

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПЕРВИЧНЫХ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ В ОБЛАСТИ ЭНЕРГИЙ 10^{15} - 10^{16} эВ ПО ДАННЫМ БАКСАНСКОЙ НЕЙТРИННОЙ ОБСЕРВАТОРИИ*

*Совместно с А.В. Воеводским, В.Б. Петковым, А.Л. Цябуком,
А. Дударевичем, Я. Шабельским*

Получен спектр кратностей мюонов с пороговой энергией $E_n = 0.25$ ТэВ в группах в диапазоне 20-200 частиц в телескопе, на основе которого делается вывод о химическом составе первичных космических лучей (ПКЛ) с энергиями 10^{15} - 10^{16} эВ. Экспериментальные данные противоречат предположению об увеличении роли ядер железа в ПКЛ после перегиба.

Предложенный в [1] метод анализа спектра кратностей мюонов в группах под землей с целью получения информации о химическом составе ПКЛ был реализован на Баксанском подземном сцинтилляционном телескопе (БПСТ). Поведение спектра кратностей в интервале 1-40 мюонов в телескопе находилось в хорошем согласии с предположением о постоянстве химического состава ПКЛ до энергии 10^{15} эВ на нуклон [2].

БПСТ расположен в горной выработке на глубине 850 м в. э. и представляет собой четырехэтажное здание размером $16.1 \times 16.1 \times 11.2$ м³, четыре горизонтальные и четыре вертикальные плоскости которого сплошь покрыты сцинтилляционными детекторами размером $70 \times 70 \times 30$ см³. Полное число детекторов в телескопе 3156. Используется информация, поступающая с каждого детектора по двум каналам: с 12-го динода ФЭУ для измерения координат сработавших детекторов (порог >10 МэВ) и с 5-го динода для измерения энерговыделения в детекторе в диапазоне 0.5-13000 ГэВ. При появлении триггерного сигнала информация о событии из регистрирующих устройств поступает в ЭВМ, где проводится его предварительная обработка, а затем записывается на магнитную ленту.

В предыдущих работах [3, 4] исследовались характеристики групп мюонов в широких диапазонах зенитных углов и пороговых энергий, но для относительно малых кратностей. Это ограничение обусловлено сложностью создания эффективной программы обработки событий высокой кратности. Существуют две причины, приводящие к ошибкам в определении числа мюонов в группе: завышение числа траекторий в случае возникновения каскада при взаимодействии одного или нескольких мюонов группы с веществом в телескопе и занижение их числа в области оси группы, где плотность частиц на один детектор может быть > 1 , что для стандартной функции пространственного распределения (ФПР) мюонов в группах

* *Известия Академии наук, сер. физ., т. 57, вып. 4, стр. 117 (1993).*

соответствует прохождению через телескоп более 100 мюонов.

Триггерами для записи события были условия срабатывания в телескопе > 100 детекторов и > 600 детекторов (время набора соответственно 17.5 и 261.5 сут). Срабатывание 100 детекторов соответствует прохождению не менее 20 мюонов или же регистрации каскада от одного мюона или от группы с кратностью менее 20.

Отобранные триггером события обрабатывались программой, определяющей углы прихода группы (θ, φ) и число траекторий (m) . После такой обработки все события просматривались на терминале персональной ЭВМ с помощью программы, позволяющей восстанавливать картину события в телескопе под любыми углами θ и φ , определять число траекторий в любой области телескопа, определять энерговыделение в детекторах в случае возникновения каскада. По окончании такого просмотра событий в случае необходимости проводилась коррекция углов прихода и числа траекторий. Для проведения траектории требовалось наличие сработавших детекторов на двух внешних плоскостях, а также в случае пересечения траекторией внутренней плоскости должен иметься сработавший детектор в месте пересечения. Визуальный просмотр всех событий показал, что для групп с $m < 100$ поправка в углах составляет $< 5^\circ$, а ошибки в числе траекторий $< 10\%$. Для групп большей кратности ошибки в числе траекторий в отдельных случаях достигают 20%, а в углах прихода - менее 10° .

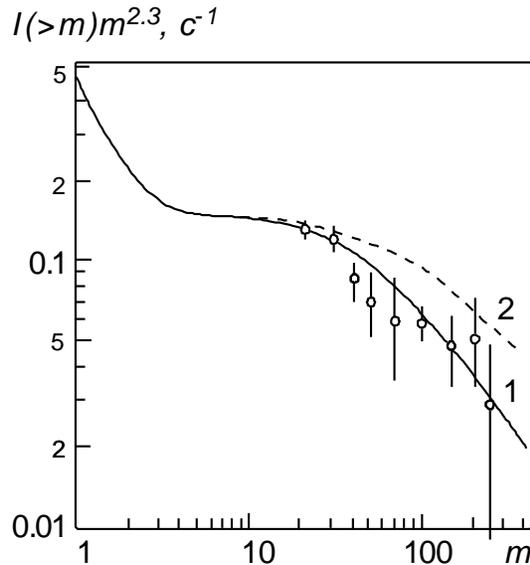


Рис. 1. Интегральный спектр кратностей мюонов с $E_n > 0.25$ ТэВ; $0 < \theta < 20^\circ$

При просмотре события на экран ЭВМ проектировались сработавшие детекторы всех плоскостей телескопа (проекция на плоскость, перпендикулярную направлению движения группы). Из центра в оси группы проводились окружности радиусом $3+3n$ м, где $n=0,1,\dots$. Программа определяла площадь телескопа в данном кольце и число траекторий в ней. Когда плотность частиц вблизи оси могла быть > 1 на детектор (сработали все детекторы внутри кольца), число частиц в телескопе находилось следующим образом: определялась плотность частиц в каждом кольце, а

затем с использованием ФПР и числа частиц в кольцах с плотностью >1 , восстанавливалось число частиц в кольцах, где плотность >1 . ФПР была измерена на телескопе для $\theta = 0-20^\circ$ и $E_n=0.25$ ТэВ [3]. Число событий N для $0 < \theta < 20^\circ$, средняя кратность $\langle m \rangle$ и поток I для диапазонов m_1-m_2 приведены в таблице.

Интегральный спектр кратностей мюонов в телескопе представлен на рис. 1. На этом же рисунке приведены расчетные спектры для двух предположений о химическом составе ПКЛ. Химический состав представлен пятью группами ядер ($A = 1, 4, 14, 28$ и 56) с относительной распространенностью равной при одинаковой энергии на нуклон соответственно 0.939; 0.055; 0.0035; 0.0011 и 0.0003. Показатель энергетического спектра для всех групп ядер равен 1.7 до «излома» и 2.1 после него. Кривая 2 на рис. 1 соответствует «излому» при энергии $3 \cdot 10^{15}$ эВ на нуклон, а кривая 1 - для постоянной энергии на ядро. Расчет делался в следующих предположениях.

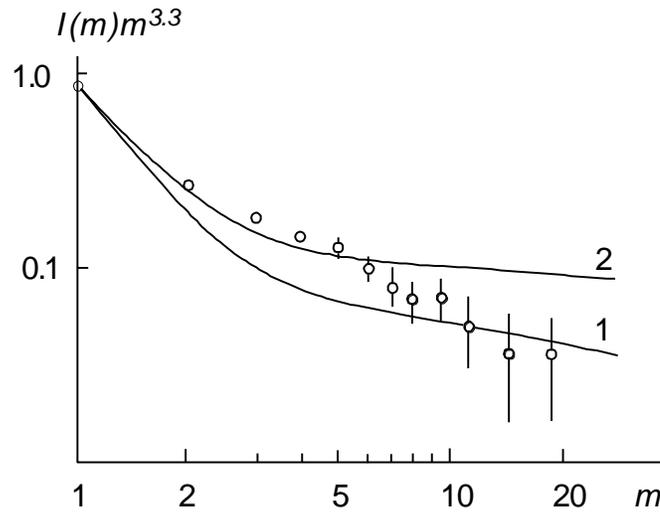


Рис. 2. Дифференциальный спектр кратностей мюонов с $E_n > 1.34$ ТэВ

1. Справедлив принцип суперпозиции при взаимодействии первичного ядра A с ядрами воздуха. Тогда среднее число мюонов в группе от первичного ядра A с данной энергией на нуклон будет в A раз больше числа мюонов от первичного протона с той же энергией.

2. ФПР мюонов в группах не зависит от энергии первичного ядра и его атомного номера и берется в виде

$$f(R, E) = E_\mu^{-0.7} \exp[-(RE_\mu \cos\theta/R_0 E_n)^{0.73}],$$

где R - расстояние от оси группы, E_μ - энергия мюона, E_n - пороговая энергия, R_0 - параметр, учитывающий масштаб поперечного распределения мюонов и равный 8.2 и 1.7 м для E_n соответственно 0.25 и 1.34 ТэВ [3].

3. Флуктуации множественности числа мюонов относительно их среднего значения распределены по закону Пуассона.

Из сравнения экспериментальных данных (ошибки статистические) с расчетами видно лучшее согласие со спектром, полученным в предположении об «изломе» при постоянной энергии на ядро.

В работе [4] исследовалось поведение спектров кратностей мюонов в группах в диапазоне пороговых энергий $1 < E_n < 3 \text{ ТэВ}$ и был сделан вывод о том, что большие статистические ошибки экспериментальных данных не позволяют увидеть предполагаемый «излом» энергетического спектра ПКЛ при $3 \cdot 10^{15} \text{ эВ}$ на нуклон. На рис. 2 приведены взятый из работы [4] экспериментальный спектр кратностей для мюонов с пороговой энергией 1.3 ТэВ (наилучшая статическая обеспеченность) и соответственно наши две расчетные кривые для «излома» при одинаковой энергии на нуклон (2) или ядро (1). Эти данные также лучше согласуются с предположением об «изломе» в первичном спектре при одинаковой энергии на ядро.

Таким образом, можно заключить, что 1) спектр кратностей мюонов с $E_n > 0.25 \text{ ТэВ}$ укрупняется в области кратностей 50-80 и 2) экспериментальные данные для групп мюонов с пороговыми энергиями 0.25 и 1.3 ТэВ противоречат моделям химического состава, в которых возрастает роль ядер железа в области первичных энергий 10^{15} - 10^{16} эВ .

Литература

1. А.Е. Chudakov, Proc. 16th ICRC, Kyoto, **10**, 192 (1979).
2. E.V. Budko et al., Proc. 19th ICRC, La Jolla, **8**, 24 (1985).
3. А.Е. Chudakov, A.L. Tsyabuk, A.V. Voevodsky, Proc. 21st ICRC, Adelaide, **9**, 348 (1990).
4. А.Е. Chudakov, A.L. Tsyabuk, A.V. Voevodsky, Proc. 22nd ICRC, Dublin, **2**, 5 (1991).