлых ядер с протонами межзвёздного разреженного газа должно вызывать появление осколков, в числе которых будут  $\alpha$ -частицы и ядра Be, Li и B. Эффективные сечения образования таких осколков более или менее хорошо известны из наблюдений столкновения первичных протонов с тяжёлыми ядрами фотографических эмульсий. Поэтому, наблюдая поток ядер Be, Li и B у границы земной атмосферы, можно оценить количество вещества, проходимого п. к. и. от места его зарождения до момента попадания в земную атмосферу, а следовательно, оценить проходимый путь.

Если в составе первичного космического излучения, наблюдаемого у границы атмосферы, ядра Be, Li и B практически отсутствуют, это укажет на то, что равновесие между тяжёлыми ядрами п. к. и. и их осколками не успевает установиться, и что, следовательно, состав наблюдаемого п. к. и. близок к относительной распространённости различных ядер, подвергающихся ускорению. Наоборот, наличие заметного числа ядер Be, Li и B укажет на то, что путь, проходимый п. к. и., сравним со средней длиной пути для образования этих ядер в качестве осколков.

В реферируемой работе<sup>3</sup> показано, что в п. к. и. на широте  $55^\circ N$  ядра Be, Li и B присутствуют в том же, если не в большем количестве, что и ядра углерода, азота и кислорода. Этот чрезвычайно важный результат был получен методом, несколько отличным от метода определения заряда, использованного в работе<sup>1</sup>. Напомним, что в работе<sup>1</sup> для определения спектра зарядов первичных частиц измерялся их пробег и плотность зёрен вдоль следа. В реферируемой работе для определения заряда частицы производилось измерение числа  $\delta$ -электронов  $N_\delta$ , приходящихся на единицу длины следа частицы, и измерение среднего угла рассеяния  $\bar{\alpha}$ , испытываемого частицей в фотоэмульсии. Из формулы Бете-Блоха для ионизационных потерь энергии следует, что

$$N_\delta = Z^2 \frac{K}{\beta^2}, \quad (1)$$

где  $Z$  — заряд ядра,  $\beta = \frac{v}{c}$  — скорость частицы, а  $K$  — постоянная.

Для использованных пластинок постоянная  $K$  определялась подсчётом числа  $\delta$ -частиц в следах однозарядных частиц — протонов и  $\pi$ -мезонов. Из формулы Вильямса для многократного рассеяния следует, что

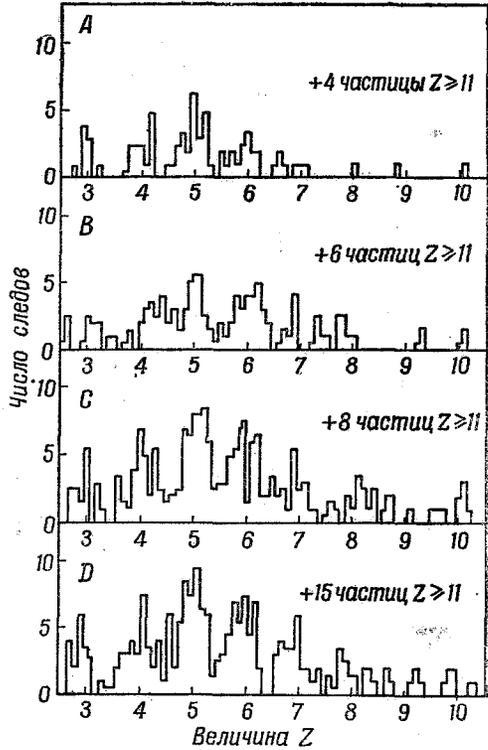
$$\bar{\alpha} = Z \frac{S}{A p \beta}, \quad (2)$$

где  $S$  — постоянная, а  $p$  — импульс частицы  $P$ , делённой на число нуклонов в ядре  $\left(\frac{P}{A}\right)$ . Уравнения (1) и (2) связывают между собой две переменные  $Z$  и  $\beta$ . Измерения  $N_\delta$  и  $\bar{\alpha}$  дают таким образом возможность определить заряд  $Z$  частицы и её скорость, а следовательно, и энергию.

Результаты измерения спектра зарядов, произведённого вблизи  $\lambda = 55^\circ N$  на высоте, соответствующей остаточному количеству вещества над пластинками (давление воздуха плюс упаковка),  $t \cong 50 \text{ г см}^{-2}$ , приведены на рис. В. Отличительной чертой полученного спектра зарядов (в него вошло около 900 частиц) является высокая степень разрешения: в спектре отчётливо видны максимумы, соответствующие Li ( $Z = 3$ ), Be, B, C, N, O и т. д. Это разрешение, полученное без всяких дополнительных поправок, доказывает правильность использованного метода. Из приведённого спектра следует, что интенсивность потока ядер Be, Li, B

в п. к. и. того же порядка, что и интенсивность ядер С, N, O. Для того чтобы выяснить, в какой мере полученный результат искажён наличием ядер Li, Be и B, возникших в качестве осколков в остаточном слое атмосферы над пластинками, желательно было бы произвести измерения на возможно больших высотах. Результаты этих измерений приведены на рис. C и D. Они производились при остаточном давлении, равном соответственно 30 и 20 г см<sup>-2</sup>. Мы видим, что значительное увеличение высоты подъёма не сказалось заметным образом на относительной распространённости ядер Be, Li и B в п. к. и.

Авторы измерили спектр зарядов п. к. и. и другим методом, определяя  $\alpha$  и плотность зёрен  $d$  в следах многозарядных частиц. Эти измерения были произведены в условиях, когда общее количество вещества над пластинками (воздух, упаковка) составляло около  $t \cong 70$  г см<sup>-2</sup>. Полученный при этих измерениях спектр зарядов приведён на рис. А. Из него следует, что спектр, полученный измерением  $\alpha$  и  $d$ , практически ничем не отличается от спектров зарядов, полученных при измерении  $\alpha$  и  $N_s$ . Таким образом, из рассмотренной работы следует, что на широте 55° N поток Li, Be и B имеет не меньшую интенсивность, чем поток С, N, O. Измерения спектров зарядов продолжены авторами до  $Z = 28$ . Из полученных спектров следует, что число ядер с данным значением  $Z$  пропорционально числу стабильных изотопов данного ядра. Так, например, в интервале  $8 \leq Z \leq 14$  число ядер с чётным значением  $Z$  примерно в три раза превышает число ядер с нечётным значением  $Z$ . Авторы рассматривают значение полученного результата для вопроса о происхождении п. к. и. В частности, представляет большой интерес определить, какое количество межзвёздной материи проходит п. к. и. до попадания в атмосферу Земли. Из полученных спектров следует, что отношение числа ядер с зарядом  $20 \leq Z \leq 30$  ко всем ядрам с  $Z \geq 1$  равно 150. Зная это отношение и порядок величины эффективных сечений для образования осколков и предполагая, что все ядра с  $Z = 3, 4, 5$  являются осколками, авторы получают, что количество межзвёздной материи, проходящей п. к. и., не превышает 10 г см<sup>-2</sup>.



Спектр зарядов: А)  $t = 70$  г/см<sup>2</sup>; В)  $t = 50$  г/см<sup>2</sup>; С)  $t = 30$  г/см<sup>2</sup>; D)  $t = 20$  г/см<sup>2</sup>.

## ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Bradt and Reters, Phys. Rev., 74, 1828 (1948).
  2. Reters, Progress in Cosmic Ray Physics, 1952, стр. 191.
  3. Dainton, Fowler, Kent, Phil. Mag., 43, № 342, 129 (1952).
-