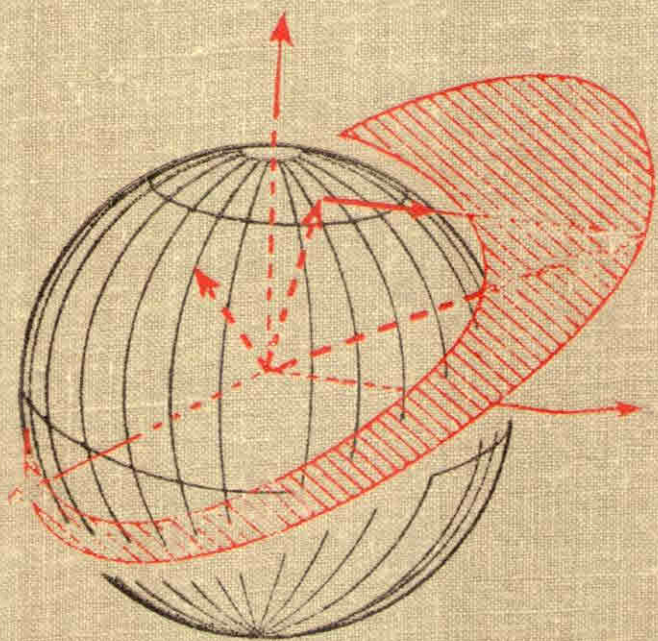


**ОБРАБОТКА  
ИНФОРМАЦИИ,  
ПОЛУЧАЕМОЙ  
ПО ПРОГРАММЕ  
„ИНТЕРКОСМОС“**



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»

АКАДЕМИЯ НАУК СССР  
ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

**ОБРАБОТКА  
ИНФОРМАЦИИ,  
ПОЛУЧАЕМОЙ  
ПО ПРОГРАММЕ  
„ИНТЕРКОСМОС“**



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»

МОСКВА 1982

**Обработка информации, получаемой по программе «Интеркосмос»:** Сб. статей.— М.: Наука, 1982—296 с.

Сборник освещает результаты исследований по обработке информации, получаемой с искусственных спутников Земли по программе «Интеркосмос». Создание единой системы обработки информации включает выработку единых принципов построения частных подсистем, задачи первичной обработки, статистической обработки информации, навигационной привязки данных космических экспериментов и др.

Сборник рассчитан на специалистов, занимающихся космическими исследованиями, а также обработкой больших массивов информации, в частности — видеоинформации. [112]

Редколлегия:

П. Е. ЭЛЬЯСБЕРГ (ответственный редактор),  
Л. С. ГУРИН, В. Д. МАСЛОВ, В. И. БОРИСЕНКО

## ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ, ПОЛУЧАЕМОЙ ПО ПРОГРАММЕ «ИНТЕРКОСМОС»

Утверждено к печати Институтом космических исследований Академии наук СССР

Редактор М. И. Штерн. Редактор издательства Э. С. Павлинова. Художник А. Г. Кобрин. Художественный редактор Т. П. Поленова. Технические редакторы С. Г. Тихомирова, Т. А. Прусакова. Корректоры Н. Б. Габасова, Г. Н. Джиоева

ИБ№ 17031

Сдано в набор 11.08.81. Подписано к печати 25.02.82. Т-04152. Формат 60×90<sup>1/16</sup>.  
Бумага типографская № 1. Гарнитура обыкновенная. Печать высокая. Усл. печ. л. 18.  
Усл.кр. отт. 18. Уч.-изд. л. 19. Тираж 1250 экз. Тип. зак. 850. Цена 3 р.

Издательство «Наука» 117864, ГСП-7, Москва, В-485, Профсоюзная ул., 90  
2-я типография издательства «Наука» 121099, Москва, Г-99, Шубинский пер. 10

О  $\frac{3607000000-141}{055(02)-82}$  БЗ-82-170-80

© Издательство «Наука», 1982 г.

## II. ПЕРВИЧНАЯ ОБРАБОТКА ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

УДК 523.78

М. И. ВЕРИГИН, А. В. ДЬЯЧКОВ

### ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОННОЙ КОМПОНЕНТЫ МЕЖПЛАНЕТНОЙ И ОКОЛОПЛАНЕТНОЙ ПЛАЗМЫ ПО ДАННЫМ ШИРОКОУГОЛЬНОГО АНАЛИЗАТОРА ЭЛЕКТРОНОВ

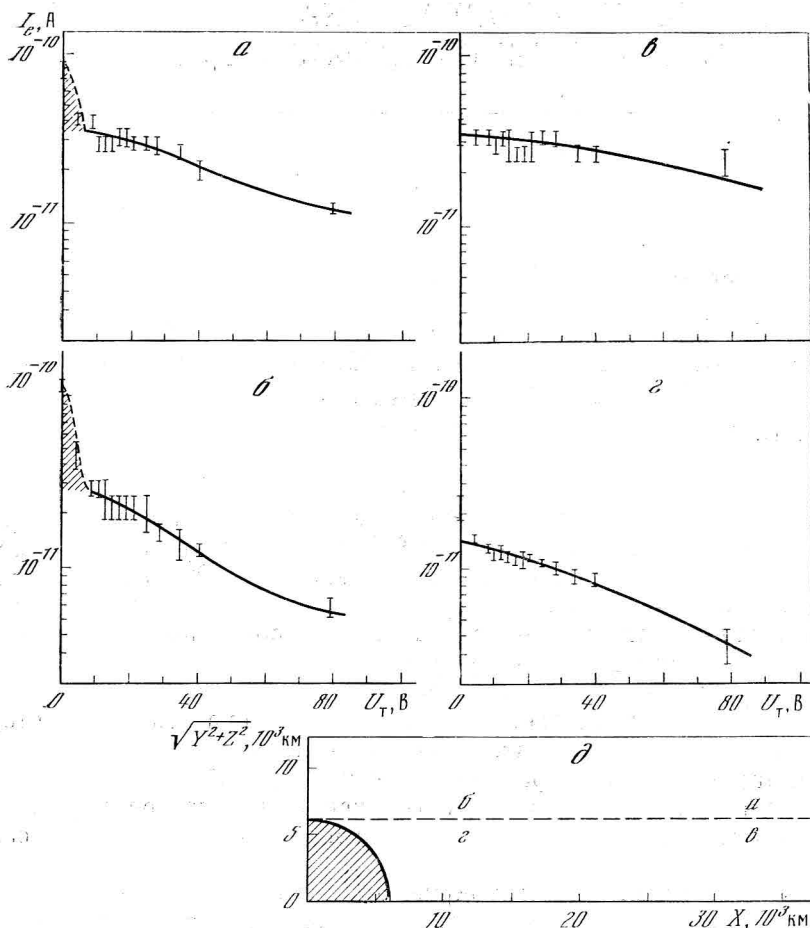
Для измерения характеристик электронной компоненты плазмы на космических аппаратах (КА) серий «Венера», «Прогноз», «Марс» использовались широкоугольные ( $\pm 40^\circ$ ) анализаторы электронов [1—4]. Оси этих приборов были ориентированы в антисолнечном направлении, а анализ электронов по энергии осуществлялся при подаче на управляющие сетки анализаторов 16 значений тормозящего напряжения  $U_T$ . Полученные энергетические спектры электронов — зависимость тока на коллектор широкоугольного анализатора  $I_e$  от  $U_T$  — являются сложной функцией параметров прибора и окружающей среды. Ниже будут рассмотрены некоторые возможности оценки параметров электронной компоненты плазмы по измеренным энергетическим спектрам электронов.

Средняя энергия регистрируемых электронным анализатором электронов обычно составляет 10—20 эВ, и потенциал КА  $\phi_0$  влияет на электронные измерения. Потенциал  $\phi_0$  определяется равенством нулю общего тока на КА; при увеличении потока электронов окружающей плазмы  $f_e$  на КА величина  $\phi_0$  уменьшается.

В работе [5] на основе измерений спектра фотоэлектронов с различных материалов потенциал КА оценивался как  $\phi_0 = +3$  В для плоского тела и  $\phi_0 \approx +2$  В для сферического при  $f_e \approx 5 \cdot 10^8 \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ .

Непосредственные измерения электронной плазмы на спутниках «Вела-5» и «Вела-6» в солнечном ветре показали, что  $\phi_0 \approx 3 \div 5$  В при  $f_e \approx 3 \cdot 10^8 \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ , когда спутники освещены Солнцем [6]. Близкие значения  $\phi_0 \approx +3$  В были получены в [7] при интерпретации измерений электронной компоненты плазмы в солнечном ветре на спутнике «Гелиос».

На рис. 1, а, б приведены спектры электронов, полученные на освещенных участках орбит спутников «Венера-9, -10». При  $U_T \lesssim 5$  эВ на этих спектрах наблюдается резкое увеличение токов



**Рис. 1.** Спектры электронов, полученные, когда спутник был освещен Солнцем (а, б) и находился в тени планеты (в, г), и положение спутников во время измерения этих спектров (д)

а, в — «Венера-10», 16.IV 1976 г., 22.57 и 23.02 UT, б, г — «Венера-9», 27.XII 1975 г., 14.53 и 14.48 UT соответственно. Отрезки вертикальных прямых показывают пределы, в которых изменялся ток  $I_e$  во время его измерения. Заштрихованные участки на спектрах а и б — область регистрации фотоэлектронов. Штриховая линия на д показывает границу оптической тени за Венерой

$I_e$ , связанное с регистрацией фотоэлектронов. На электронных спектрах, полученных на затененных участках орбит (рис. 1, в, г), такое резкое увеличение  $I_e$  при малых  $U_T$  отсутствует. Приведенные на рис. 1 результаты однозначно свидетельствуют о том, что наблюдающийся на спектрах (а, б) при малых энергиях подъем  $I_e$  связан с регистрацией выбитых с поверхности спутника фотоэлектронов, и позволяют сделать вывод, что  $\phi_0$  не превышал  $\approx +5$  В при потоках  $f_e \gtrsim 1,5 \cdot 10^3 \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ , характерных для сол-

нечного ветра (это соответствует  $I_e \approx 3 \cdot 10^{-11}$  А с учетом приведенных в [8] характеристик анализаторов).

Фотоэлектроны с энергией  $\geq e\varphi_0$  покидают поверхность КА, часть зарегистрированного энергетического спектра электронов при  $U_T \geq \varphi_0$  создается электронами окружающей космической аппарат плазмы. Для оценки ее параметров будем использовать участок энергетического спектра при  $U_T \geq 10$  В.

На рис. 2 приведен электронный энергетический спектр, полученный на спутнике «Венера-9» 28.VIII 1975 г. в 20.15 UT в солнечном ветре и характерный для этой области. Как видно из рис. 2, скорость спада  $\lg(I_e)$  с увеличением  $U_T$  резко уменьшается при  $eU_T \approx 50$  эВ. Такой энергетический спектр не может быть объяснен, если распределение по скоростям электронной компоненты плазмы является максвелловским, и требует более усложненного описания. Для выбора вида описания удобно воспользоваться результатами измерений электронной компоненты плазмы на спутниках серии «Вела» [9].

Электронные измерения на этих спутниках выполнялись при 16 различных углах  $\theta$  между нормалью к апертуре электростатического анализатора и направлением на Солнце, что позволило, кроме определения концентрации, температуры и вектора переносной скорости «ядра» электронной компоненты плазмы, определить также анизотропию температур и поток тепла, переносимого электронами. В [9] было также показано, что начиная с  $E_e \approx 60$  эВ энергетический спектр электронов создает так называемое «гало» — электроны, функция распределения которых также может быть описана анизотропным максвелловским распределением с большей температурой. Так как рассматриваемые здесь измерения при помощи широкоугольных анализаторов проводились только при  $\theta \approx 180^\circ$ , то их результаты не позволяют определить анизотропию температур и переносную скорость ядра и гало электронной компоненты плазмы. Однако анизотропия температур ядра и гало мала, равна соответственно 1,08 и 1,22, и при оценках будем считать, что ядро и гало имеют максвелловское распределение с температурами соответственно  $T_C$  и  $T_H$  и концентрациями  $n_C$  и  $n_H$ . Это распределение будем полагать переносимым со скоростью, равной переносной скорости ионов  $V$ .

На рис. 2 штриховой линией показан энергетический спектр

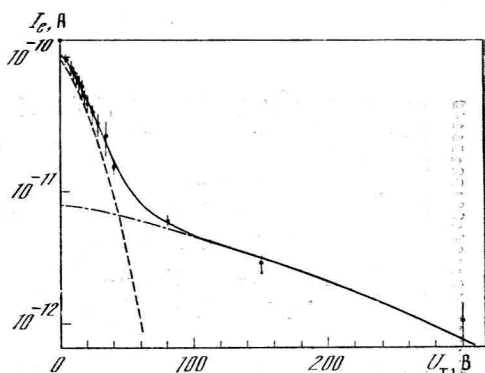
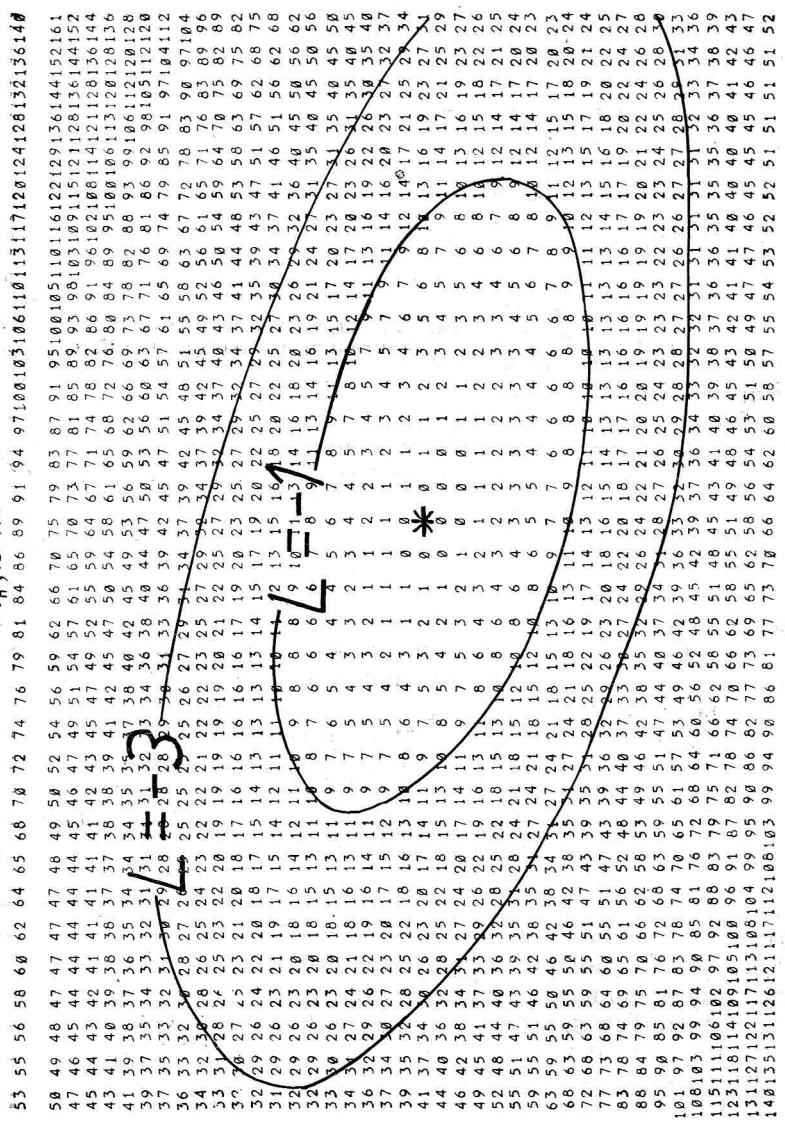


Рис. 2. Характерный для солнечного ветра электронный энергетический спектр.



$T_H, 10^4 K$



$T_e, 10^3 K$

Рис. 3. Доверительные области оценок температуры ядра и гало электронной компоненты плазмы

электронов, рассчитанный в соответствии с [1] при  $n_C = 16,3 \text{ см}^{-3}$ ,  $T_C = 1,26 \cdot 10^5 \text{ К}$ , а штрихпунктирной — при  $n_H = 0,35 \text{ см}^{-3}$ ,  $T_H = 8,9 \cdot 10^5 \text{ К}$ . Суммарный энергетический спектр показан сплошной линией. Параметры  $n_C$ ,  $T_C$ ,  $n_H$ ,  $T_H$  выбирались из условия максимума логарифмической функции правдоподобия

$$L = - \frac{1}{2} \sum_k \frac{(I_{ek} - f_k(n_C, T_C, n_H, T_H))^2}{\sigma_k^2}, \quad (1)$$

где индекс « $k$ » нумерует значения тормозящего напряжения  $U_{tk} > 10 \text{ В}$ ,  $I_{ek}$  — коллекторный ток анализатора, измеренный при  $U_T = U_{tk}$ , и  $f_k$  — расчетное значение коллекторного тока. Дисперсия  $\sigma_k^2$  величины  $I_{ek}$  полагалась равной  $\sigma_k^2 = (0,1 I_{ek})^2 + \delta^2(I_{ek})$ , где  $\delta(I_{ek})$  — погрешность определения  $I_{ek}$  вследствие конечного числа уровней телеметрии. Величина  $\sigma_k$  показана на рис. 2 отрезками вертикальных прямых. Как видно из рис. 2, рассчитанный энергетический спектр достаточно хорошо описывает экспериментальный при всех значениях  $U_T$ .

Параметры  $n_C$  и  $n_H$  входят в полученные из (1) выражения для  $\partial L / \partial n_C$  и  $\partial L / \partial n_H$  линейно, и, следовательно, для любой пары значений  $T_C$ ,  $T_H$  существуют и легко вычисляются единственные значения  $n_C$ ,  $n_H$ , при которых логарифмическая функция правдоподобия достигает максимума. Таким образом, нахождение максимума  $L$  сводится к задаче о нахождении максимума функции двух переменных.

На рис. 3 приведены значения величины  $S = -10(L - L_{\max})$  на плоскости  $T_C$ ,  $T_H$ . Звездочкой показана точечная оценка параметров  $T_C$ ,  $T_H$ , а контуры  $L = -1$  ( $S = 10$ ) и  $L = -3$  ( $S = 30$ ) ограничивают соответственно «малую» и «большую» доверительные области [10] для  $T_C$ ,  $T_H$ .

Таким образом, точность оценки параметра  $T_C$  составляет  $\approx 15\%$ , а параметра  $T_H \approx 35\%$ . Соответствующая этим погрешностям  $T_C$  и  $T_H$  точность оценки  $n_C$  составляет  $\approx 25\%$ , а  $n_H \approx \approx 50\%$ .

Отличие переносной скорости электронов от переносной скорости ионов на  $\Delta V_C \approx 50 \text{ км/с}$  и  $\Delta V_H \approx 700 \text{ км/с}$  [9] приведет к дополнительной погрешности оценки  $\delta T_C / T_C \approx 2\%$ ,  $\delta T_H / T_H \approx \approx 20\%$ ,  $\delta n_C / n_C \approx 10\%$ ,  $\delta n_H / n_H \approx 60\%$ . Учет потенциала поверхности КА мало влияет на погрешность оценок  $T_C$ ,  $T_H$ ,  $n_H$ , и  $\phi_0 \approx \approx 5 \text{ В}$  завышает оценку  $n_C$  в  $\exp(e\phi_0/kT_C) \approx 1,3 \div 1,8$  раза при  $T_C \approx (1 \div 2) \cdot 10^5 \text{ К}$ .

## ЛИТЕРАТУРА

1. Грингауз К. И., Безруких В. В., Бреус Т. К. и др. Исследование солнечной плазмы вблизи Марса и на трассе Земля — Марс при помощи ловушек заряженных частиц на советских космических аппаратах 1971—1973 гг. II. Характеристики электронов вдоль орбит искусственных спутников Марса «Марс-3» и «Марс-2». — Космич. исслед., 1974, 12, вып. 4, с. 585.
2. Gringauz K. I., Bezrukih V. V., Verigin M. I., Remizov A. P. On electron



- and ion components of plasma in the antisolar part of near martian space.— J. Geophys. Res., 1976, 81, p. 3349.
3. *Gringauz K. I., Combosi T.* Preliminary results of ion and electron components measurement of large scale plasma characteristics observed by Prognoz-4 during the magnetospheric disturbance of Dec. 26, 1975: Preprint KFKI-1977-8, Вр., 1977.
  4. *Грингауз К. И., Безруких В. В., Бреус Т. К.* и др. Предварительные результаты измерений плазмы при помощи широкоугольных приборов на спутниках «Венера-9» и «Венера-10». — Космич. исслед., 1976, 14, вып. 6, с. 839.
  5. *Grard R. J. L.* Properties of satellite photoelectron sheath derived from photoemission laboratory measurements.— J. Geophys. Res., 1973, 78, p. 2885.
  6. *Montgomery M. D., Asbridge J. R., Bame S. J., Hones E. W.* Low-energy electron measurements and spacecraft potential: Vela-5 and Vela-6.— In: Photon and particles interaction with surfaces in space/Ed. by R. J. L. Grard. Dordrecht: D. Reidel, 1973.
  7. *Rosenbauer H., Migenrieder H., Montgomery M., Schwenn R.* Preliminary results of the Helios plasma measurements.— In: Physics of solar planetary environments/Ed. by D. J. Williams. Boulder (Colorado): AGU, 1976.
  8. *Грингауз К. И., Безруких В. В., Волков Г. И.* и др. Исследование солнечной плазмы вблизи Марса и на трассе Земля — Марс при помощи ловушек заряженных частиц на советских космических аппаратах 1971—1973 гг. I. Методы и приборы.— Космич. исслед., 1974, 12, вып. 3, с. 430.
  9. *Feldman W. C., Asbridge J. R., Bame S. J.* et al. Solar wind electrons.— J. Geophys. Res., 1975, 80, p. 4181.
  10. *Худсон Д.* Статистика для физиков. М.: Мир, 1967.