

В. В. БУГАКОВ, С. А. БЕЛЯКОВ, Н. Л. ГРИГОРОВ, Ю. В. ГУБИН,
Л. Ф. КАЛИНКИН, Г. П. КАХИДЗЕ, И. Д. РАПОПОРТ, И. А. САВЕНКО,
А. В. СМЕРНОВ, В. Я. ШИРЯЕВА, П. П. ШИШКОВ, В. Ф. ШЕСТЕРИКОВ,
Б. М. ЯКОВЛЕВ и Ю. В. ТРИГУБОВ

ПРИНЦИПЫ УСТРОЙСТВА НАУЧНОЙ АППАРАТУРЫ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ ВЫСОКОЙ ЭНЕРГИИ НА КОСМИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ «ПРОТОН-4»

Изучение потоков частиц высоких и сверхвысоких энергий в космическом пространстве, выяснение их состава, энергетического спектра, характеристик взаимодействия с веществом составляет одну из актуальных задач физики космических лучей. Планомерное развитие исследований в этом направлении позволяет получить экспериментальные данные, необходимые для решения проблемы происхождения космического излучения высокой энергии и выяснения процессов его распространения в Галактике. Вместе с тем тот же круг исследований представляет большой интерес для изучения общих свойств элементарных частиц, раскрывающихся в процессе взаимодействия высокой энергии.

Первые эксперименты по непосредственному исследованию частиц первичного космического излучения высоких энергий были осуществлены на научных станциях «Протон-1», «Протон-2» и «Протон-3». На этих станциях была установлена научная аппаратура для измерения общего энергетического спектра космического излучения до 10^{14} эв и энергетического спектра протонов до 10^{13} эв [1-3]; для измерения эффективного сечения неупругого ядерного взаимодействия протонов высокой энергии с легкими ядрами углерода и водорода [1-3]; для изучения электронов высокой энергии в околоземном космическом пространстве [1, 2, 4]; для поиска кварков в первичных космических лучах [5], а также для изучения химического состава космических лучей в области «малых» энергий $\sim 10^9$ эв/нуклон [6] и регистрации γ -квантов высокой энергии в составе первичного космического излучения [7].

По полученным в этих экспериментах данным спектр протонов в области энергий $\geq 10^{12}$ эв оказался отличным от спектра более тяжелых ядер: с ростом энергии частиц космические лучи «обогащаются» более тяжелыми ядрами [8-14]. Было обнаружено также увеличение эффективного сечения неупругого взаимодействия протонов с легкими ядрами на $\sim 20\%$ при возрастании энергии протонов от 20 до 600 Гэв [9, 11, 15-20]. Зарегистрированы относительно интенсивные потоки электронов вторичного происхождения с энергиями $\sim 10^2$ Мэв в околоземном космическом пространстве [21].

Ввиду важности этих результатов для астрофизического и ядернофизического аспектов изучения космических лучей необходимо было продолжить эти исследования с аппаратурой, позволяющей с большей точностью и методической определенностью измерять энергию первичных частиц и их электрический заряд, повторить измерения эффективных сечений неупругого взаимодействия протонов высокой энергии с атомными ядрами аппаратурой, отличной от ранее применявшейся, изучить вид спектра первичных частиц непосредственными методами в области энергий до 10^{15} эв, а также получить информацию о характеристиках взаимодействия с веществом сложных ядер космических лучей высокой и сверхвысокой энергии.

Для решения этих задач была разработана и изготовлена новая аппаратура (прибор ИК-15), существенно отличающаяся от аппаратуры СЭЗ-3 [3], применявшейся на космических станциях «Протон-1, 2, 3». Эта аппаратура весом более 12 т была установлена на научной космической станции «Протон-4», запуск которой состоялся 16 ноября 1968 г.

Для продолжения исследований электронов высокой энергии в околоземном космическом пространстве и поиска кварков в первичных космических лучах на борту станции «Протон-4» были установлены модернизированные приборы СЭЗ-12 для регистрации электронов высоких энергий [1, 2, 24] и для поиска кварков СЭЗ-13 [5, 22]. Модернизация этих приборов заключалась в выводе дополнительной информации о работе датчиков излучений (СЭЗ-12) и некоторых технических усовершенствованиях (СЭЗ-13). Поскольку в основном эти приборы сохранили прежние принципы регистрации частиц, габариты и логику работы, мы за недостатком места не будем здесь описывать внесенные в них изменения.

Ниже приводится описание спектрометра частиц высоких и сверхвысоких энергий — ИК-15, установленного на научной станции «Протон-4».

1. Принципиальная схема спектрометра ИК-15

Прибор состоит из следующих основных принципиальных элементов (рис. 1):

1. Ионизационного калориметра для определения энергии частиц, который включает в себя поглощающие слои из свинца (4 слоя в верхней части на рис. 1) и железа (13 следующих слоев), 16 ионизационных камер между слоями (ИК₁ — ИК₁₆) для измерения ионизации. Ионизационный калориметр ИК-15 отличается от аналогичного устройства, использованного на предшествующих станциях «Протон», большим поперечным сечением и значительно большим количеством поглощающего вещества, что позволяет расширить диапазон и увеличить точность энергетических измерений. Кроме того, введение большого числа индивидуальных детекторов между слоями дает возможность изучить процессы поглощения частиц разной природы в веществе калориметра.

2. Детекторов заряда регистрируемых частиц, размещенных с двух противоположных сторон ионизационного калориметра: со стороны его «верхнего» (ДН₁) и «нижнего» (ДН₂) входных окон. Каждый из детекторов зарядов ДН скомпонован из 16 тонких черенковских счетчиков, общая рабочая площадь которых составляет около 3000 см². Частицы, проходящие ДН в направлении к ионизационному калориметру, создают импульс в ~10 раз больший, чем частицы, движущиеся в обратном направлении. Поэтому детекторы зарядов ДН₁ и ДН₂ являются одновременно и детекторами направления движения регистрируемых частиц.

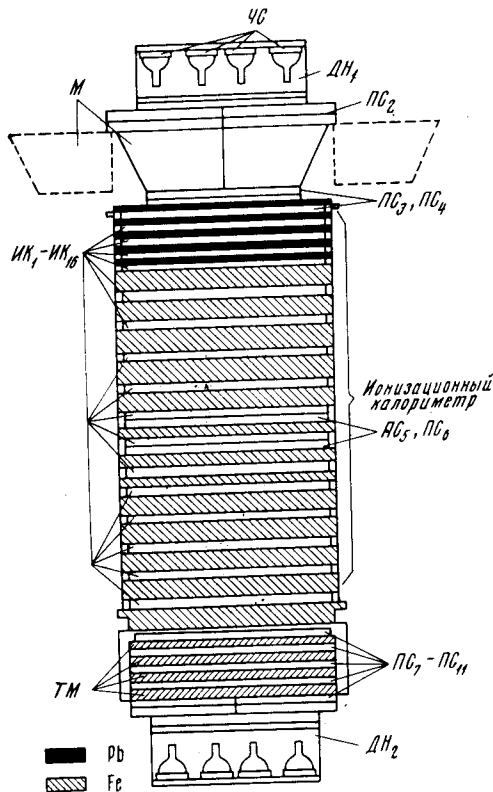


Рис. 1. Принципиальная схема спектрометра ИК-15 для изучения частиц космических лучей высокой энергии: М — сменные графитовые и полиэтиленовые мишени, ЧС — черенковские счетчики, ТМ — тонкие мишени из графита, ДН — детекторы заряда и направления частиц, ИК — ионизационные камеры, ПС — пропорциональные счетчики

3. Графитовой и полиэтиленовой мишеней для измерения эффективных сечений неупругого взаимодействия протонов с ядрами углерода и водорода, которые установлены за детектором заряда ДН₁. В полете они периодически сменяли друг друга, часть времени ($\sim 1/3$) измерения проводились без мишеней, удаляемых за пределы поперечного сечения ионизационного калориметра. Регистрация и сопоставление потоков протонов заданной энергии, пронизывающих мишени без взаимодействия, с потоком протонов, регистрируемых в отсутствие мишеней, позволяют определить эффективное сечение неупругого взаимодействия протонов с ядрами мишеней.

4. Детекторов взаимодействия частиц. В качестве детекторов взаимодействия используются пропорциональные счетчики, регистрирующие ливни вторичных частиц. Один из пропорциональных счетчиков (ПС₃) располагается под мишенью, другой (ПС₄) под дополнительным слоем свинца толщиной 2,5 см, который служит для развития электронно-фотонного ливня, обязанного распаду генерированных в акте взаимодействия нейтральных π -мезонов.

5. Четырех тонких графитовых слоев по $2,26 \text{ г} \cdot \text{см}^{-2}$ с пропорциональными счетчиками ПС₇ — ПС₁₀ после каждого слоя, предназначенных для регистрации ядерных взаимодействий первичных частиц, поступающих в прибор со стороны детектора зарядов ДН₂.

6. Вспомогательных детекторов излучения. Прохождение первичной частицы через ионизационный калориметр может сопровождаться появлением вторичных частиц, рассеянных в обратном направлении. Последние, попадая в соответствующие детекторы, могут исказить вид спектра протонов. Для изучения подобных явлений, оценки их вероятности и выяснения их роли в измерениях, в верхней части ИК-15 со стороны ДН₁ находятся ливневые индикаторы, в качестве которых используются четыре сцинтилляционных счетчика, входящие в состав ДН₁ и попарно включенные в схемы двойных совпадений C_1C_2 . Совпадение импульсов C_1 , поступающих одновременно от нескольких счетчиков в момент прохождения регистрируемой частицы через ДН₁ и ионизационный калориметр, свидетельствует о прохождении через детектор нескольких ливневых частиц. Для определения их числа служат счетчики ПС₂ (при работе ДН₁ и ПС₁₁ (при работе ДН₂)).

Вспомогательные пропорциональные счетчики ПС₅ и ПС₆, смонтированные в средней части ионизационного калориметра, участвуют вместе с другими детекторами в отборе тех первичных частиц, которые проходят через один из детекторов заряда ДН и ионизационный калориметр. Счетчики настраиваются таким образом, что их выходные пороговые устройства срабатывают лишь при прохождении через счетчик более десяти ливневых частиц.

II. Принцип работы ИК-15

Возможны два основных рода работы прибора в потоке космического излучения: а) глобальная регистрация частиц со всех направлений; б) выделение частиц в относительно узком телесном угле в направлении, проходящем через все детекторы излучения.

Регистрация частиц в глобальном потоке осуществляется только с помощью ионизационного калориметра, позволяющего в этом случае осуществить глобальные измерения энергетического спектра всех частиц без дискриминации заряда. Благодаря большой средней эффективной площади регистрации и большому телесному углу «обзора» (геометрический фактор

Выбора в этом случае равен $1,4 \cdot 10^5 \text{ см}^2 \cdot \text{стер}$) эти измерения обладают максимальным энергетическим диапазоном выше 10^{15} эв .

Регистрация в выделенном направлении осуществляется в значительно меньшем телесном угле, задаваемом детектором заряда с одной стороны и пропорциональными счетчиками на выходе ионизационного калориметра с противоположной стороны. Выделение частиц в этом телесном угле осуществляется путем отбора совпадений электрических сигналов от одного из детекторов зарядов (ДН_1 или ДН_2) с сигналами пропорциональных счетчиков ПС_3 или $\text{ПС}_7 - \text{ПС}_{11}$.

Рассмотрим регистрацию частицы, поступающей в прибор со стороны детектора заряда ДН_1 . Она последовательно пересекает ДН_1 , контрольный счетчик ПС_2 , мишени (если они введены) и вместе с продуктами взаимодействия (если оно произошло) попадает в детектор взаимодействия ПС_3 , ПС_4 . В пяти первых поглощающих слоях из свинца (по $2,5 \text{ см}$ каждый) происходит интенсивное развитие электронно-фотонной лавины, обязанной распаду генерированных в акте взаимодействия нейтральных π -мезонов. Энергия, переданная этим частицам, может быть определена по величине ионизации в ионизационных камерах $\text{ИК}_1 - \text{ИК}_4$.

Дальнейшие взаимодействия и превращения частиц происходят в последующих слоях поглотителя из железа. Измерение ионизации, создаваемой частицами лавины, производится ионизационными камерами $\text{ИК}_5 - \text{ИК}_{16}$. Наличие железных и свинцовых слоев и индивидуальных детекторов ионизации в принципе позволяет осуществлять измерение сечений взаимодействия частиц на тяжелых ядрах.

Помимо совместной работы детекторов зарядов и энергии в ИК-15 осуществляется автономная регистрация частиц детекторами зарядов ДН_1 и ДН_2 , вне связи с ионизационным калориметром, что позволяет провести определение зарядового спектра частиц в области энергий $\sim 10^9 - 10^{10} \text{ эв}$ / нуклон.

Ниже приводится несколько более детальное описание некоторых конструктивных особенностей и параметров основных функциональных узлов ИК-15 .

III. Конструктивные особенности ионизационного калориметра ИК-15

Поглотитель

Максимальная толщина поглотителя ИК-15 в направлении, определяемом детекторами зарядов (рис. 1), составляет $855 \text{ г} \cdot \text{см}^{-2}$ железа и $140 \text{ г} \cdot \text{см}^{-2}$ свинца или 7,5 пробегов для ядерного взаимодействия. В таком количестве вещества поглощается в среднем около 90% энергии первичной частицы. Средняя толщина поглотителя при глобальной регистрации частиц составляет около $400 \text{ г} \cdot \text{см}^{-2}$, что немногим более трех пробегов для ядерного взаимодействия. Из конструктивных соображений слои из железа были выполнены разной толщины от 4,8 до 9,8 см (в средней части калориметра ввиду необходимости размещения дополнительных счетчиков телескопического устройства ПС_5 , ПС_6 слои поглотителя взяты меньшей толщины). Общая конструкция поглотителя приведена на рис. 2.

Ионизационные камеры и пропорциональные счетчики

Ионизационная камера сварной конструкции выполнена из нержавеющей стали толщиной 1,5 мм в виде параллелепипеда с внешними размерами $900 \times 1045 \times 33,8 \text{ мм}$. Камера разделена жесткими перегородками на 16 секций с общим газовым наполнением (размер секции $30 \times 60 \times 9,45 \text{ мм}$). Вдоль секции натянуты стальные нити (диаметром 1 мм), вы-

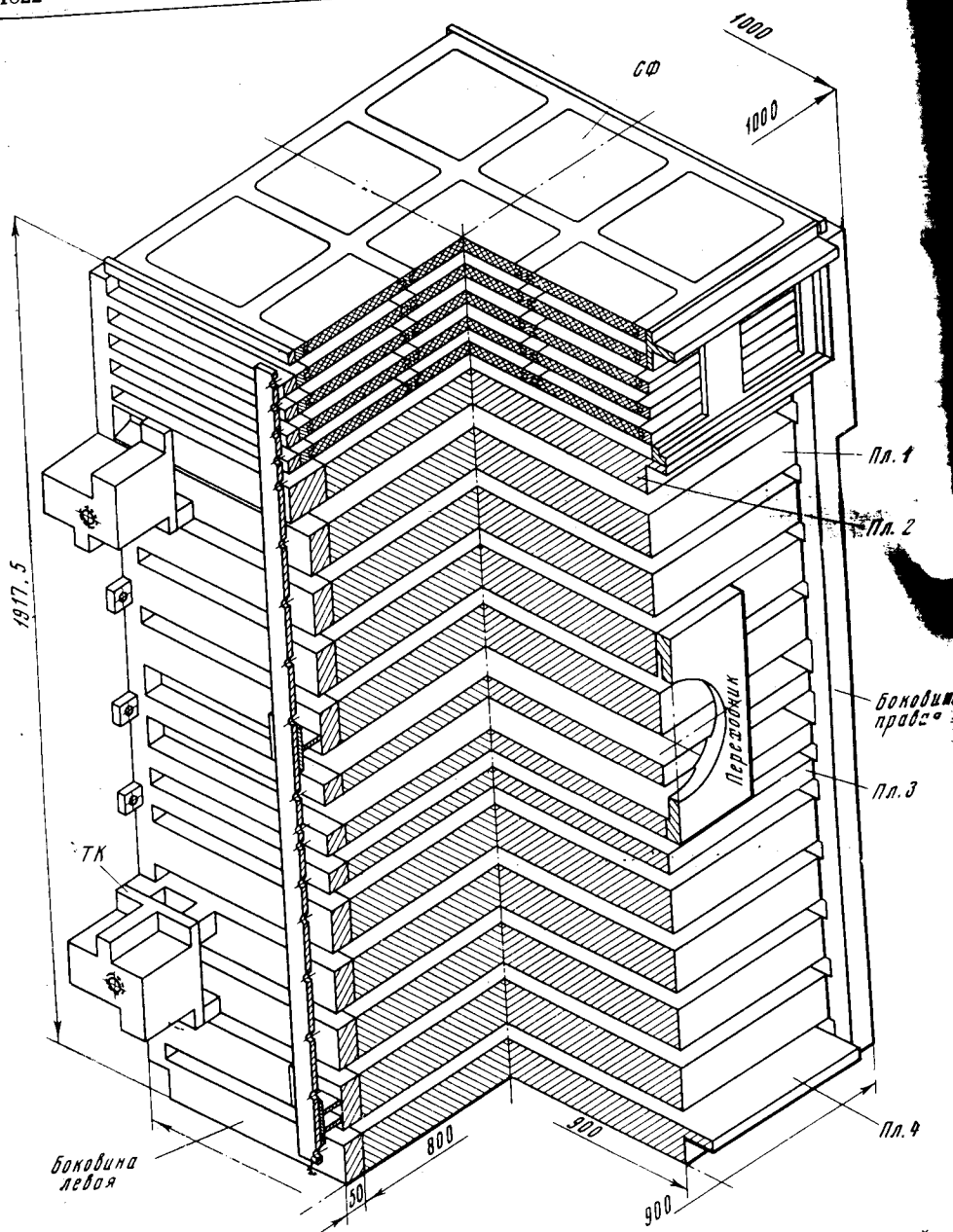


Рис. 2. Поглощающие слои ионизационного калориметра. СФ — свинцовый фильтр
ТК — точки крепления приборов, Пл — слои из железа

полняющие функции внутреннего электрода и имеющие общий электрический выход.

Ионизационные камеры наполняются ксеноном (вместо обычно используемого аргона) с добавкой 5% азота до общего давления 790 мм рт. ст. Использование газа с большей плотностью позволяет увеличить ионизационный эффект, создаваемый в камере быстрыми заряженными частицами. Рабочее напряжение на камере 1750 в обеспечивает достаточно быстрое (в течение нескольких микросекунд) собирание регистрируемой частицы, образуемой в газе камеры ионизирующей частицей.

Аналогичную конструкцию имеют пропорциональные счетчики ПС₈ — ПС₁₁. Эти счетчики с рабочей площадью 1,25 м² обладают 17 секциями с почти равными размерами секции 30 × 60 мм. Размеры счетчиков соответствуют размерам разрезных фильтров, между которыми они расположены в качестве детекторов взаимодействия. Счетчики ПС₄ — ПС₇, расположенные над поглощающими слоями калориметра, имеют по 15 секций того же размера. Пропорциональные счетчики ПС₂, ПС₃, ПС₁₁ являются двухслойными с высотой газового промежутка в каждом слое, равной 50 мм. Внутренние электроды счетчиков выполнены из вольфрамовой нити диаметром 0,1 мм. Счетчики наполняются аргоном с 10% примесью метана до общего давления 270—300 мм рт. ст., рабочее напряжение на счетчиках 1,6—1,7 кв. Прохождение быстрой однозарядной частицы через счетчик в перпендикулярном к его плоскости направлении создает на его выходе импульс напряжения с наиболее вероятной амплитудой ~ 1 мв.

Узлы ионизационных детекторов и измерение ионизационных импульсов

Ионизационные камеры и пропорциональные счетчики снабжены индивидуальным источником высокого напряжения и усилителями импульсов с коэффициентом усиления ~ 300 для камер и ~ 600 для счетчиков. Два дополнительных амплитудных дискриминатора в электронных цепях пропорциональных счетчиков служат для выделения «окна», соответствующего ионизационному эффекту одиночной однозарядной частицы.

На рис. 3 приведен амплитудный спектр импульсов, зарегистрированных верхней половиной пропорционального счетчика ПС₃ от μ -мезонов на уровне моря. По оси абсцисс отложены номера каналов амплитудного анализатора АИ-100-1 и указаны значения порогов дискриминаторов, выделяющих «окно» для регистрации однозарядной частицы. По оси ординат — число импульсов, зарегистрированных в данном канале. Аналогичным образом настроен узел ПС₄. При такой настройке эффективность регистрации одиночной однозарядной частицы в пределах «окна» составляет 75% и вероятность регистрации двух частиц в качестве одной — менее 20%.

Надежная регистрация импульсов в ионизационных камерах начинается с ионизационного эффекта, создаваемого одновременным прохождением 40—50 быстрых однозарядных частиц. С выхода усилителей импульсы от ионизационных камер и пропорциональных счетчиков направляются в многоканальное амплитудно-измерительное устройство. Каждый выходной канал ионизационного детектора (за исключением счетчиков ПС₅ и ПС₆, служащих только для выработки сигналов управления) снабжен индивидуальным амплитудным анализатором с логарифмической характеристикой и динамическим диапазоном ~ 500. Некоторые каналы снабжены двумя амплитудными анализаторами для увеличения динамического диапазона измеряемых амплитуд (таковы каналы пропорциональных счетчиков ПС₄, ПС₇, ПС₁₀, ДН₁ и ДН₂).

Блок амплитудного анализатора производит двойное аналого-числовое преобразование амплитуды регистрируемого импульса в код и его передачу в измерительной системе. Кроме того, в его функцию входит осуществление временной селекции (с разрешающим временем 3—6 мксек) регистрируемых импульсов; амплитудный анализ входного импульса, хранение соответствующего ему кода с передачей телеизмерительному устройству осуществляется только при наличии разрешающей команды в виде управляющего импульса, вырабатываемого логическим устройством ИК-15 (см. ниже).

Всего в амплитудно-измерительном устройстве ИК-15 задействованы 42 амплитудных анализатора для измерения амплитуд импульсов, посту-

пающих от пропорциональных счетчиков, ионизационных камер и черенковских счетчиков в детекторах заряда.

На рис. 4 приведена амплитудно-числовая градуировочная характеристика одного из трактов регистрации импульсов от ионизационной камеры

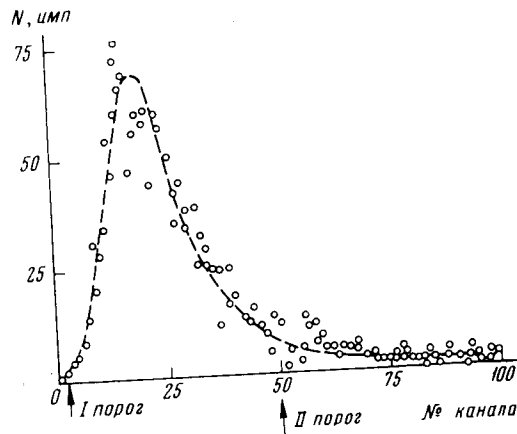


Рис. 3

Рис. 3. Амплитудный спектр импульсов, зарегистрированных верхней половиной пропорционального счетчика PC_3 от μ -мезонов на уровне моря

Рис. 4. Градуировочная характеристика тракта регистрации амплитуд импульсов от ионизационной камеры

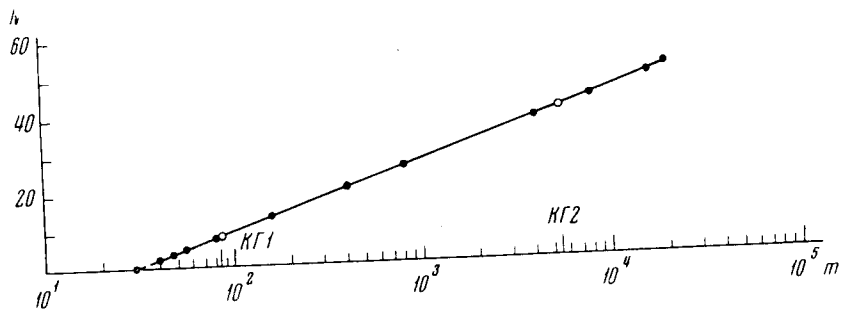


Рис. 4

Амплитуда градуировочных импульсов напряжения на входе усилителя выражена здесь в числе релятивистских однозарядных частиц, создающих в газе камеры эквивалентную ионизацию (ось абсцисс). По оси ординат отложены соответствующие значения N числового кода, вырабатываемого амплитудным анализатором. Из графика видно, что измерения могут быть осуществлены здесь для ионизационных эффектов, создаваемых одновременными прохождениями от 40—50 до $2 \cdot 10^4$ частиц.

Для осуществления контроля за изменением чувствительности усилительных цепей и измерительных устройств во время проведения эксперимента были предусмотрены калибровочные генераторы, включение которых осуществляется по командам с Земли. Калибровочные импульсы напряжения подаются на вход каждого усилителя в трактах ионизационных камер и пропорциональных счетчиков. Величины этих контрольных амплитуд (КГ1 и КГ2) указаны на амплитудной характеристике (рис. 4).

Детекторы зарядов

Измерение заряда частицы в детекторе ДН основано на регистрации черенковского свечения, интенсивность которого находится, как известно, в квадратичной зависимости от заряда пролетающей частицы. Детект

площади ДН сконструирован из большого числа черенковских счетчиков, чем было использовано в предшествующих экспериментах. Счетчики имеют следующую «ступенчатую» структуру прибора: четыре черенковских счетчика объединены в секцию, представляющую автономный при-

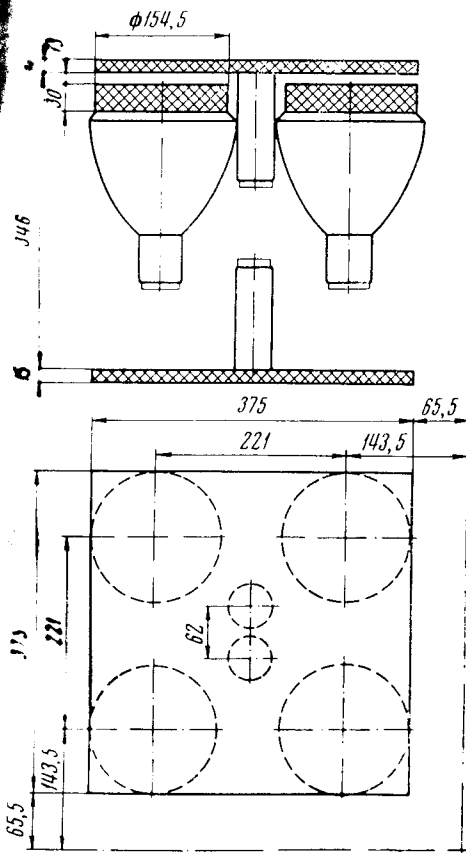


Рис. 5

Рис. 5. Схематический разрез одной секции детектора зарядов ДН

Рис. 6. а — Спектры амплитуд импульсов от μ -мезонов для четырех черенковских счетчиков одной секции до их настройки (1 — ФЭУ-49 № 14; 2 — ФЭУ-49 № 16; 3 — ФЭУ-49 № 13; 4 — ФЭУ-49 № 15); б — вид их общего спектра после автоподстройки чувствительности

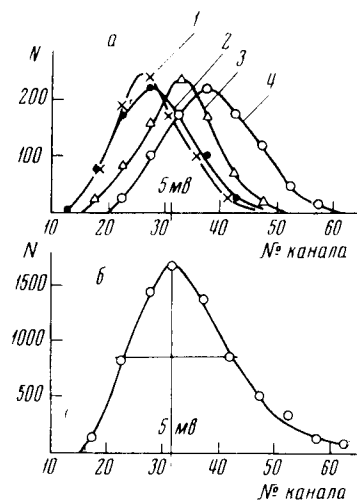


Рис. 6

бор; четыре секции, работающие на общий измерительный выход, составляют детектор ДН.

Схематический разрез одной секции с указанием соответствующих геометрических размеров приведен на рис. 5. Секцию составляют четыре черенковских счетчика, объединенных двумя общими сцинтилляционными счетчиками «телескопического» устройства. Совпадение импульсов, поступающих от обоих счетчиков в момент прохождения частиц, служит сигналом для селекции импульсов на объединенном выходе черенковских счетчиков секции. Геометрический фактор ДН равен $1960 \text{ см}^2 \cdot \text{стер}$, что в 18 раз превышает светосилу детектора заряда, применявшегося в работе [6].

Предусмотрена периодическая автоподстройка чувствительности фотосветочувствительных умножителей детектора ДН. Два раза в сутки по команде происходит включение четырех генераторов опорных световых импульсов (каждая секция обслуживается индивидуальным световым генератором). Световые импульсы направляются с помощью гибких световодов на фотокатоды ФЭУ черенковских счетчиков и позволяют посредством схемы сравнения и механизма регулировки напряжения осуществить автоподстройку чувствительности ФЭУ относительно друг друга.

На рис. 6, б приведен вид амплитудного спектра, зарегистрированного от μ -мезонов на уровне моря при совместной работе четырех черенковских счетчиков одной секции, когда настройка чувствительности ФЭУ-49 осуществлена с помощью автоподстройки. До автоподстройки амплитудные спектры от тех же счетчиков имели вид, указанный на рис. 6, а.

Мишени

Каждая из «толстых» мишеней (графитовая и полиэтиленовая), расположенных под детектором заряда ДН₁, конструктивно выполнена из двух половин, размещаемых с противоположных сторон (рис. 1). Смена фильтров осуществляется последовательным перемещением этих половинок в сторону рабочего окна установки или за его пределы. Общая толщина углеродной мишени составляет $22,3 \text{ г} \cdot \text{см}^{-2}$, полиэтиленовой $26 \text{ г} \cdot \text{см}^{-2}$. Смена на углеродной и полиэтиленовой мишеней производится два раза в сутки по команде с Земли.

Детектор взаимодействия

Двухслойный пропорциональный счетчик ПС₃, размещенный под тонкой мишенью, позволяет по создаваемому в нем ионизационному эффекту различить случаи прохождения одиночной однозарядной частицы (протона) без взаимодействия в мишени от случаев неупругого взаимодействия с образованием в мишени ливня вторичных заряженных частиц.

Если в ядерном взаимодействии не возникают заряженные частицы, а только μ^0 -мезоны, то такое взаимодействие может быть зарегистрировано по ионизационному эффекту в пропорциональном счетчике ПС₃ в результате развития электронно-фотонной лавины в свинцовом фильтре над этим счетчиком. Поэтому признаком отсутствия взаимодействия в мишени является наличие импульсов от счетчиков ПС₃ и ПС₄ с амплитудами в пределах «окна». Электронное устройство ИК-15 особо выделяет подобные случаи и вырабатывают по импульсам от ПС₃ и ПС₄ специальный сигнал, свидетельствующий об отсутствии взаимодействия в мишени при прохождении одиночной однозарядной частицы.

Принципы измерений и электронное регистрирующее устройство

В основу регистрации частиц в спектрометре ИК-15 положены два способа измерений. Первый состоит в выборке регистрируемых событий достаточно узкого класса (например, протонов с определенной энергией) с последующим измерением темпа поступления выделяемых событий. Второй способ заключается в индивидуальных амплитудных измерениях импульсов от детекторов для каждого регистрируемого случая. Первый метод использован для регистрации частых событий, второй — для достаточно редких событий, для которых возможно осуществление индивидуальных телеметрических измерений.

К первому из них относится регистрация глобальных потоков частиц высокой энергии. В этих измерениях используется только ионизационный калориметр. Импульсы от всех ионизационных камер суммируются по амплитуде в общей цепи, на выходе которой осуществляется амплитудная дискриминация по 10 уровням E_i ($i=1-10$), примерно равноотстоящим в логарифмической шкале. Измерение темпов регистрации по каналам этих дискриминаторов позволяет определять интенсивность частиц, указанных энергий и вид энергетического спектра в диапазоне $10^{11}-10^{16}$ эв.

Измерения того же типа связаны с выделением протонной компоненты космического излучения. По сигналам Z_1 , поступающим от детектора зарядов ДН₁, выделяются протоны, не испытывающие взаимодействия в мишенях (сигнал N_1) и проходящие в пределах телесного угла калориметра с энерговывделением $\geq E_i$. Необходимая выборка частиц осуществляется по совпадению сигналов Z_1, N_1, E_i . Регистрация событий по каналам, отбирающим совпадения Z_1, N_1, E_i , позволяет определить энергетический спектр протонов и осуществить измерение эффективного сечения их взаимодействия на ядрах углерода и водорода путем сравнения регистрируемых потоков при наличии мишеней и без них. К тому же типу измерений относится выделение частиц по зарядам Z_i в детекторах ДН₁, ДН₂ с последующей автономной регистрацией событий $C_2 Z_i$, отбираемых по совпадению импульсов C_2 от сцинтилляционных счетчиков ДН с сигналами Z_i амплитудных дискриминаторов импульсов на выходе черенковских счетчиков.

Предусмотрено шесть пороговых устройств, настроенных на уровни, соответствующие прохождению частиц с зарядами $Z_2 \geq 2, Z_3 \geq 6, Z_4 \geq 10, Z_5 \geq 20, Z_6 \geq 30, Z_7 \geq 50$, и одно общее пороговое устройство, срабатывание которого связано с прохождением любой заряженной частицы.

1. Индивидуальные измерения в глобальном потоке проводятся только в отношении общего энерговыведения в калориметре для достаточно энергичных частиц с энергией $E \geq 5 \cdot 10^{13}$ эв. При таком энерговыведении проводится амплитудный анализ сигналов, соответствующих полному энерговыведению в ионизационном калориметре. Амплитудный анализатор, предназначенный для этих целей, имеет амплитудный диапазон более 10^3 .

Для частиц, поступающих в пределах ограниченного телесного угла, индивидуальная регистрация проводится с амплитудным анализом всех детекторов ДН, ПС, ИК (за исключением ПС₃, ПС₆), начиная с энергии частиц $E_0 \geq 5 \cdot 10^{12}$ эв. При этом вырабатывается команда M , разрешающая регистрацию и амплитудный анализ импульсов от всех детекторов. По этой же команде в специальном анализаторе производится также измерение суммарного энерговыведения в калориметре и отмечается наличие сигналов от ливневых индикаторов ДН₁, т. е. производится регистрация импульсов совпадений $MC_i C_j$, где C_i, C_j — сигналы от соответствующей пары сцинтилляторов ДН₁ ($i, j = 1 - 4$).

Для индивидуальной регистрации частиц в области меньших энергий производится выборочная регистрация событий с энерговыведением $E \geq 4 \cdot 10^{11}$ эв, путем деления частоты этих событий в отношении $\sim 1:43$. Для отобранных таким образом событий вырабатывается специальная команда $MВ$, разрешающая амплитудные измерения по каналам всех детекторов. Выработка всех указанных сигналов управления и регистрации осуществляется в блоках электронного регистрирующего устройства ИК-15, состоящего из 21 блока.

По командам, подаваемым с Земли, возможно включение обоих детекторов ДН₁ и ДН₂ или работа одного из них с ионизационным калориметром. Возможно также отключение детекторов и автономная работа ионизационного калориметра по регистрации энергетического спектра частиц в глобальном потоке. Специальными командами производится включение и выключение приборов СЭЗ-12 и СЭЗ-13. Управление работой комплекса научной аппаратуры осуществляется как от программных устройств, расположенных на борту станции, так и по командам с Земли.

В разработке отдельных узлов и изготовлении научной аппаратуры принимали участие коллективы институтов и проектных организаций Академии наук СССР и Московского государственного университета, которым авторы выражают глубокую признательность.

Литература

1. Grigorenko N. L., Nesterov V. E., Rapoport I. D., Savenko I. A., Skuridin G. A. Докл. на IX Междунар. конф. по космическим лучам, Лондон, сентябрь, 1965; Препринт, Изд-во МГУ и Изд-во АН СССР, М., 1965.
2. Grigorenko N. L., Nesterov V. E., Rapoport I. D., Savenko I. A., Skuridin G. A., Докл. На междунар. астронавтическом конгрессе, Афины, 1965; Препринт, Изд-во МГУ и Изд-во АН СССР, М., 1965.
3. Григоров Н. Л., Кахидзе Г. П., Нестеров В. Е., Рапопорт И. Д., Савенко И. А., Смирнов А. В., Титенков А. Ф., Шишков П. П., Космические исследования, 5, 3, 383 (1967).
4. Григоров Н. Л., Воропаев С. И., Калинин Л. Ф., Лабутин В. А., Савенко И. А. Сб. Космические лучи, № 13, Изд-во Наука (в печати).
5. Григоров Н. Л., Кахидзе Г. П., Рапопорт И. Д., Савенко И. А., Космические лучи, № 13, Изд-во Наука (в печати).
6. Володичев Н. Н., Григоров Н. Л., Минеев Ю. В., Кисляков О. Н., Нестеров В. Е., Рапопорт И. Д., Савенко И. А., Смирнов А. Яковлев Б. М., Космические исследования, 5, 119 (1967).
7. Григоров Н. Л., Калинин Л. Ф., Нестеров В. Е., Пряхин Е. А., Савенко И. А., Сысоев Е. А., Эстулин И. В., Космические исследования, 5, 124 (1967).
8. Григоров Н. Л., Нестеров В. Е., Рапопорт И. Д., Савенко И. А., Скуридин Г. А., Титенков А. Ф., Космические исследования, 5, 395 (1967).
9. Grigorenko N. L., Nesterov V. E., Rapoport I. D., Savenko I. A., Skuridin G. A., Докл. на X Междунар. конф. по космическим лучам, Канада, июль 1967; Препринт, ВИНИТИ, М., 1967.
10. Григоров Н. Л., Нестеров В. Е., Рапопорт И. Д., Савенко И. А., Скуридин Г. А., Титенков А. Ф., Изв. АН СССР. Сер. физ., 31, 1222 (1967).
11. Володичев Н. Н., Григоров Н. Л., Нестеров В. Е., Рапопорт И. Д., Савенко И. А., Скуридин Г. А., Титенков А. Ф., Докл. на Всес. сов. по космическим лучам, Алма-Ата, октябрь, 1966. Препринт, Изд-во АН СССР, Изд-во МГУ, М., 1966.
12. Акимов В. В., Григоров Н. Л., Нестеров В. Е., Рапопорт И. Д., Савенко И. А., Скуридин Г. А., Титенков А. Ф., Сб. Космические лучи, № 13 (в печати).
13. Григоров Н. Л., Нестеров В. Е., Рапопорт И. Д., Савенко И. А., Титенков А. Ф., Тр. Всес. конф. по физике космических лучей в Ташкенте, 1968, ч. II, в. 1, стр. 1, ФИАН, М., 1968.
14. Grigorenko N. L., Nesterov V. E., Rapoport I. D., Savenko I. A., Skuridin G. A., Докл. на XI Междунар. конф. по космическим лучам, Будапешт, август, 1969, Препринт, 69, НИИЯФ МГУ, М., 1969.
15. Баилова Р. Н., Григоров Н. Л., Кахидзе Г. П., Коврижных О. Н., Нестеров В. Е., Рапопорт И. Д., Савенко И. А., Скуридин Г. А., Титенков А. Ф., Изв. АН СССР. Сер. физ., 30, 1610 (1966).
16. Григоров Н. Л., Нестеров В. Е., Рапопорт И. Д., Савенко И. А., Скуридин Г. А., Изв. АН СССР. Сер. физ., 31, 1450 (1967).
17. Григоров Н. Л., Нестеров В. Е., Рапопорт И. Д., Савенко И. А., Скуридин Г. А., Космические исследования, 5, 420 (1967).
18. Акимов В. В., Григоров Н. Л., Нестеров В. Е., Рапопорт И. Д., Савенко И. А., Скуридин Г. А., Сб. Космические лучи, № 13 (в печати).
19. Акимов В. В., Григоров Н. Л., Нестеров В. Е., Рапопорт И. Д., Савенко И. А., Тр. Всес. конф. по физике космических лучей в Ташкенте, 1968, ч. I, в. 1, стр. 98, ФИАН, М., 1969.
20. Grigorenko N. L., Nesterov V. E., Rapoport I. D., Savenko I. A., Skuridin G. A., Докл. на XI Междунар. конф. по космическим лучам, Будапешт, август, 1969, Препринт, 167, НИИЯФ МГУ, М., 1969.
21. Григоров Н. Л., Клишцов Ю. С., Нестеров В. Е., Рапопорт И. Д., Савенко И. А., Яковлев Б. М., Изв. АН СССР. Сер. физ., 30, 1773 (1966).
22. Григоров Н. Л., Кахидзе Г. П., Рапопорт И. Д., Савенко И. А., Тр. Всес. конф. по физике космических лучей в Ташкенте, 1968; ч. II, в. 1, стр. 1, ФИАН, М., 1969.