

СПЕКТРОМЕТР РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЭЛЕКТРОНОВ НИЗКИХ ЭНЕРГИЙ  
В СОСТАВЕ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ И ЕГО ГРАДУИРОВКА НА  
ЛУЧКЕ "ОДИНОЧНЫХ" ПОЗИТРОНОВ

Л. З. Джилавян, Н. П. Кучер, Г. В. Лупенко\*

УДК 523.165:621.384.64

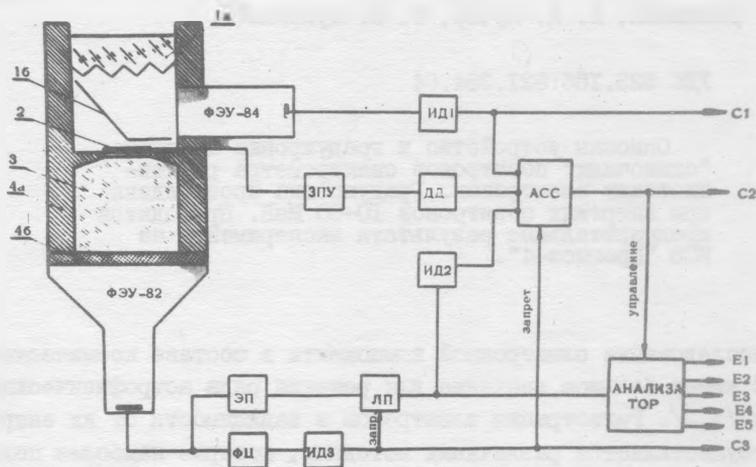
Описаны устройство и градуировка на пучке "одиночных" позитронов спектрометра релятивистских электронов. Градуировка произведена при энергиях позитронов 10-60 МэВ. Приводятся предварительные результаты эксперимента на ИСЗ "Прогноз-4".

Исследование электронной компоненты в составе космических лучей имеет большое значение для решения ряда астрофизических задач /1,2/. Регистрация электронов в зависимости от их энергии осуществляется различными методами, которые наиболее подробно описаны в обзоре /2/. Основной трудностью для всех методов регистрации электронов является надежность идентификации электронов. В составе космических лучей потоки релятивистских протонов превосходят потоки релятивистских электронов более чем на два порядка, поэтому даже маловероятные процессы, связанные с ядерным взаимодействием, рассеянием и др., могут привести к тому, что релятивистский протон будет зарегистрирован прибором как электрон.

Наиболее распространенным методом регистрации электронов в диапазоне энергий от нескольких МэВ до сотни МэВ является так называемый метод  $dE/dx - E$ , когда с помощью телескопа, состоящего из двух детекторов, регистрируются удельные ионизационные потери тонким детектором ( $dE/dx$ ) и энерговывделение остановившихся частиц в толстом детекторе ( $E$ ). Для исключения длиннопро-

\* ИНИИФ Московского Государственного университета.

бежных частиц, в основном, релятивистских протонов, телескоп окружается защитным детектором, включенным на антисовпадения с детекторами телескопа. Таким образом осуществляется отделение электронов от прочих частиц в составе космических лучей и измеряется их энергия. Защитный детектор также позволяет снизить фон прибора, исключив ливневые частицы, идущие вне апертуры телескопа.



Р и с. I. Схема спектрометра

Для улучшения качества отбора электронов при разработке прибора для искусственных спутников Земли (ИСЗ) серии "Прогноз" наряду с традиционными  $dE/dx$ , E и защитными детекторами был использован черенковский детектор с твердым радиатором. На рис. I приведена схема этого спектрометра. Используются следующие обозначения: 1а - радиатор черенковского детектора из плексигласа (диаметр 40 мм, толщина  $\sim 15$  мм); 1б - зеркало; 2 - детектор  $dE/dx$  (Si(Li), диаметр 21 мм, толщина чувствительного слоя  $\sim 1$  мм); 3 - E-детектор (CaI(Tl), диаметр 40 мм, толщина 40 мм); 4а, 4б - защитный детектор из пластического сцинтиллятора (толщина  $\sim 10$  мм); ЭП - эмиттерный повторитель; ЗПУ - зарядовый предусилитель; ИД - интегральный дискриминатор; ЛП - линейный пропускатель; ДД - дифференциальный дискриминатор; АСС - схема совпадений - антисовпадений.

В радиаторе черенковского детектора входная поверхность покрыта черной матовой краской, а выходная поверхность полированная и ребристая (с высотой ребер 2 мм и углом  $90^\circ$ ), что позволяет сделать прибор направленным, т.е. регистрировать только частицы, входящие со стороны черенковского счетчика. Более подробно аналогичный черенковский детектор описан в работе /3/.

С помощью дифференциального дискриминатора (ДД) выделяются импульсы, соответствующие энерговыделению от релятивистских частиц в детекторе  $dE/dx$ . Е-детектор и защитный детектор находятся в оптическом контакте и просматриваются одним ФЭУ-82. Сигналы, соответствующие Е-детектору, не сопровождаемые сигналами от защитного детектора, отделяются от прочих сигналов электронной схемой анализа формы сигнала (ФЦ) /4/.

Спектрометр снабжен собственным амплитудным анализатором (см. рис. 1), выходные сигналы которого поступают на телеметрию ИСЗ. На анализатор поступают сигналы от Е-детектора, а в качестве управляющего импульса используются сигналы от АСС (см. рис. 1).

Настройка спектрометра и обработка результатов, получаемых с его помощью, требуют хорошего знания различных характеристик (эффективность регистрации  $\eta$ ; зависимость наиболее вероятной амплитуды  $A_0$  сигнала от энергии падающих частиц  $E$  т.е.  $A_0 = f(E)$ ; амплитудное распределение  $F(A, E)$  и т.д.) как отдельных детекторов, входящих в него, так и всего спектрометра. В полном объеме такую информацию трудно получить расчетным путем. Более надежно определить все характеристики спектрометра позволяют градуировки на ускорителе.

Градуировка спектрометра была произведена на позитронном пучке системы получения позитронов и квазимонохроматических аннигиляционных фотонов на линейном ускорителе электронов (ЛУЭ) ИИИ АН СССР /5,6/. Основное назначение этой системы - исследование электро- и фотоядерных реакций /7,8/. Однако оборудование этой системы обладает широкими возможностями для создания различных по характеристикам прецизионных пучков электронов, позитронов и  $\gamma$ -квантов /9/. Проведение градуировки спектрометра потребовало создания низкофоновых пучков "одиночных" электронов или позитронов (под пучками "одиночных" частиц здесь имеется в виду пучки такой интенсивности, при которой можно пренеб-

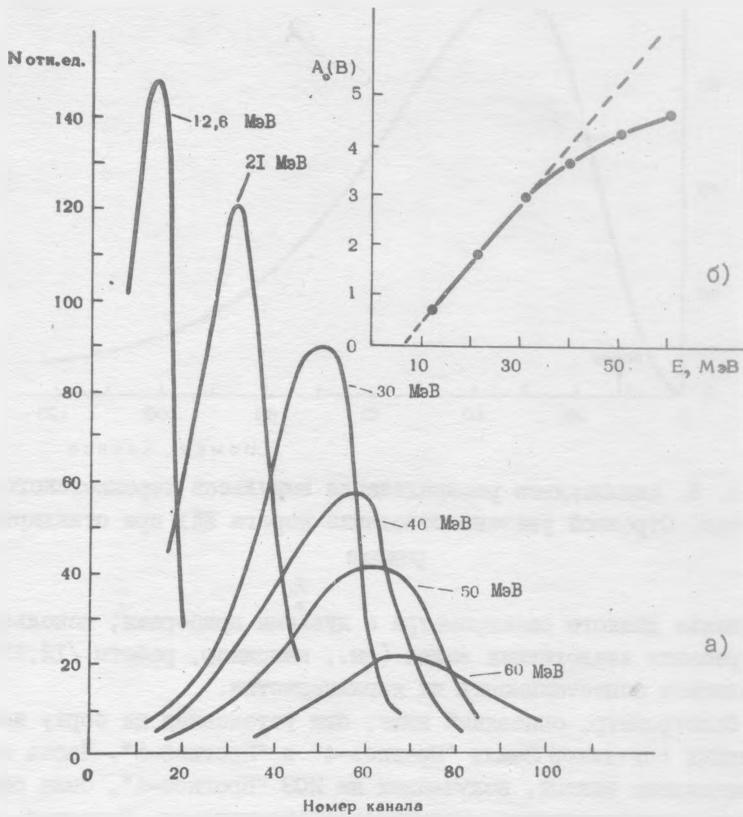
речь эффектами, связанными с одновременной регистрацией детекторами спектрометра двух и более частиц). Создание таких пучков на ускорителях, имеющих большую скважность, представляет собой определенную проблему. Так, в данном случае потребовалось ослабление интенсивности пучка ЛУЭ по сравнению с номинальной в  $\sim 10^{13}$  раз. Методика получения пучка "одиночных" позитронов в настоящей работе была в основном аналогична использованной в работе /Ю/. Метод получения низкофонового пучка "одиночных" частиц, основанный на использовании вторичных пучков, обеспечивает большую стабильность интенсивности и оперативность настройки пучка, чем применявшийся ранее на ЛУЭ метод ослабления первичного пучка электронов /И/. Кроме того, при работе с позитронами часть ЛУЭ, ускоряющая позитроны, выполняет еще роль активной защиты от фона электронов.

В результате проведенных градуировочных работ были измерены величины  $\eta$  и зависимости  $A_0 = f(E)$  и  $F(A, E)$  для различных детекторов спектрометра. Измерения амплитудных распределений производились на анализаторе АИ-128 в режиме с управлением.

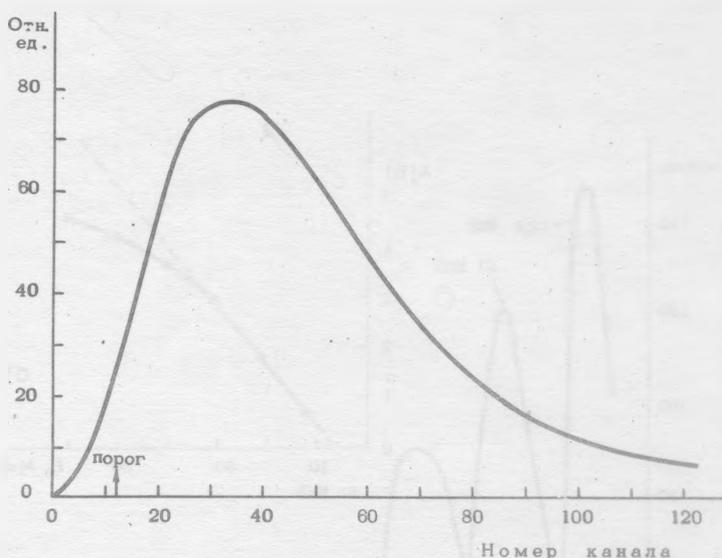
На рис. 2а приведены сглаженные кривые амплитудных распределений  $F(A, E)$ , полученных при энергиях позитронов  $E = 10-60$  МэВ для Е-детектора. При этом в качестве управляющего сигнала использовались двойные совпадения сигналов черенковского детектора и детектора  $dE/dx$ . Для удобства изображения кривые на рис. 2а разнесены, статистика в максимумах кривых  $\sim 10^3$  событий на канал анализатора. На рис. 2б показана зависимость  $A_0 = f(E)$  для Е-детектора. При энергиях до 30 МэВ с хорошей точностью сохраняется линейность зависимости  $A_0 = f(E)$ , которая нарушается при более высоких энергиях. Экстраполируя эту линейную зависимость к нулевой амплитуде, получаем величину энергии, теряемой частицами при прохождении через телескоп прибора до Е-детектора. Отсюда можно определить минимальную энергию, регистрируемую спектрометром ( $\sim 7$  МэВ).

Амплитудное распределение  $F(A, E)$  для черенковского детектора показано на рис. 3. При этом в качестве управляющего сигнала использовались двойные совпадения детектора  $dE/dx$  и Е-детектора.

Результаты градуировки спектрометра показывают, что спектрометр способен надежно выделять релятивистские электроны и определять их энергетический спектр вплоть до энергий  $\sim 60$  МэВ.



Р и с. 2. а) Амплитудные распределения импульсов Е-детектора при различных энергиях позитронов. б) Зависимость  $A_0$  от энергии позитронов для Е-детектора



Р и с. 3. Амплитудное распределение импульсов черенковского детектора. Стрелкой указано положение порога ИДИ при стандартном режиме

Сравнение данного спектрометра с лучшими приборами, используемыми для решения аналогичных задач (см., например, работы /12,13/), показывает сопоставимость их характеристик.

Спектрометр, описанный выше, был установлен на борту искусственных спутников Земли "Прогноз-4" и "Прогноз-5". Часть экспериментальных данных, полученных на ИСЗ "Прогноз-4", была обработана с использованием результатов градуировки. Показано, что в диапазоне энергий 7-40 МэВ дифференциальный энергетический спектр первичных электронов описывается следующей зависимостью:

$$dI/dE = 257 \cdot E^{-1,7 \pm 0,3} \quad (\text{электрон} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{ср}^{-1} \cdot \text{МэВ}^{-1}),$$

где  $E$  — энергия электронов в МэВ.

Авторы выражают благодарность Л. Е. Лазаревой и В. В. Петренко за интерес к работе, В. Н. Пономареву за помощь в работе на ЛУЭ и В. П. Суханову за помощь в подготовке эксперимента.

Институт ядерных исследований  
АН СССР.

Поступила в редакцию  
27 сентября 1979 г.

## Л и т е р а т у р а

1. В. Л. Гинзбург, С. И. Сыроватский, Происхождение космических лучей, М., АН СССР, 1963 г.
2. R. R. Daniel, S. A. Stephens, Space Sci. Rev., 10, 599 (1970).
3. Л. Ф. Калинин, Г. В. Лупенко, Г. И. Пугачева и др., Геоматн. и астрономия, 15, 345 (1975).
4. А. А. Гусев, Г. В. Лупенко, Г. И. Пугачева и др., ПТЭ, 4, 86 (1976).
5. Л. З. Джилаван, Препринт ИЯИ АН СССР П - 0099, М., 1978 г.
6. Л. З. Джилаван, Труды 6 Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц, Дубна, ОИЯИ, 1979 г., т. 2, с. 182.
7. Л. З. Джилаван, Н. П. Кучер, ЯФ, 30, 294 (1979)..
8. Л. З. Джилаван и др., Препринт ИЯИ АН СССР, П - 0121, М., 1979 г.
9. Л. З. Джилаван, Н. П. Кучер, Вопросы атомной науки и техники, сер. Техника физического эксперимента, вып. I(3), с. 82, ХФТИ, 1979 г.
10. Л. З. Джилаван и др., Препринт ИЯИ АН СССР П - 0128, М., 1979 г.
11. И. А. Гриваев и др., УЖ, 16, 866 (1971).
12. J. L'Heureux et al., Astrophys. J., 171, 363 (1972).
13. G. M. Simnett, F. B. McDonald, Astrophys. J., 157, 1435 (1969).