

Н. Г. ГРИГОРОВ, О. М. КОВРИЖНЫХ, В. Е. НЕСТЕРОВ, И. Д. РАПОПОРТ,
И. А. САВЕНКО, Г. А. СКУРИДИН и А. Ф. ТИТЕНКОВ

ИЗМЕРЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СПЕКТРА ПЕРВИЧНЫХ
КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ В ОБЛАСТИ ЭНЕРГИЙ $10^{10} - 10^{14}$ эв
С ПОМОЩЬЮ ИСЗ ПРОТОН-1

В настоящее время энергетический спектр первичных космических лучей, охватывающий около 10 порядков, изучен путем непосредственных измерений лишь в очень узком интервале энергий $10^9 - 10^{10}$ эв.

Различные косвенные методы, используемые для изучения спектра при больших энергиях, допускают и различную трактовку получаемых данных в зависимости от априорных предположений, положенных в основу расчета спектра, и таким образом выводы о первичном спектре космических лучей являются неоднозначными. Кроме того, различные результаты получают также и при измерениях, проведенных по одной и той же методике при одинаковой схеме расчета (см., например, [1—3]).

Ввиду важности информации о спектре первичных космических лучей для астрофизики космических лучей и для установления ряда характеристик ядерных взаимодействий при высоких энергиях возникает настоятельная необходимость в проведении непосредственных измерений энергетического спектра в возможно большем диапазоне энергий. Ясно, что такие измерения возможны только за пределами атмосферы. Указанный эксперимент был поставлен на тяжелом ИСЗ Протон-1.

Измерения производились методом ионизационного калориметра при помощи прибора СЗ-14 [4]. Измерялись спектры протонов в интервале энергий $5 \cdot 10^9 - 10^{12}$ эв и всех частиц (протонов и более тяжелых ядер) без определения заряда в интервале энергий $2 \cdot 10^{10} - 10^{14}$ эв.

Измерение спектра протонов происходило при выполнении следующих условий: 1) через пропорциональный счетчик прошла однозарядная частица, 2) через детектор взаимодействия прошла однозарядная частица, 3) из калориметра (детектора энергии) вышла вниз хотя бы одна частица и зарегистрировалась нижним сцинтилляционным счетчиком, 4) энерговыделение в калориметре было достаточно для срабатывания по крайней мере первого дискриминатора, имеющего минимальный порог. При этих условиях средняя толщина калориметра равнялась ~ 400 г·см⁻² Fe. При измерении спектра всех частиц выполнение условий 1—3 не требовалось.

В этом случае средняя толщина калориметра составляла ~ 250 г·см⁻² Fe. При такой сравнительно малой толщине калориметра (250 и 400 г·см⁻²) измеряемые спектры всех частиц и протонов являются неискаженными лишь в том случае, если характеристики взаимодействия не зависят от энергии во всем измеряемом диапазоне.

В работе [5] показано, что в интервале энергий $3 \cdot 10^{11} - 2 \cdot 10^{12}$ эв спектр толчков ядерно-активных частиц под слоем вещества в один ядерный пробег совпадает со спектром ядерно-активных частиц, полученных во всем калориметре. Аналогичный вывод сделан для энергий $2 \cdot 10^{11} - 2 \cdot 10^{12}$ эв в работе [6]. Анализ данных, полученных при работе боль-

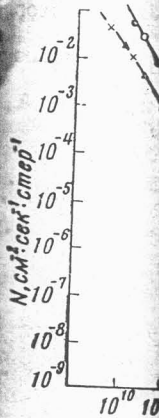


Рис. 2. Спектр всех частиц космического спектра. 1 — первая пороговая энергия, 2, 4 — вторая пороговая энергия.

из сеансов свертываемых прибором соответствующего математического метода уточнена прибором точности.

* Данные бинарными.

1966

шого калориметра на г. Арагац*, также показывает, что в интервале энергий $5 \cdot 10^{11} - 3 \cdot 10^{12}$ эв в слое вещества толщиной $260 \text{ г} \cdot \text{см}^{-2}$ выделяется $\sim 50\%$ всей энергии и эта величина не зависит от энергии первичных частиц в указанном интервале энергии (рис. 1). Аналогичный результат получен и на малом арагацком калориметре для энергий $2 \cdot 10^{11} - 5 \cdot 10^{11}$ эв в слое вещества $230 \text{ г} \cdot \text{см}^{-2}$; экстраполяция к толщине $260 \text{ г} \cdot \text{см}^{-2}$ дает в пределах ошибки ту же долю выделения энергии.

Прибор СЭЗ-14 настраивался на уровне моря по одиночным μ -мезонам с таким расчетом, чтобы первый энергетический порог соответствовал энергии первичной частицы, равной $\sim 10^{10}$ эв. Это значение уточнялось в полете по широтному эффекту космических лучей.

В данной работе приведены предварительные данные, полученные в результате обработки лишь части материала, накопленного за время существования спутника. Так, для построения спектра протонов использованы данные за 36 час полета [7], а для спектра всех частиц — примерно за 50 час (суммарное время измерений), причем для интервала энергий $5 \cdot 10^9 - 10^{12}$ эв использовались только данные, полученные примерно за 24 час в начале полета спутника.

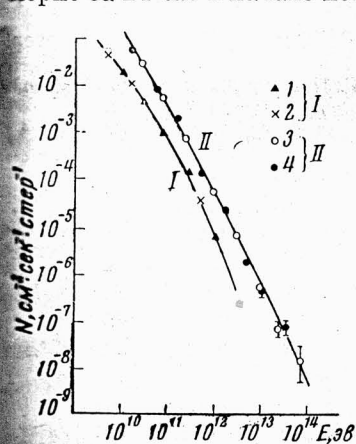


Рис. 2. Спектр протонов (I) и всех частиц (II) первичного космического излучения: 1, 3 — первая половина прибора; 2, 4 — вторая половина прибора

из сеансов связи был построен спектр жесткости для протонов, регистрируемых прибором СЭЗ-14. В результате было установлено, что первый порог соответствует энергии $\sim 5 \text{ Бэв}$ (в дальнейшем после увеличения статистического материала и получения данных по ориентации эта величина будет уточнена). После указанной привязки энергетической градуировки прибора точке спектра протонов, соответствующей энергии 10 Бэв , была

* Данные были любезно предоставлены нам В. Я. Шестоперовым и В. А. Собичевым.

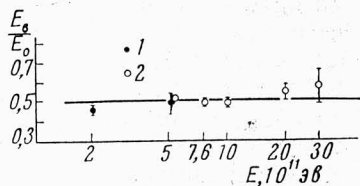


Рис. 1. Средняя доля энергии, выделяющаяся в слое толщиной $260 \text{ г} \cdot \text{см}^{-2}$ в зависимости от энергии: 1 — по малому арагацкому калориметру; экстраполировано к толщине поглотителя $260 \text{ г} \cdot \text{см}^{-2}$; 2 — по большому арагацкому калориметру; толщина поглотителя $260 \text{ г} \cdot \text{см}^{-2}$

Результаты измерений представлены на рис. 2 в двойном логарифмическом масштабе. Небольшой наклон спектра протонов при малой энергии ($5 \cdot 10^9 - 5 \cdot 10^{10}$ эв) обусловлен аппаратным эффектом, так как при этих энергиях значительная часть событий не регистрируется, поскольку для регистрации протонов требуется выход из калориметра вниз хотя бы одной частицы; следовательно, выбрасываются те случаи, когда вся лавина, включая первичную частицу, поглощается в калориметре. Ясно, что такие случаи наиболее вероятны для протонов с малой энергией. Из рис. 2 видно, что спектр всех частиц при малых энергиях не имеет «завала», поскольку при регистрации всех частиц не требуется выполнения условий 1—3, указанных выше.

На рис. 2 по оси ординат указаны абсолютные значения интенсивностей. Привязка полученных данных к интенсивности производилась следующим образом. По одному

РАПОПОРТ,

ЧНЫХ
 10^{14} эв

ческих лу-
едственных

ия спектра
получаемых
ных в осно-
вре косми-
е результа-
дной и той
1—3]).

еских лучей
да характе-
ает настоя-
рений энер-
Ясно, что
Указанный

метра при
в интервале
ельных ядер)

следующих
арядная ча-
ая частица,
дна частица
а, 4) энерго-
по крайней
г. При этих
 см^{-2} Fe. При
требовалось.
 $\sim 250 \text{ г} \cdot \text{см}^{-2}$
 $400 \text{ г} \cdot \text{см}^{-2}$)
скаженными
зависят от

$2 \cdot 10^{12}$ эв
в один ядер-
полученных
гий $2 \cdot 10^{11}$ —
работе боль-

приписана интенсивность, равная $2 \cdot 10^{-2} \text{ см}^{-2} \cdot \text{сек}^{-1} \cdot \text{стер}^{-1}$, т. е. величина, измеренная многими авторами.

Аналогично точке спектра всех частиц при энергии 10^{10} эв была приписана интенсивность $6,0 \cdot 10^{-2} \text{ см}^{-2} \cdot \text{сек}^{-1} \cdot \text{стер}^{-1}$. Отношение потока ядер и протонов к потоку протонов при одинаковой энергии ядер и протонов — коэффициент 3,0 получен из оценок потока тяжелых ядер при энергиях $\sim 10^{10} \text{ эв}$ методом, аналогичным описанному в работе [8].

Следует отметить, что полученные результаты являются предварительными и более определенные выводы можно будет сделать после обработки значительно большего экспериментального материала.

Авторы благодарны Б. М. Яковлеву, Ж. Д. Юрченко, В. Я. Ширяевой, А. В. Смирному, Ю. В. Минееву, Ю. В. Тригубову, Н. Г. Рябовой, Л. Г. Мищенко, В. Ф. Щербакову, Л. С. Александрову, Ю. П. Гордееву, Л. А. Смирнову за помощь при создании и настройке прибора и З. В. Михеевой, Н. П. Жаровой за помощь при обработке полученной информации.

Литература

1. Duthie I. G., Fisher G. M., Fowler P. H. et al., *Phil. Mag.*, 6, 89 (1961).
2. Malhot P. K., Shukla P. G., Stephens S. A., Vijaylakshimi B., Tata Inst. Fundamental Res., Bombay and Bault I., Bowler M. G., Fowler P. H. et al., Physical Laboratory, University of Bristol. A study of the production of γ -rays on high energy nuclear interactions. Preprint, February, 1965.
3. Bowler M. G., Duthie I. G., Fowler P. H. et al., *Japan*, 17, А-III, 423 (1962).
4. Григоров Н. Л., Кахидзе Г. П., Коврижных О. М. и др., Доклад на Всесоюзном совещании по физике космических лучей, Москва, ноябрь, 1965.
5. Бабаян Х. П., Бобецки Я. С., Бояджан Н. Г. и др., *Изв. АН СССР. Сер. физ.*, 26, 5, 558 (1962).
6. Григоров Н. Л., Ерофеева И. Н., Мурзин В. С. и др., *Ж. эксперим. теор. физ.*, 44, 1806 (1963).
7. Баилова Р. Н., Григоров Н. Л., Кахидзе Г. П. и др., Доклад на Всесоюзном совещании по физике космических лучей, Москва, ноябрь, 1965.
8. Григоров Н. Л., Рапопорт И. Д., Савенко И. А., Скуридин Г. А., *Космические исследования*, 2, вып. 5, 724 (1964).

Для из-
чей, генер-
ского изл-
установле-
ром $133 \pm$
ного эффе-
интенсивн-
не геомагн-
спектры п-
и ядер гру-
костей от
остальных

Спектр
ковского
между дву-
ками, обр-
ский счет
нацию фо-
гласового д-
30 мм, на-
такте. . Пр-
сторона ди-
страцию ча-
скопа состо-
тилятора
ное описан-

Предвар-
свидетельс-
и при прох-
на восток в-
риментом.
 $Z \geq 2$ от в-
магнитному
на геомагн-
метрии инт-
асимметрич-
тенсивности
ном направ-