

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

# КОСМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Том VIII

(ОТДЕЛЬНЫЙ ОТТИСК)

6

---

МОСКВА · 1970

Б. И. Грингауз, Г. Н. Застенкер, М. З. Хожлов

### СКОРОСТЬ И ТЕМПЕРАТУРА СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА ПО ДАННЫМ МОДУЛЯЦИОННОЙ ЛОВУШКИ НА МЕЖПЛАНЕТНОЙ СТАНЦИИ «ВЕНЕРА-3»

На межпланетной автоматической станции «Венера-3» в ноябре 1965 — январе 1966 гг. с помощью модуляционной ловушки заряженных частиц были проведены многочисленные измерения энергетических спектров ионной составляющей солнечного ветра. Результаты этих измерений описаны в работах [1, 2]. Измерения проводились в диапазоне энергий 0—3600 эв, разбитом на 8 прилегающих друг к другу интервалов по 450 эв (описание прибора см. в [3]). Ловушка была направлена на Солнце с точностью не хуже  $\pm 10^\circ$  [1]. Оценка температуры по этим данным была проведена в работе [4].

В настоящей работе указанные энергетические спектры были использованы для определения температуры ионов и скорости солнечного ветра путем сопоставления этих спектров с заранее рассчитанными на основе заданной модели ветра показаниями ловушки. В качестве модели использовалось изотропное максвелловское распределение скоростей ионов в системе координат, движущейся со скоростью солнечного ветра. Набор показаний ловушки в необходимом интервале скоростей и температур солнечного ветра был получен путем вычисления на ЭВМ потока попадающих в ловушку ионов с использованием функции распределения, вытекающей из принятой модели солнечного ветра, и характеристик ловушки, измеренных в [5].

На рис. 1 приведены примеры измеренных энергетических спектров. На оси абсцисс отмечены границы энергетических интервалов, а по оси ординат отложена величина  $I/eS$ , где  $I$  — ток в соответствующем интервале,  $e$  — заряд протона,  $S$  — эффективная площадь ловушки. Определение скорости ветра, концентрации и температуры протонов для спектров I—IV типов проводилось, как и в работах [6, 7], путем сравнения трех отсчетов для каждого спектра — максимального (канал б) и соседних с ним со стороны меньших (канал а) и больших (канал в) энергий — с расчетными значениями. Такая обработка возможна примерно для половины имеющихся спектров. Для спектров V типа один или оба отсчета в каналах а, в лежат ниже порога чувствительности, составлявшего в настоящем эксперименте  $2 \cdot 10^7 \text{ см}^{-2} \cdot \text{сек}^{-1}$  [1], поэтому для таких спектров определялся только верхний предел температуры в предположении, что отсутствующие отсчеты лежат на уровне порога. Спектры VI типа, имевшие максимум в 1-м энергетическом интервале, не могли быть обработаны по указанной методике, поэтому рассматривались только спектры, соответствующие скорости солнечного ветра более 295 км/сек.

Полученные данные представлены на рис. 2 в виде зависимости температуры протонов  $T$  от скорости ветра  $U$ . Вследствие указанной неопределенности в ориентации ловушки измеренные значения тока сравнивались с рассчитанными как для нормального (кружки), так и для наклонного под углом  $10^\circ$  (крестики) падения потока протонов на ловушку. Кружки и крестики, относящиеся к одному и тому же спектру, соединены тонкими линиями. Соответствующие значения  $U$  почти совпадают, а значения  $T$  в большинстве случаев близки между собой и сильно расходятся только для значений  $U$ , близких к верхней границе канала б. Стрелками отмечены значения, для которых определен только верхний предел температуры.

Найденные таким образом значения температуры лежат в пределах  $3 \cdot 10^4 - 8 \cdot 10^5$  °К, что согласуется с оценкой  $(1 \div 5) \cdot 10^5$  °К в [4].

Однако при рассмотрении этих данных обращает на себя внимание тот факт, что наиболее высокие значения температуры получены вблизи значений скорости ветра, соответствующих границам энергетических интервалов, показанным на рис. 2 вертикальными линиями, тогда как в середине интервала температура не выше  $(1 \div 2) \cdot 10^5$  °К. Указанное обстоятельство, несомненно, свидетельствует о наличии ряда эффектов, не учтенных при обработке и интерпретации данных, так как вы-

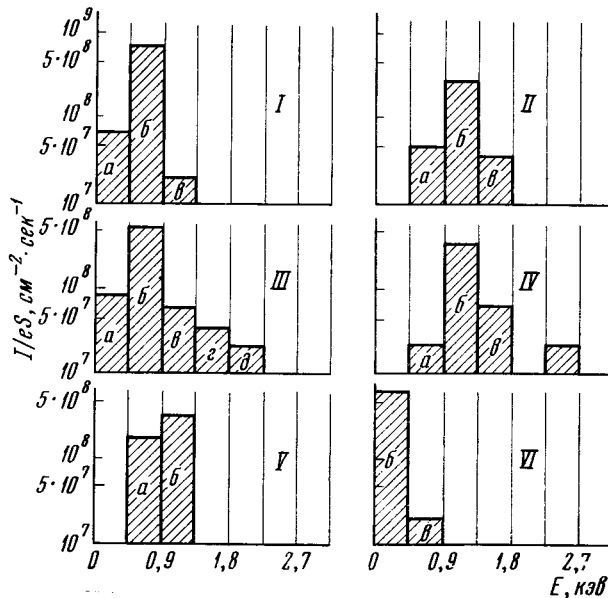


Рис. 1

бор границ интервалов никак не связан со свойствами солнечного ветра. Следует иметь в виду, что возможная неточность в определении  $T$ , связанная с ошибками измерений и не превышающая даже для малых температур примерно 1,5–2 раза, причем скорее в сторону завышения определяемых значений, заметно меньше наблюдаемых различий температур.

Рассмотрим прежде всего возможное влияние на определение температуры протонов наличия в солнечном ветре других ионов, в первую очередь ионов  $\text{He}^{++}$ . Как известно, ионы  $\text{He}^{++}$  при одинаковой с протонами направленной скорости и использовании приборов, показания которых определяются значением  $E/Ze$  ( $E$  — энергия частиц, а  $Ze$  — их заряд), дают в энергетическом спектре пик, соответствующий удвоенной энергии протонов. По величине этого пика в [6, 8] определялось содержание гелия в солнечном ветре.

В рассматриваемом эксперименте существенное влияние ионов гелия связано с относительно большой шириной 2-го и 3-го энергетических каналов ( $\Delta E/E \sim 0,4 \div 0,7$ ). На рис. 2 сплошными линиями показаны результаты расчета измеряемой температуры протонов при скорости ветра во 2-м или в 3-м канале, истинной температуре  $1 \cdot 10^5$  °К и содержании гелия 5 и 10%. Из этих данных видно, что измеряемая температура должна резко возрастать при приближении скорости ветра к нижней границе соответствующего канала. Действительно, при скорости ветра вблизи нижней границы канала  $b$  (если это 2-й или 3-й канал) гелиевый пик оказывается в канале  $a$  или вблизи него, увеличивая ток в этом канале, причем это увеличение тем больше, чем ближе к нижней границе канала  $b$  лежит значение скорости ветра.

При скорости солнечного ветра вблизи верхней границы канала  $b$  ловушка на «Венере-3» в ряде случаев регистрировала отдельные гелиевые пики (см. [2], а также спектр IV типа на рис. 1). В этом случае наличие  $\text{He}^{++}$  практически не сказывается на определяемой указанным образом величине  $T$ . Точно так же этот эффект будет пренебрежимо мал при больших скоростях ветра ( $U$  в 3-м, 4-м и т. д. каналах), поскольку в данном эксперименте относительная ширина каналов с ростом номера уменьшается и гелиевый пик не будет попадать в канал  $a$ .

Другой существенный фактор — возможное отклонение оси ловушки от направления солнечного ветра. Расчеты показывают, что при таком отклонении токи в каналах  $a$  и  $b$  значительно изменяются, что в рассматриваемом случае может

приводить к завышению определяемой температуры в несколько раз. Этот эффект тем больше, чем ниже температура протонов и чем ближе к верхней границе канала  $b$  лежит скорость ветра. На рис. 2 штриховыми линиями нанесены определяемые температуры, вычисленные также для истинной температуры  $1 \cdot 10^5$  °K в предположении о наклоне потока в 5 и 10° к оси ловушки.

Как видно, при учете обоих указанных эффектов, вызывающих завышение  $T$ , температура протонов в рассматриваемом эксперименте с учетом точности измерения тока составляет, по-видимому, не более  $(0,8 \div 1,2) \cdot 10^5$  °K, что хорошо согла-

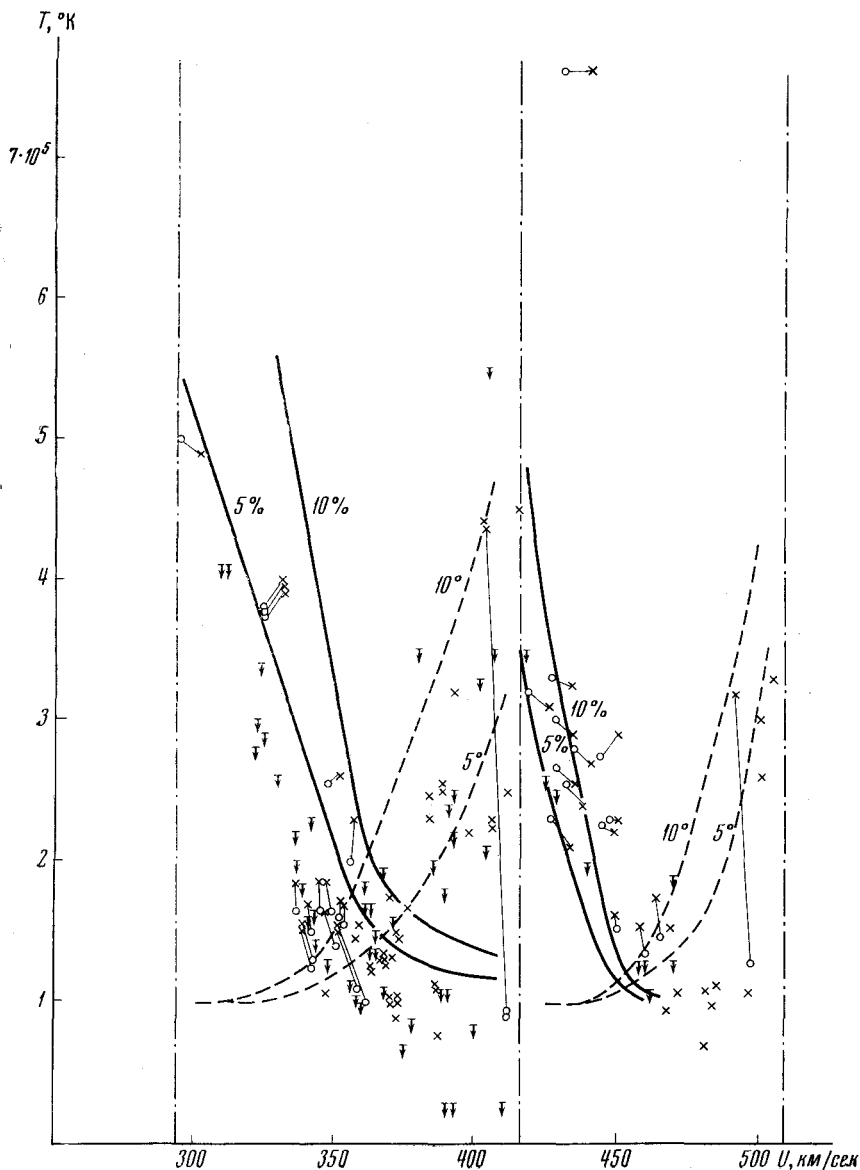


Рис. 2

суется с данными работ [7—9], в которых температура солнечного ветра определялась по показаниям электростатических анализаторов. Значения содержания  $He^{++}$  ( $\sim 5 \div 10\%$ ) несколько превосходят другие имеющиеся определения [6, 8]. Это обстоятельство, возможно, следовало бы связать с различием периодов наблюдений. Однако оценка содержания гелия по имеющимся десяти спектрам IV типа (см. рис. 1), в которых пик гелия отчетливо выделен, дает в согласии с [6, 8] величину содержания  $He^{++} \sim 2 \div 5\%$ . Поэтому не исключено, что часть эффекта (увеличение определяемых температур при скорости в левой части канала  $b$ ) может быть связана с наличием надтеплого хвоста функции распределения [6, 8, 9].

В ряде случаев наблюдались отсчеты в каналах *a*, *b*, *e* и т. д. (см., например, спектр III на рис. 1). В рамках рассматриваемой модели они могут быть в принципе использованы для проверки ее справедливости аналогично работе [6].

Отметим, что более низкие значения температур могут быть, в частности, следствием анизотропии ионных температур в солнечном ветре, проявляющейся в заметном уменьшении измеряемых температур при большем наклоне силовых линий магнитного поля к направлению солнечного ветра, как это наблюдалось, согласно [10], в эксперименте [11].

Рассмотренная возможность влияния примеси  $\text{He}^{++}$  и наклона оси ловушки существенно направления солнечного ветра на определение температуры протонов носит достаточно общий характер и ее необходимо учитывать во всех случаях применения модуляционных ловушек для изучения солнечного ветра.

Дата поступления  
6 мая 1970 г.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. К. И. Грингауз, В. В. Безруких, Л. С. Мусатов, *Космич. исслед.*, 5, № 2, 251, 1967.
2. К. И. Грингауз, В. В. Безруких, Л. С. Мусатов, Э. К. Соломатина, *Космич. исслед.*, 5, № 2, 310, 1967.
3. В. В. Безруких, К. И. Грингауз, Л. С. Мусатов, Р. Е. Рыбчинский, М. З. Хохлов, *Докл. АН СССР*, 163, № 4, 873, 1965.
4. Т. К. Бреус, К. И. Грингауз, *Космич. исслед.*, 5, № 6, 948, 1967.
5. Г. И. Волков, Г. Н. Застенкер, В. Ф. Копылов, А. П. Ремизов, М. З. Хохлов, *Космич. исслед.*, 8, № 3, 423, 1970.
6. М. Нейгебауэр, К. У. Снайдер, *Сб. «Солнечный ветер»*, «Мир», 1968.
7. A. J. Lazarus, H. S. Bridge, J. M. Davis, *J. Geophys. Res.*, 71, No. 15, 3787, 1966.
8. A. J. Hundhausen, J. R. Asbridge, S. J. Vame, H. E. Gilbert, I. B. Strong, *J. Geophys. Res.*, 72, No. 1, 87, 1967.
9. M. D. Montgomery, S. J. Vame, A. J. Hundhausen, *J. Geophys. Res.*, 73, No. 15, 4999, 1968.
10. М. З. Хохлов, Г. Н. Застенкер, *Космич. исслед.*, 7, № 3, 156, 1969.
11. L. F. Burlaga, *Solar Physics*, 4, No. 1, 67, 1968.