

## О ВОЗМОЖНОСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПЕРВИЧНОГО КОСМИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ ЭНЕРГИЯХ ПОРЯДКА И БОЛЕЕ $10^{17}$ эВ

*В.Б.Атрашкевич, Н.Н.Калмыков, Г.Б.Христиансен*

Предлагается метод изучения химического состава первичного излучения путем одновременной регистрации потока мюонов высоких энергий и черенковского излучения ШАЛ с использованием формы черенковского импульса для фиксации положения максимума ливня.

Вопрос о химическом составе первичного космического излучения сверхвысокой энергии (более  $10^{15}$  эВ) является одним из наиболее острых вопросов современной физики космических лучей. Возможно лишь косвенное решение этого вопроса путем изучения широких атмосферных ливней (ШАЛ). Известно, что показатель  $\alpha$  в соотношении, оп-

релеяющем зависимость числа мюонов в ШАЛ  $N_\mu$  от первичной энергии  $E_0$ ,  $N_\mu \sim E_0^\alpha$ , строго меньше единицы. Конкретное значение  $\alpha$  изменяется при заданном энергетическом пороге мюонной компоненты от 0,7 до 0,9 в зависимости от принимаемой модели развития ШАЛ.

В случае первичного ядра с массовым числом  $A$  мы имеем в первом приближении (модель суперпозиции)  $A$  ливней с первичной энергией  $E_0/A$  каждый. Таким образом, в рамках модели суперпозиции число мюонов  $N_{\mu A}$  в ШАЛ от ядра  $A$  равно  $\bar{N}_{\mu A} \sim A(E_0/A)^\alpha A^{1-\alpha} = A^{0,2}$  (если принять  $\alpha = 0,8$ ). Как показывают расчеты, эта зависимость сохраняется и при более детальном рассмотрении процесса взаимодействия ядро — ядро. Более чувствительна к деталям взаимодействия ядро — ядро зависимость от  $A$  относительных флуктуаций величины  $N_\mu$  при фиксированном значении первичной энергии<sup>1)</sup>. Так, согласно модели суперпозиции, они пропорциональны  $A^{-0,5}$ , а по модели фрагментации [1] —  $A^{-0,3}$ .

Для разрешения в распределении по  $N_\mu$  пиков, соответствующих различным группам ядер, желательно иметь как можно меньше флуктуации  $N_\mu$ . Поэтому целесообразно, например, исследовать распределение по  $N_\mu$  при фиксированном числе электронов  $N_e$  в ШАЛ на уровне моря, так как флуктуации в  $N_\mu$  при фиксированном  $N_e$  весьма велики, хотя флуктуации в  $N_\mu$  при фиксированном  $E_0$  даже для протонов составляют 10 — 12%. Дело в том, что фиксированному значению  $N_e$  (для первичных протонов) соответствует достаточно широкое распределение по  $E_0$ , в результате чего флуктуации  $N_\mu$  при фиксированном  $N_e$  достигают примерно 50%. Значительно целесообразнее изучать распределение ШАЛ по  $N_\mu$  при фиксированном значении первичной энергии  $E_0$  [2] (фиксация  $E_0$  возможна путем регистрации черенковского излучения  $Q$ , поток которого на уровне моря пропорционален  $E_0$ ).

В настоящей работе нами предлагается новый подход к исследованию химического состава первичного космического излучения, основанный на регистрации не только первичной энергии ШАЛ  $E_0$  и числа мюонов в ШАЛ  $N_\mu$ , но и положения максимума ШАЛ. Эффективный метод определения положения максимума ШАЛ по форме импульса черенковского излучения был предложен в работе [3] и нашел широкое применение в последнее время [4]. Оказывается, что фиксация  $E_0$  и положения максимума  $x_{max}$  уменьшает относительные флуктуации в  $N_\mu$  и практически не влияет на величину  $\alpha$  (в зависимости  $N_\mu \sim E_0^\alpha$ ). Это позволяет улучшить разрешение различных групп ядер.

На рис. 1 и рис. 2 приведены результаты расчетов ожидаемых распределений по  $N_\mu$  ( $> 10$  ГэВ) при  $E_0 = 10^{17}$  эВ и для двух интервалов  $x_{max}$ :  $600 + 700$  г/см<sup>2</sup> и  $650 + 750$  г/см<sup>2</sup>. При этом химический состав первичного космического излучения предполагается согласно [5]:  $p$  (38%),  $\alpha$  (17%),  $CNO$  (16%),  $z = 10 + 16$  (17%),  $Z = 17 + 24$  (3%),  $Z \geq 25$  (9%);  $\alpha = 0,8$ , а ошибка в определении каждой из величин  $N_\mu$  и  $E_0$  — 5%. Видно, что разделяются пики от протонов,  $\alpha$ -частиц и более тяже-

<sup>1)</sup> За меру относительных флуктуаций принимается корень квадратный из дисперсии величины, деленной на ее среднее значение.

лых ядер. Соотношение между величинами пиков определяется фиксируемым интервалом  $x_{max}$ . При практической реализации предложенного метода речь может идти об определении плотностей потоков мюонов и черенковского света. Расчеты показывают, что по мере удаления от оси ливня флуктуации плотности числа мюонов уменьшаются, достигая  $\sim 3\%$  на расстоянии  $\sim 100$  м от оси; флуктуации плотности потока черенковского света на расстоянии  $\sim 300$  м составляют порядка  $5\%$ . Ин-

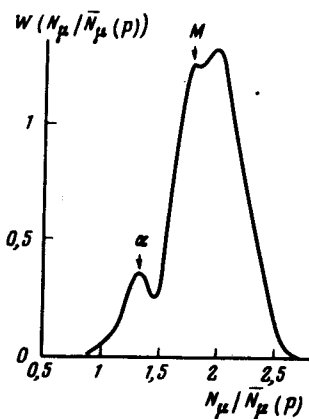


Рис. 1

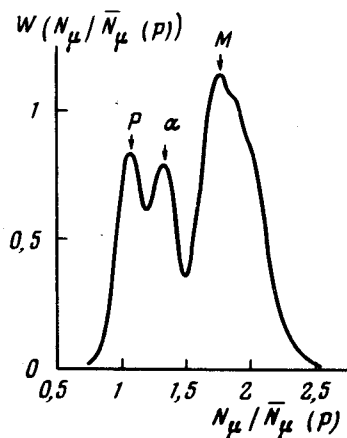


Рис. 2

Рис. 1. Распределение по  $N_\mu$  в ШАЛ с фиксированной первичной энергией  $E_0 = 10^{17}$  эВ и положением максимума в интервале  $x_{max} = 600 + 700$  г/см<sup>2</sup>

Рис. 2. То же при  $x_{max} = 650 + 750$  г/см<sup>2</sup>

тересно, что при этом уменьшается (до 0,75) и показатель  $\alpha$ . С учетом того обстоятельства, что при фиксированном положении максимума ливня флуктуации становятся еще меньше, мы получаем, что точность в определении  $N_\mu$  и  $Q$  зависит практически от точности в определении положения оси ШАЛ и площади детектора. Усовершенствование установок ШАЛ в последнее время [6] (увеличение чувствительных площадей и увеличение точностей регистрируемых параметров) является несомненным практическим аргументом в пользу того, что предполагаемые точности измерений  $N_\mu$  и  $Q$  могут считаться достижимыми<sup>1)</sup>. Таким образом, при хорошей точности измерений величина  $N_\mu$  при изучении ШАЛ с фиксированной первичной энергией и фиксированным положением максимума может служить хорошей мерой атомного номера первичной

<sup>1)</sup> Как было показано в [7], величины  $E_0$  и  $x_{max}$  в принципе, могут быть найдены по измерениям электрического поля  $E$  на различных расстояниях  $r$  от оси ШАЛ. Модуль вектора  $|\vec{E}| \sim E_0$ , а  $E(r)$  связано с положением максимума. Преимуществом данного метода является возможность круглосуточных измерений, тогда как измерения черенковского излучения возможны лишь в ясные безлунные ночи.

частицы, создавшей ШАЛ. При постепенном изменении  $x_{max}$  мы должны получить взаимосогласованные данные о химическом составе первичного излучения, создающего ШАЛ с различным положением максимума. Интегрируя по  $x_{max}$ , мы получаем данные о химическом составе первичного космического излучения при фиксированном  $E_0$ .

Авторы благодарны Г.Б.Жданову за полезную дискуссию.

Институт ядерной физики  
Московского государственного университета  
им. М.В.Ломоносова

Поступила в редакцию  
25 декабря 1980 г.

### Литература

- [1] Н.Н.Калмыков, Г.В.Куликов. Изв. АН СССР, сер. физ., **38**, 1024, 1974.
  - [2] G.V.Khristiansen, V.B.Atrashkevich, N.N.Kalmykov, Yu. g.Fomin Proc. Internat. Cosmic Ray Conf. London, **9**, 774, 1965.
  - [3] Ю.А.Фомин, Г.Б.Христиансен. ЯФ, **14**, 654, 1971.
  - [4] H.R.Allan. PICRC, Plovdiv, **10**, 414, 1977.
  - [5] M.Simon et al. PICRC, Kyoto, **1**, 352, 1979.
  - [6] J.Linsley. Proc of the EAS workshop, University of Utah, 1979, p. 81.
  - [7] Б.В.Атрашкевич, О.В.Введенеев, Г.Б.Христиансен. PICRC, München, **8**, 3086, 1975.
-