

Д О К Л А Д Ы
АКАДЕМИИ НАУК СССР

1974

т. 218, № 4

К. И. ГРИНГЛУЗ, В. В. БЕЗРУКИХ, М. И. ВЕРИГИН,
А. П. РЕМИЗОВ

ПЛАЗМА В АНТИСОЛНЕЧНОЙ ЧАСТИ ОКОЛОМАРСИАНСКОГО
ПРОСТРАНСТВА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИЗМЕРЕНИЙ
НА СПУТНИКЕ «МАРС-5»

(Представлено академиком Р. З. Сагдеевым 6 VI 1974)

В 1971—1972 гг. измерения, проведенные на спутниках Марса — межпланетных станциях «Марс-2» и «Марс-3», установили существование отпавшей ударной волны, являющейся результатом взаимодействия солнечного ветра с планетой. Это следовало как из данных измерений электронной компоненты солнечного ветра (¹, ²) и его поперечной компоненты (³, ⁴), так и из данных магнитных измерений (⁵, ⁶).

В настоящем сообщении использованы предварительные результаты зондовых измерений поперечной и электронной компоненты плазмы, проведенных на межпланетных станциях «Марс-5» (ставшей 13 II 1974 г. спутником Марса) и «Марс-7» (измерения на которой велись на трассе Земля — орбита Марса при полете вблизи планеты 9 III 1974 г. и были продолжены за орбитой Марса). На всех станциях, запущенных к Марсу в 1973 г., были установлены идентичные приборы — поперечные модуляционные ловушки с использованием метода тормозящих потенциалов, их характеристики и размещение на космических аппаратах описаны в (⁷). Ниже приводятся некоторые данные новых измерений положения границ и характеристик переходного слоя за фронтом ударной волны, а также первых измерений

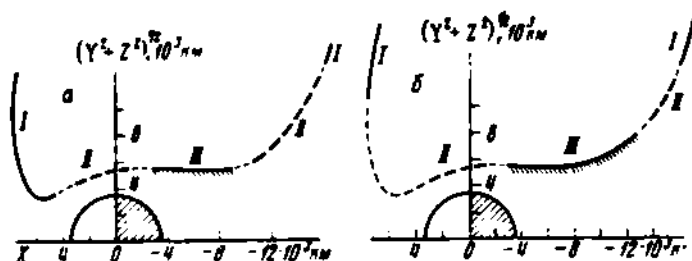


Рис. 1. Участки траекторий «Марса-5» вблизи планеты 13 II 1974 (а) и 14 II 1974 (б). Тонкая пунктирная линия соответствует участкам орбиты, на которых плазменные измерения не производились

характеристик плазменного образования, расположенного за внутренней границей переходного слоя в антисолнечной части околомарсианского пространства.

На рис. 1 (ось X проходит через центр планеты и направлена на Солнце) приведены участки траекторий «Марса-5» во время двух последовательных оборотов его вокруг планеты (высота перицентра орбиты 1800 км, апоцентра — 32 000 км, наклон к плоскости экватора ~35°, период обращения ~25 час.). Анализ поперечных и электронных энергетических спектров на приведенных на рис. 1 участках орбиты спутника (а также и при всех остальных оборотах спутника) показал, что вблизи планеты существует

3 пересекаемых спутником зоны I—III с существенно различными свойствами плазмы. Типичные виды первичных ионных спектров и кривых торможения электронов, соответствующих этим трем зонам, показаны на рис. 2. Характеристики зон I, II соответствуют наблюдавшимся в 1971—1972 гг. на спутниках «Марс-2» и «Марс-3», характеристики зоны III, наблюдаемой при углах Солнца—Марс—спутник более 90° , измерены впервые.

В зоне I регистрируются спектры, соответствующие невозмущенному солнечному ветру. Характеристики плазмы в зоне II типичны для переходного слоя за фронтом ударной волны: по сравнению с невозмущенным

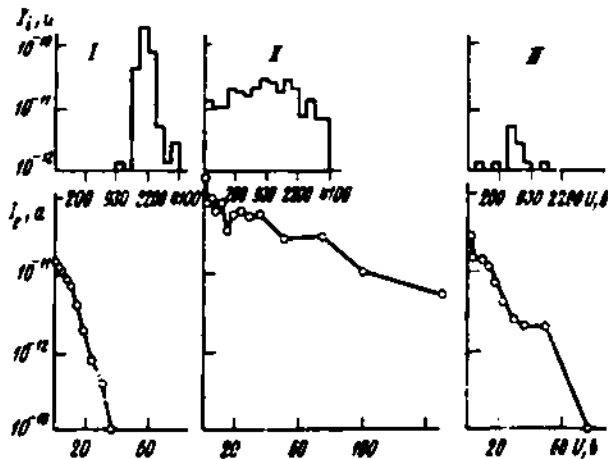


Рис. 2. Типичные ионные спектры и кривые торможения электронов в зонах I—III

солнечным ветром резко увеличиваются измеряемые потоки электронов и ионов, спектры ионов носят явно не максвелловский характер, температура электронов T_e значительно возрастает. Граница между зонами I и II может быть уверенно отождествлена с фронтом ударной волны.

Для зоны III (рис. 1, 2) характерно резкое падение ионных токов по сравнению с зонами I и II. Уменьшение измеряемых ионных токов столь велико, что на протяжении примерно 30% участков орбиты, проходящих в зоне III, ионные потоки ниже пределов чувствительности приборов и лишь на 40% пути ионы регистрируются вполне надежно (уровень отсчета в три и более раза превышает минимальный телеметрический отсчет). Величины T_e и электронных токов в зоне III уменьшаются по сравнению с зоной II, однако они выше, чем в невозмущенной зоне I (см. рис. 2), и регистрируются всегда.

На рис. 3 приведен один из ионных спектров с потоком ионов, наименьшим за период 12—14 II 1974 г. по данным измерений, проведенных при помощи идентичного прибора на станции «Марс-7», находившейся в то время на пути к Марсу на расстояниях $\sim 5 \cdot 10^6$ км от планеты. Видно, что наименьшие потоки солнечного ветра, зарегистрированные на этом аппарате в заведомо невозмущенном плазмой солнечном ветре, существенно превосходят величины потоков, характерные для зоны III.

На рис. 1 видно, что участок орбиты, пересекавший 14 II 1974 г. зону III, соответствовал величинам $(Y^2+Z^2)^{1/2}$ от ~ 5800 км до ~ 8000 км, т. е. интервалу расстояний от линии Солнце—Марс больше 2000 км; вдоль оси X его протяженность не менее нескольких радиусов Марса.

Остановимся на физических характеристиках зоны III, данные о которых получены впервые. Выше отмечалось, что зарегистрированные ионные токи в этой зоне существенно меньше, чем в зоне I, а электронные — выше. При этом энергии ионов значительно более изменчивы (как правило

ниже, но иногда и выше, чем в зоне *I*; см. рис. 4). Значительные регистрируемые электронные токи свидетельствуют о достаточно большой концентрации электронов в зоне *III*. В этих условиях резкое уменьшение ионных токов в модуляционной ионной ловушке может произойти в двух случаях: либо направленный поток ионов меняет свое направление и притом весьма значительно, ибо ионная ловушка широкоугольна (см. (7)), либо он становится квазиизотропным. Заметим, что изменение направления движения плазмы или ее изотропизация не должны заметно сказаться на регистрируемых электронных токах, так как поток электронов квазиизотропен даже в невозмущенном солнечном ветре. Угловая характеристика

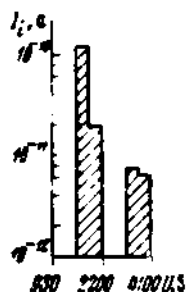


Рис. 3

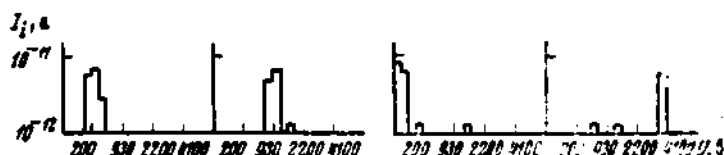


Рис. 4

Рис. 3. Ионный спектр с минимальным потоком ионов за период 12–14 II 1974 г. по данным «Марса-7»

Рис. 4. Примеры ионных спектров, зарегистрированных в зоне *III*

ионной ловушки такова, что изотропизация ионного потока должна уменьшать регистрируемый ионный ток примерно в 20 раз по сравнению с холодным ионным потоком, нормальным к апертуре ловушки (см. характеристики прибора в (7)).

Сопоставление результатов обсуждаемых плазменных измерений с данными одновременно проведенных на «Марсе-5» магнитных измерений (8) показало, что:

- 1) магнитные данные также свидетельствуют о наличии трех различных зон вдоль близкого к планете участка орбиты спутника;
- 2) границы между зонами по данным тех и других измерений совпадают;
- 3) для зоны *III* характерно уменьшение флуктуаций магнитного поля (весьма значительных в зоне *II*) и преобладание компоненты вектора магнитного поля в направлении Солнце – Марс (иногда в точке $2'$ эта компонента меняет знак, см. (8), рис. 3). Это позволило авторам (8) отнести зону *III* к хвосту марсианской магнитосферы.

Возможны два предположения о природе плазменной зоны *III*: она может относиться либо к «плазменному слою», аналогичному существующему в центральной части хвоста земной магнитосферы (см., например, (9, 10)), либо к пограничному слою между переходным слоем за фронтом ударной волны и магнитосферой Марса, подобному слою, обнаруженному в хвосте земной магнитосферы (9, 11).

Если это пограничный слой, то направление движения плазмы в нем должно быть антисолнечным (9, 10), а так как ионная ловушка во время измерений ориентирована на Солнце (см. (7)), то наблюдаемое падение регистрируемых ионных токов должно объясняться реальным значительным уменьшением концентрации или скорости ионов или их одновременным уменьшением по сравнению с зонами *I* и *II*. Хотя уменьшение средней скорости ионов видно по их изменчивым спектрам в зоне *III*, тем не менее для объяснения наблюдаемого уменьшения ионных токов в этом случае необходимо допустить значительное уменьшение концентрации плазмы

в зоне III по сравнению с зоной I; однако если бы оно имело место, то было бы трудно объяснить, почему в зоне III всегда регистрируются электронные токи, большие, чем в зоне I.

Если же зона III — это плазменный слой в хвосте марсианской магнитосферы, то регистрацию малых ионных токов можно объяснить высокой степенью изотропности ионов в этой зоне, имеющей аналогию в плазменном слое хвоста земной магнитосферы; при этом противоречие между одновременной регистрацией малых ионных и больших электронных токов снимается.

Совместимым с регистрацией больших электронных токов был бы также весьма значительный (на $30^\circ-40^\circ$) поворот направленной скорости потока плазмы на границе между зонами II и III, который привел бы к резкому уменьшению наблюдаемых ионных токов, однако трудно найти основания для такого предположения.

Таким образом, в настоящее время наиболее вероятным представляется предположение о том, что зона III относится к плазменному слою хвоста марсианской магнитосферы, в котором ионы, так же как и электроны, квазиизотропны и который примыкает к переходному слою (к зоне II).

В земной магнитосфере энергия изотропных ионов плазменного слоя $E_i > E_{i0}$, где E_{i0} — энергия ионов в невозмущенном солнечном ветре ($E_i \sim \sim v_{kz}$, см. (11)); в описываемой здесь зоне III $E_i < E_{i0}$, хотя электроны ускорены по сравнению с солнечным ветром (см. рис. 2). Это отличие от земной магнитосферы может быть связано с тем, что магнитное поле Марса относительно мало и неспособно обеспечить ускорение ионов.

Авторы работы (4) наблюдали в антисолнечной части околомарсианского пространства несколько единичных ионных спектров с пониженными скоростями ионов. Они истолковали их как свидетельство существования «пограничного слоя», образованного неким вязким взаимодействием потоков плазмы переходного слоя с плазмой, диссипирующей на ионосфере Марса. Так как авторы (4) не использовали данные об электронной компоненте плазмы, в связи с узкой угловой диаграммой их ионных детекторов они не смогли получить представление о реальных физических характеристиках рассматриваемой области.

Изучение положений фронтов околопланетной ударной волны, наблюдавшихся по данным ловушек заряженных частиц при различных оборотах «Марса-5» вокруг планеты, подтверждает вывод, сделанный на основе плазменных наблюдений в (2) и (12), что наиболее вероятной причиной образования отошедшей ударной волны является собственное магнитное поле Марса. Это заключение находится в согласии с результатами работ (3, 4, 5).

Институт космических исследований
Академии наук СССР
Москва

Поступило
21 V 1974

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ K. I. Gringauz, V. V. Bezrukikh et al., *Icarus*, v. 18, 54 (1973). ² K. I. Gringauz, V. V. Bezrukikh et al., *J. Geophys. Res.*, v. 78, 5802 (1973). ³ O. L. Vaisberg, A. V. Bogdanov et al., *Icarus*, v. 18, 59 (1973). ⁴ O. L. Vaisberg, A. V. Bogdanov, *Космич. исслед.*, т. 12, 2, 279 (1974). ⁵ Ш. Ш. Долгиков, Е. Г. Ерошенко, Л. Н. Жузгов, *ДАН*, т. 207, № 6 (1973). ⁶ Sh. Sh. Dolginov, Ye. G. Yeroshenko, L. N. Zhuzgov, *J. Geophys. Res.*, v. 78, 4779 (1973). ⁷ К. И. Грингауз, В. В. Безруких и др., *Космич. исслед.*, т. 12, № 3 (1974). ⁸ Ш. Ш. Долгиков, Е. Г. Ерошенко и др., *ДАН*, т. 218, № 4 (1974). ⁹ K. I. Gringauz, *Rev. Geophys.*, № 1-2, 339 (1969). ¹⁰ E. W. Hones jr., J. R. Asbridge et al., *J. Geophys. Res.*, v. 77, 5503 (1972). ¹¹ S. I. Akasofu, E. W. Hones jr. et al., *J. Geophys. Res.*, v. 78, 7257 (1973). ¹² К. И. Грингауз, В. В. Безруких и др., *Космич. исслед.*, т. 17, № 4 (1974).