

УДК 537.591

## ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРОВ МЮОНОВ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ НА ГЛУБИНАХ ОСТАТОЧНОЙ АТМОСФЕРЫ 10 И 20 г·см<sup>-2</sup>

Э. А. Богомолов<sup>1</sup>, Г. И. Васильев<sup>1</sup>, Л. А. Разоренов

*С помощью аэростатных магнитных спектрометров проведены измерения энергетических спектров мюонов космических лучей с энергиями 0,05 – 2 ГэВ в районах с вертикальными жесткостями геомагнитного обрезания 0,6 и 2,9 ГВ на глубинах остаточной атмосферы 10 и 20 г/см<sup>2</sup>. Экспериментальные данные сравниваются с расчетами, выполненными с помощью метода Монте – Карло.*

Существующие экспериментальные данные о спектрах мюонов в атмосфере носят в основном фрагментарный характер. Подробный анализ состояния экспериментальных и теоретических исследований мюонов космических лучей проведен в работах [1, 2].

В ряде полетов аэростатных магнитных спектрометров, выполненных в 1985 – 1990 гг. в районах с вертикальными жесткостями геомагнитного обрезания 0,6 и 2,9 ГВ, получены энергетические спектры мюонов космических лучей на глубинах остаточной атмосферы 10 и 20 г/см<sup>2</sup>. Магнитные спектрометры состояли из отклоняющего магнита, системы искровых камер с оптическим съемом информации и телескопа из сцинтилляционных и черенковского счетчиков для выделения направления прихода частиц и разделения их по скорости и величине заряда. Геометрический фактор прибора зависит от магнитной жесткости частицы, но при жесткостях, больших 0,5 ГВ, он практически постоянен и составляет 1,25 см<sup>2</sup>·ср. Светосила прибора определяется режимом регистрации и составляет 1,06 м<sup>2</sup>·ср для импульсов, больших 0,8 ГэВ/с. Калибровка магнитных спектрометров осуществлялась по спектру мюонов на уровне моря [3].

<sup>1</sup>Физико-технический институт РАН, С.-Петербург.

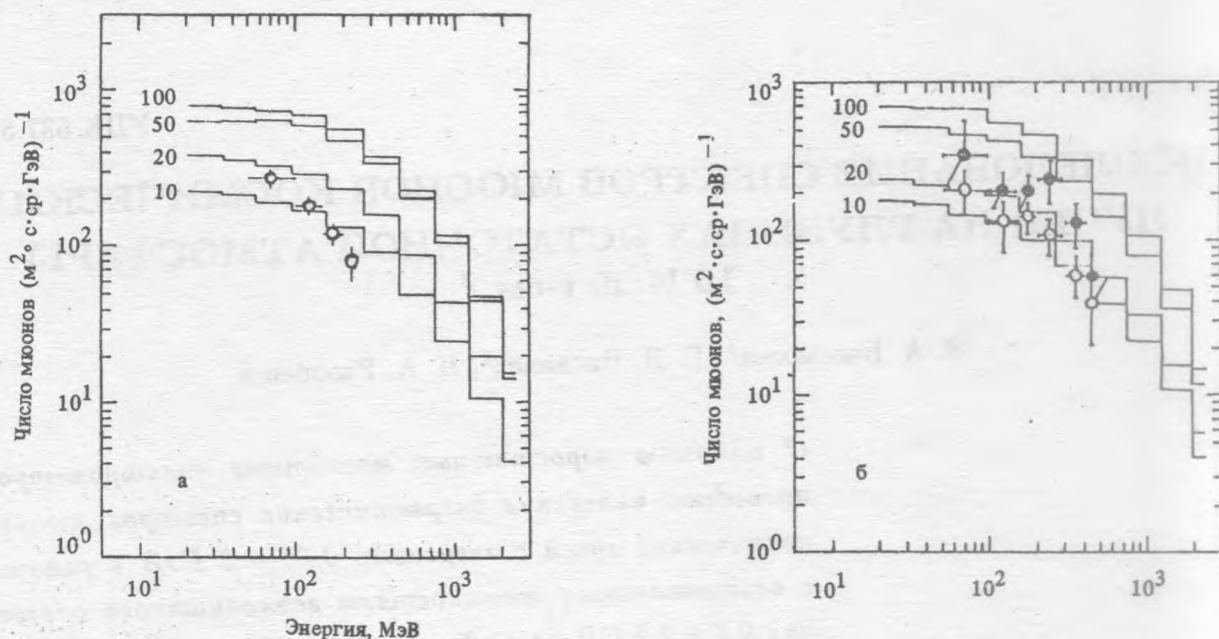


Рис. 1. Спектры мюонов при пороговой жесткости 0,6 ГВ (а) и 3 ГВ (б). Эксперимент: магнитный спектрометр, глубина остаточной атмосферы 10 (о), 20 (●) г/см<sup>2</sup>; зенитный угол 0°. Расчет: зенитный угол 0 – 37°; глубины остаточной атмосферы указаны у кривых.

Ограниченные возможности экспериментального исследования спектров мюонов в атмосфере в значительной мере восполняются результатами моделирования распространения космического излучения в атмосфере с помощью метода Монте – Карло [2]. В основу выполненных расчетов положены принципы, изложенные в работах [4, 5]. Предполагалось, что основной вклад в формирование спектров вносят нуклон-ядерные взаимодействия и ионизационные потери энергии. Нуклонный компонент считался независимым от мезонного. Для описания отдельных актов ядерных взаимодействий использовались полуэмпирические формулы, позволяющие получить распределение вторичных частиц по энергии, множественности и углам вылета. Спектры нуклонов и мезонов, возникающих во взаимодействии ядер с ядрами, полагались подобными спектрам частиц, возникающих в нуклон-ядерных взаимодействиях. При проведении расчетов использовались аппроксимации экспериментальных спектров галактических протонов и альфа-частиц вблизи Земли из работы [6]. Использовалось дипольное приближение зависимости жесткости геомагнитного обрезания от зенитного и азимутального углов. Атмосфера представлялась в виде бесконечного плоского слоя. Связь между высотой над уровнем моря и плотностью атмосферы определялась исходя из стандартной моде-

ли атмосферы [7].

На рис. 1 представлены энергетические спектры мюонов, полученные с помощью азростатных магнитных спектрометров. В пределах точности экспериментов результаты согласуются с расчетами.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Богомолов Э. А. и др. Препринт ФТИ N 629, Л., 1979.
- [2] Васильев Г. И., Фредерикс Д. Д. Препринт ФТИ N 1394, Л., 1981.
- [3] Rastin V. C., J. Phys. G, **10**, 1609 (1984).
- [4] Богомолов Э. А., Васильев Г. И., Гунько Н. А. Препринт ФТИ N 736, Л., 1981.
- [5] Васильев Г. И. Препринт ФТИ N 1055, Л., 1986.
- [6] Webber W. R. and Lezniaк J. A., Astrophys. and Space Sci., **30**, 361 (1974).
- [7] Глаголев Ю. А. Справочник по физическим параметрам атмосферы. Л., Гидрометеиздат, 1970.

Поступила в редакцию 19 января 1994 г.