

Вестник МОСКОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

№ 6—1976

УДК 537.591

В. И. ЛАЗАРЕВ, Б. В. МАРЬИН, М. В. ТЕЛЬЦОВ

О РЕГИСТРАЦИИ α -ЧАСТИЦ НИЗКИХ ЭНЕРГИЙ В ОКОЛОЗЕМНОМ КОСМИЧЕСКОМ ПРОСТРАНСТВЕ

Описана методика одновременной регистрации спектров α -частиц и протонов низких энергий в космическом пространстве. Объединение электростатического анализатора и тонкого полупроводникового детектора, включаемого в регистрирующий тракт с низким уровнем шумов, позволяет существенно снизить энергетический порог спектрометра α -частиц. Показано, что регистрация α -частиц с эффективностью ($\sim 30-40\%$) может производиться начиная с 40 кэВ. С увеличением энергии α -частиц эффективность их регистрации увеличивается.

Еще в [1] высказывались соображения в пользу существования в магнитосфере Земли особого, «гелиевого пояса», состоящего из α -частиц, постоянного компонента солнечного ветра, захваченных магнитным полем Земли. По аналогии с электронами и протонами, входящими в состав радиационных поясов, следует, по-видимому, ожидать, что основная энергия в этом поясе переносится частицами с энергиями в десятки килоэлектронвольт. Именно поэтому изучение α -частиц в указанном энергетическом диапазоне представляет особый интерес в космической физике.

Регистрация α -частиц в космическом пространстве всегда должна проводиться на фоне более интенсивных потоков электронов и протонов, также эффективно воздействующих на детектор, поэтому главная проблема α -спектрометрии в космическом пространстве (как и спектрометрии других заряженных частиц) состоит в отделении исследуемых частиц от других по каким-либо их специфическим признакам. В тех спектрометрах, которые применяются в настоящее время, этим признаком является энерговыделение частиц в тонком слое вещества. Современные космические α -спектрометры представляют собой телескоп из полупроводниковых детекторов, в котором тонкий «проходной» детектор дает информацию о виде частицы, а размещенный за ним детектор полного поглощения измеряет энергию частицы [2].

Следует отметить, что реализация подобного метода связана со значительными трудностями, главная из которых состоит в том, что исключение влияния на детектор других излучений делает необходимым тщательный подбор толщины используемых детекторов, введение дополнительных устройств (например, магнитных фильтров) и т. д. Кроме того, метод несет в себе некоторые ограничения принципиального характера, главное из которых состоит в том, что наличие «проходного»

детектора ограничивает энергетический диапазон со стороны низких энергий несколькими сотнями кэВ. Устранение этого детектора позволило бы снизить порог регистрации α -частиц до энергий, определяемых шумами системы (детектор полного поглощения — усилитель), т. е. до $30 \div 40$ кэВ. Эту задачу можно было бы решить, исключив полностью или доведя до минимума воздействие на детектор других излучений.

Авторы предлагают сравнительно простой метод одновременного измерения дифференциальных спектров α -частиц и протонов в космическом пространстве, основанный на сочетании электростатического анализатора, определяющего энергию и знак регистрируемых частиц и полупроводникового детектора частиц с использованием спектрометрических свойств этого детектора.

Известно [3, 4], что для электростатического анализатора соотношение между напряжением на пластинах U и энергий регистрируемых частиц E имеет вид

$$E \cong k \cdot Z \cdot U, \quad (1)$$

где k — коэффициент, зависящий от геометрических характеристик анализатора, Z — заряд частиц.

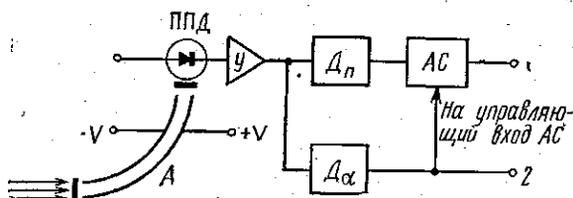


Рис. 1. Блок-схема спектрометра

Таким образом, если при разности потенциалов на пластинах U анализатора U на регистрацию поступают протоны с энергией E , то одновременно с ними на регистрацию поступают α -частицы с энергией $2E$.

Существенно упростившийся при этом амплитудный анализ импульсов позволяет легко отделить импульсы в детекторе, вызванные α -частицами от импульсов, вызванных протонами, и регистрировать их двумя счетными трактами.

Блок-схема такого спектрометра приведена на рис. 1: А — цилиндрический электростатический анализатор, ППД — полупроводниковый кремниевый детектор, У — малошумящий зарядочувствительный усилитель, D_p — дискриминатор протонов, D_α — дискриминатор α -частиц, АС — схема антисовпадений.

Для такой системы регистрации необходимо правильно выбрать пороги дискриминаторов D_p и D_α и определить эффективность ϵ_α регистрации α -частиц в зависимости от их энергии, которую мы обозначим $2E$, разрешения детектора и усилительного тракта Δ и относительной полосы пропускания анализатора $\beta = \Delta E / E$, где энергия E и абсолютная величина полосы пропускания ΔE соотношены к пропускаемым анализатором протонам.

На рис. 2 показана плотность распределения протонов со средней энергией E и α -частиц с энергией $2E$ на выходе усилительного тракта.

Между разрешением и среднеквадратичным отклонением нормального закона распределения выполняются следующие соотношения:

$$\Delta + \Delta E = 2,36\sigma_1, \quad (2)$$

$$\Delta + 2\Delta E = 2,36\sigma_2. \quad (3)$$

Установим порог регистрации для α -распределения

$$\chi = E + 3\sigma_1. \quad (4)$$

Для определения регистрируемой площади α -распределения правее ординаты АВ и, следовательно, эффективности регистрации α -частиц (ε_α) необходимо определить интеграл [5]

$$\varepsilon_\alpha = F(x) = \int_{E+3\sigma_1}^{\infty} \frac{1}{\sigma_2\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-2E)^2}{2\sigma_2^2}} dx \dots \quad (5)$$

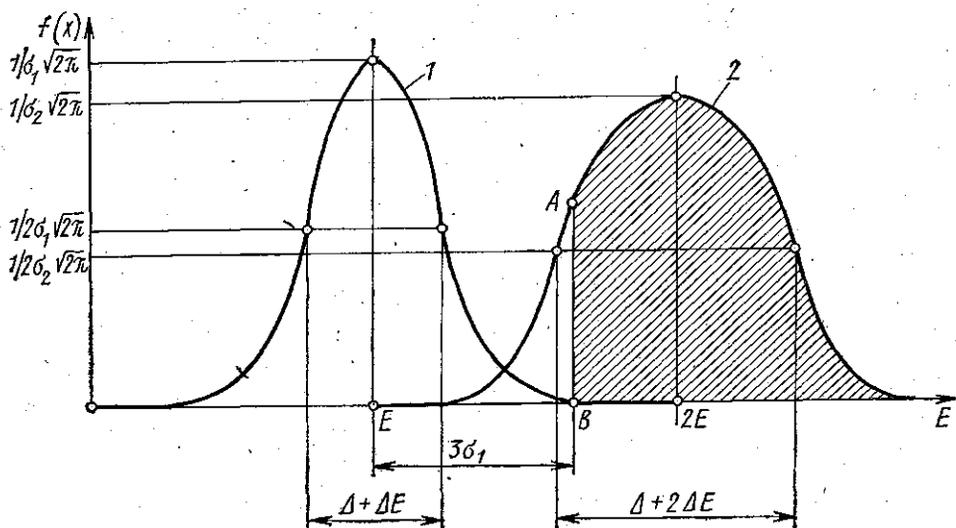


Рис. 2. Плотность распределения импульсов от протонов и α -частиц на выходе установленного тракта: 1 — для протонного распределения, 2 — для регистрации α -частиц

Для вычисления этого интеграла воспользуемся табличными значениями нормальной функции распределения

$$\Phi^*(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{t^2}{2}} dt. \quad (6)$$

Искомый интеграл определится, как

$$\varepsilon_\alpha = F(x) = 1 - \Phi^*\left(\frac{x-m}{\sigma_2}\right), \quad (7)$$

где $x = E + 3\sigma_1$, $m = 2E$.

Подставляя значения σ_1 и σ_2 в выражения (2), (3), получим эффективность регистрации α -частиц

$$\varepsilon_\alpha = 1 - \Phi^*\left(\frac{3\Delta + 3\beta E - 2,36E}{\Delta + 2\beta E}\right). \quad (8)$$

Придавая энергии α -частиц $2E$ различные значения, можно построить семейство кривых эффективности регистрации α -частиц $\epsilon_\alpha = f\left(\frac{E_\alpha}{\Delta}\right)$ при нескольких значениях $\beta = \frac{\Delta E}{E}$ (рис. 3).

Как видно из этого рисунка, достаточно хорошей эффективности регистрации ($\sim 30-40\%$) можно достигнуть уже при соотношении $2E/\Delta \cong 2,6$ в диапазоне полосы пропускания анализатора $\beta = 0,05 \div 0,2$.

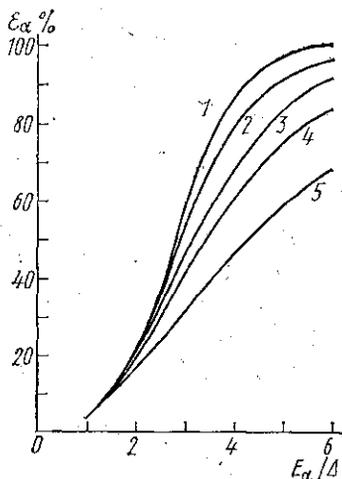


Рис. 3. Кривые эффективности регистрации α -частиц: 1 — $\beta = 0,05$; 2 — $\beta = 0,1$; 3 — $\beta = 0,15$; 4 — $\beta = 0,2$ и 5 — $\beta = 0,3$

При разрешении регистрирующего тракта $\Delta \cong 15$ кэВ нижний порог регистрации α -частиц с эффективностью $\sim (30-40\%)$ составит ~ 40 кэВ.

С изменением напряжения U на пластинах электростатического анализатора изменяется энергия регистрируемых протонов E , и, следовательно, необходимо изменить порог дискриминатора $\Delta_{\alpha x} = E + 3\sigma_1$ для исключения регистрации протонов по α -каналу или нужно применять несколько α -дискриминаторов с различными порогами, соответствующими регистрируемой энергии $E_\alpha = 2E$.

В приведенной на рис. 1 блок-схеме на канал 1 поступают протоны с энергией E плюс $(1 - \epsilon_\alpha)$ часть α -частиц с энергией $2E$, а на канал 2 — α -частицы с энергией $2E$ и эффективностью ϵ_α .

Разработанный на таком принципе прибор представляет собой одновременно протонный и α -дифференциальный спектрометр, что особенно важно для космофизических исследований. Этот прибор

позволит изучить потоки протонов и α -частиц в самой трудной с экспериментальной точки зрения области энергий вплоть до энергий эффективно регистрируемых ВЭУ и КЭУ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тверской Б. А. Исследования космического пространства. М., 1965, с. 314.
2. Fritz T. A., Williams D. J. «Jorn. geophys. Res.», 1973, 78, 4719.
3. Theodoridis G. C., Paolini F. R. «Rev. Sci. Instr.», 1968, 3, 326—330.
4. Лазарев В. И., Марьин Б. В., Тельцов М. В., Шилов В. В. «Геомагнетизм и аэронавигация», 1973, 13, № 5, 807.
5. Венцель Е. С. Теория вероятностей. М., 1969.

Поступила в редакцию
18.11 1975 г.

НИИЯФ