

Измерение электростатического поля при помощи сферических ионных ловушек¹

Стефан Чапкынов*, Николай Банков*,
Мариана Гушева*, Георги Станев*,
Генадий Гдалевич**, Вячеслав Губский**

*Институт космических исследований, БАН

**Институт космических исследований, РАН

1. Введение

В космических исследованиях широко применяется метод непосредственного измерения электрического поля, который состоит в определении потенциальной разницы между двумя проводящими сферами, находящимися в космической плазме.

Поле связывается с измеренной потенциальной разницей следующим образом [1]:

$$(1) \quad \Delta U = \frac{Ed + (V_1 - V_2) + (WF_1 - WF_2)}{1 + (R_1/R_2) + (R_2/R)}$$

где:

$V_{1,2}$ — потенциальные разницы между поверхностями сфер и окружающей плазмы,

$WF_{1,2}$ — работа выхода электрона для соответствующей поверхности,

$R_{1,2}$ — сопротивление сфера — плазма,

R — сопротивление измерительного устройства,

d — расстояние между проводящими поверхностями.

Из (1) следует что при:

$$R_{1,2}/R = 0 (R \rightarrow \infty), WF_1 = WF_2, V_1 = V_2$$

¹ Публикация является результатом исследований, связанными с договором ТН515/95 с НФНИ.

(2)

$$E = \frac{\Delta V}{d}$$

Для выполнения вышеупомянутых условий принимаются специальные меры: высокая степень идентичности сфер, применение специальных покрытий и т.д.

2. Предпосылки для проведения измерений

Составная часть разрабатываемых в ИКИ-БАН зондовых диагностических комплексов является измеритель ионных параметров: две сферические ловушки, работающие в режиме исследования неоднородностей плотности ионной компонентой космической плазмы. Это осуществляется при плавающем потенциале внешних сеток ловушек.

Традиционно применяемые с 1957г. ионные ловушки [2] состоятся из металлического коллектора с расположенной вокруг него антифотоэлектронной сетки (к ней прилагается относительно высокое по отношению к коллектору отрицательное напряжение) и из внешней оболочки (перфорированная металлическая сфера). В режиме исследования неоднородностей внешняя сетка „плавает“ и измеряется значения протекающего через коллектора ток, обусловленной положительными ионами, достигшими до коллектора. „Плавающий“ потенциал находящегося в плазме металлического тела является равновесным потенциалом, до которого заряжается тело. Обычно этот потенциал слегка отрицательный по отношению к квазинейтральной плазме. Большему по размерам телу соответствует более высокий, по сравнению с малым телом, отрицательный потенциал.

Применение двух ионных ловушек для определения электрического поля предполагает невыполнения условия для уменьшения вторичных электрических токов, текущих из поверхностей ловушек из-за влияния солнечного излучения.

С другой стороны существует явная связь: при одинаковых остальных условиях одинаковые коллекторные токи соответствуют одинаковым потенциалам оболочек обеих ловушек.

Высказанное следствие вытекает из формулы для коллекторного тока ловушек:

$$(3) \quad I_k = \alpha n e V_0 \pi r^2 \left(1 - \frac{2e\phi}{mV_0^2}\right),$$

где:

I_k — коллекторный ток,

α — коэффициент прозрачности оболочки ловушек,

n — плотность положительных однозарядных ионов,

V_0 — скорость движения ловушки,

m — масса одиночного иона,

e — заряд электрона,

ϕ — потенциал оболочки ловушки.

3. Описание проведенных экспериментов

Во время проведения эксперимента „Интеркосмос Болгария - 1300“ (1981—1983г.) измерялись трех компонент электростатического поля при помощи 4-х стеклоглеродных сфер. Плотность ионной компоненты измерялась при помощи три- и четырехэлектронных сферических ловушек. Внешние оболочки обеих ловушек были изолированными по отношению к корпусу объекта и их потенциалы измерялись. К антифотоэлектронных сетках подавалось напряжение „-45V“, а к коллекторам „-25V“. К анализирующей сетке 4-х электродной ловушке прилагалось пилообразное напряжение с амплитудой $+10V \div -2V$ (с периодом 2 s) и $+5V \div -1V$ (через период). Диапазон измеряемого потенциала ($-5V \div +15V$) передается по двум телеметрическим каналам в диапазоне $0 \div 6V$. Во время эксперимента по каналу потенциала внешней оболочки 3-электродной ловушки передавался непрерывно сигнал $0V$ (соответствующий минус $5V$), а по каналу 4-электродной ловушки — сигнал около $2V$ ($+1V$ по отношению к корпусу объекта). По нашему мнению причина для такого поведения является проникание антифотоэлектронного напряжения к внешним оболочкам датчикам. При этом, для 4-электродной ловушки антифотоэлектронное напряжение экранировалось междинной анализирующей сеткой.

Анализ одновременных записей значения 3-х компонент электростатического поля и ток ловушек указывает на независимость обеих измерений — поле не влияет на измерения тока. Более того, компонент электростатического поле с направленностью зонд—спутник (в основном обуславливающий влияние поле на коллекторный ток ловушки), имеет базу в нескольких $10^{-3}M$. Этот вывод является основным и дает основание проводить (в будущих экспериментов) одновременные измерения поля и плотности, применяя одни и те же измерительные приборы — в случае ловушки.

4. Описание методики и устройстве для измерение электростатического поля при помощи сферических ионных ловушек

Формулу (1) можно записать в виде:

$$(4) \quad \Delta V = \frac{Ed + (\sum \varphi_{i1} - \sum \varphi_{i2})}{1 + (R_1/R) + (R_2/R)},$$

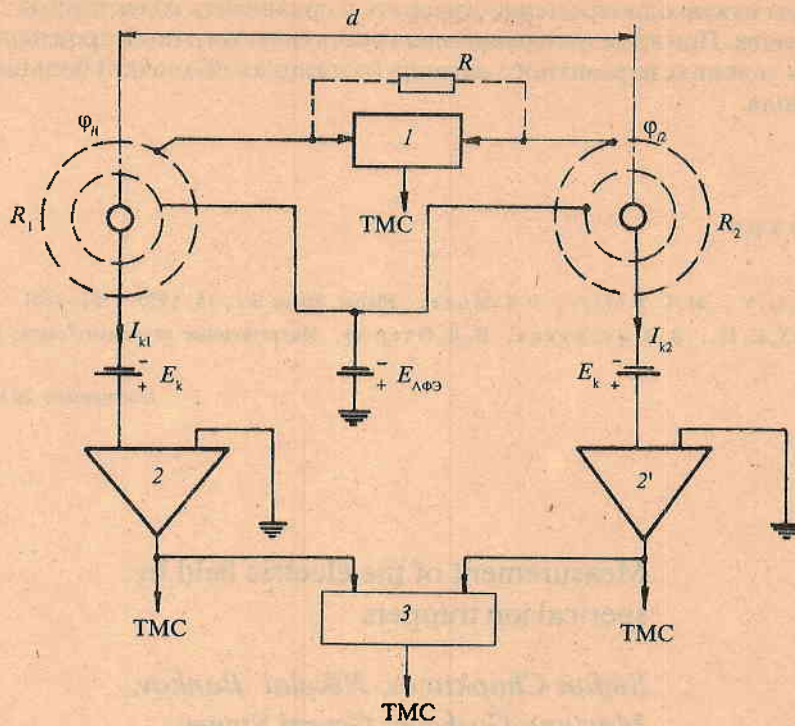
где $\sum \varphi_{i1,2}$ — потенциал оболочки соответствующей ловушки, состоящий из суммы: плавающего потенциала обеих оболочек, потенциалы в результате воздействия солнечного излучения, потенциалы в результате проникновения внутренних полей (антифотоэлектронных сеток) и т.д.

Из (4) видно, что при измерении коллекторных токов обеих ловушек и при условии

$$I_{k1} = I_{k2} \rightarrow \sum \varphi_{i1} = \sum \varphi_{i2}, (R_{1,2}/R = 0),$$

то

$$\Delta V = Ed.$$



Фиг.1

На фиг.1

$\varphi_{1,2}$ — потенциал соответствующей внешней поверхности ловушек,

$R_{1,2}$ — сопротивление поверхность—плазма,

R — сопротивление измерителя поля I ,

$2, 2'$ — измерители коллекторных токов,

3 — коллектор,

E_k — источники напряжения на входах измерителей токов,

$E_{\Lambda\Phi\Xi}$ — источник антифотоэлектронного напряжения,

TMC — телеметрическая система,

d — расстояние между ловушками.

На фиг. 1 видно, что одновременно измеряются: потенциальная разность ΔV между оболочками обеих ловушек, коллекторные токи. Когда $I_{k1} = I_{k2}$ компонент электростатического поля $E = \frac{\Delta V}{d}$.

5. Итоги

Сферические ионные ловушки можно успешно применять для измерения компонента электростатического поля, действующего по направлению прямой, соединяющей центров обеих ловушек. Для измерения электрического поля с точностью измерительной

аппаратуры нужно одновременно измерять и сравнивать коллекторных токов обеих ловушек. При этом измерение электростатического поля производится успешно в условиях паразитного сигнала (потенциал оболочки) больше чем сигнала поля.

Литература

1. Faleson, U. V., M. C. Kelley, F. S. Mozer. Planet. Space Sci., 18, 1970, 1551—1561.
2. Грингауз, К. И., В. В. Безруких, В. Д. Озеров. Искусственные спутники Земли, 1961.

Поступила 20.V.1997г.

Measurement of the electric field by spherical ion trappers

*Stefan Chapkunov, Nikolai Bankov,
Mariana Gusheva, Georgi Stanev,
Genadiy Gdalevich, Viachishlav Gubskiy*

(Summary)

The paper refers to a method and device for measurement of the electrostatic field in the ionosphere. Based on the performed experiments (satellite "Intercosmos Bulgaria-1300") for measurement of the electric field and the ion component of space plasma, the conclusion is made that, by the use of two spherical ion trappers, both the electric field and the ion concentration can be measured simultaneously and independently on one another. The measurement of the electric field is representative provided the collector currents of the two trappers are equal.