

П  
Э41



С. А. Воронов, А. М. Гальпер, М. В. Гузенко,  
В. А. Джанибеков, В. Г. Кириллов-Угрюмов,  
С. В. Колдашов, А. В. Попов, В. П. Савиных,  
В. Ю. Чесноков, Н. И. Швец

035-85

700 3377  
МФН

ЭКСПЕРИМЕНТ „МАРИЯ“ ПО ИССЛЕДОВАНИЮ  
ЭЛЕКТРОННО-ПОЗИТРОННОЙ КОМПОНЕНТЫ  
КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ  
НА БОРТУ ОРБИТАЛЬНОГО КОМПЛЕКСА  
„САЛЮТ-7“ — „СОЮЗ-13“ — „КОСМОС-1669“

МОСКВА 1985

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО  
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ СССР

П  
ЭЧ

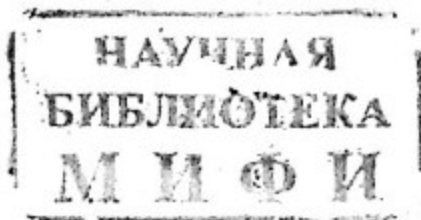
МОСКОВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ  
ИНЖЕНЕРНО-ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Воронов С.А., Гальпер А.М., Гузенко М.В.,  
Джанибеков В.А., Кириллов-Угрюмов В.Г.,  
Колдашов С.В., Попов А.В., Савиных В.П.,  
Чесноков В.Ю., Швец Н.И.

ЭКСПЕРИМЕНТ "МАРИЯ" ПО ИССЛЕДОВАНИЮ  
ЭЛЕКТРОННО-ПОЗИТРОННОЙ КОМПОНЕНТЫ  
КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ  
НА БОРТУ ОРБИТАЛЬНОГО КОМПЛЕКСА  
"САЛЮТ-7" — "СОЮЗ-13" — "КОСМОС-1669"

Препринт 035-85

*Утверждено  
редсоветом института*



Москва 1985

Воронов С.А., Гальпер А.М., Гузенко М.В., Джанибеков В.А., Кириллов-Угрюмов В.Г., Колдашов С.В., Попов А.В., Савиных В.П., Чесноков В.Ю., Швец Н.И. Эксперимент "Мария" по исследованию электронно-позитронной компоненты космических лучей на борту орбитального комплекса "Салют-7" — "Союз-13" — "Космос-1669". — М.: Препринт МИФИ, 035-85, 1985. — 12 с.

Приводятся результаты измерения потоков электронов и позитронов с энергией в диапазоне  $20 \div 200$  МэВ на разных широтах и в районе Бразильской аномалии, выполненные с помощью магнитного спектрометра "Мария" на орбитальном космическом комплексе "Салют-7" — "Союз-13" — "Космос-1669".

В экспериментах на орбитальном комплексе "Салют-6" — "Союз-  
"Прогресс", осуществленных в 1979-1980 гг. при помощи телескопа "Еле-  
на Ф", были обнаружены значительные потоки высокоэнергетичной элект-  
ронно-позитронной компоненты космических лучей в районе Бразильской  
аномалии. Детальный анализ пространственного и питч-углового распреде-  
ления зарегистрированных частиц показал, что они принадлежат радиацион-  
ному поясу Земли, который опускается в районе Бразильской аномалии  
до высот  $\sim 300 \div 350$  км [1; 2]. Это явилось первым экспериментальным  
обнаружением электронов и позитронов с энергией более нескольких десят-  
ков мегаэлектронвольт в радиационном поясе Земли. Вскоре был опубли-  
кован ряд работ, в которых также сообщалось о регистрации потоков элект-  
ронно-позитронной компоненты в радиационном поясе [3 ÷ 6]. В работе [6]  
были проведены целенаправленные измерения потоков захваченных элект-  
ронов и позитронов на ИСЗ "Интеркосмос-Болгария 1300", траектория по-  
лета которого проходила на высоте  $800 \div 900$  км и более глубоко внедря-  
лась в районе Бразильской аномалии в радиационный пояс Земли, что по-  
зволило определить конфигурацию электронно-позитронного "пояса".

Очевидно, что обнаружение подобных потоков имеет определенное  
практическое значение и безусловно скажется на развитии наших представле-  
ний о физических процессах, происходящих в ближайшем космическом  
пространстве. Действительно, ни интенсивность, ни распределение электрон-  
но-позитронной компоненты в радиационном поясе не могут быть объясне-  
ны традиционным механизмом — распадом альбедных (от земной атмосфе-  
ры) нейтронов. Достаточно отметить, что максимальная энергия электро-  
нов, возникающих в этом случае, составляет не более нескольких мегаэлект-  
ронвольт [7]. Следовательно, необходимо искать новые механизмы гене-  
рации электронно-позитронной компоненты. Все возможные механизмы,  
по-видимому, могут быть разбиты на два класса: первый — процесс ядерно-  
го взаимодействия высокоэнергетичных протонов и ядер, имеющих в  
ближайшем космическом пространстве, с остаточной атмосферой с обра-  
зованием и последующим распадом  $\pi$ -мезонов на электроны и позит-  
роны, часть которых будет захватываться магнитным полем Земли; вто-  
рой — разного рода процессы ускорения. Выявлению механизмов генерации  
может способствовать раздельное измерение потоков электронов и позитро-  
нов, определение их энергетических спектров, временных и пространствен-  
ных характеристик.

С этой целью на орбитальном комплексе "Салют-7" — "Союз-13" — "Космос 1669" начат принципиально новый этап измерений с помощью магнитного сцинтилляционного спектрометра "Мария". Физическая схема спектрометра приведена на рис. 1. Заряженная частица, проходя через сцинтилляционные счетчики С1, С2, попадает в область магнитного поля  $\sim 4$  кЭ, создаваемого магнитной системой М [8], испытывает в нем отклонение на угол  $\varphi$  и регистрируется нижним счетчиком С3. Величина угла отклонения определяется энергией, а знак — знаком заряда частицы. Сцинтилляционные счетчики С1, С2, С3 разбиты на отдельные полосы шириной 2 см в направлении, перпендикулярном магнитным силовым линиям, причем каждая полоса просматривается своим фотоумножителем. Это позволяет при заданных расстояниях между счетчиками измерять углы отклонения частицы в магнитном поле с точностью  $\sim 2^\circ$ .

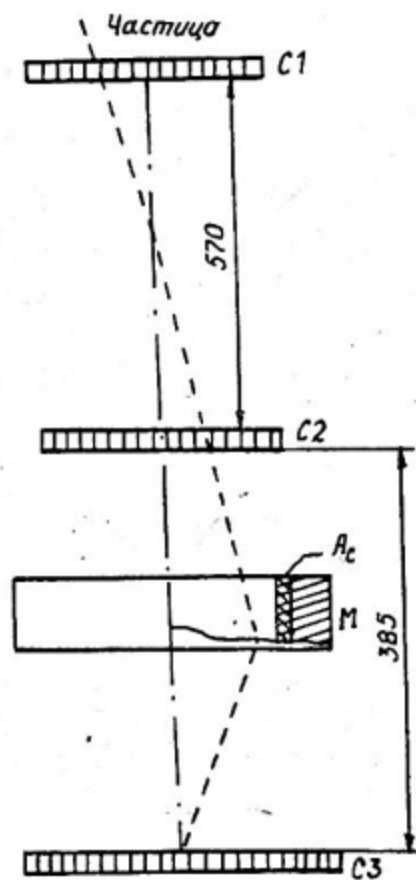


Рис. 1

Выделение полезных событий происходит в два этапа. На первом этапе проводится быстрый ( $\leq 70$  нс) логический отбор релятивистских  $|\beta \geq 0,53|$  частиц, проходящих через прибор в "прямом" направлении и не

задевших полюсов и элементов конструкции магнитной системы. На втором — анализ координат частицы в счетчиках С1, С2, С3 и выделение событий, имеющих угол отклонения в магнитном поле  $\varphi$  более  $4^\circ$ .

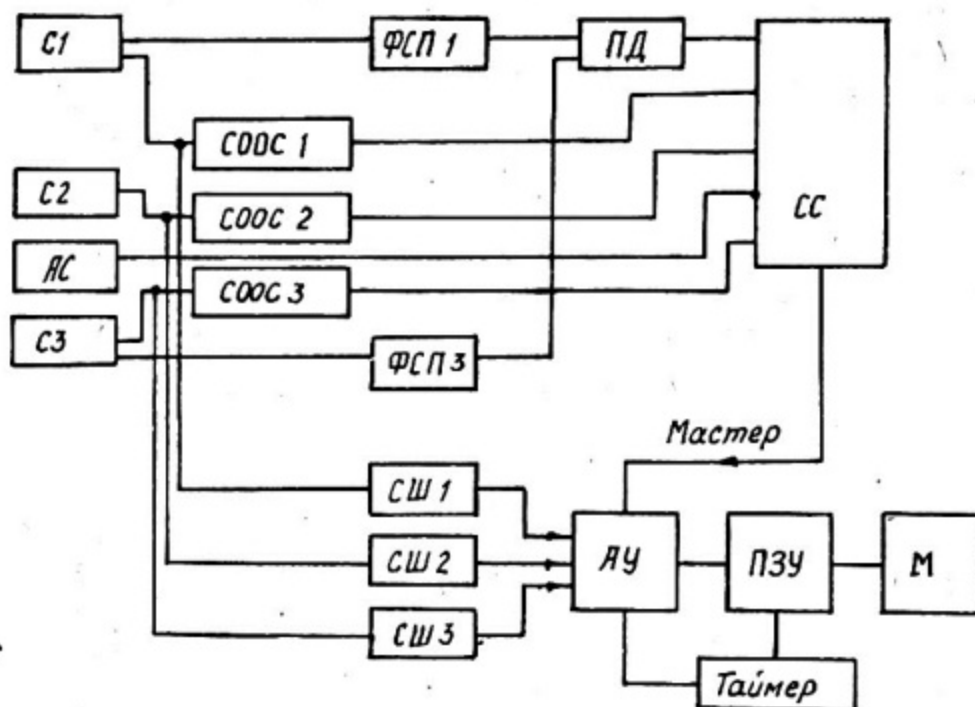


Рис. 2

На рис. 2 представлена логическая схема электронного устройства спектрометра. Сигналы с ФЭУ через формирователи-дискриминаторы поступают на входы схем отбора одиночных событий (СООС), вырабатывающих импульсы только в случае срабатывания одной полосы в счетчиках С1, С2, С3. Одновременно сигналы с фотоумножителей счетчиков С1, С3 поступают на входы усилителей (У), затем через формирователи со следящим порогом (ФСП) на приоритетный дискриминатор (ПД). Приоритетный дискриминатор вырабатывает импульс при  $3 \text{ нс} \leq t_3 - t_1 \leq 10 \text{ нс}$ , где  $t_1$  и  $t_3$  — моменты времени прихода сигналов с ФСП1 и ФСП3 соответственно. При выполнении этого условия и временном разрешении каждого канала  $\leq 1,5 \text{ нс}$  эффективность приоритетного дискриминатора для ультрарелятивистских частиц прямого пролета более 95% и не выше 0,5% для частиц обратного направления. Сигналы со схем СООС 1, 2, 3 и ПД1 поступают на схему совпадений (СС), которая вырабатывает импульс при прохождении через счетчики С1, С2, С3 одной релятивистской частицы в прямом направлении. Импульс со схемы совпадений включает арифметическое устройство (АУ), которое вычисляет по номерам сработавших полос величину и знак угла отклонения частицы в магнитном поле. При  $|\varphi| > 4^\circ$  информация о коорди-

натах частицы, величине и знаке угла отклонения, времени регистрации события, а также о темпах счета некоторых каналов переносится в промежуточное запоминающее устройство (ПЗУ) и затем посредством блока телеметрии выводится на внешние запоминающие или передающие устройства. Объем памяти ПЗУ рассчитан на регистрацию 42 событий. При его заполнении происходит перенос и запись информации на магнитофон (М). Одновременно информация выводится на выносной пульт управления и может считываться визуально.

Физические характеристики спектрометра были получены в результате расчета его параметров на ЭВМ методом Монте-Карло и подтверждены калибровкой на ускорителе ФИАН СССР.

При моделировании прохождения заряженных частиц через прибор учитывались процессы ионизации, тормозного излучения, многократного кулоновского рассеяния, флуктуации энергетических потерь при образовании  $\delta$ -электронов и тормозных квантов.

На рис. 3 приведена зависимость эффективности регистрации электронов от их энергии, рассчитанная для изотропного углового распределения падающих частиц. Наибольшая величина эффективности соответствует энергетической области  $40 \div 80$  МэВ и составляет величину  $\sim 0,5$ . При энергиях электронов менее 40 МэВ эффективность резко падает. Это связано с увеличением отклонения в магнитном поле, влиянием многократного рассеяния и поглощением. При энергиях более 100 МэВ спад эффективности обусловлен ростом числа частиц, имеющих угол отклонения, меньший  $4^\circ$ . Однако в этой области энергий спад менее резкий, что связано с регистрацией электронов, потерявших энергию на тормозное излучение в сцинтилляционных детекторах. На рис. 4 приведена зависимость средней измеренной спектрометром энергии электронов от их истинной энергии. Плато в области энергий более 100 МэВ связано с координатным разрешением телескопа годоскопических счетчиков С1 + С3, которое составляет величину — 2 см.

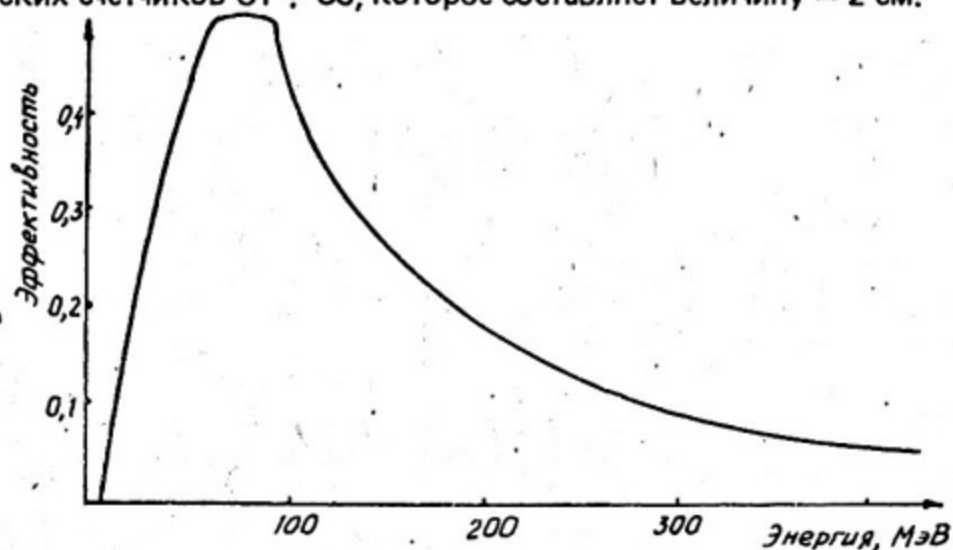


Рис. 3

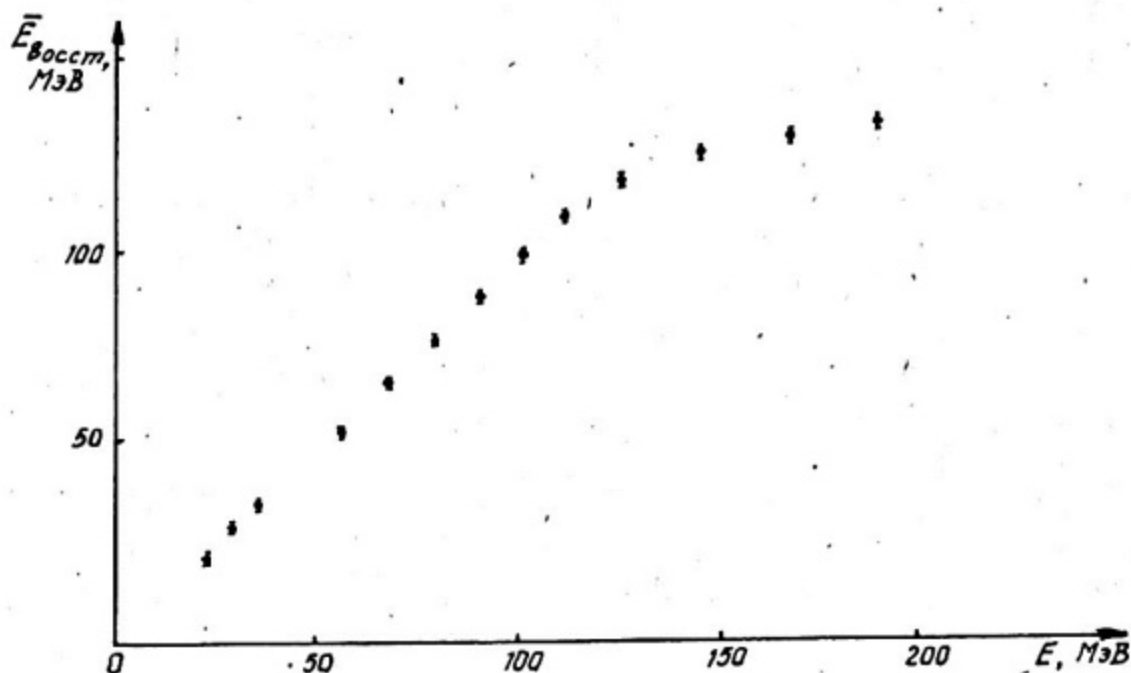


Рис. 4

Расчет показал, что вероятность неправильной идентификации знака заряда частицы, связанная с присчетом частиц "обратного" пролета, составляет менее 1% при энергиях ниже 200 МэВ, а вероятность регистрации протонов в электронных каналах не превышает  $10^{-5}$ .

Калибровка спектрометра проводилась на моноэнергетических пучках электронов и позитронов ускорителя ФИАН СССР. Пучки имели растяжку 400 мс и формировались анализирующим магнитом, свинцовым коллиматором и телескопом из трех мониторных счетчиков, один из которых включался в антисовпадение с остальными и имел отверстие по оси пучка. Загрузка спектрометра электронами в диапазоне энергий электронов 50 ÷ 200 МэВ не превышала 10 Гц. Вклад коррелированных многочастичных событий не превышал 1%. Доля частиц противоположного знака в пучке не превышала 3%. На рис. 5 приведена энергетическая зависимость эффективности регистрации частиц спектрометром, полученная в пучке электронов, проходящих через центр счетчика С1 под углом  $\sim 0^\circ$  по отношению к оси прибора. Угловая расходимость пучка составляла величину менее  $1^\circ$ , площадь засветки счетчика С1  $\approx 2 \times 2 \text{ см}^2$ . Некоторое отличие экспериментальных значений от результатов расчета для реальных геометрических условий проведения измерений связано с примесью низкоэнергетических электронов в пучке, образующихся при взаимодействии частиц пучка с веществом по пути к спектрометру.

Энергетические распределения числа зарегистрированных частиц (рис. 6), полученные при экспонировании, когда ось прибора составляла угол  $0^\circ$  по отношению к пучку частиц для энергии 50, 80, 100 и 120 МэВ,

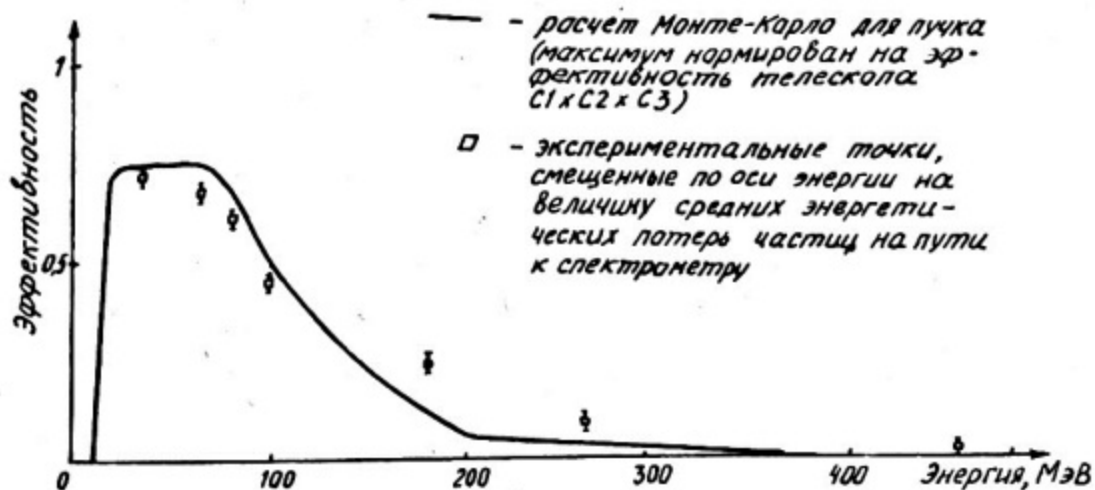


Рис. 5.

подтверждают возможность проведения спектрометрических измерений в диапазоне  $20 \div 120$  МэВ. В диапазоне  $120 \div 200$  МэВ энергетическое разрешение ухудшается. Систематический сдвиг спектров в область низких энергий связан с потерями энергии электронами пучка на пути к прибору. Аналогичные распределения получены для углов падения частиц  $5^\circ$  и  $10^\circ$ .

Прибор "Мария" был доставлен в транспортном состоянии на орбитальный комплекс ИСЗ "Космос 1669", затем собран и установлен в рабочее положение, обеспечивающее регистрацию захваченных частиц с питч-углами, близкими к  $90^\circ$ .

Первый этап измерений был начат 9 августа 1985 г. [9], и к концу сентября было зарегистрировано несколько сот электронов и позитронов. За это время проведены работы по проверке функционирования прибора, отлажены системы вывода и обработки информации.

Одним из первых результатов, полученных к настоящему времени, является измерение в районе Бразильской аномалии интенсивности захваченной электронно-позитронной компоненты с энергией  $20 \div 200$  МэВ, оказавшейся равной  $1100 \pm 170 \text{ м}^{-2} \text{ с}^{-1} \cdot \text{ср}^{-1}$ , что совпадает с результатами работы [1].

В этом же энергетическом диапазоне впервые измерено отношение интенсивностей позитронов и электронов в ближайшем космическом пространстве (на высотах  $\sim 350$  км, вне Бразильской аномалии), которое равно  $2,0 \pm 0,4$ .

Приведенные ошибки носят чисто статистический характер. Возможная примесь протонов в измеренной интенсивности менее 2%.

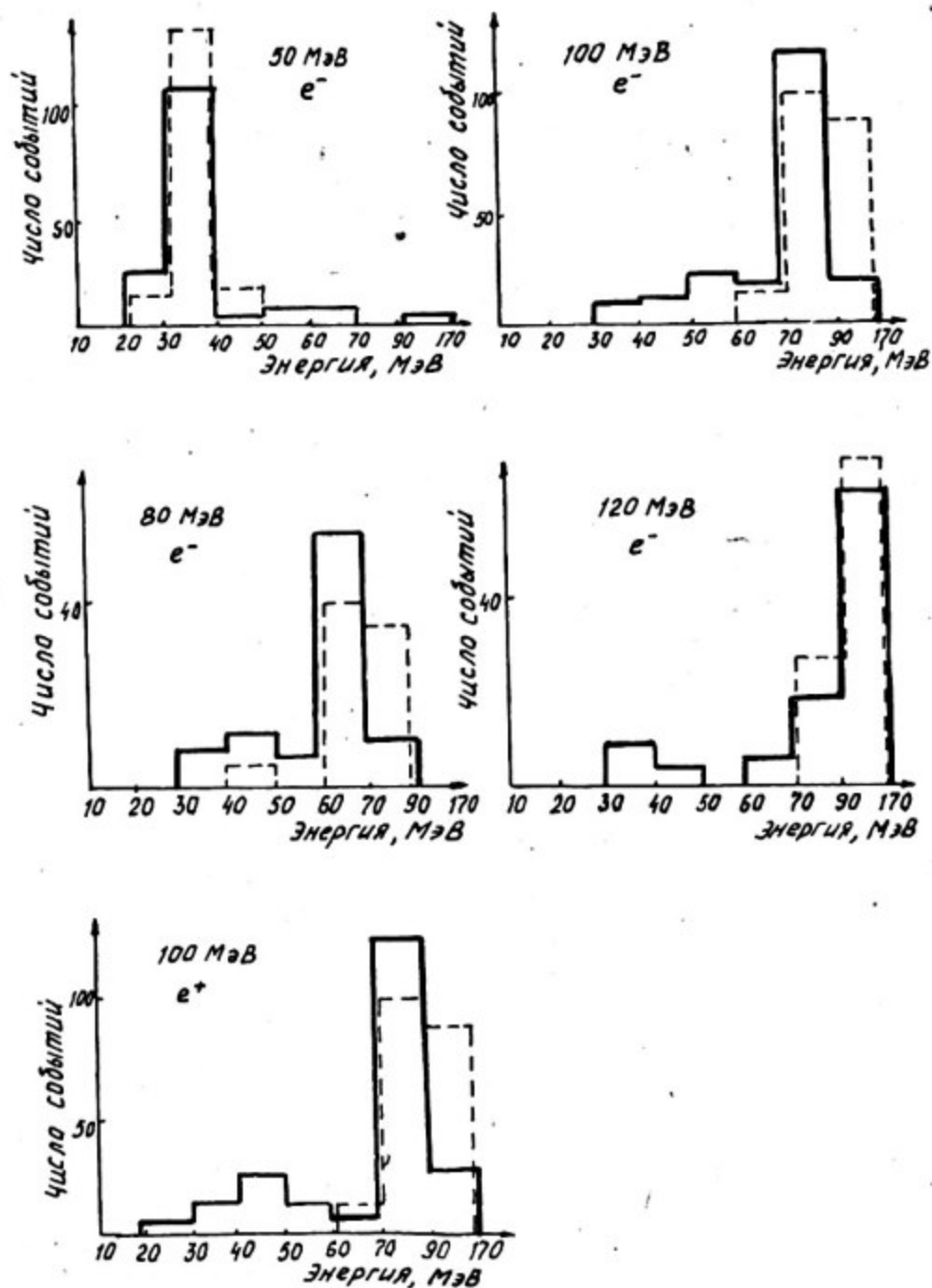


Рис. 6

Эти результаты, полученные с помощью классической методики измерений, основанной на магнитном анализе, подтвердили наличие во внутреннем радиационном поясе Земли значительных потоков высокоэнергетичных электронов и позитронов и не оставляют никаких сомнений в реальности этих явлений.

\* \* \*

Авторы выражают благодарность Шихину А.Я., Каневскому Е.И., Курбатову П.А., Михайлову В.В., Рубцову И.В., Фролову М.Г. за помощь в разработке и создании спектрометра, а также Якименко М.П. за содействие в проведении калибровки на ускорителе.

#### Литература

1. Гальпер А.М., Грачев В.М., Дмитриенко В.В., Кириллов-Угрюмов В.Г., Ляхов В.А., Рюмин В.В., Улин С.Е., Швец Н.И. — Космические исследования, 1981, т. 19, с. 645.
2. Гальпер А.М., Грачев В.М., Дмитриенко В.В., Кириллов-Угрюмов В.Г., Ляхов В.А., Рюмин В.В., Улин С.Е., Швец Н.И. — Известия АН СССР. Сер. физ., 1981, т. 45, с. 637.
3. Басилова Р.Н., Гусев А.А., Пугачева Г.И., Титенков А.Ф. — Геомагнетизм и аэрономия, 1982, т. 22, с. 671.
4. Шарвина К.М. — Геомагнетизм и аэрономия, 1982, т. 22, с. 861.
5. Никольский С.И., Сеницына В.Г. — Препринт ФИАН, № 11, 1983.
6. Гальпер А.М., Грачев В.М., Дмитриенко В.В., Кириллов-Угрюмов В.Г., Улин С.Е. — Письма в ЖЭТФ, 1983, т. 38, с. 409.
7. Хесс В. Радиационный пояс и магнитосфера. — М.: Атомиздат, 1972.
8. Воронов С.А., Каневский Е.И., Колдашов С.В., Попов А.В., Фролов М.Г. — В сб.: Приборы, средства автоматизации и системы управления. М., 1985, вып. 2, 3, 4, с. 62.
9. Сообщение ТАСС. — Правда, 1985, 10 августа.