

# Вестник МОСКОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

№ 5 — 1970

УДК 539.1.074

Н. Л. ГРИГОРОВ, М. О. МАДЕЕВ, И. Д. РАПОПОРТ, И. А. САВЕНКО

## ДЕТЕКТОР ЗАРЯДОВ И НАПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ ЧАСТИЦ КОСМИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОЙ ЭНЕРГИИ НА НАУЧНОЙ КОСМИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ «ПРОТОН-3»

Описывается детектор зарядов и направления для регистрации частиц космического излучения высокой энергии с геометрическим фактором  $\Gamma \sim 300 \text{ см}^2 \text{ стер}$ , установленный на научной космической станции «Протон-3», для изучения потоков и химического состава космического излучения в диапазоне зарядов от  $Z \geq 1$  до  $Z \sim 50$ .

Методика черенковских счетчиков, управляемых сцинтилляционным телескопом, получила широкое применение при изучении космических лучей в верхних слоях атмосферы и за ее пределами. Измерения с помощью черенковского счетчика впервые на баллонах в верхних слоях атмосферы были выполнены Винклером и Андерсеном [1].

В работах [2] и [3], выполненных на искусственных спутниках Земли и космических ракетах, дифференциальные и интегральные черенковские счетчики применялись для изучения зарядового состава космических лучей до  $Z \geq 15$ .

На научных космических станциях «Протон-1» и «Протон-2» были использованы спектрометры зарядов и энергий частиц СЭЗ-1 [4], которые предназначались для изучения химического состава и энергетического спектра в области умеренных энергий космических лучей галактического и солнечного происхождения.

Однако во всех предшествующих измерениях [1], [2] и [3] авторами применялись приборы, светосила которых не превышала  $10 \div 30 \text{ см}^2 \text{ стер}$ . Достаточно точные измерения малых вариаций потоков солнечных космических лучей и галактического излучения, а также малых потоков тяжелых и сверхтяжелых ядер требовали более светосильных приборов. Приборы для регистрации многозарядных ядер на научных космических станциях «Протон-1» и «Протон-2» обладали светосилой  $133 \pm \pm 6 \text{ см}^2 \text{ стер}$  [4]. Еще более светосильный детектор зарядов и направлений (ДН) был сконструирован и установлен на ИСЗ «Протон-3». Его геометрический фактор составляет  $\sim 300 \text{ см}^2 \text{ стер}$ . Ниже приводится описание этого прибора.

### Принципиальная схема прибора

Два сцинтилляционных счетчика площадью  $370 \times 370 \text{ мм}^2$ , каждый из которых содержит пластический сцинтиллятор толщиной  $15 \text{ мм}$  и два фотоэлектронных умножителя типа ФЭУ-13 с запараллельными выхо-

дами, образуют управляющее телескопическое устройство (рис. 1). Между ними находится четыре черенковских счетчика, состоящих из фотоумножителей типа ФЭУ-49, и черенковских радиаторов из плексигласа диаметром 165 мм, обусловленным размером фотокатода ФЭУ-49. Толщина черенковского радиатора равна 30 мм, как в аналогичном детекторе СЭЗ-1 [4].

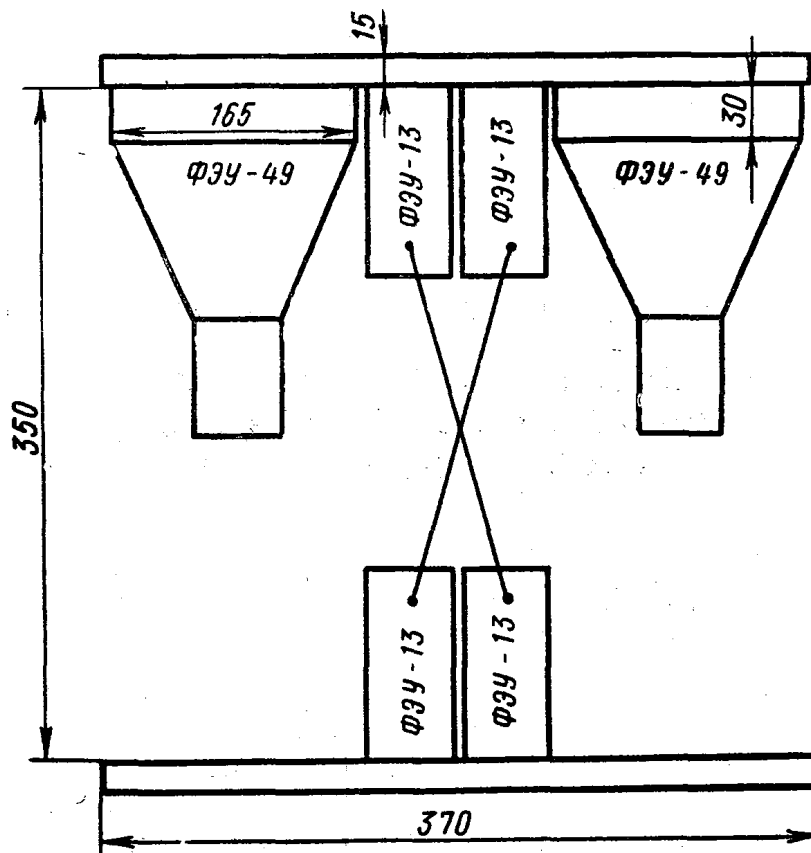


Рис. 1. Схематический разрез детектора зарядов и направления (ДН)

Чтобы придать регистрации заряженных частиц направленный характер и выделить частицы, поступающие со стороны входного окна прибора, плексигласовые радиаторы со всех сторон, исключая плоскости соприкосновения с фотокатодом, покрывались черной матовой краской. Измерения, проведенные в потоке  $\mu$ -мезонов космических лучей на уровне моря, показали, что эффективность данного счетчика по отношению к однозарядным частицам, поступающим в прибор с обратной стороны, составляет всего  $\sim 4-5\%$  по сравнению с эффективностью регистрации для частиц, поступающих в прибор со стороны входного окна. Благодаря этому свойству прибор был также использован в качестве детектора направления частиц (ДН) совместно с прибором СЭЗ-14 [5]. Прибор ДН содержит четыре черенковских детектора, собранных в общей арматуре и электрически соединенных по анодам ФЭУ на общем сигнальном выходе. Общий геометрический фактор прибора этим путем удается увеличить до  $300 \text{ см}^2 \text{ стер}$ .

На рис. 2 приведена блок-схема регистрирующего устройства ДН. Заряженная частица с кинетической энергией  $E_k \geq 500 \text{ Мэв/нукл}$ , попадая в черенковский детектор, вызывает световую вспышку, пропорциональную  $Z^2$ , которая на входе ФЭУ преобразуется в электрический импульс эквивалентной амплитуды. Импульсы с выхода верхних и нижних сцинтилляционных счетчиков (ВСС) и (НСС) через эмиттерные повторители (ЭП) и линейные усилители (ЛУ) поступают на формирую-

щие устройства ( $\Phi$ ) и подаются далее на управляющую схему двойных совпадений (УСС) с разрешающим временем  $10^{-6}$  сек. Импульс с выхода черенковского счетчика (ЧС) после усиления (ЛУ) поступает на вход интегральных амплитудных дискриминаторов (ИД), пороги которых указаны на том же рис. 2 относительно выхода черенковского счетчика. Отбор частиц, идущих в пределах заданного телесного угла

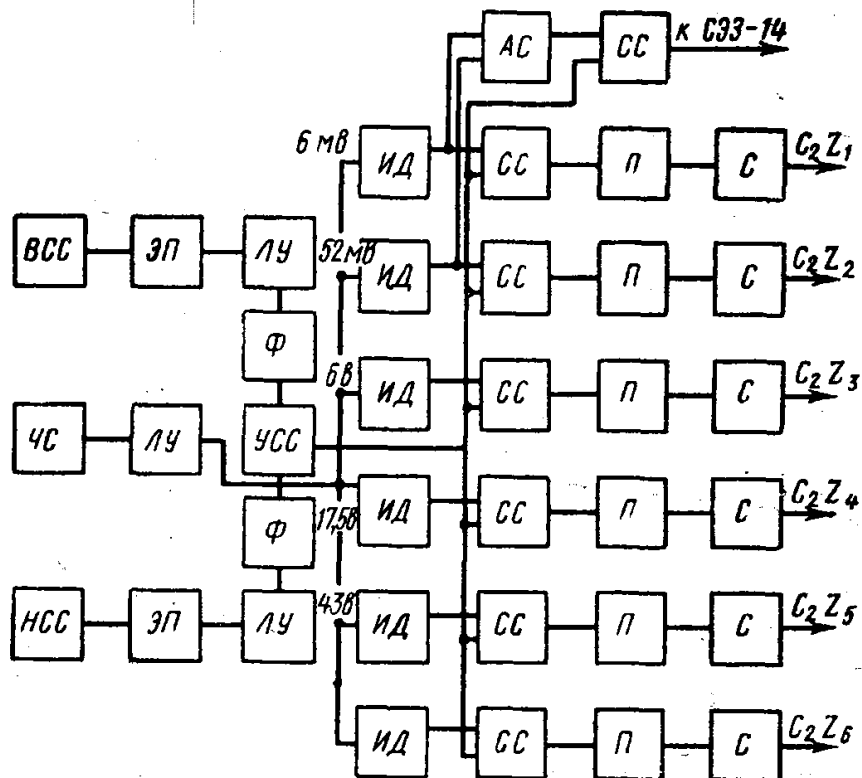


Рис. 2. Блок-схема регистрирующего устройства прибора ДН

прибора и обладающих зарядом  $Z_i$ , производится с помощью схем совпадений (СС), на вход которых поступают импульсы от соответствующих интегральных дискриминаторов (ИД) и импульсы двойных совпадений  $C_2$  с выхода управляющей цепи (УСС). В каждом из каналов амплитудной дискриминации импульсов производится счет импульсов совпадений  $C_2Z_i$  с помощью пересчетных устройств (П) и передача выходными цепями (С) трех старших разрядов каждого зарегистрированного числа соответствующему телеметрическому каналу. Кратность «слепого» пересчета в устройствах (П) была равна  $2^{10}$  в канале  $C_2Z_1$ ,  $2^4$  и  $2^7$  в канале  $C_2Z_2$ ;  $2^0$  — в остальных каналах.

В функцию прибора ДН на научной станции «Протон-3» входило также выделение протонного компонента ( $Z=1$ ) космического излучения. Для этой цели в регистрирующем устройстве ДН предусмотрена схема антисовпадений (АС), позволяющая выделить дифференциальный интервал амплитуд ( $Z_2' - Z_1$ ), соответствующий черенковскому эффекту релятивистской однозарядной частицы. Выходные импульсы этого дифференциального канала направляются в регистрирующее устройство ионизационного калориметра СЭЗ-14 [5] в целях определения энергетического спектра протонного компонента в области высоких энергий ( $10^{10} \div 10^{13}$  эв).

### Градуировка и настройка прибора

Основная задача настройки прибора заключалась в отборе фотомножителей черенковских счетчиков и согласовании их чувствительности в целях достижения максимальной разрешающей способности де-

тектора зарядов. Неоднородность чувствительности фотокатодов ФЭУ-49 не превышала 20%. Уход чувствительности ФЭУ после температурных и механических (вибрационных) испытаний не должен был превышать  $\pm 10\%$ . Линейность выхода ФЭУ-49 и тракта усиления импульсов проверялась с помощью искрового генератора со временем нарастания импульса  $10^{-7}$  сек до амплитуд, соответствующих ядрам с зарядом  $\sim 50$ . На рис. 3 представлены зависимости амплитуд импульсов В (в вольтах) с выхода одиночного ФЭУ-49 (кривая 2) и с выхода ФЭУ-49, когда его анод соединен параллельно с анодами трех других ФЭУ-49 (кривая 1). Из сравнения кривых 1 и 2 видно, что амплитуда импульсов на входе ФЭУ-49 в области ли-

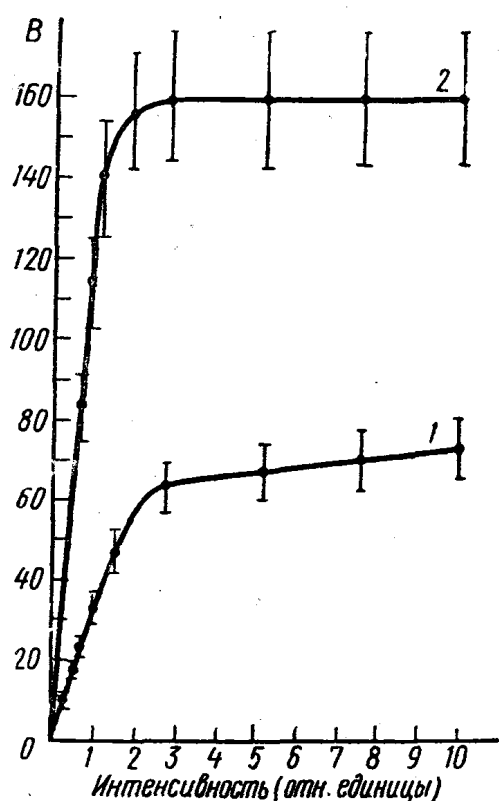


Рис. 3. Зависимости амплитуды импульса с выхода ФЭУ-49 от интенсивности световой вспышки

нейного усиления уменьшается, как и следовало ожидать, приблизительно в 4 раза при нагрузке на параллельное соединение выходов еще трех ФЭУ-49. Каждый из сцинтилляционных счетчиков телескопа был снабжен двумя запараллеленными по выходу фотоэлектронными умножителями ФЭУ-13, которые питались по высокому напряжению от автономных источников. Это обеспечивало высокую надежность их работ. Фотоэлектронные умножители ФЭУ-13 отбирались близкими по чувствительности. На рис. 4 представлена счетная характеристика сцинтилляционного телескопа, когда на все четыре ФЭУ-13 подаются одинаковые напряжения. По оси абсцисс отложено напряжение в вольтах, а по оси ординат — число двойных совпадений, регистрируемых телескопом за 100 сек в потоке  $\mu$ -мезонов. Рабочее напряжение на ФЭУ было  $\sim 1700$  в. Все ФЭУ прибора и электронно-регистрирующее устройство питались от стабилизированных источников питания.

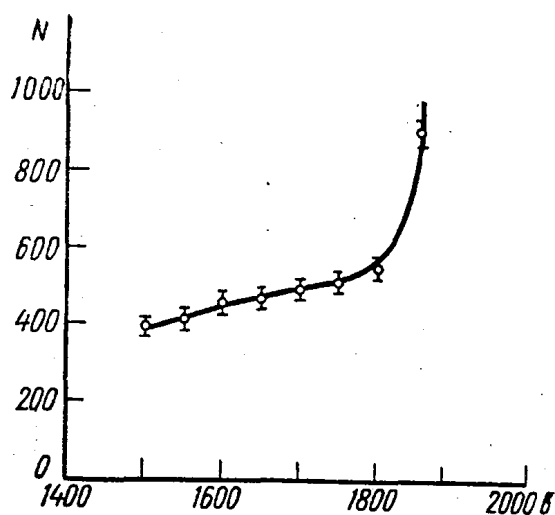


Рис. 4. Счетная характеристика телескопического устройства ДН-1

нейного усиления уменьшается, как и следовало ожидать, приблизительно в 4 раза при нагрузке на параллельное соединение выходов еще трех ФЭУ-49. Каждый из сцинтилляционных счетчиков телескопа был снабжен двумя запараллеленными по выходу фотоэлектронными умножителями ФЭУ-13, которые питались по высокому напряжению от автономных источников. Это обеспечивало высокую надежность их работ. Фотоэлектронные умножители ФЭУ-13 отбирались близкими по чувствительности. На рис. 4 представлена счетная характеристика сцинтилляционного телескопа, когда на все четыре ФЭУ-13 подаются одинаковые напряжения. По оси абсцисс отложено напряжение в вольтах, а по оси ординат — число двойных совпадений, регистрируемых телескопом за 100 сек в потоке  $\mu$ -мезонов. Рабочее напряжение на ФЭУ было  $\sim 1700$  в. Все ФЭУ прибора и электронно-регистрирующее устройство питались от стабилизированных источников питания.

На рис. 5 представлен спектр амплитуд импульсов, зарегистрированный с помощью анализатора АИ-100 на общем выходе четырех черенковских счетчиков ДН от  $\mu$ -мезонов космических лучей на уровне моря при управлении сцинтилляционным телескопом. По оси абсцисс на рисунке отложены номера каналов амплитудного анализатора, а по оси ординат — число событий в пяти соседних каналах. Наиболее вероятная амплитуда распределения соответствует 17 мв на выходе ФЭУ. В соответствии с этим были настроены пороги интегральных амплитуд-

ных дискриминаторов для выделения зарядов  $Z_1 \geq 1$ ;  $Z_2 \geq 2$ ;  $Z_3 \geq 20$ ;  $Z_4 \geq 30$ ;  $Z_5 \geq 50$ . Порог срабатывания первого дискриминатора был установлен вблизи  $1/3$  от вероятной амплитуды ( $V_{\text{вер}}$ ) для однозарядной частицы. Порог для  $Z_2$  вблизи  $Z_2 \sim 3 V_{\text{вер}}$ ;  $Z_3 \sim 340 V_{\text{вер}}$ ;  $Z_4 \sim 10^3 V_{\text{вер}}$ ;  $Z_5 \sim 2,5 \cdot 10^3 V_{\text{вер}}$ . Для выделения протонного компонента для прибора СЭЗ-14 был установлен более узкий дифференциальный интервал  $Z_2^1 - Z_1$  с порогом  $Z_2^1 \sim 2 V_{\text{вер}}$ . Пороги интегральных дискриминаторов  $Z_i$  были настроены с точностью  $5 \div 10\%$ .

На ИСЗ «Протон-3» были установлены два прибора ДН. Космическая станция «Протон-3» была запущена 6 июля 1966 г. на орбиту с апогеем 630 км и перигеем 190 км и непрерывно работала в течение 2,5 месяцев. Как показывают полученные данные, прибор типа ДН может стабильно работать в течение длительного времени без существенных изменений чувствительности. Так, по данным, зарегистрированным одним из приборов ДН, средний темп регистрации заряженных частиц по каналам  $C_2 Z_i$  изменился за это время не более чем на  $10 \div 15\%$ .

Авторы выражают благодарность О. Ю. Нечаеву и В. М. Устиновщикову за большую помощь в работе при подготовке прибора.

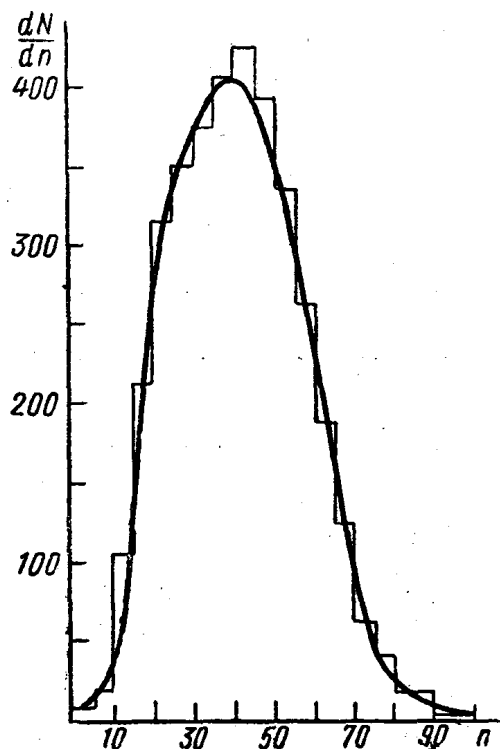


Рис. 5. Спектр амплитуд импульсов с выхода черенковского детектора ДН, зарегистрированных от  $\mu$ -мезонов космических лучей на уровне моря

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Winkler J., Anderson K. Phys. Rev., 93, 596, 1954.
2. Курносова Л. В., Разоренов Л. А., Фрадкин М. И. Сб. «Искусственные спутники Земли», вып. 6. М., Изд-во АН СССР, 1961, стр. 131.
3. Гинзбург В. Л., Курносова Л. В. и др. «Успехи физических наук», 82, вып. 4, 1964.
4. Володичев Н. Н., Григоров Н. Л. и др. «Космические исследования», 5, вып. 1, 1967.
5. Григоров Н. Л., Кахидзе Г. П. и др. «Космические исследования», 5, вып. 3, 1967.

Поступила в редакцию  
28.11 1969 г.

НИИЯФ