

ПРОТОННАЯ КОМПОНЕНТА ПЕРВИЧНОГО КОСМИЧЕСКОГО  
ИЗЛУЧЕНИЯ В ОБЛАСТИ ЭКВАТОРА НА ВЫСОТАХ 200-500 КМ

В. Г. Синицина

УДК 537.591

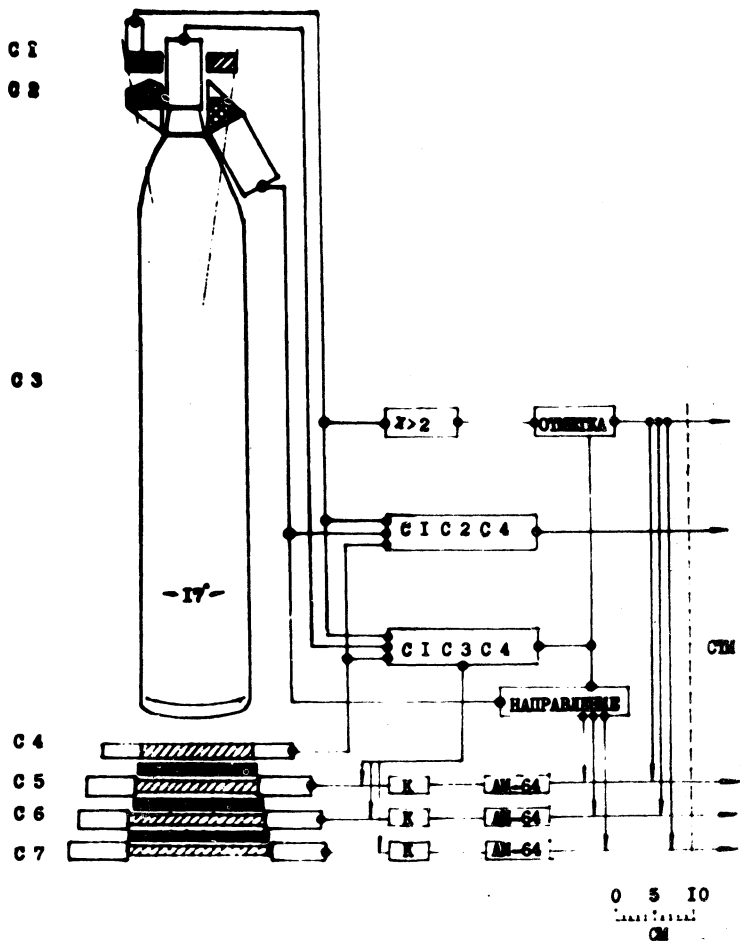
Приводятся экспериментальные результаты изменения потока протонов первичного космического излучения в области экватора, полученные с помощью прибора, поднятого на спутнике "Космос-225"

Условия проведения эксперимента. Искусственный спутник Земли "Космос-225" был запущен 13 июня 1968 года на орбиту с апогеем 530 км, перигеем 270 км, угол наклона плоскости орбиты к плоскости экватора  $48,5^\circ$ , период обращения вокруг Земли 90 мин. Спутник не был ориентирован в пространстве, но на борту находился и постоянно работал магнитометр, показания которого позволили получить ориентацию аппаратуры в пространстве.

Описание прибора . (См. рис.1). Прибор состоял из телескопа, счетчиков (двух сцинтилляционных С1, С4; твердого черенковского С2; газового черенковского С3) и ливневой сцинтилляционной установки.

Два пластических сцинтиллятора С1 и С4 определяли максимальный угол отклонения частиц от оси прибора  $8,5^\circ$  и геометрический фактор установки -  $1,8 \text{ см}^2$  стер. Размеры сцинтилляторов одинаковы - диаметр 14 см, толщина 2 см.

Твердый черенковский счетчик С2 выделял направление прихода частиц с  $\gamma = E/mc^2 \leq 1,3$ . Включение счетчика С2 в управляющий телескоп совпадений С1 С2 С3 С4 приводило к тому, что регистрировались частицы, приходящие со стороны счетчика С2 ("сверху"). События, сопровождавшиеся срабатыванием счетчика С2, фиксировались особой отметкой ("прямые" события). Эффективность направлен-



Р и с. 1. Схема прибора на спутнике "Космос 225". С1 С4 - СПИ-  
 НИЛЛЯЦИОННЫЕ СЧЕТЧИКИ ТЕЛЕСКОПА; С2 - ТВЕРДЫЙ ЧЕРЕНКОВСКИЙ СЧЕТ-  
 ЧИК; С3 - ГАЗОВЫЙ ЧЕРЕНКОВСКИЙ СЧЕТЧИК; С5 С6 С7 - СПИ-  
 НИЛЛЯЦИОННЫЕ СЧЕТЧИКИ ЛИВНЕВОЙ УСТАНОВКИ

ного черенковского счетчика С2 к однозарядным частицам, идущим сверху, составляла 96%. Для срабатывания счетчика С2 от частиц, идущих снизу, необходимо прохождение одновременно не менее 15 частиц.

Газовый черенковский счетчик С3, наполненный этиленом при давлении 4,5 атм, отсекал частицы с  $\gamma = E/mc^2 \leq 12$ . Это определяло энергетический порог для регистрации протонов - 11,5 Гэв. Минимальная энергия электронов, регистрируемых прибором, определялась не порогом ГЧС - 6,2 Мэв, а общим количеством вещества в телескопе (20 г/см<sup>2</sup>) и составляла  $\approx 40$  Мэв.

Ливневая установка состояла из трех сцинтилляционных счетчиков С5, С6, С7, каждый из которых располагался под слоем свинца толщиной 1,5 см (17 г/см<sup>2</sup> или 2,7 t-единицы). Совпадение С1 С3 С4 (с разрешением  $\leq 5 \cdot 10^{-7}$  сек) открывало каналы ливневой установки на время  $5 \cdot 10^{-6}$  сек, при этом измерялась величина импульса в каждом из трех сцинтилляторов С5, С6, С7. После срабатывания управляющего телескопа осуществлялась блокировка ливневой установки на время 4 сек, в течение которых установка была нечувствительна к приходу частиц. Для каждого события в ливневой установке записывались следующие характеристики:

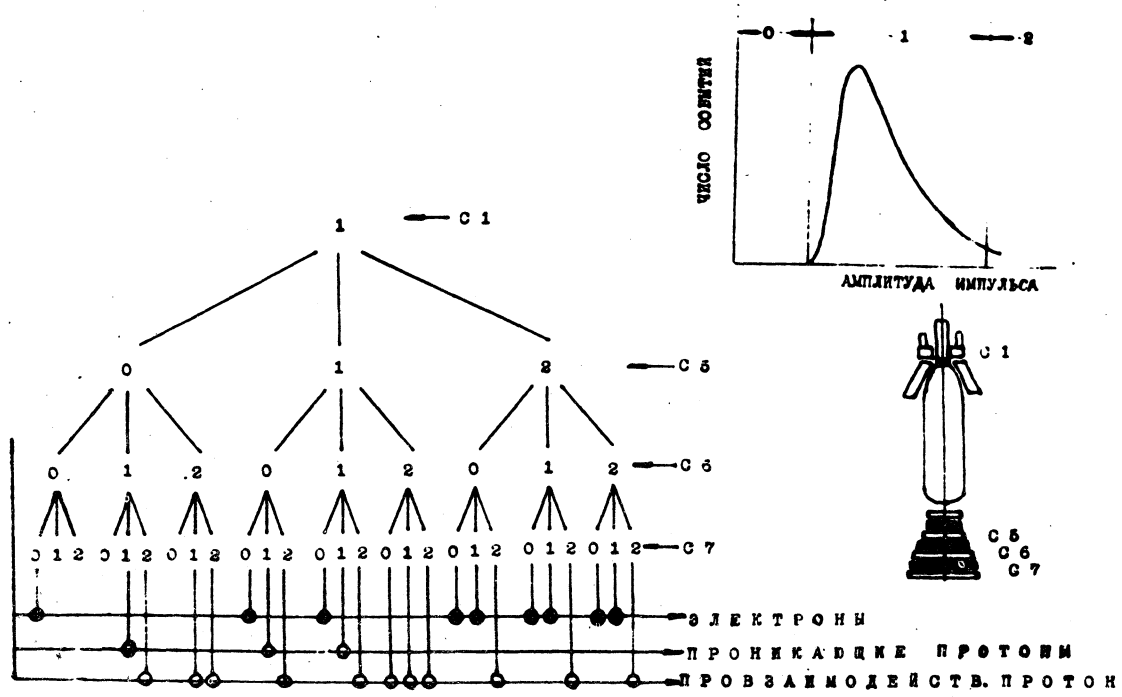
1. Амплитуда импульса каждого счетчика С5, С6, С7, измеренная 64-канальным амплитудным анализатором (т.е. количество частиц на трех глубинах 17,34, 51 г/см<sup>2</sup> развития электронно-фотонного ливня в свинце).

2. Амплитуда импульса счетчика С1 - фиксация того, что через установку прошла одна или больше одной релятивистской частицы.

3. Амплитуда импульса счетчика С2 - регистрация направления прихода частицы в установку: со стороны счетчика С2 ("сверху") или со стороны ливневой части установки ("снизу").

Информация о скорости счета тройных совпадений С1 С2 С4 и перечисленных выше данных о событии в ливневой установке записывалась бортовой системой телеизмерений и передавалась на Землю.

**Результаты.** Все события, наблюдаемые в ливневой установке, отбирались в соответствии с амплитудой импульса в счетчиках С5 С6 С7. Процесс идентификации событий проиллюстрирован Рис.2. Амплитуды 0, 1, 2 показывают, что световыход ниже, равен или больше ионизационных потерь релятивистской частицы. Эффективность



Р и с. 2. Идентификация событий в ливневой установке

идентификации событий определялась экспериментально, на основе калиброванных измерений в лабораторных условиях /1/ и на ускорителях /2,3/. Первичные протоны, проходящие через управляющий телескоп С1 С3 С4 с отметкой о направлении прихода сверху ("прямой" в счетчике С2), должны давать, в измерительных счетчиках С5 С6 С7 импульс, соответствующий однозарядной частице, за исключением случаев взаимодействия с веществом фильтра, причем взаимодействия равновероятны во всех пластинах фильтра. Поток протонов должен уменьшаться на 9% при прохождении каждого фильтра (пробег взаимодействия  $\sim 190 \text{ г/см}^2$ ).

За 300 минут полета наблюдалось 573 прямых события, из них 46 протонов, прошедших установку без взаимодействий; 9 протонов провзаимодействовали во втором фильтре и 9 в третьем фильтре.

На Рис. 3а приведен полученный на основании анализа характера событий вливневой установке поток протонов первичного космического излучения в зависимости от изменения жесткости геомагнитного обрезания. Из рисунка видно, что газовый счетчик с энергетическим порогом для протонов  $E=11,5$  Гэв обрезает спектр.

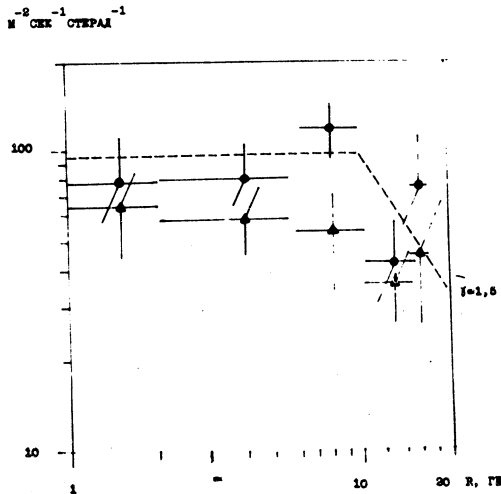
Поток первичных протонов с  $E \approx 11,5$  Гэв составляет  $(96 \pm 13)$  частиц  $\text{м}^{-2} \text{сек}^{-1} \text{стерад}^{-1}$  (точка при жесткости геомагнитного обрезания  $\approx 11,5$  Гэв на рис. 3).

При энергиях больше порога обрезания газового черенковского счетчика  $E > 11,5$  Гэв поток уменьшается и составляет  $(58 \pm 12)$  частиц  $\text{м}^{-2} \text{сек}^{-1} \text{стерад}^{-1}$ . Увеличение статистики в экваториальной области дало более точное значение потока  $E > 11,5$  Гэв, равное  $(52 \pm 7)$  частиц  $\text{м}^{-2} \text{сек}^{-1} \text{стерад}^{-1}$  (точка при жесткости геомагнитного обрезания 11-17 Гэв на рис.3б).

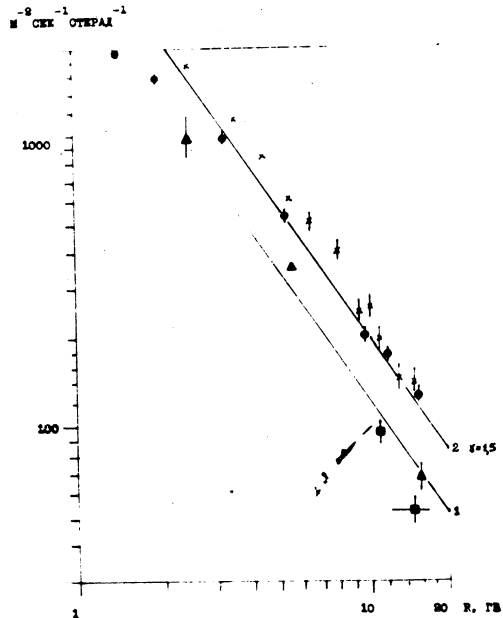
Все вышеприведенные потоки даны с учетом ориентации прибора в пространстве.

Ориентация вводилась следующим образом. Из участка полета, по которому приведен поток (пять соседних витков) выделен участок продолжительностью 90 минут, на котором получена ориентация по данным магнитометра. Съём информации с магнитометра проводился каждые 10 сек в течение 90 мин. Прибор свободно вращался в пространстве с периодом 2,5 минуты. Половину времени прибор был направлен на Землю, а половину времени от Земли. За 922 секунды при направлении оси прибора в зенит (с точностью  $\pm 45^\circ$ ) зарегистрировано 7 протонов, что соответствует потоку первичных протонов  $(76 \pm 30)$

a



б



Р и с. 3. а) Зависимость потока первичных протонов в ливневой установке от жесткости геомагнитного обрезания.  $\phi$  - без учета взаимодействий в фильтре ливневой установки;  $\blacktriangle$  - с учетом взаимодействий в фильтре ливневой установки. б) Зависимость потока протонов первичных космических лучей от жесткости геомагнитного обрезания:  $\blacklozenge$  - настоящая работа;  $\blacktriangle$  - А. Н. Чарахчян, Т. Н. Чарахчян /4/;  $\phi$  - W. R. Webber, I. E. Ormes /5,6/;  $\ast$  - Р. Н. Баилова и др.

частиц  $m^{-2} \text{сек}^{-1} \text{стерад}^{-1}$ . Поток в пределах точности измерений совпадает с вышеприведенным. За 717 секунд, в течение которых прибор, был направлен в надир (с точностью  $\pm 45^\circ$ ), зарегистрирован один протон, что соответствует потоку  $(14 \pm 14)$  частиц  $m^{-2} \text{сек}^{-1} \text{стерад}^{-1}$ .

При вычислении потока по полному участку полагалось, что прибор смотрел половину времени на Землю, а половину времени от Земли.

Приведенные выше потоки протонов получены при регистрации информации бортовым записывающим устройством в режиме запоминания. Полная скорость счета всех событий в режиме запоминания составляла 6,85 отсчетов в минуту. Проведем сравнение с данными, непосредственно передаваемыми на Землю, когда частота опроса и передачи на два порядка выше. Данные непосредственно передавались на Землю 87 мин. Полная скорость счета всех событий составляла 6,5 частиц в минуту, поток первичных протонов -  $(61 \pm 14)$  частиц  $m^{-2} \text{сек}^{-1} \times \text{стерад}^{-1}$ .

Итак, система записи и передачи данных на Землю не могла вносить ошибок в определение потока первичных протонов.

Обсуждение. Сравним полученные нами потоки протонов первичных космических лучей с потоками по измерениям, выполненным в стратосфере и на ИСЗ.

На рисунке 36 представлены полученные в настоящей работе (кривая I) потоки первичных протонов совместно с данными работ /4-7/.

Кривая I /4/ - поток первичных протонов по измерениям интенсивности проникающей компоненты в стратосфере счетчиковыми телескопами. Интенсивность первичной компоненты космических лучей на широте  $2^\circ$  равна  $(80 \pm 7)$  частиц  $m^{-2} \text{сек}^{-1} \text{стерад}^{-1}$  ( $R \geq 15,7$  Гв). Доля протонов составляет 85%, доля  $\alpha$ -частиц - 15%. С учетом этого, поток первичных протонов составляет  $(68 \pm 7)$  частиц  $m^{-2} \text{сек}^{-1} \text{стерад}^{-1}$ .

Результаты изучения спектров протонов и ядер гелия в одиннадцати полетах на семи геомагнитных широтах на высоте  $2-6 \text{ г/см}^2$  приведены в работе /6/. Измерения проводились с использованием модифицированного варианта черенковско-цинтилляционного телескопа /5/ с большим геометрическим фактором  $\sim 50 \text{ см}^2 \text{стерад}$ . Чтобы получить спектр первичных протонов, необходимо знать вклад первичной и вторичной компонент в распределение однозарядных частиц.

Кривая 2 - спектр первичных протонов, полученный в этом эксперименте.

Поток протонов по данным работы /7/, выполненной в полетах на ИСЗ на высотах 200-500 км, также показан на рис. 3б. Для разделения электронов и протонов использовалась методика фильтрации падающего на аппаратуру излучения слоем свинца толщиной три радиационных единицы. Вокруг прибора находились большие массы вещества.

Поток первичных протонов, полученный в данной работе, согласуется в пределах точности измерений с результатами работ /4/. Значения потоков, приведенные в работах /5,6,7/, превышают (в два-три раза) значение потока, полученное в данном эксперименте. Это различие может быть обусловлено вкладом в первичную протонную компоненту электронов прямого и возвратного альbedo, "избыточных" протонов, недостаточностью мер по исключению эффекта ливней из окружающего плотного вещества, пересчетом к границе атмосферы. В нашей работе проведено, как мы считаем, прямое, свободное от дополнительных пересчетов, измерение потока первичных протонов на экваторе.

Поступила в редакцию  
12 марта 1974 г.

#### Л и т е р а т у р а

1. В. И. Логачев, В. Г. Сеницына, В. С. Чукин. Космические лучи, сборник статей, № 10, 185, 1969 г; № 13, 207, 1972 г; пре-принт ФИАН, 1966 г.
2. В. И. Логачев, В. И. Сеницына. Изв. АН СССР, сер. физ. 32, 508 (1968).
3. А. М. Кольчужкин, В. В. Рыжов, В. В. Учайкин. Изв. АН СССР, сер. физ., 35, 2171 (1971).
4. А. Н. Чарахчян, Т. Н. Чарахчян. ЖЭТФ, 35, 1088, (1958); Геомagnetизм и астрономия, том VII, № 6, 974, (1967); Геомagnetизм и астрономия, том V, № 2, 240 (1970).
5. W. R. Webber, I. F. Ormes. Phys. Rev., 138, 2B, 416 (1965).
6. W. R. Webber, I. F. Ormes. Proc. Int. Conf. Cosmic Rays, London, 1965, p.349.
7. Р. Н. Басилова и др. Космические исследования, 1973 (в печати).