

*ACADEMY OF SCIENCES
OF THE USSR
SPACE
RESEARCH
INSTITUTE*

*АКАДЕМИЯ НАУК
СССР
ИНСТИТУТ
КОСМИЧЕСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЙ*

PROCEEDINGS OF THE
IVth INTERNATIONAL SEMINAR

MANUFACTURING OF SCIENTIFIC
SPACE INSTRUMENTATION

INSTRUMENTS FOR STUDYING
SPACE PLASMA AND
COSMIC RAYS

USSR, Frunze, September 18-24, 1989

Т Р У Д Ы
IV МЕЖДУНАРОДНОГО СЕМИНАРА
НАУЧНОЕ КОСМИЧЕСКОЕ
ПРИБОРОСТРОЕНИЕ

ПРИБОРЫ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ
КОСМИЧЕСКОЙ ПЛАЗМЫ И
КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ

СССР, Фрунзе, 18-24 сентября 1989

Edited by V.M. Balebanov

Под редакцией В.М. Балебанова

WIDE-ANGLE DEVICE FOR MEASUREMENT OF COLD
PLAZMA PARAMETERS

V.V.Afonin, V.V.Bezrouckih, K.I.Gringauz,
A.P.Remizov, N.F.Smirnova
Space Research Institute, USSR Academy of Sciences, Moscow
A.P.Belyashin, L.I.Denshchikova, V.F.Kopylov
NPO VACUUMMASHPRIBOR, Moscow

1. INTRODUCTION

In ionospheric plasma research by direct methods the measurements of main ion parameters are usually made with ion traps either in "floating" mode for measuring the total ion density n_i or in the mode with ion energy analysis (RPA - retarding potential analyzers) - to measure ion density n_i , ion temperature T_i and main ion masses M_i ; both spherical and flat RPAs are utilized.

The advantages of the spherical ion trap are its wide field of view and higher sensitivity as compared to the flat RPAs, its drawback is difficulties with measuring ion temperature and masses. The flat RPAs, despite the fact that they are less sensitive and have smaller FOV, show good results in measurements of T_i and M_i (see Table 1).

Table 1

Qualitative comparison of spherical and flat RPAs

parameter	spherical	flat
field of view	4π	$(0,1...0,8) \times 2\pi$
sensitivity	high ($\cong 1$)	low (0,01...0,1)
ion density	measured	measured
ion temperature T_i	difficult	measured
major ion masses M_i	difficult	measured

The instrument MARIPROBE is designed within the MARS-94 project, whose ion part combines the advantages of both spherical and flat RPAs. This is especially important in case of missing or insufficient a priori knowledge of the measurement conditions.

The ion part of MARIPROBE-D sensor intended for ionospheric plasma parameters measurements is described in this report. Its design (without detection unit), technology of its manufacturing and results of computer modeling are also briefly described.

This device enables the measurements of the following parameters of the ionospheric plasma component in the wide angle range (two sensors cover the whole angular space):

Table 2

parameter		range of measurement
ion density	n_i	$0,1 \dots 5 \cdot 10^6 \text{ cm}^{-3}$;
ion temperature	T_i	$100 \dots 15\ 000 \text{ K}$;
mass composition	M_i	2-3 major masses
ion drift vector	V_d	
magnitude		$50 \text{ m/s} \dots 35 \text{ km/s}$;
angular resolution		15° - from TM records 2° - after data reduction (for $n \geq 100_i \text{ cm}^{-3}$)

The two perpendicular drift components are measured directly and the third component (aligned along the sensor axis) is defined by ground based evaluation of experimental data.

2. ION PART OF THE SENSOR

The described device consists of 28 electrode sets of RPA without collectors. All 28 RPA share a common detection unit (collector) and ensure the angular coverage slightly more than 2π (flat angle equals 190°). The FOV of each RPA is 42° and the angular distance between adjacent RPAs is not more than 30° .

The design of the sensor is shown in Fig.1a. The electrode system is composed of 28 flat analyzers with retarding potential (RPA) mounted on the case 2 along the spherical segment 3 limited by the flat angle 100° . Two spherical segment grids 4 and 5 are mounted behind the analyzer outputs concentrically to the sphere 3. The grid 4 is electrically connected to the case 2. The focusing potential U_{foc} is applied to the grid 5. The grid 5 is composed of the two grids with equal potential to increase the electric field homogeneity. The detector 6 is located at the centre of the sphere. For different applications a variety of detectors may be used - a simple flat metallic collector, or a microchannel plate, or even more sophisticated detection devices.

Each RPA (Fig.1b) consists of the collimator 1 which defines

The ion part of MARIPROBE-D sensor intended for ionospheric plasma parameters measurements is described in this report. Its design (without detection unit), technology of its manufacturing and results of computer modeling are also briefly described.

This device enables the measurements of the following parameters of the ionospheric plasma component in the wide angle range (two sensors cover the whole angular space):

Table 2

parameter		range of measurement
ion density	n_i	$0,1 \dots 5 \cdot 10^6 \text{ cm}^{-3}$;
ion temperature	T_i	$100 \dots 15\ 000 \text{ K}$;
mass composition	M_i	2-3 major masses
ion drift vector	V_d	
magnitude		$50 \text{ m/s} \dots 35 \text{ km/s}$;
angular resolution		15° - from TM records 2° - after data reduction (for $n \geq 100_i \text{ cm}^{-3}$)

The two perpendicular drift components are measured directly and the third component (aligned along the sensor axis) is defined by ground based evaluation of experimental data.

2. ION PART OF THE SENSOR

The described device consists of 28 electrode sets of RPA without collectors. All 28 RPA share a common detection unit (collector) and ensure the angular coverage slightly more than 2π (flat angle equals 190°). The FOV of each RPA is 42° and the angular distance between adjacent RPAs is not more than 30° .

The design of the sensor is shown in Fig.1a. The electrode system is composed of 28 flat analyzers with retarding potential (RPA) mounted on the case 2 along the spherical segment 3 limited by the flat angle 100° . Two spherical segment grids 4 and 5 are mounted behind the analyzer outputs concentrically to the sphere 3. The grid 4 is electrically connected to the case 2. The focusing potential U_{foc} is applied to the grid 5. The grid 5 is composed of the two grids with equal potential to increase the electric field homogeneity. The detector 6 is located at the centre of the sphere. For different applications a variety of detectors may be used - a simple flat metallic collector, or a microchannel plate, or even more sophisticated detection devices.

Each RPA (Fig.1b) consists of the collimator 1 which defines

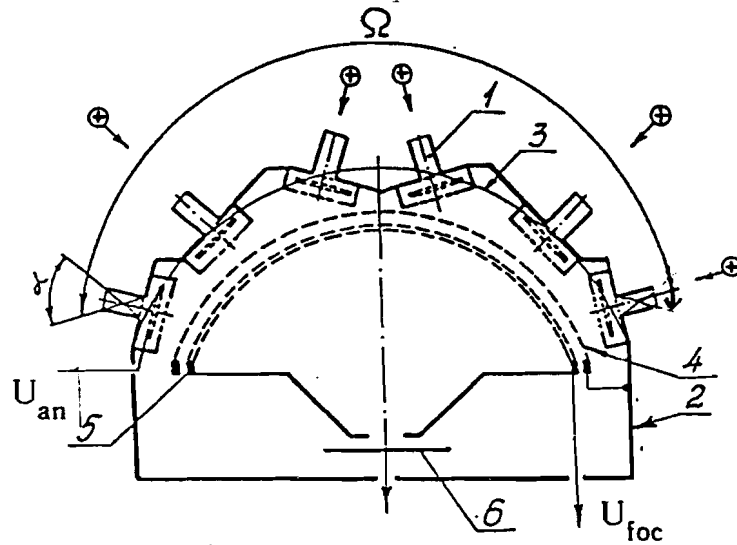


Fig.1a. MARIPROBE-D sensor. Sensor electron-optic electrode system

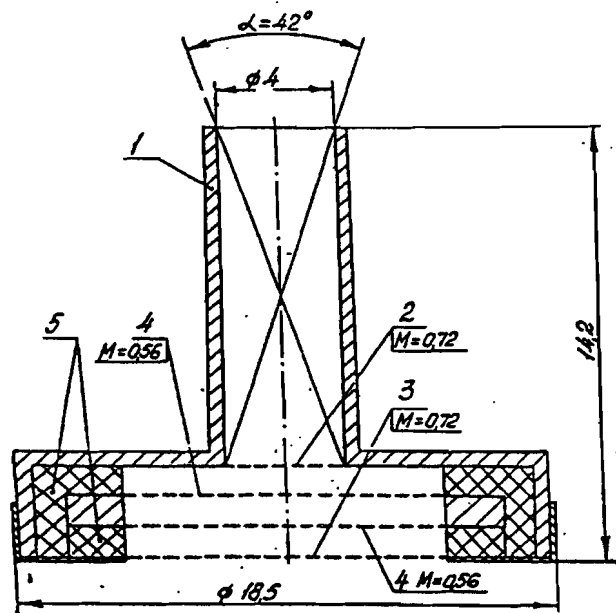


Fig.1b. Retarding Potential Analyzer (RPA):

- 1 - collimator;
- 2,3 - screen grids;
- 4 - analyzing grids;
- 5 - isolators;
- α - field of view (FOV);
- M - grid transparency;

the FOV of the analyzer (the flat angle at the FOV cone apex is equal 42°), two screen grids 2,3 and the double analyzing grid 4. The screen grids are intended to generate a the flat parallel electric field of the analyzing grid 4.

Analyzers are equally spaced in three azimuthal planes and in the meridional plane they are mounted at three different angles relative to the vertical axis - 15° (4 RPAs), 45° (12 RPAs) and 75° (12 RPAs). The total solid angle Ω is more than 2π (the flat angle is equal 190°).

The device operates in the following way. The ion flux with the energy $E > eU_{an}$ (where e - electron charge, U_{an} - analyzing voltage) enters one of the analyzers in the FOV - angle α . The energy and sign particle selection is made by applying a variable retarding potential U_{an} to the analyzing grid of an RPA. In accordance with the electronic optical refraction law, the potential drop of the thin electric field between the grids 1 and 2 makes particles change their flight path :

$$\frac{\sin \beta}{\sin \alpha} = \sqrt{\frac{U_1}{U_2}}, \quad (1)$$

where α, U_1 - arrival angle and potential a particle sees when entering the electric field between the grids 5 (Fig. 1a);

β, U_2 - departure angle and the potential at the exit of the focusing field of the grids 5.

Adjusting the potential U_{foc} value for a given device geometry helps collect all particles with energy E which passed the analyzer within the angle α on the detector 6. The focusing effect of the U_{foc} can be seen in Fig. 2. The calculations show that the grid system with the radius 50 mm and applied potential $U_{foc} \leq 3000V$ drastically changes the trajectories of particles entering this system, even at the most unfavorable angle, i.e., $\alpha > 20^\circ$, to angles $\beta \leq 5^\circ$ at the exit of the system. It means that the particles are focused into a small spot on the detector which enables the use of small detectors and, in addition, decreases the UV light effect.

Depending on the experiment tasks particles may enter the system either through all 28 analyzers or sequentially through

each of them according to some program. By applying the potential $U \gg U_{an}$ to the analyzing grids of the analyzers one can cut off all analyzers except one. Arrival angles of particles are defined within 15° directly from the TM-records and with an accuracy of $\leq 2^\circ$ after data processing.

To check the light exposure of the total FOV and thus remove "holes" in the total FOV, and to determine the minimum number of RPAs to cover the whole angular range and their location on the angular sphere the computer modeling was made. If the RPA FOV width is 42° then 24 RPAs are enough to cover the total FOV of one sensor, 2π . 28 RPAs were chosen from the technological considerations (Fig.3). This Figure shows the solid angle Ω in the plane (Mercator) projection. The abscissa shows angles in the azimuthal plane and the ordinate, in the meridional plane.

In this Figure the white circles correspond to the central axes of the RPA FOVs, the black area, to the angular region covered by one RPA and the shadowed area to the angular region covered by two or more analyzers.

The experimental check of some operating parameters was made on a special vacuum chamber. The positive nitrogen ion beams were generated in the vacuum chamber. The energy of beams was controlled in the range 5-50 eV. The beam density was $(2-5) \cdot 10^{-13} \text{ A/cm}^2$. The inhomogeneity of the beam density was less than 0.5%. The beam divergence at the input aperture was less than $\pm 1.5^\circ$; since the distance to the ion source was made sufficiently large.

The ion beam parameters were measured by a special Beam Monitoring Sensor (BMS), that is a flat electrostatic energy spectrometer with retarding potential. The instrument under investigation and BMS sensor were mounted inside the vacuum chamber on the 2-axis rotation platform needed to set them at different angles to the incoming beam and thus to measure angular characteristics. A secondary electron multiplier B9Y-7 (microchannel plates of shevron type) was utilized as a detector of fluxes; this detector was operating in the pulse counting mode. The experimental investigations were aimed at checking the energetic and angular RPA characteristics which are required during the calculations needed to interpret the parameters of measured ions.

Fig.4 shows the angular characteristics of the RPA measured for

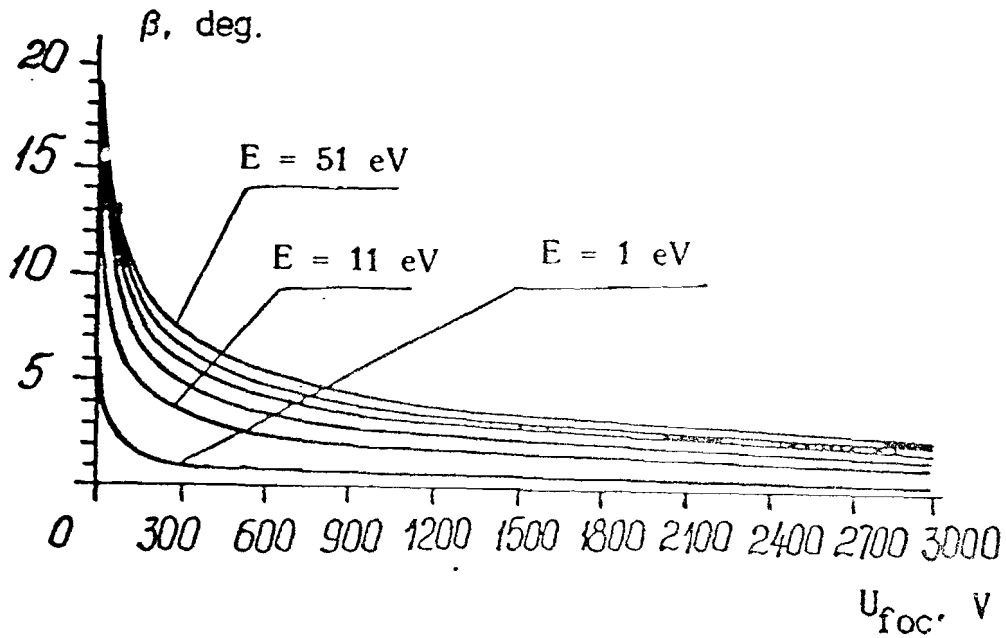


Fig.2. Angle of departure, β , versus focusing voltage U_{foc} at the exit of the focusing grid set of MARIPROBE-D sensor.

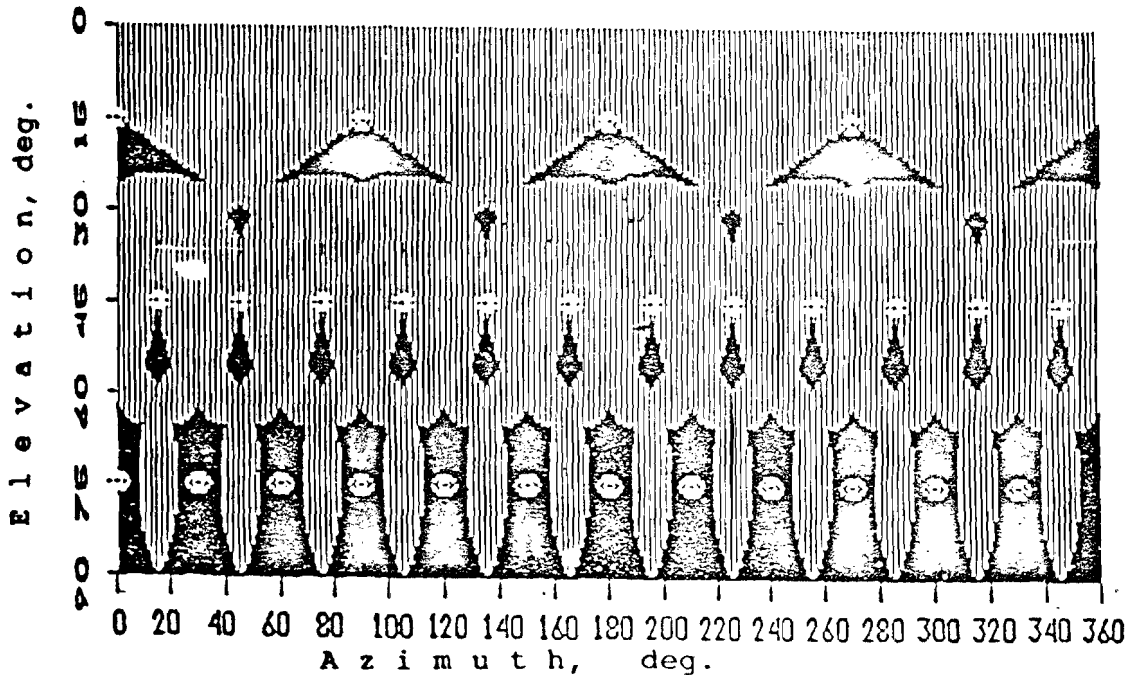


Fig 3 Fields of view (FOV) of MARIPROBE-D sensor in Cartesian coordinates:
white small circles - FOV centres of 28 RPA in angular domain;
black area - angular domain covered by one RPA,
shadowed area - angular domain covered by at least two RPA.

ion energy $E=5,10,20$ and 50 eV and normalized to the maximum pulse count rate for the arrival angle of the particles $\alpha=0^\circ$. One can see from the Figure that the angular characteristics for different ion energies in the range 5 through 50 eV are close to the ideal, they are symmetric relative to the axis and practically coincide for all energies.

The retarding characteristics of Fig.5 show pulse count rates versus U_{an} and are also normalized to the maximum pulse counting rate for the arrival angle of the particles $\alpha=0^\circ$. These characteristics are also close to ideal, rectangular characteristics, due to the properly chosen design. Some deviation from ideal is the retarding slope of about 5% . It is mainly due to the energy spread in the beam. The effect of the inhomogeneity of the electric field near the grid wires is less significant ($\leq 1\%$).

At present in addition to the lab experiments with RPAs the mathematical simulation was made of the particle passage inside the sensor starting at the RPA aperture to the detector. All potentials were taken into account inside RPAs both and the sensor. The simulation program works in the interactive mode and allows visual inspection of particle trajectories and control of all parameters - both mechanical and electrical - of the sensor. Fig.6 shows the example of the output of such simulation program.

In view of the future interpretation of the data acquired by this sensor it is very important to have a good knowledge of the angular and energetic characteristics of the sensor as a whole. The lab calibration of one such sensor with manual, not automated, experiment control will take at least several months. Since the experiment comprises two sensors for the whole angular coverage and more than one experiment set is required for the space mission it is unrealistic to make preflight calibration in acceptable time. In this connection an automated system for vacuum experiment control is under design specially for MARIPROBE experiment. This system includes the data acquisition, storage and data reduction and visualization features in addition to the means of experiment and vacuum chamber control. The means for the whole range of operations with microchannel plates are also included.

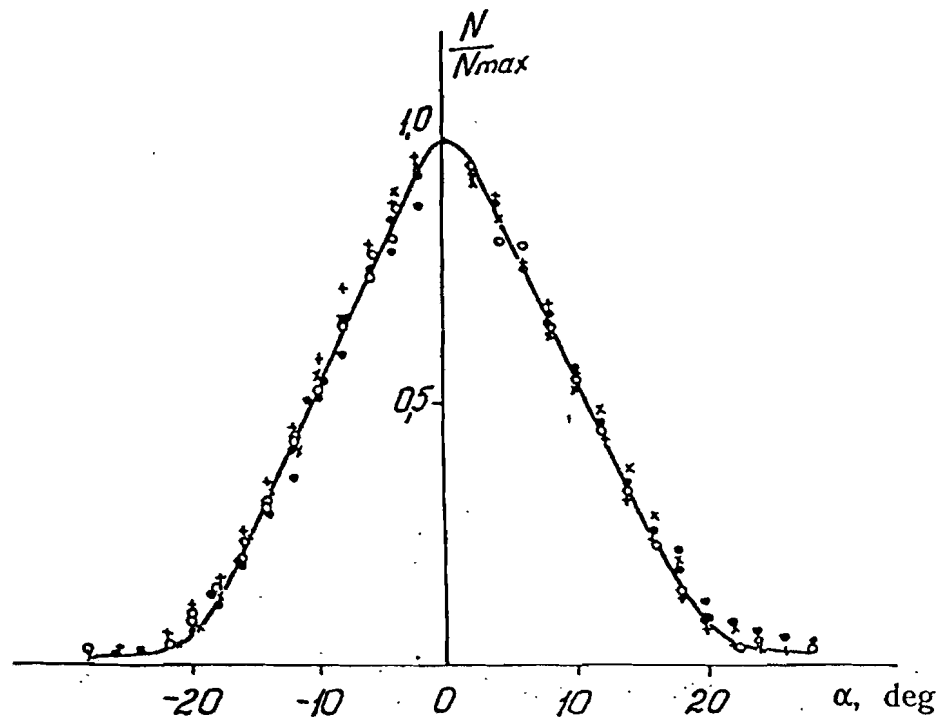


Fig. 4. Experimental angular characteristics of RPA for different ion energies:

- | | | | |
|-------|-----------------------|-------|-----------------------|
| - x - | $E = 5 \text{ eV}$; | - o - | $E = 10 \text{ eV}$; |
| - + - | $E = 20 \text{ eV}$; | - • - | $E = 50 \text{ eV}$; |

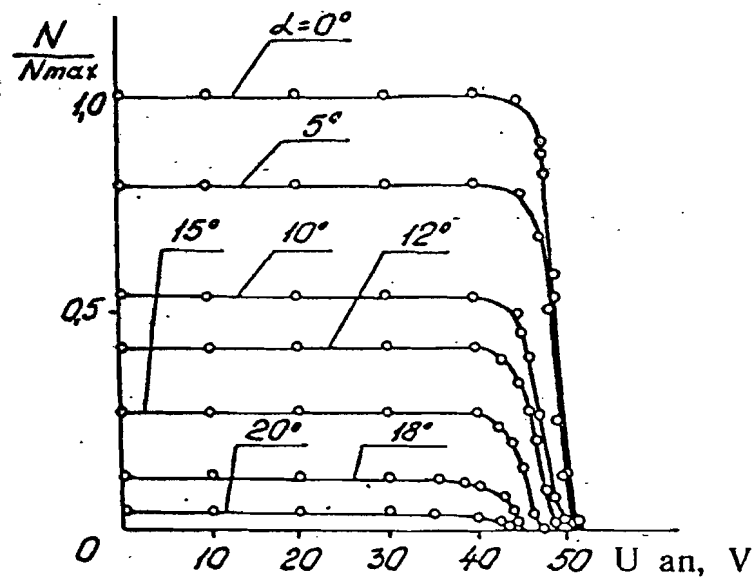


Fig. 5. Experimental energetic characteristics of RPA for ion energy $E_i = 50 \text{ eV}$

MARIPROBE

APERTURE,		SENSOR	
E1	= 50.0 eV	Urpa	= 0.0 V
E2	= 5000.0 eV		
R1s	= 5.00 mm	R2s	= 6.80 mm
Rgrid1	= 5.00 mm	Rgrid2	= 4.80 mm

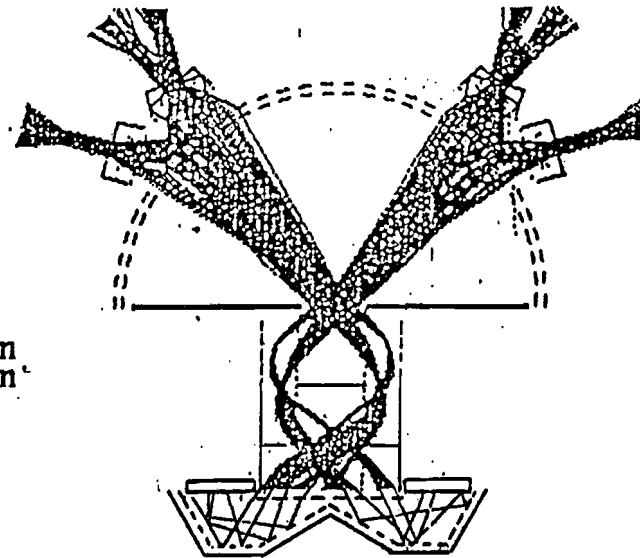


Fig. 6. Results of computer modeling of particle trajectories from outside RPA to the detection unit.

3. DESIGN

To connect the 28 RPA leadouts with electronic circuitry the wireless connections are used on the internal surface of the sensor (of printed circuit type).

All grids are made of tungsten and the sensor body of aluminum alloy. The RPAs and grid mounting elements are made of stainless steel. As an isolating material a composite polyimid material (polyimid) is used. This material is very light ($\rho=1.2\text{g/cm}^3$), and strong as a metal, it is characterized by a wide range of operation temperatures (-100° through $+200^\circ\text{C}$) and produces practically no organic outgassing. Its outgassing was measured to find out the possibility of its application in space. The measurements were made on the industrial mass analyzer. No organic traces except of clean gases ($\text{CO}, \text{CO}_2, \text{H}_2\text{O}$ etc.) were detected in the operation temperature range ($-100..+200^\circ\text{C}$).

Large diameter grids were made with the use of the mandrel with slots. The wires were put into the slots and galvanically fixed afterwards. The grid step was 0.75 mm and wire diameter was 25-30 μm . Grids with a very small step - 40 and 100 μm were used to improve the RPA characteristics. The analyzing grid were double with 1 mm distance between the grids. The lab electrolytic bath experiments have shown that high focusing potential (3-5 kV) was depressed to 10^{-6} - 10^{-7} of its value in the region of the analyzing grid of RPAs.

All mechanical connections in the sensor were made by pressure contact welding and connections of the sensor case - by argon arc welding.

The total transparency of the grid set was 0.3. To decrease the sun illumination effect all elements inside the sensor, including grids, were nickel blackened ($A_s, \epsilon \geq 0.98$). In addition light traps were used inside the sensor and most RPA were tilted in such a way that direct illumination of the sensor output hole was eliminated.

The external view of the sensor with the case for electronic circuitry is shown in Fig.7. Fig. 7 also shows the spherical segment grid of large diameter and the assembly of the focusing grid set. The sensor weight with the electronic case is 1 kg and its dimensions are 150x150x180 mm.

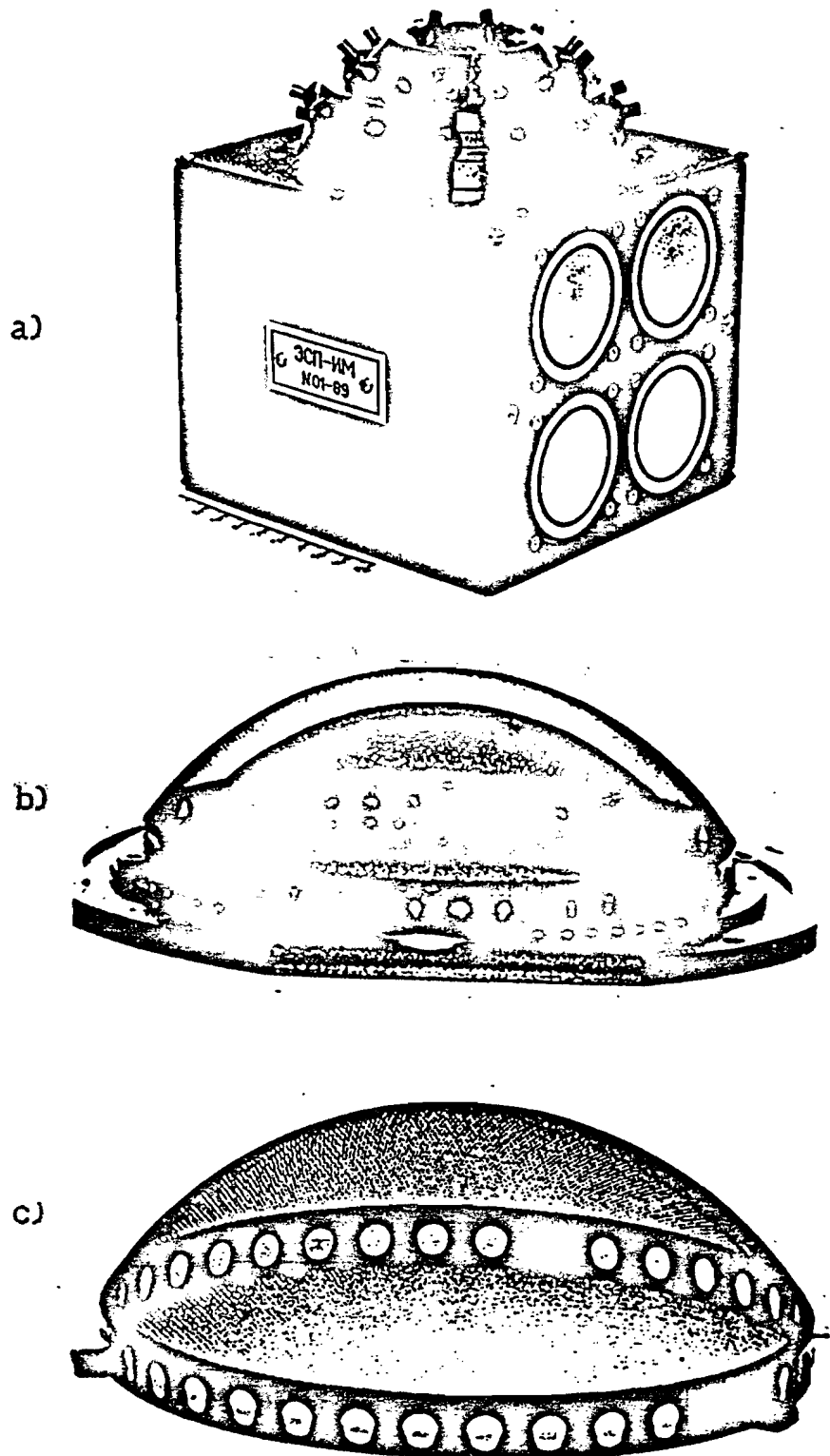


Fig.7. a) MARIPROBE-D sensor; b) Focusing grid system;
c) Segment focusing grid.

ШИРОКОУГОЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ХОЛОДНОЙ ПЛАЗМЫ

В.В.Афонин, В.В.Безруких, К.И.Грингауз,
А.П.Ремизов, Н.Ф.Смирнова,

Институт космических исследований АН СССР, г.Москва

А.П.Беляшин, Л.И.Денщикова, В.Ф.Копылов

НПО ВАКУУММАШПРИБОР, г.Москва

ВВЕДЕНИЕ

В исследованиях ионосферной плазмы прямыми методами для измерения основных параметров ионной компоненты обычно применяются ионные ловушки - либо в "плавающем" режиме для измерения суммарной концентрации n_i , либо с анализом ионов по энергиям (АТП - анализаторы с тормозящим потенциалом) - для измерения ионной концентрации n_i , ионной температуры T_i и масс основных ионов M_i ; применяются как сферические, так и плоские АТП. Достоинством сферического АТП является широкий угол обзора и повышенная по сравнению с плоским АТП чувствительность, а недостатком - затруднены измерения температуры и масс ионов. Плоский АТП, хотя и имеет меньший обзор и меньшую чувствительность, показывает хорошие результаты при измерении T_i и M_i (табл. 1)

Таблица 1

Качественное сравнение характеристик сферических
и плоских ионных ловушек

Параметр	Ионные ловушки	
	Сферическая	Плоская
Поле зрения, ср	4л	(0,1...0,8)х2л
Чувствительность	Высокая ($\cong 1$)	Низкая (0,01 - 0,1)
Концентрация ионов	Измеряется	Измеряется
Температура ионов T_i	Измер. затруднено	Измеряется
Массы основных ионов M_i	Измер. затруднено	Измеряется

В рамках проекта "Марс-94" разработан прибор МАРИПРОБ, ионная часть которого объединяет достоинства как сферических, так и плоских АТП. Эта особенность особенно важна в случае отсутствия или недостаточного количества априорных данных об условиях работы прибора.

В настоящем докладе описывается ионная часть датчика МАРИ-ПРОБ-Д, предназначенная для измерения ионных параметров ионосферной плазмы, его конструкция (без узла регистрации), кратко технология изготовления и результаты моделирования. Это устройство обеспечивает измерение в широком угловом диапазоне (два датчика перекрывают все пространство) следующих параметров ионной компоненты ионосферной плазмы (табл. 2).

Таблица 2

Параметр	Диапазон измерения
Ионная концентрация n_i	$0,1 - 5 \cdot 10^6 \text{ см}^{-3}$;
Ионная температура T_i	$100 - 15\ 000 \text{ К}$;
Массовый состав M_i	2-3 основные массы;
Вектор дрейфа ионов V_d	
величина	$50 \text{ м/с} - 35 \text{ км/с}$;
разрешение по углам	15° - непосредственно по телеметрии
	2° - после обработки (при $n_i \geq 100 \text{ см}^{-3}$)

При этом две поперечные компоненты дрейфа измеряются непосредственно, а третья (продольная относительно датчика) определяется при наземной обработке экспериментальных данных.

ОПИСАНИЕ ИОННОЙ ЧАСТИ ДАТЧИКА

Устройство фактически представляет собой набор из 28 электродных наборов АТП без коллектора. Все 28 АТП работают на один узел регистрации (коллектор) и обеспечивают угловое перекрытие немного более 2π (плоский угол 190°). Угловая диаграмма каждого АТП 42° , угловое расстояние между соседними АТП не более 30° .

Устройство датчика показано на рис. 1, а. Электродная система содержит 28 плоских анализаторов с тормозящим потенциалом (АТП), расположенных в корпусе 2 по контуру сферического сегмента 3, ограниченного углом 100° . За выходами анализаторов, снабженных коллиматорами 1, концентрично сфере 3 установлены две сегментные фокусирующие сетки 4 и 5, обе сферической формы. Сетка 4 электрически соединена с корпусом 2, на сетку 5 подается фокусирующий потенциал $U_{\text{фок}}$. Для получения равномерного электрического поля сетка 5 состоит из двух, находящихся под одним потенциалом, сеток. В центре сферы расположен детектор 6, который в зависимости от условий проведения эксперимента может иметь вид плоского

металлического коллектора, либо микроканальной пластины, либо более сложного регистрирующего устройства.

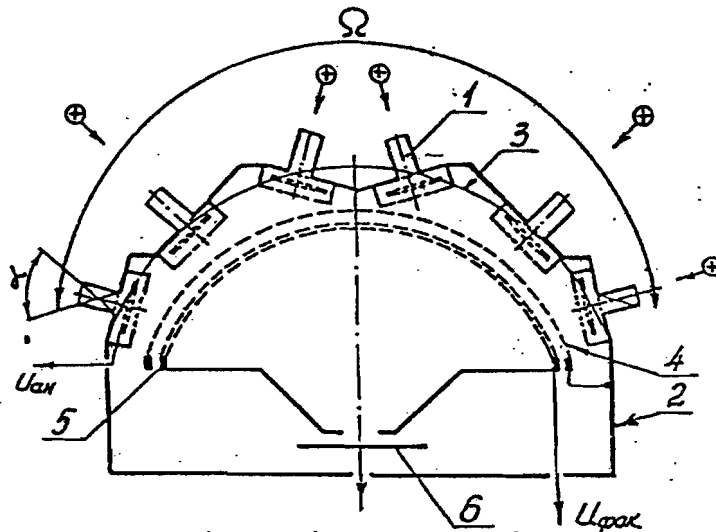


Рис. 1, а. Принципиальная схема ионной электродной системы (датчик ионов).

Каждый из АТП (рис. 1, б) состоит из коллиматора 1, определяющего угловую диаграмму направленности анализатора (конус при вершине $\alpha=42^\circ$), двух экранных сеток 2, 3 и двойной анализирующей сетки 4.

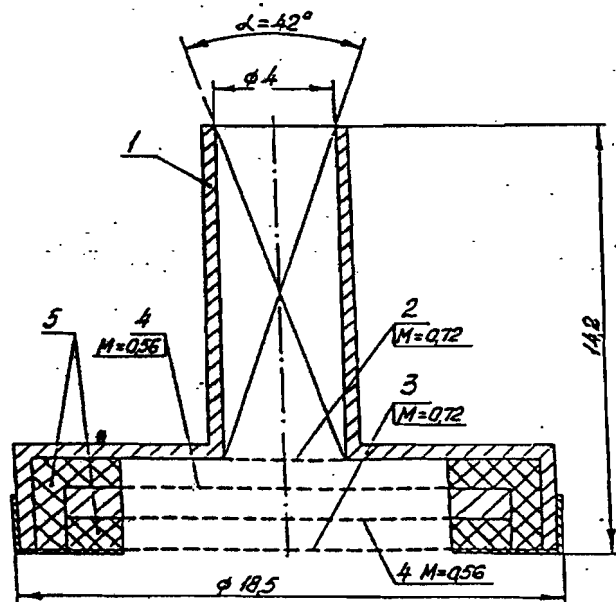


Рис. 1, б. Конструкция анализатора:
1 - коллиматор; 2, 3 - экранные сетки; 4 - двойная анализирующая сетка; 5 - изоляторы; α - угол обзора анализатора;
M - коэффициент пропускания сеток.

металлического коллектора, либо микроканальной пластины, либо более сложного регистрирующего устройства.

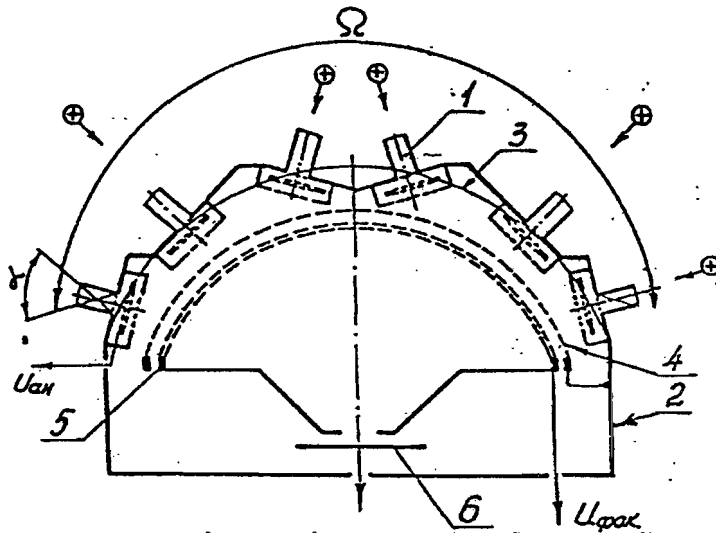


Рис. 1, а. Принципиальная схема ионной электродной системы (датчик ионов).

Каждый из АТП (рис. 1, б) состоит из коллиматора 1, определяющего угловую диаграмму направленности анализатора (конус при вершине $\alpha=42^\circ$), двух экранных сеток 2, 3 и двойной анализирующей сетки 4.

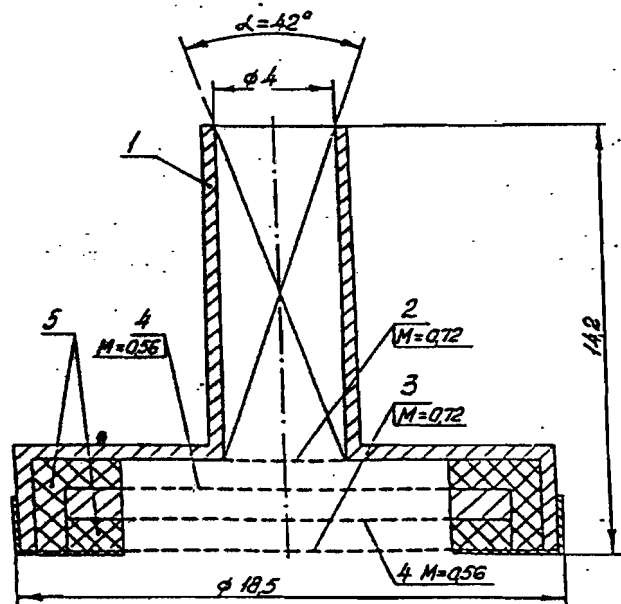


Рис. 1, б. Конструкция анализатора:
1 - коллиматор; 2, 3 - экранные сетки; 4 - двойная анализирующая сетка; 5 - изоляторы; α - угол обзора анализатора;
M - коэффициент пропускания сеток.

Экранные сетки предназначены для формирования плоскопараллельного электрического поля анализирующей сетки 4.

Анализаторы расположены равномерно в трех азимутальных плоскостях, а в меридиональной плоскости - под тремя разными углами к вертикальной оси - 15° (4 АТП), 45° (12 АТП) и 75° (12 АТП). Общий телесный угол Ω превышает 2π (плоский угол равен 190°).

Устройство работает следующим образом. Поток ионов с энергией $E > eU_{ан}$ (где e - элементарный заряд, $U_{ан}$ - анализирующее напряжение) попадает в один из анализаторов в пределах угла обзора α . Селекция частиц по энергиям и знаку осуществляется путем подачи на анализирующую сетку анализатора изменяющегося тормозящего потенциала $U_{ан}$. В соответствии с законом электронно-оптического преломления в результате скачка потенциала, создаваемого тонкослойным электрическим полем сеток 1,2, частицы изменят направление своего движения как

$$\frac{\sin \beta}{\sin \alpha} = \sqrt{\frac{U_1}{U_2}} \quad (1)$$

где α, U_1 - угол и потенциал, под которыми частица влетает в поле сеток 5, а β, U_2 - вылетает.

Подобрав соответствующее значение потенциала $U_{фок}$ для данной геометрии устройства, можно собрать все частицы с энергией E , прошедшие анализатор в пределах углов α , на детектор б. Фокусирующий эффект поля $U_{фок}$ иллюстрирует рис.2. Расчеты показывают, что система сеток с радиусом 50 мм и приложенным потенциалом $U_{фок} \leq 3000$ В резко изменяет траектории частиц, влетающих в эту систему даже под самым неблагоприятным углом ($\alpha = 90^\circ$), до углов $\beta \leq 5^\circ$ на выходе из системы. Это означает, что частицы фокусируются в небольшое пятно на детекторе, что способствует применению малогабаритных детекторов и, кроме того, ограничивает световой поток на их входе.

В зависимости от задач эксперимента частицы могут проходить либо одновременно через все 28 АТП, либо последовательно через каждый из них по заданной программе. Запереть все анализаторы, кроме одного, можно, подав на их анализирующие сетки потенциал $U \gg U_{ан}$.

Угол прихода частиц определяется с точностью 15° непосредственно по виду ТМ-записи и с точностью 2° после обработки данных.

Для проверки "засветки" общего поля зрения с целью исключения "дыр" в общем поле зрения, определения минимального количества АТП

для перекрытия общего поля зрения и их расположения на сфере было проведено моделирование на ЭВМ. При ширине диаграммы направленности АТП 42° для полного перекрытия общего поля зрения 2π достаточно иметь 24 АТП. Из технологических соображений было выбрано 28 АТП (рис. 3). На этом рисунке телесный угол Ω представлен на плоскости (проекция Меркатора), где по оси абсцисс отложены углы (в град.) в

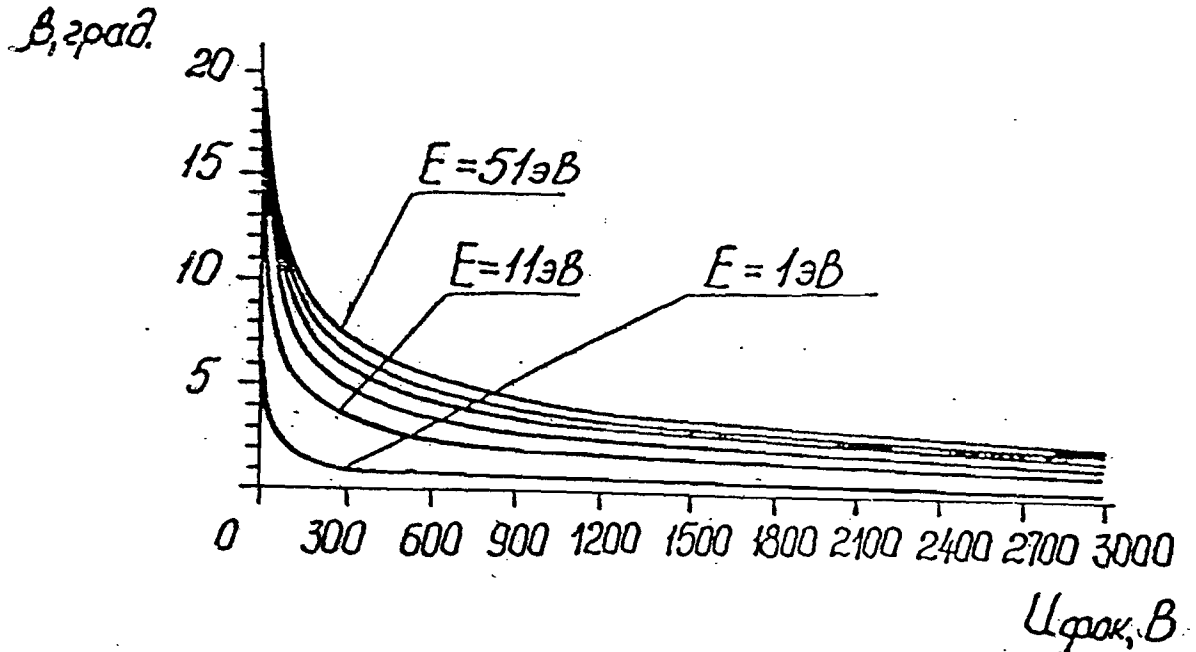


Рис. 2. Зависимость угла β выхода частиц из фокусирующего поля от напряжения $U_{\text{фок}}$ для различных энергий ионов.

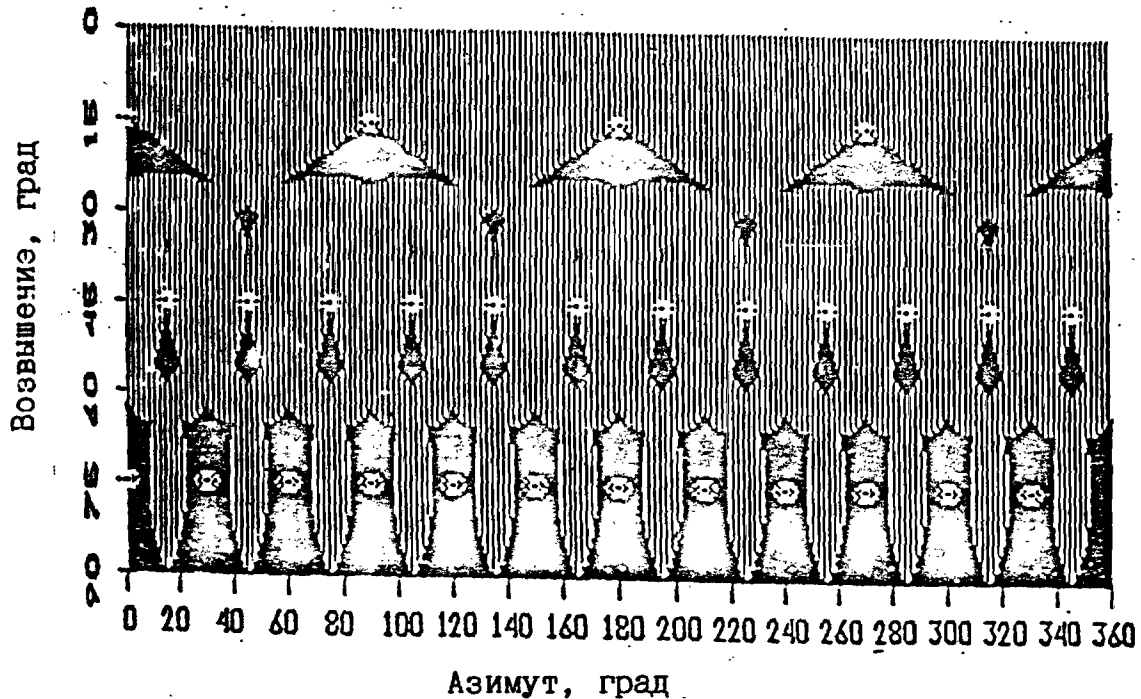


Рис. 3. Поля зрения анализаторов датчика МАРИПРОБ-Д в прямоугольной системе координат.

азимутальной плоскости, а по оси ординат - в меридиональной. На этом рисунке белые кружки показывают расположение центров полей зрения АТП, черный фон - область углов, охваченных одним анализатором, и штрихованный - двумя или более анализаторами.

Экспериментальная проверка некоторых рабочих характеристик датчика проводилась на специальной вакуумной установке. В вакуумной камере создавались пучки положительных ионов азота, энергия которых регулировалась в пределах 5-50 эВ. Плотности пучков составляли $(2-5) \cdot 10^{-13} \text{ А/см}^2$. Неравномерность плотности в сечении входного отверстия не превышала 0,5%, расходимость пучков ионов вблизи входного отверстия - $\pm 1,5^\circ$ от оси пучка, что достигалось достаточным удалением источника ионов от датчика.

Параметры ионных пучков измерялись специальным датчиком контроля пучка (ДКП), представляющим собой плоский электростатический спектрометр с тормозящим потенциалом.

Датчик ДКП и исследуемый прибор закреплялись в вакуумной камере на двухкоординатном поворотном устройстве, которое позволяло устанавливать их под различными углами к направлению потока ионов и снимать тем самым угловые характеристики.

В качестве детектора исследуемых потоков использовался вторичный электронный множитель ВЭУ-7 (микроканальная пластина шевронного типа), работающий в режиме счета импульсов. Целью экспериментальных исследований являлась проверка энергетических и угловых характеристик АТП, знание которых необходимо при проведении интерпретационных расчетов при определении параметров измеряемых ионов.

На рис. 4 приведены угловые характеристики АТП, снятые для энергий ионов $E = 5, 10, 20, 50$ эВ, пронормированные к максимальной скорости счета импульсов при угле прихода частиц $\alpha=0^\circ$. Из этого рисунка видно, что угловые характеристики для различных энергий от (5 до 50 эВ) близки к идеальным, симметричны относительно оси ординат и практически совпадают для всех значений энергии.

Приведенные на рис. 5 энергетические характеристики анализаторов представляют собой зависимость скорости счета импульсов от анализирующего напряжения $U_{ан}$ и так же пронормированы к максимальной скорости счета при угле прихода частиц $\alpha=0^\circ$. Полученные энергетические характеристики анализаторов благодаря правильно выбранной конструкции также близки к идеальным - прямоугольным. Некоторое отклонение от идеальной характеристики имеет место на участке запираения в виде спада, который составляет при-

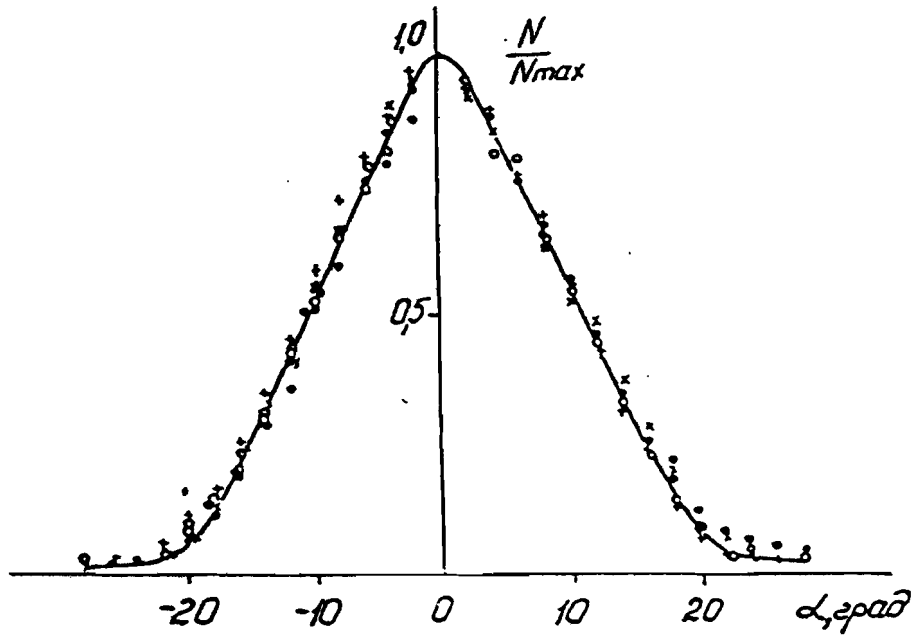


Рис. 4. Угловые характеристики АТР для разных энергий ионов E
"x" - $E=5$ эВ; "o" - $E=10$ эВ; "+" - $E=20$ эВ; "•" - $E=50$ эВ

мерно 5%. Это объясняется в основном разбросом энергии ионов в пучках. Меньшее влияние ($\leq 1\%$) оказывает неравномерность электрического поля проволок вблизи сеток.

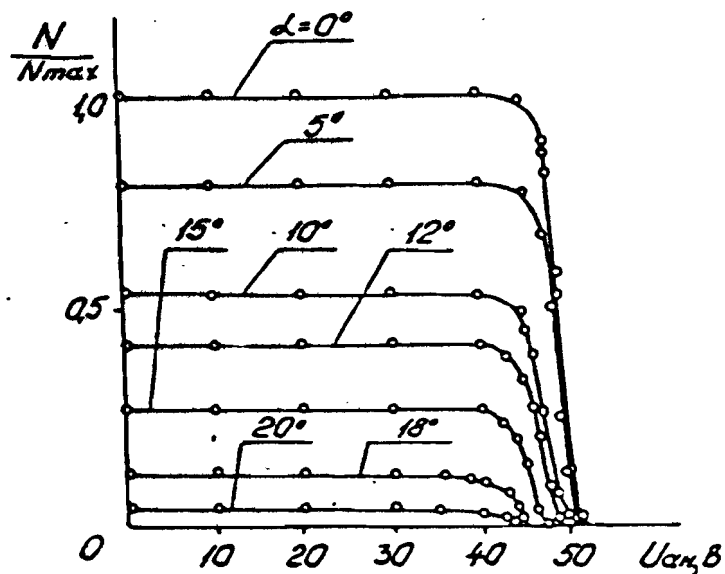


Рис. 5. Энергетические характеристики АТР для энергии ионов 50 эВ.

Помимо лабораторной отработки АТП проведено математическое моделирование процессов прохождения частиц через детектор от входной апертуры АТП до узла регистрации. В расчетах учтены все потенциалы как внутри АТП, так и в основной части датчика. Моделирующая программа работает в диалого-визуальном режиме и позволяет визуально контролировать траектории частиц и оперативно изменять все - как механические, так и электрические параметры датчика (рис. 6).

МАРИПРОБ

АПЕРТУРА, ДАТЧИК			
E1	= 50.0 ЭВ	U _{гpa}	= 0.0 В
E2	= 5000.0 ЭВ		
R1s	= 5.00 ММ	R2s	= 6.00 ММ
Rgrid1	= 5.00 ММ	Rgrid2	= 4.00 ММ

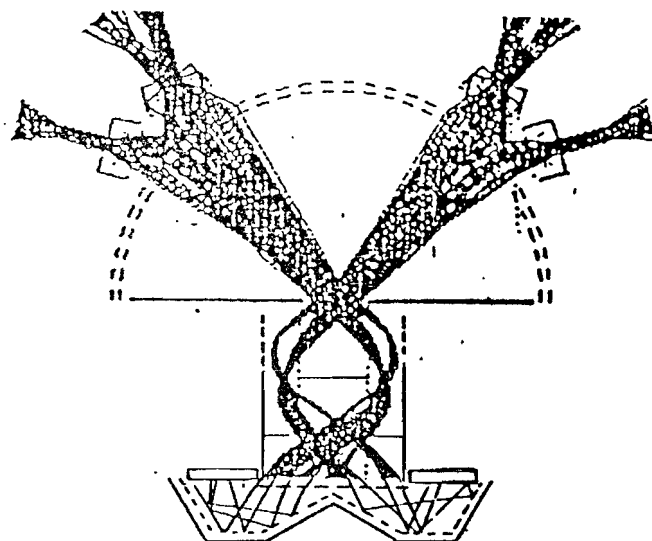


Рис. 6. Результаты расчета прохождения ионов через анализирующую часть датчика.

Весьма важно с точки зрения интерпретации данных, которые будут получены при помощи этого датчика, знать точные угловые и энергетические характеристики датчика в целом после его окончательной сборки. Лабораторная калибровка одного такого датчика при неавтоматизированном ("ручном") управлении экспериментом займет несколько месяцев. Поскольку в комплект прибора для полного перекрытия пространства должны входить два таких датчика, а для проведения эксперимента в космосе требуется обычно не один комплект прибора, то это означает, что без автоматизации процесс калибровки провести в приемлемое время нереально. В связи с этим специально для эксперимента МАРИПРОБ разрабатывается система автоматизированного управления вакуумным лабораторным экспериментом, включающая помимо средств управления прибором и вакуумной ка-

мерой также средства сбора, хранения, оперативной обработки и визуализации данных. Кроме того, в эту систему входят средства для проверки и отбора МКП.

ОПИСАНИЕ КОНСТРУКЦИИ

Для соединения выводов 28 АТП с измерительной электроникой применена беспроводная система выводов на внутренней поверхности сферы (типа печатного монтажа)

Все сетки выполнены из вольфрама, корпус - из алюминиевого сплава, а корпуса АТП и все элементы крепления сеток - из нержавеющей стали. В качестве изолирующего материала применен композиционный полиимидный материал (полиимид), отличающийся легкостью ($\rho=1,2 \text{ г/см}^3$), прочностью металла, широким диапазоном рабочих температур (от -100 до $+200^\circ\text{C}$) и практически отсутствием органических газовыделений. С целью выяснения возможности применения этого материала в датчике были проведены измерения его газовыделения. Измерения проводились при помощи промышленного масс-анализатора. В рабочем диапазоне температур (от -100 до $+200^\circ\text{C}$) помимо выделения чистых газов (CO , CO_2 , H_2O и др.) не обнаружено даже следов органики.

Сетки большого диаметра изготавливались при помощи оправки с бороздками, в которые укладывались проволочки с последующим гальваническим закреплением. Шаг сеток $0,75 \text{ мм}$, диаметр проволочек $25-30 \text{ мк}$.

С целью улучшения характеристик АТП в них применены сетки с очень малым шагом - 40 и 100 мк . Анализирующая сетка - двойная с расстоянием между сетками 1 мм . Лабораторная отработка с использованием электролитической ванны позволила получить провисание большого ($3-5 \text{ кВ}$) потенциала фокусирующих сеток в области анализирующей сетки АТП порядка $10^{-6}-10^{-7}$.

Все соединения выполнены контактной сваркой, а соединения корпуса - аргоно-дуговой сваркой.

Общая прозрачность (пропускание) полного сеточного набора равна $0,3$.

Для уменьшения влияния засветки прибора солнцем для всех внутренних элементов датчика, включая сетки, применено никелевое чернение (A_S , $\epsilon \geq 0,98$). Кроме того, внутри датчика предусмотрены световые ловушки, а большинство анализаторов развернуты так, чтобы предотвратить засветку детектора.

Внешний вид датчика вместе с корпусом для электроники показан на рис. 7. Там же показана сегментная сферическая сетка большого диаметра (внизу) и система фокусирующих сеток в сборе (в средней части).

Масса датчика вместе с корпусом для электроники 1 кг, габаритные размеры 150x150x180 мм.

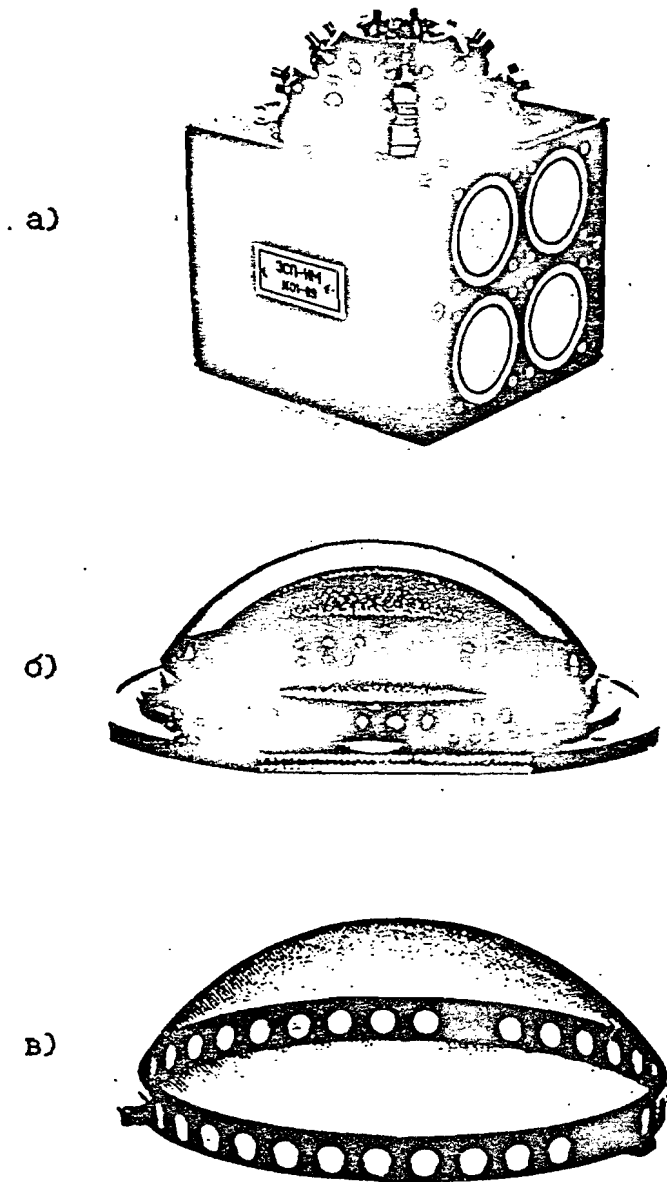


Рис. 7. Внешний вид датчика МАРИПРОБ-Д (а); система фокусирующих сеток в сборе (б); сегментная сферическая сетка большого размера (в).