

УДК 539.128.412

*Н. Н. Володичев, Н. Л. Григоров, О. В. Кисляков,
Ю. В. Минеев, В. Е. Нестеров, О. Ю. Нечаев,
И. Д. Рапопорт, И. А. Савенко, А. В. Смирнов,
В. М. Яковлев*

СВЕТСИЛЬНЫЙ СПЕКТРОМЕТР ЗАРЯДОВ ПЕРВИЧНЫХ ЯДЕР КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ

Описывается черенковский спектрометр зарядов ядер с геометрическим фактором $\Gamma = 133 \pm 6 \text{ см}^2 \cdot \text{стерад}$, установленный на космических станциях «Протон-1» и «Протон-2», для изучения потоков и химического состава космического излучения в диапазоне зарядов от 1 до ~ 50 .

Черенковские детекторы получили широкое применение при изучении космических лучей. Измерения с помощью черенковского счетчика на большой высоте впервые были выполнены Винклером и Андерсоном [1]. Несколько позже с помощью черенковского детектора были промерены компоненты первичного космического излучения с малым зарядом ядер Z [2, 3]. В последнее время с помощью подобных счетчиков, установленных на космических ракетах и искусственных спутниках Земли, также были получены данные о первичном космическом излучении [4].

Во всех предшествующих измерениях светосила приборов, основанных на этом методе, не превышала $10-30 \text{ см}^2 \cdot \text{стерад}$. Достаточно точные же измерения малых вариаций потоков солнечных космических лучей и галактического космического излучения, а также потоков тяжелых и сверхтяжелых ядер с порядковым номером $Z \geq 20$ требуют значительного увеличения светосилы.

Разработанный спектрометр зарядов ядер (СЭЗ-1), установленный на космических станциях «Протон-1» и «Протон-2», предназначен для изучения с помощью ИСЗ потока и химического состава солнечных космических лучей, генерируемых при некоторых хромосферных вспышках, и первичного космического излучения в интервале кинетических энергий $E_p \geq \geq 100 \text{ Мэв}$, для протонов и $E_n \geq 400 \text{ Мэв/нуклон}$ для остальных ядер, используя свойства черенковского детектора. Большая светосила прибора позволяет, кроме этого, используя пиротный эффект и азимутальную асимметрию интенсивности космических лучей в районе геомагнитного экватора, измерять энергетический спектр первичных протонов до 60 Бэв и остальных ядер до 30 Бэв/нуклон .

Описание спектрометра. Спектрометр СЭЗ-1 состоит из черенковского счетчика, который размещен между двумя сцинтилляционными счетчиками, образующими телескоп (рис. 1).

Черенковский счетчик представляет собой комбинацию фотоумножителя ФЭУ-49 и плексигласового диска, находящихся в оптическом контакте. Противоположная от фотокатода сторона диска покрыта черной матовой краской, чтобы исключить регистрацию частиц, идущих снизу вверх. Измерения показали, что наиболее вероятная амплитуда распределения с вы-

хода черенковского счетчика, обусловленная отраженным от зачерненной поверхности диска светом от релятивистской частицы, идущей снизу вверх, не превышает $1/20$ части наиболее вероятной амплитуды импульсов, созданных μ -мезонами космических лучей, проходящих через прибор сверху вниз.

Оба сцинтиляционных счетчика телескопа состоят из фотоумножителей ФЭУ-13 и пластин пластического сцинтиллятора, находящихся в оптическом контакте. С целью увеличения светосилы прибора верхний сцинтил-

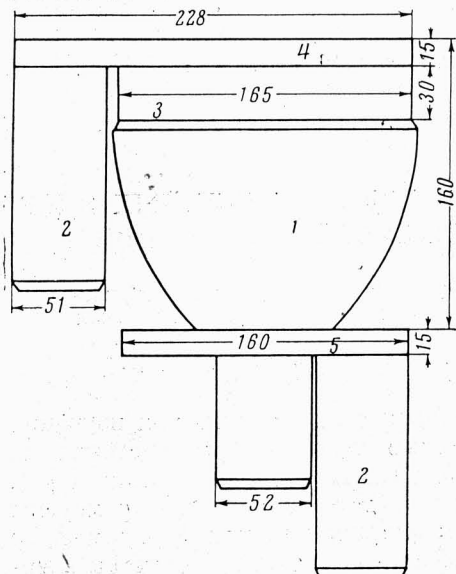


Рис. 1

Рис. 1. Геометрия спектрометра СЭЗ-1.

1 — ФЭУ-49, 2 — ФЭУ-13, 3 — черенковский детектор, 4 — верхний пластический сцинтиллятор, 5 — нижний пластический сцинтиллятор

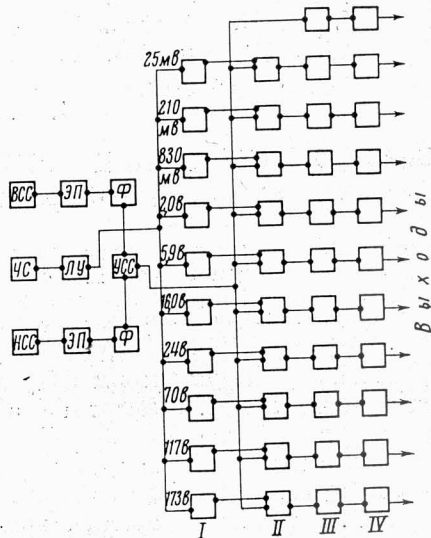


Рис. 2

Рис. 2. Блок-схема спектрометра.

ЧС — черенковский счетчик, ВСС, НСС — соответственно верхний и нижний сцинтиляционные счетчики, ЭП — эмиттерный повторитель, Ф — формирующее устройство, ЛУ — линейный усилитель, УСС — управляющая схема двойных совпадений, I — интегральные дискриминаторы, II — отбирающие схемы двойных совпадений, III — пересчетные и IV — суммирующие устройства

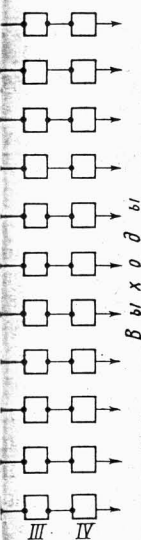
ллятор лежит непосредственно на черенковском детекторе, а в нижнем сделано отверстие, и он надет на колбу ФЭУ-49 вплоть до ее широкой части. Размеры пластических сцинтилляторов определяются размерами фотокатодов ФЭУ-49 и ФЭУ-13. Площадь отверстия в нижнем сцинтилляторе составляет 15% от всей его площади. Геометрический фактор спектрометра, вычисленный графически с учетом отверстия в нижнем пластике, равен $133 \pm 6 \text{ см}^2 \cdot \text{стерад}$. Полуширина распределения, вносимого геометрией и определенного экспериментально, равна 30%. Исследования показали, что наилучшим способом сбора света сцинтилляций в тонком пластике является использование полного внутреннего отражения от торцовых поверхностей. Поэтому торцовые поверхности пластических сцинтилляторов оставались чистыми, а боковые покрывались белой эмалью с коэффициентом отражения не менее 90%, чтобы избежать выхода света через них.

Блок-схема электроники спектрометра показана на рис. 2. Импульсы с обоих ФЭУ-13 через эмиттерные повторители ЭП поступают на формирующие устройства Ф с порогом 50 мВ, определяемым минимальной амплитудой

дой вых
ляющую
= 10^{-6}
с черен
торы I
чиков те
лись, ис
описыва
амплиту
составля
имеюще
ятная
состави
из этого
ги для
ядер. С
начен
а-части
ких яд
(C, N, O
желых
40 и 50
теграль
щие ве
830 мВ;
70 в; 11
ны в од
той пр
ядер (L
2% от
«хвост»
ния от
большой
ядер и
картину
значени
стью по
деления
Опр
ставляе
ных со
рое оп
энергие
тронов
Миним
ределяе
между
чиками
Дел
ренковс
рам с Z
хода Ф
которог
фронта
достига
ний фр

зачерненной
снизу вверх,
льсов, создан-
ибор сверху

тоумножите-
щихся в опти-
ний сцинтил-



ис. 2

сцинтиллятор,

сцинтилляционные
линейный уси-
скриминаторы,
люющие устрой-

нижнем сде-
окой части.
рами фото-
сцинтилля-
тор спектро-
м пластике,
ого геомет-
ния показа-
ом пластике
орцовых по-
атилляторов
коэффициен-
ерез них.
Импульсы с
формирую-
ой амплиту-

дой выхода со сцинтилляционных счетчиков, и подаются далее на управляющую схему двойных совпадений УСС с разрешающим временем $\tau = 10^{-6}$ сек. Остальные схемы двойных совпадений II отбирают импульсы с черенковского счетчика, прошедшие данные интегральные дискриминаторы I и совпавшие по времени с импульсами от сцинтилляционных счетчиков телескопа. Пороги разных интегральных дискриминаторов определялись, исходя из данных амплитудного распределения μ -мезонов, снятого описываемым спектрометром и показанного на рис. 3. Наиболее вероятная амплитуда этого распределения составляет 70 мв. Для частицы, имеющей заряд Z , наиболее вероятная амплитуда распределения составит $(70 \times Z^2)$ мв [5]. Исходя из этого, можно определить пороги для выделения любой группы ядер. Спектрометр СЭЗ-1 предназначен для изучения протонов, α -частиц и ядер Li, групп легких ядер (Be, B), средних ядер (C, N, O, F), тяжелых и сверхтяжелых ядер с $Z \geq 10, 15, 20, 30, 40$ и 50. Соответственно этому интегральные пороги имеют следующие значения: 25 мв; 210 мв; 830 мв; 2,0 в; 5,9 в; 16,0 в; 24 в; 70 в; 117 в; 173 в. Ядра Li включены в одну группу с α -частицами по той причине, что поток легких ядер (Li, Be, B) составляет лишь 2% от потока α -частиц. Поэтому «хвост» амплитудного распределения от α -частиц может внести большой вклад в группу легких ядер и тем самым сильно исказить картину в этой группе. Задавая же значение порога 830 мв, мы полностью исключаем влияние распределения α -частиц на легкие ядра.

Определенный интерес представляет информация о числе двойных совпадений в телескопе, которое определяет поток протонов с энергией $E_p \geq 100$ Мэв или электронов с энергией $E_e \geq 20$ Мэв. Минимальная энергия частиц определяется количеством вещества между сцинтилляционными счетчиками.

Делитель напряжения к ФЭУ-49 подбирался таким, чтобы выход с черенковского счетчика был линейным до амплитуд, соответствующих ядрам с $Z = 50$, т. е. до 173 в при анодной нагрузке 5 ком. Линейность выхода ФЭУ-49 проверялась световым генератором, длительность вспышки которого не превышала $2 \cdot 10^{-8}$ сек, что определялось величиной переднего фронта импульсов с анода ФЭУ-49. Изменение интенсивности вспышки достигалось подбором нейтральных светофильтров. Согласно [6], передний фронт импульсов с анода ФЭУ-49 не может быть меньше величины

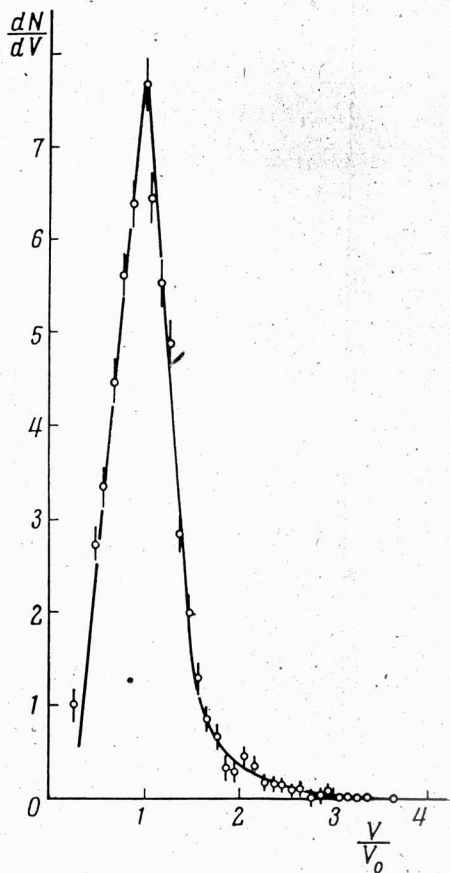


Рис. 3. Спектр μ -мезонов космических лучей, снятый спектрометром СЭЗ-1.

По оси абсцисс отложено отношение амплитуды V с выхода черенковского счетчика к наиболее вероятной амплитуде распределения V_0 . По оси ординат — число событий в единичном интервале V .

$2 \cdot 10^{-8}$ сек, которая обусловлена флуктуацией времени пролета электронов в умножителе. На рис. 4 представлена световая импульсная характеристика ФЭУ-49 в двойном логарифмическом масштабе. По оси абсцисс отложена величина интенсивности световой вспышки в относительных единицах, по оси ординат — амплитуда импульсов с анода ФЭУ-49 в вольтах при анодной нагрузке 5 ком.

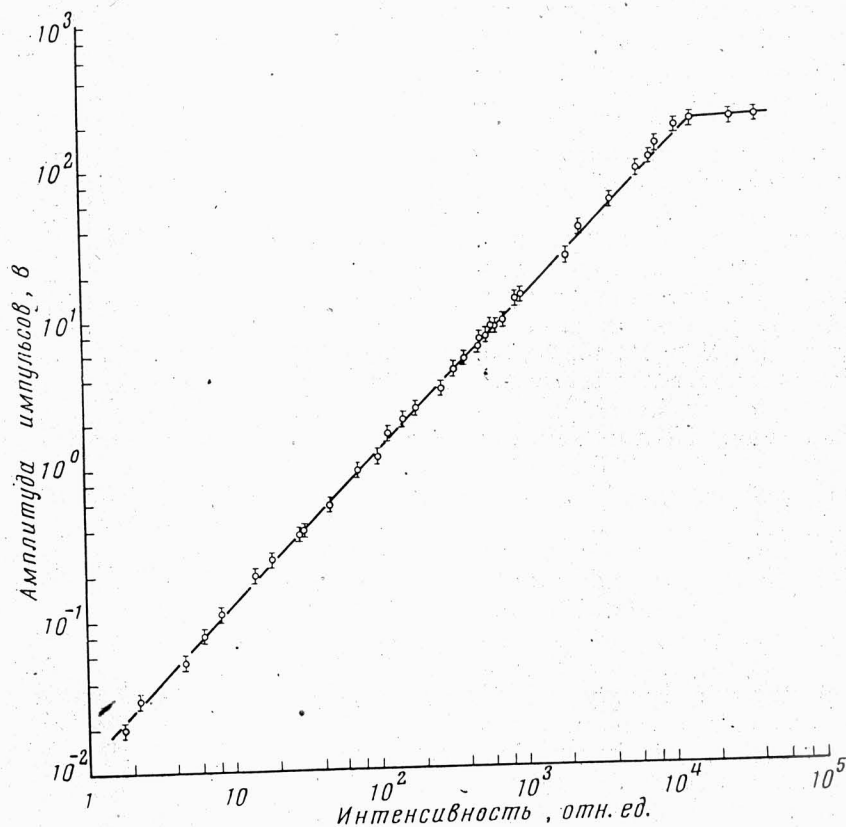


Рис. 4. Световая импульсная характеристика ФЭУ-49

Градуировочные данные. Градуировка прибора осуществлялась μ -мезонами космических лучей на уровне моря. На рис. 3 приведен спектр μ -мезонов, снятый черенковским счетчиком спектрометра. Разрешение, определенное по максимуму спектра от однозарядных частиц, в данном случае составляет 70% и определяется в основном статистическими флуктуациями числа первичных фотоэлектронов в ФЭУ-49, непостоянством чувствительности фотокатода ФЭУ-49 по его площади и геометрией прибора.

Полуширина распределения, обусловленного геометрией прибора, как указывалось, равна 30%. Неоднородность фотокатода, определенная измерением амплитуды выхода с ФЭУ-49 от источника Cs^{137} и кристалла $\text{NaI}(\text{Tl})$ с разных участков поверхности фотокатода и выраженная как полуширина распределения, не превышает 10%. Предполагая, что оба эти распределения подчиняются нормальному закону распределения Гаусса, получим, что полуширина распределения, обусловленного статистической флуктуацией числа фотоэлектронов с фотокатода ФЭУ-49, составляет около 60%. Поскольку интенсивность черенковского излучения пропорцио-

нальна Z^2
ления, об
порциона
~35%, д

1. J. Win
2. N. Hor
3. J. Lins
4. В. Л. Г
Усп. Ф
5. Дж. Д
1960.
6. А. П. О
АТОМ

нальна Z^2 , где Z — заряд регистрируемой частицы, полуширина распределения, обусловленного статистической флуктуацией, будет обратно пропорциональна Z [5], т. е. для группы легких ядер разрешение составит $\sim 35\%$, для средних и тяжелых ядер $\sim 30\%$.

Дата поступления
3 февраля 1966 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. J. Winkler, K. Anderson. Phys. Rev., 93, 596, 1954.
2. N. Horowitz. Phys. Rev., 98, 1465, 1955.
3. J. Linsley. Phys. Rev., 97, 1292, 1955.
4. В. Л. Гинзбург, Л. В. Курносова, Л. А. Разоренов, М. И. Фрадкин. Усп. физ. н., 82, вып. 4, 585, 1964.
5. Дж. Джелли. Черенковское излучение и его применения. Изд. иностр. лит., 1960.
6. А. П. Онучин. Труды VI Научн.-техн. конф. по ядерной радиоэлектронике, т. 1. Атомиздат, 1964, стр. 32.

а электро-
я характе-
си абсцисс
нительных
49 в воль-

10^5

ь μ -мезо-
ктр μ -ме-
е, опреде-
м случае
ктуация-
чувстви-
ора.
бора, как
ная изме-
ристалла
нная как
о оба эти
я Гаусса,
тической
ляет око-
порцио-

Я
067