

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

ПРИБОРЫ И ТЕХНИКА
ЭКСПЕРИМЕНТА

(ОТДЕЛЬНЫЙ ОТТИСК)

1

МОСКВА · 1973

ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИЙ ТОРОИДАЛЬНЫЙ АНАЛИЗАТОР ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ПОТОКОВ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ В КОСМИЧЕСКОМ ПРОСТРАНСТВЕ

Г. И. ВОЛКОВ, Г. Н. ЗАСТЕНКЕР, В. Ф. КОПЫЛОВ, Ю. Н. ПОЗДНОВ,
А. П. РЕМЗОВ, М. З. ХОХЛОВ

Описан прибор для изучения потоков заряженных частиц с энергиями до 30 мэв. Электростатическим анализатором служит тороидальная отклоняющая система, обладающая симметричными угловыми характеристиками. Детектором частиц является вторичный электронный умножитель, напряжение на котором управляется выходным током, что обеспечивает большой динамический диапазон измерений (до 10^6) и высокую чувствительность прибора ($2 \cdot 10^5 \text{ см}^{-2} \cdot \text{сек}^{-1} \cdot \text{стер}^{-1}$).

Наряду с высокой чувствительностью и разрешением в большом динамическом диапазоне в электростатических анализаторах заряженных частиц, используемых в космических исследованиях, важную роль играет симметричность характеристик приборов. Как показано в [1, 2], характеристики анализаторов сферического и цилиндрического типа заметно асимметричны, что усложняет обработку экспериментальных данных и может приводить к неоднозначности в интерпретации.

Применение тороидального электростатического анализатора [2÷4] позволило получить симметричную характеристику в сочетании с высоким разрешением и чувствительностью. Структурная схема прибора и его внешний вид показаны на рис. 1 и 2. Отклоняющие пластины лежат на тороидальных поверхностях, образованных вращением концентрично расположенных дуг a и b вокруг оси AA'

(рис. 1). Центральный угол дуг $\varphi = 170^\circ$, расстояние центров дуг от оси $AA' L = 39 \text{ мм}$, а радиусы $r_1 = 34$ и $r_2 = 37 \text{ мм}$. В силу осевой симметрии отклоняющей системы ее угловые характеристики практически полностью симметричны. Небольшие размеры выходного окна анализатора позволяют использовать малогабаритные вторичные электронные умножители (в.э.у.), а благодаря большому отношению площадей входного и выходного окон анализатора достигается значительный выигрыш в чувствительности прибора. На выходе прибора использован компактный в.э.у. с диодами жалюзийного типа с коэффициентом умножения до 10^6 при темновых токах $10^{-18} \div 10^{-17} \text{ а}$ [5].

Электронная часть прибора состоит из стабилизированного преобразователя (с.п.), генератора ступенчатых напряжений (г.с.) собранного по кольцевой схеме, высоковольтного выпрямителя для питания в.э.у. (в.в.)

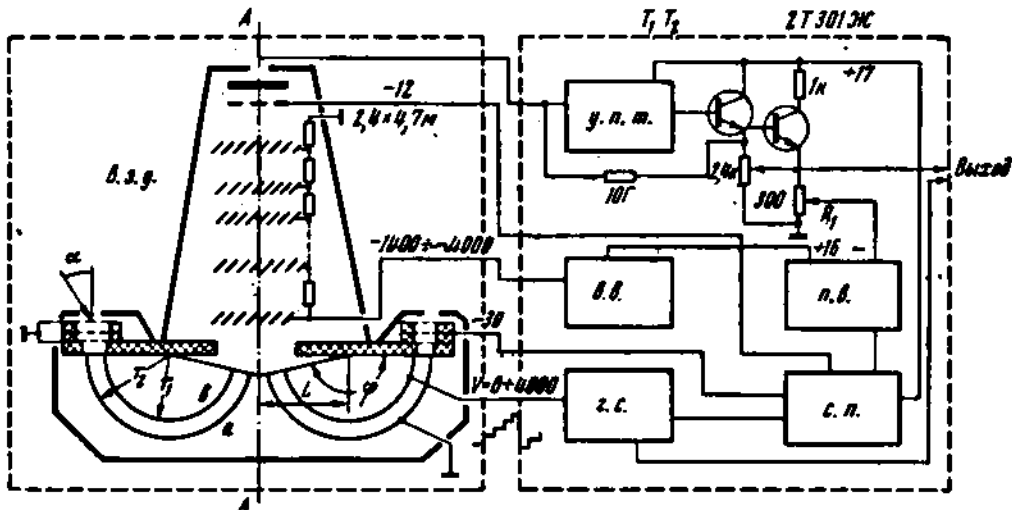


Рис. 1. Блок-схема прибора

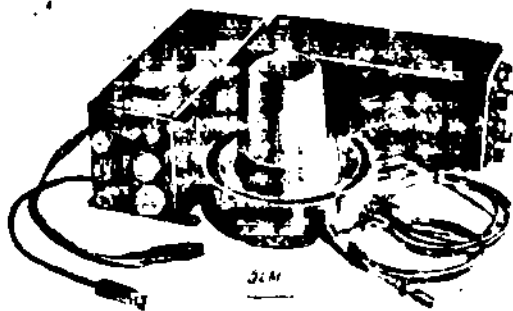


Рис. 2. Внешний вид электростатического тороидального анализатора

и усилителя постоянного тока (у.п.т.) с чувствительностью 10^{-11} а, линейной шкалой и 100%-ной отрицательной обратной связью [6]. Выход у.п.т. через систему эмиттерных повторителей T_1 и T_2 и сопротивление R_1 последовательно подключен к источнику питания выпрямителя (п.в.) в.э.у. так, что увеличение выходного напряжения у.п.т. приводит к уменьшению напряжения на в.э.у. и, следовательно, его коэффициента умножения. Введенная таким образом отрицательная обратная связь у.п.т. — в.э.у. обеспечивает расширение динамического диапазона измерений от 10^2 до 10^6 . Величина обратной связи регулируется R_1 , а чувствительность — величиной максимального напряжения на в.э.у. Эта часть схемы может быть использована для дистанционного управления чувствительностью и динамическим диапазоном прибора.

Зависимость выходного напряжения у.п.т. от тока на входе в.э.у. рассчитана по экспериментально определенным вольт-амперным характеристикам у.п.т. и в.э.у. для двух максимальных значений коэффициента умножения в.э.у. $K_0 = 10^4$ и 10^6 (кривые 1 и 2 на рис. 3). Для $K_0 = 10^4$ приведена также экспериментальная кривая 3, полученная при облучении прибора пучком электронов с энергией 7 кэв. Для повышения точности абсолютных измерений предусмотрена возможность установки электронной пушки для калибровки в.э.у. в полете. Конфигурация отклоняющих пластин позволяет разместить пушку на оси АА прибора (рис. 1) и направить наибольшую заданную долю тока пушки на в.э.у.

Важной характеристикой прибора является степень ослабления ультрафиолетового

солнечного излучения, достигающего в.э.у. Лабораторные измерения показали, что ослабление света на выходе отклоняющих пластин (источник света с $\lambda \geq 2000 \text{ \AA}$) составляет, по-видимому, не менее 10^6 , тогда как для снижения влияния света до уровня шумов в.э.у. необходимо ослабление $\sim 10^{10}$. Для подавления фона от ультрафиолетового излучения и жесткой компоненты радиационных поясов целесообразно использовать анализатор в режиме модуляции регистрируемых потоков. В этом случае ток в.э.у. будет регистрироваться усилителем переменного тока, что при соответствующем включении в.э.у. позволит расширить энергетический диапазон для электронов в сторону малых энергий.

Основные характеристики прибора приведены в таблице.

Величина η определялась экспериментально при облучении прибора широким параллельным пучком ионов. Значения G , $\Delta E/E$ и $\Delta\alpha$ получены пересчетом из экспериментальных данных, полученных для модели тороидального анализатора меньшего размера с $\eta = 2,8$ [2]. При этом предполагалось, что по аналогии со сферическими и цилиндрическими системами разрешение обратно пропорционально величине η .

Характерной особенностью тороидального анализатора является незначительное расширение его угловых и энергетических характе-

1. Диапазон энергий для ионов и электронов (на единицу заряда)	0,1-30 кэв и 4-30 мэв
2. Энергетическое разрешение $\Delta E/E$ (по уровню 0,1)	$\pm 0,06$
3. Угловое разрешение $\Delta\alpha$ (по уровню 0,1)	$\pm 3,6^\circ$
4. Геометрический фактор G	$3 \cdot 10^{-2} \text{ см}^2 \cdot \text{стер}$
5. Диапазон измерений при $K_0 = 10^4$	$2 \cdot 10^2 - 10^6 \text{ см}^{-2} \cdot \text{стер}^{-1} \cdot \text{сек}^{-1}$
6. Выигрыш по напряжению $\eta = E/eV$	6,5
7. Постоянная времени измерений	20-40 мсек
8. Постоянная времени г.с.	20 мсек
9. Размеры: электроника	2 блока по $250 \times 90 \times 123 \text{ мм}^3$
анализатор	$\varnothing 200 \times 200$
10. Вес: электроника	5 кг.
анализатор	1,4 кг
11. Потребляемая мощность	5,5 Вт

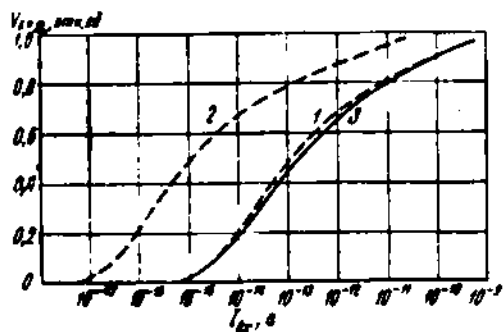


Рис. 3. Характеристики прибора

ристик в области малых пропусканий (в 1,5–2 раза на уровне 10^{-6} по сравнению с уровнем 10^{-3}).

Приведенное значение G относится к моноэнергетическому потоку частиц в максимуме энергетической характеристики. Для перехода к минимальной дифференциальной интенсивности $j_{\text{мин}}$ частиц/см²·сек·стер·кэв, регистрируемой прибором, необходимо учесть эквивалентную ширину его энергетической характеристики $\Delta E \approx 0,04 E_{\text{ср}}$ и коэффициент вторичной эмиссии на катоде в.э.у. γ : $j_{\text{мин}} = i_{\text{вх, мин}}/G \Delta E \gamma e \approx 7 \cdot 10^4/E_{\text{ср}}$ γ -частиц/см²·сек·стер·кэв, где $i_{\text{вх, мин}}$ — мини-

мальный входной ток в.э.у., регистрируемый прибором. При регистрации положительных ионов их энергия при соударении с катодом в.э.у. $E_i > 4$ кэв. Для таких энергий $\gamma > 1$ и, следовательно $j_{\text{мин}} < 7 \cdot 10^4/E_{\text{ср}}$ частиц/см²·сек·стер·кэв. Возможности абсолютных измерений при учете нестабильности величин γ и K подробно проанализированы в обзоре [7].

ЛИТЕРАТУРА

1. A. J. Hundhausen, J. Geophys. Res., 1969, 74, 3740.
2. М. З. Хозлов, А. П. Ремизов, Косм. исследования, 1969, 7, 459.
3. М. З. Хозлов, А. П. Ремизов, Бюл. ОИПОТЗ, 1969, № 22.
4. M. P. Gough, J. Phys. E. Scient. Instrum., 1970, 3, № 4, 332.
5. М. Р. Айбунд, Н. В. Дунаевская, Б. А. Мамрин, Б. Н. Шустов, Электронная техника, 1968, серия 4, вып. 4, 45.
6. J. Praglin, W. A. Nichols, Proc. of I. R. E., 1960, 68, № 4, 771.
7. А. Н. Тютиков, Успехи физ. наук, 1970, 100, 3, 467.

Институт космических исследований АН СССР,
Москва. Получено 5.IV.1972