

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

---

# КОСМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Том V

(ОТДЕЛЬНЫЙ ОТТИСК)

6

---

МОСКВА • 1987

Т. К. Бреус, К. И. Грингауз

## ОЦЕНКА ТЕМПЕРАТУРЫ ПРОТОНОВ МЕЖПЛАНЕТНОЙ ПЛАЗМЫ ПО ДАННЫМ, ПОЛУЧЕННЫМ НА КОСМИЧЕСКОМ АППАРАТЕ «ВЕНЕРА-3»

Один из экспериментов, проводившихся на космическом аппарате «Венера-3», запущенном в ноябре 1965 г., был посвящен изучению параметров солнечного ветра при помощи модуляционной ловушки заряженных частиц [1]. Во время эксперимента были получены энергетические спектры в области энергий от 0 до 3600 эв, анализ которых позволил оценить температуру протонов в солнечном ветре. Один из наиболее характерных примеров спектров, использованных для таких оценок, приведен на рис. 1 (получен 24.XI 1965 г. в  $12^{\text{h}}09^{\text{m}}$ ). По оси ординат отложены значения парциальных потоков ионов в каждом энергетическом интервале  $N$ , по оси абсцисс — значения энергии  $E$  (у нижней оси) на границе каждого интервала и значения соответствующих этим энергиям скоростей протонов  $v$  (у верхней оси).

Как указывалось в [1], спектры, в которых потоки присутствовали во многих энергетических интервалах, аналогичные спектру на рис. 1, наблюдались довольно часто, так же как и спектры, в которых поток присутствовал только в одном интервале (см. рис. 2, получен 19.XII 1965 г. в  $13^{\text{h}}15^{\text{m}}13^{\text{s}}$ ). Наряду с ними наблюдались спектры, когда в двух соседних интервалах регистрировались близкие по величине потоки. В работе [1] отмечалось, что одним из возможных объяснений спектров последнего типа может быть проникновение более быстрого потока плазмы в поток, движущийся более медленно.

Ограничимся рассмотрением спектров первых двух типов и будем считать, что они отражают распределение по скоростям частиц в солнечном ветре. Для спектров, в которых поток регистрировался только в одном интервале, можно считать, что в соседних с ним интервалах потоки не превышали пороговой чувствительности ловушки, равной  $\sim 10^7 \text{ см}^{-2} \cdot \text{сек}^{-1}$ .

В системе координат, связанной с космическим аппаратом и выбранной так, что ось  $z$  совпадает с направлением приходящего потока ионов, полученные спектры можно описать следующим выражением:

$$N \sim v_z f(v, v_0),$$

где  $N$  — поток протонов с энергией, равной средней энергии в каждом спектральном интервале;  $v_z$  — среднее значение в каждом спектральном интервале проекции на ось  $z$  скорости частиц  $v$  относительно прибора;  $f(v, v_0)$  — значения функции распределения, усредненные по каждому спектральному интервалу;  $v_0$  — скорость направленного движения плазмы.

Отсюда

$$f(v, v_0) \sim \frac{N}{v_z} \sim \frac{N}{\gamma^3 v_z},$$

<sup>1</sup> Следует отметить, что часть этих возрастаний может быть связана с наличием рекуррентных с периодом 27 дней потоков [2].

где  $\epsilon_z = mv_z^2/2$  — средняя энергия частиц в данном интервале.

Будем предполагать, что распределение частиц в солнечном ветре в системе координат, движущейся со скоростью  $v_0$  (в которой направленное движение плазмы отсутствует), можно считать максвелловским.

Эксперимент был поставлен таким образом, что анизотропию температур, вносимую магнитным полем, вмороженным в плазму солнечного ветра, учесть было не-

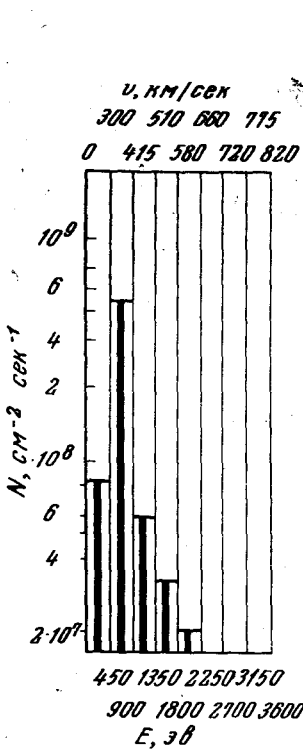


Рис. 1

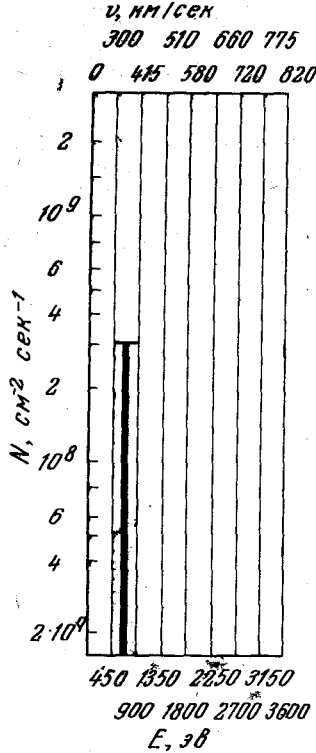


Рис. 2

возможно (по последним оценкам, сделанным в работах [2, 3],  $T_{\parallel}/T_{\perp}$  может быть  $\sim 2-5$ ). Несмотря на это оценка температур протонов, приводимая ниже, с нашей точки зрения представляется целесообразной, ибо она дает возможность сравнить полученные данные с аналогичными оценками, сделанными по результатам других экспериментов.

В предположении, что распределение частиц по скоростям изотропно, будем иметь

$$f \sim \frac{N}{\sqrt{\epsilon_z}} \sim \exp - \left\{ \frac{m [v_x^2 + v_y^2 + (v_z - v_0)^2]}{kT} \right\},$$

где  $T$  — температура протонов солнечного ветра,  $k$  — постоянная Больцмана,  $m$  — масса протонов.

Для фиксированных  $v_x$  и  $v_y$  функция  $f(v, v_0)$  имеет максимум при  $v_z = v_0$ , тогда направленная скорость движения протонов солнечного ветра соответствует среднему значению скорости в спектральном интервале с максимальной величиной  $f(v_x, v_y, v_z = v_0, v_0)$ . Обозначим эту величину  $N(v_0)/\sqrt{\epsilon_0}$  или  $f(v_0)$ . Тогда

$$\ln \frac{f(v_0)}{f(v, v_0)} \sim \ln \frac{N(v_0)\sqrt{\epsilon_z}}{\sqrt{\epsilon_0}N(v_z)} \sim \frac{(\sqrt{\epsilon_z} - \sqrt{\epsilon_0})^2}{kT}, \quad T = \frac{(\sqrt{\epsilon_z} - \sqrt{\epsilon_0})^2}{k \ln \frac{N(v_0)\sqrt{\epsilon_z}}{\sqrt{\epsilon_0}N(v_z)}}$$

Таким образом, по спектрам типа, показанного на рис. 1, строилась функция распределения  $f$  и затем при помощи формул для  $T$  оценивалась температура. Поскольку значения функции распределения в каждом интервале рассчитывались, как указывалось выше, для средней энергии, ошибка в определении  $\varepsilon_z$  и  $\varepsilon_0$  равнялась половине величины интервала. Ошибку в оценке  $T$  тогда можно вычислить по формуле

$$\frac{\Delta T}{T} = \frac{\Delta \varepsilon}{\sqrt{\varepsilon_z \varepsilon_0}} \left\{ 1 - \frac{kT}{2\sqrt{\varepsilon_z \varepsilon_0}} \frac{(\sqrt{\varepsilon_z} + \sqrt{\varepsilon_0})}{(\sqrt{\varepsilon_z} - \sqrt{\varepsilon_0})} \right\}.$$

По спектрам типа, показанного на рис. 2, определялся только верхний предел температуры, поскольку оценку можно было произвести лишь считая, что значение потока в энергетическом интервале, соседнем с интервалом, содержащим зарегистрированный поток, равнялось пороговому  $\sim 10^7 \text{ см}^{-2} \cdot \text{сек}^{-1}$ . В действительности поток в этом интервале мог быть и меньше.

Для спектров, показанных на рис. 1 и 2, оцененная температура оказалась равной  $4 \cdot 10^{5\circ} \text{ К}$  и  $2 \cdot 10^{5\circ} \text{ К}$  соответственно. Температура, оцененная по спектрам, полученным за период с 16.II 1965 г. по 7.I 1966 г. на расстояниях от Земли  $\sim 10$  млн. км заключена примерно в интервале значений  $1 \div 5 \cdot 10^{5\circ} \text{ К}$ . Максимальная ошибка при определении  $T$  равнялась 15—20%.

Полученные значения  $T$  не противоречат известным оценкам Нейгебауэр и Снайдера [4] по данным, полученным на «Маринере-2» ( $3 \cdot 10^4$ — $5 \cdot 10^{5\circ} \text{ К}$ ); значениям, полученным Боннети и др. [5] по данным «Эксплорера-10» ( $\sim 10^6 \text{ К}$ ), а также результатам Вулфа, Силвы и Майера по «ИМП-2» и «ОГО-1» [6] ( $2 \cdot 10^{5\circ} \text{ К}$ ).

Нельзя сказать, разумеется, будет ли эта, определенная по дисперсии скоростей температура мерой истинных хаотических тепловых движений в плазме и характеристикой условий, существующих в солнечной короне, являющейся источником солнечного ветра. В связи с существованием возмущений протонов солнечной плазмы в межпланетном пространстве (гидромагнитных колебаний, бесстолкновительных ударных волн, возникающих в тех случаях, когда высокоскоростной поток встречается с более медленными), оцененная температура, по-видимому, характеризует в большей степени эти возмущения, чем условия в солнечной короне [4].

Дата поступления  
18 мая 1967 г.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. К. И. Грингауз, В. В. Безруких, Л. С. Мусатов. Космич. исслед., 5, № 2, 251, 1967.
2. J. W. Wolfe, R. W. Silva, D. D. McKibbin, R. H. Mason. J. Geophys. Res., 71, No. 13, 3329, 1966.
3. A. J. Hundhausen, J. R. Asbridge, S. J. Bame, H. E. Gilbert, I. B. Strong. J. Geophys. Res., 72, No. 1, 87, 1967.
4. M. Neugebauer, C. W. Snyder. Space Res., 4, 89, 1964.
5. A. Bonetti, H. S. Bridge, A. J. Lazarus, E. F. Lyon et al. Space Res., 3, 540, 1963.
6. J. H. Wolfe, R. W. Silva, H. A. Myers. Report to COSPAR, preprint, to be publ. in Sp. Res., 6, 1966.