

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

КОСМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

(ОТДЕЛЬНЫЙ ОТТИСК)

МОСКВА

УДК 523.72.323.43

УСКОРЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ ИОНОВ В ХВОСТЕ МАГНИТОСФЕРЫ МАРСА ПО ДАННЫМ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ТАУС И МАГМА НА КОСМИЧЕСКОМ АППАРАТЕ ФОБОС-2

© 1999 г. Г. А. Котова¹, М. И. Веригин¹, Н. М. Шютте¹, А. П. Ремизов¹, Х. Розенбауэр²,
У. Ридлер³, К. Швингеншу³, М. Делва³, К. Сеге⁴, М. Татральяи⁴

¹Институт космических исследований РАН, г. Москва

²Институт астрономии об-ва М. Планка, Германия

³Институт космических исследований, Австрия

⁴Центральный институт физических исследований, Венгрия

Поступила в редакцию 04.02.97 г.

Данные, полученные в эксперименте ТАУС, проведенном на космическом аппарате *Фобос-2*, показали, что в плазменном слое вблизи Марса трехмерные функции распределения тяжелых ионов планетного происхождения имеют форму “шляпки гриба”. Для анализа распределения ионов в магнитном хвосте Марса используются как кинетический так и магнитогидродинамический подходы. Рассматриваются ряд взаимозависимостей между характеристиками плазмы и магнитного поля в хвосте магнитосферы и в солнечном ветре, которые свидетельствуют об участии следующих механизмов ускорения в процессе формирования наблюдавшегося распределения ионов в плазменном слое вблизи Марса: ускорение за счет натяжения магнитных силовых линий, ускорение в продольном и поперечном электрических полях хвоста, ускорение в результате прямого взаимодействия околопланетной плазмы с плазмой переходной области в полярных областях магнитосферы.

Одним из наиболее интересных результатов измерений с помощью плазменного эксперимента ТАУС в окрестности Марса было открытие плазменного слоя в хвосте марсианской магнитосферы [1, 2]. Измерения показали, что в магнитном хвосте Марса часто наблюдаются значительные потоки ионов, текущие от планеты. Эти потоки всегда регистрировались в окрестности той области, где меняет знак компонент магнитного поля B_x , параллельный линии Солнце–Марс [3]. Данные эксперимента ТАУС показали, что в отличие от плазменного слоя в магнитосфере Земли, который образован в основном протонами, марсианский плазменный слой в основном состоит из тяжелых ионов с отношением масса/заряд $m/q > 3$. Одновременные измерения с помощью эксперимента АСПЕРА, также проводившегося на борту *Фобоса-2*, показали, что плазменный слой в магнитосфере Марса образован в основном ионами кислорода O^+ , хотя были зарегистрированы и ионы других масс [4, 5].

На нескольких первых витках космического аппарата *Фобос-2* около Марса с помощью прибора ТАУС измерялись двумерные спектры тяжелых ионов. Розенбауэр и др. [1, 2] привели примеры двумерных спектров (в скоростях счета), из которых видно, что распределение тяжелых ионов в хвосте марсианской магнитосферы сильно не изотропно: разброс по энергиям в направлении движения потока (от планеты) существенно

меньше, чем в поперечном направлении. Эти распределения ионов очень похожи на функции распределения протонов, наблюдаемые в пограничном слое плазменного слоя около Земли [6]. Для объяснения специфических распределений тяжелых ионов в хвосте магнитосферы Марса предлагались несколько механизмов ускорения околопланетных ионов: ускорение в результате прямого взаимодействия плазмы солнечного ветра и околопланетной ионосферной плазмы [3]; ускорение под действием натяжения силовых линий [5]; ускорение в токовом слое магнитного хвоста [7] и др.

Ниже будут подробно рассмотрены экспериментальные данные, полученные в плазменном слое около Марса, с целью дальнейшего более подробного анализа возможных механизмов ускорения ионов.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

На борту космического аппарата *Фобос-2* был установлен энерго-масс-спектрометр ТАУС, с помощью которого были выполнены измерения энергетических (в диапазоне ~50 эВ...~6 кэВ) и угловых (в пределах телесного угла $\pm 20^\circ$ от направления на Солнце) распределений протонов и тяжелых ионов ($m/q > 3$) в окрестности Марса [8]. Данные, полученные с ~60 идентичных круговых орбит в феврале–марте 1986 г. (радиус орбиты

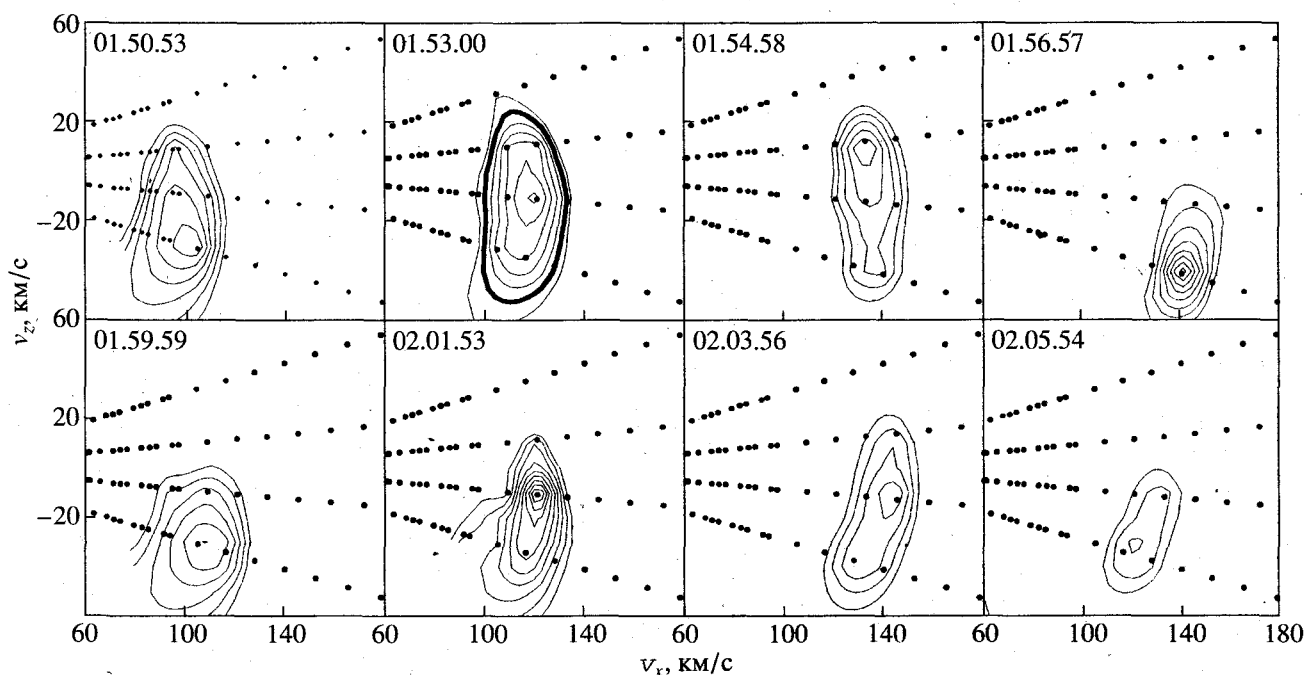


Рис. 1. Двумерные функции распределения тяжелых ионов (в предположении, что $m = 16$), зарегистрированные на второй эллиптической орбите *Фобос-2* около Марса 5.И.1989 г. Точками отмечены положения в фазовом пространстве, в которых проводились измерения прибором ТАУС. Самая внешняя изолиния функций распределения соответствует величине $f = 10^{-21} \text{ с}^3 \text{ см}^{-6}$, каждая следующая изолиния соответствует возрастанию величины f в $10^{0.2}$ раз.

~9600 км) представляют собой достаточно богатый материал для статистического анализа. На этих орбитах измерялись также двумерные энергетические (150 эВ–6 кэВ) спектры ионов в течение 8 с каждые 2 мин.

На первых пяти эллиптических витках около планеты (перицентр ~800 км) в течение некоторого времени измерялись также двумерные спектры тяжелых ионов (1 спектр в минуту). Двумерные спектры являются результатом интегральных наблюдений по азимутальному углу. В режиме трехосной стабилизации (3, 4, 5 витки) регистрировались спектры приблизительно в плоскости XZ марсианской солнечно-эклиптической системы координат. Однако надежные двумерные измерения спектров ионов плазменного слоя в режиме трехосной стабилизации аппарата были осуществлены только на 4-м витке, ибо на 3 и 5 витке измерения двумерных спектров тяжелых ионов пришлось на область вблизи магнитопаузы.

На первой и второй эллиптических орбитах космический аппарат вращался с периодом ~10 мин вокруг оси, приблизительно ориентированной на Солнце, и это позволяет восстановить характер трехмерных спектров ионов по измеренным двумерным.

Для измерения магнитного поля вблизи Марса на борту космического аппарата *Фобос-2* был установлен феррозондовый магнитометр МАГМА

[9]. К сожалению, из-за вращения аппарата на большинстве витков около планеты для надежного анализа можно использовать только модуль магнитного поля B и его компоненты вдоль (B_x) и поперек линии Солнце–Марс ($B_{\perp} = \sqrt{B_y^2 + B_z^2}$).

На рис. 1 показаны примеры двумерных спектров тяжелых ионов, зарегистрированные в марсианском плазменном слое на второй эллиптической орбите (показан последовательно каждый второй спектр). Видно, что спектры все время имеют характерную вытянутую, похожую на боб форму, смещается только максимум функции распределения, очевидно, из-за вращения аппарата вокруг оси, действительное направление которой отклоняется на угол ~15° от направления на Солнце. Представленные функции распределения свидетельствуют о том, что реальное трехмерное распределение ионов в плазменном слое приблизительно симметрично относительно направления на Солнце и имеет специфическую форму «шляпки гриба». Подобные распределения протонов ранее наблюдались вблизи Земли в пограничном слое плазменного слоя [6]. Для объяснения таких функций распределения рассматривались несколько возможных механизмов ускорения ионов в плазменном слое: ускорение в продольном электрическом поле, деформация спектров из-за сохранения магнитного момента

частиц, ускорение в токовом слое магнитного хвоста и др.

Если принять, что начальное распределение ионов вблизи Марса близко к максвелловскому, то нетрудно рассчитать к каким изменениям функции распределения ионов приведет их ускорение в продольном электрическом поле при условии также сохранения первого адиабатического инварианта (магнитного момента). Рассмотрим начальное распределение ионов

$$f(v_{\parallel}', v_{\perp}') = n(m/2\pi kT)^{3/2} \times \exp[-m((v_{\parallel}' - v_0)^2 + v_{\perp}'^2)/2kT], \quad (1)$$

где v_{\parallel}' , v_{\perp}' – начальные компоненты скорости вдоль и поперек магнитного поля, v_0 – начальная переносная скорость, m , n , T – масса, плотность и

температура ионов, соответственно, k – постоянная Больцмана. Новые компоненты скорости ионов v_{\parallel} , v_{\perp} можно выразить через начальные, используя закон сохранения энергии и условие сохранения магнитного момента ионов:

$$v_{\parallel}^2 + v_{\perp}^2 = v_{\parallel}'^2 + v_{\perp}'^2 + \frac{2q\Phi}{m}, \quad (2)$$

$$\frac{v_{\perp}^2}{B_2} = \frac{v_{\perp}'^2}{B_1},$$

где B_1 , B_2 – модули магнитного поля в областях до ускорения и после ускорения ионов, соответственно, q – электрический заряд, Φ – разность электрических потенциалов. Согласно теореме Лиувилля, конечное распределение ионов в таком случае:

$$f(v_{\parallel}, v_{\perp}) = n(m/2\pi kT)^{3/2} \times \exp\left[-\frac{m}{2kT}\left(\left(\sqrt{(v_{\parallel}^2 + v_{\perp}^2(1 - B_1/B_2) - 2q\Phi/m)} - v_0\right)^2 + v_{\perp}^2 \frac{B_1}{B_2}\right)\right]. \quad (3)$$

Теперь можно определить “ширину” такого распределения ионов на некотором уровне $f = f^*$ вдоль магнитного поля Δv_{\parallel} ($v_{\perp} = 0$):

$$\Delta v_{\parallel} = \sqrt{2\left(v_{\max}^2 + \frac{2kT\eta}{m}\right)} + 2\sqrt{\left(v_{\max}^2 + \frac{2kT\eta}{m}\right)^2 + 4\frac{2kT\eta 2q\Phi}{m}} \quad (4)$$

и поперек магнитного поля Δv_{\perp} (между точками, где $df/dv_{\parallel} = 0$):

$$\Delta v_{\perp} = 2\sqrt{\frac{2kT\eta B_2}{m B_1}}, \quad (5)$$

где $v_{\max} = \sqrt{v_0^2 + 2q\Phi/m}$ – скорость ионов в максимум функции распределения $f_{\max} = n(m/2\pi kT)^{3/2}$, $\eta = \ln(f_{\max}/f^*)$.

Таким образом, любая экспериментально наблюдаемая функция распределения ионов с параметрами v_{\max} , Δv_{\parallel} , Δv_{\perp} может быть аппроксимирована теоретическим выражением (3) при единственной комбинации величин Δ , v_0 , T для любого известного соотношения B_1/B_2 .

Для примера рассмотрим второй спектр в верхнем ряду рис. 1, измеренный в 01.53 UT. Уровень функции распределения, отмеченный жирной линией на этом спектре соответствует следующим параметрам: $\Delta v_{\parallel} = 33$ км/с, $\Delta v_{\perp} = 78$ км/с, $v_{\max} = 120$ км/с, $\eta = \ln(10^{-19.8}/10^{-20.8})$. На рис. 2 для четырех различных значений отношения B_1/B_2 (см. таблицу) показаны рассчитанные функции распределения ионов (3), имеющие такие же параметры. Из этого рисунка видно, что, по край-

ней мере, два правых спектра имеют слишком сильное сгущение линий уровня слева по сравнению с экспериментальным спектром. Таким образом, описать экспериментальный спектр функцией распределения (3) удастся только, если предположить, что до вступления в действие рассматриваемого механизма ускорения в продольном электрическом поле с одновременным сохранением магнитного момента ионов, есть еще некое предварительное ускорение частиц до скорости ~100 км/с. Кроме того, следует обратить внимание на то, что магнитное поле в области наблюдения ускоренных частиц должно быть больше начального магнитного поля. Такими местами предускорения ионов могут быть полярные области магнитосферы Марса, подобные полярным областям в индуцированной магнитосфере Венеры, рассматривавшимся в работе [10]. В таких областях ионосферные ионы могут ускоряться благодаря непосредственному взаимодействию с солнечным ветром переходной области.

Другим механизмом ускорения, с которым может быть связана специфическая форма функций распределения ионов в плазменном слое магнитосферы Марса, является ускорение в токовом слое магнитного хвоста [11, 12]. В тонком токовом

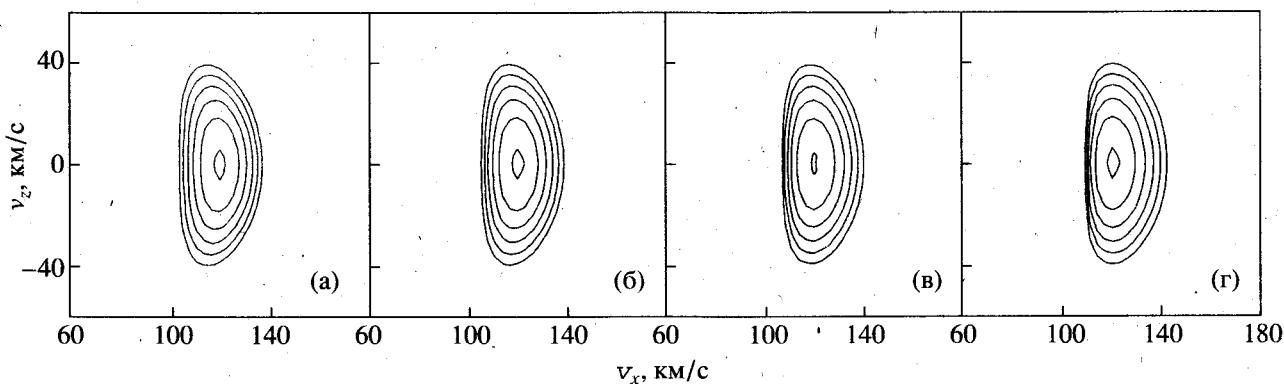


Рис. 2. Рассчитанные функции распределения ионов, имеющие те же параметры v_{\max} , Δv_{\parallel} , Δv_{\perp} , что и распределение, зарегистрированное прибором ТАУС 5.И.1989 г. в 01.53 UT.

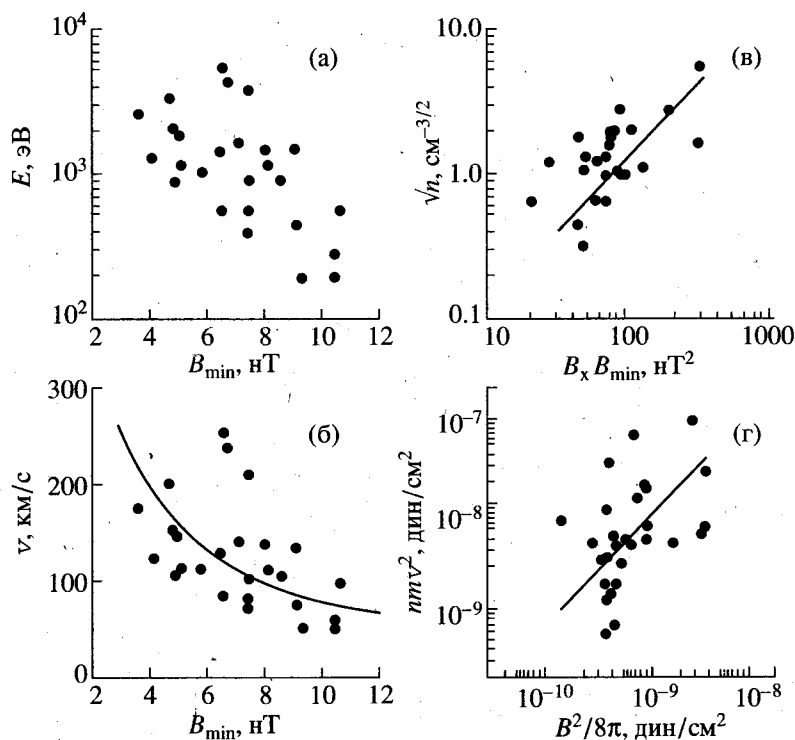


Рис. 3. Корреляции параметров тяжелых ионов плазменного слоя и магнитного поля в хвосте Марса. Линии соответствуют аппроксимации по методу наименьших квадратов.

слое в центре магнитного хвоста магнитный момент частиц не сохраняется, и под действием поперечного электрического поля, частицы ускоряются вдоль хвоста, приобретая скорость $v \sim 2c\varepsilon/B_{\min}$, где ε – электрическое поле, направленное поперек хвоста, c – скорость света, при начальной энергии, близкой к нулю. На возможное участие такого механизма в ускорении планетных ионов в хвосте магнитосферы Марса указывают некоторые корреляционные зависимости (рис. 3), выявленные в результате анализа данных, полученных на круговых орбитах около Марса. На рис. 3

слева показаны зависимости максимальной энергии E тяжелых ионов, зарегистрированной в каждом пролете космического аппарата через плазменный слой, и соответствующей ей скорости v ионов кислорода от минимальной величины магнитного поля B_{\min} , измеренной в токовом слое. Видна четкая обратно пропорциональная зависимость этих величин, которую можно интерпретировать как свидетельство наличия электрического поля поперек магнитного хвоста Марса, средняя величина которого в период работы на орбите *Фобоса-2* составляла $\varepsilon \sim 0.4$ мВ/м. Ту же

самую оценку величины электрического поля можно получить, исходя из корреляции величин \sqrt{n} и $B_x B_{\min}$, также показанной на рис. 3. Такая корреляция должна следовать из выражения для поперечного электрического поля:

$$\epsilon = \frac{B_x B_{\min}}{\sqrt{4\pi n m}}, \quad (6)$$

полученного на основе закона Ампера и закона сохранения частиц [13, 14]. Подставляя в выражение (6) $\epsilon = v B_{\min} / 2c$ и учитывая, что $B_x \approx B$, получим

$$n m v^2 = \frac{B^2}{\pi}. \quad (7)$$

Действительно, линейная аппроксимация зависимости между величинами $n m v^2$ и $B^2 / 8\pi$ (рис. 3) близка к уравнению (7).

Таким образом, ионы планетного происхождения в токовом слое магнитного хвоста Марса при конфигурации магнитного поля в хвосте, подобной конфигурации в магнитном хвосте Венеры, где определяющую роль играет индуцированное магнитное поле, могут ускоряться до значительных энергий в направлении от планеты (см. [15]). Эти ионы могут наблюдаться в достаточно узкой области вблизи нейтрального слоя, ибо поперечный дрейфовый компонент скорости $\sim c\epsilon / B_x$ не приводит к существенному удалению ионов от этого слоя на расстоянии ~ 6200 км от планеты, соответствующем круговой орбите космического аппарата *Фобос-2*. При этом функции распределения ускоренных частиц имеют характерную форму "шляпки гриба" [16]. Однако следует отметить, что эти распределения имеют также достаточно резкий низкоэнергичный край, тогда как данные эксперимента ТАУС этого явления не обнаруживают.

Еще одно обстоятельство, которое требует дальнейшего анализа, состоит в том, что в токовом слое магнитного хвоста ионы различных масс ускоряются до одной и той же скорости и, следовательно, их энергия должна быть пропорциональна массе. Тем не менее это не подтверждается данными эксперимента АСПЕРА (рис. 4, [5]), которые не обнаруживают зависимости энергии тяжелых ионов от их массы, энергия же протонов, зарегистрированных в плазменном слое, в 2–3 раза меньше энергии ионов кислорода.

Еще один возможный механизм ускорения планетных ионов в плазменный слой магнитного хвоста Марса – ускорение за счет натяжения магнитных силовых линий – рассматривался Дубини-

Таблица

Параметр	Рис. 2а	Рис. 2б	Рис. 2в	Рис. 2г
V_0 , км/с	102	73	60	53
T , 10^3 К	160	320	480	680
Φ , В	335	760	900	970

ным и др. [5]. В приближении магнитной гидродинамики:

$$\rho(\mathbf{V}, \nabla \mathbf{V}) \approx \frac{1}{c} [\mathbf{j}, \mathbf{B}], \quad (8)$$

где $\rho = n m$ – массовая плотность тяжелых ионов, $j = \frac{c}{2\pi} \frac{B_x}{\delta}$ – плотность тока поперек магнитного хвоста, δ – характерная толщина токового слоя. В направлении оси X марсианской солнечной эклиптической системы координат (8) сводится к уравнению:

$$\rho v \frac{\partial v}{\partial x} \approx \frac{1}{c} j B_{\perp}, \quad (9)$$

где v – скорость потока тяжелых ионов, направленная от Марса. Динамическое давление потока тяжелых ионов можно оценить следующим образом:

$$\rho v^2 \approx \frac{B_x B_{\perp} L}{\pi \delta}, \quad (10)$$

где L – характерный масштаб ускорения вдоль оси X . На рис. 5а представлена зависимость дина-

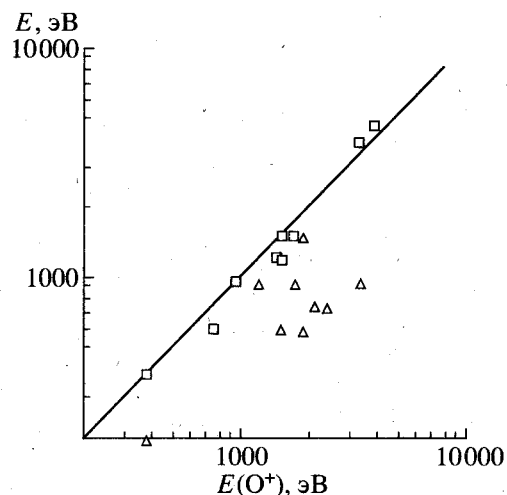


Рис. 4. Зависимость максимальной энергии потоков молекулярных ионов CO_2^+ , O_2^+ (квадратики) и протонов (треугольники) от максимальной энергии ионов кислорода для нескольких пролетов космического аппарата *Фобос-2* через магнитный хвост Марса по данным эксперимента АСПЕРА [5].

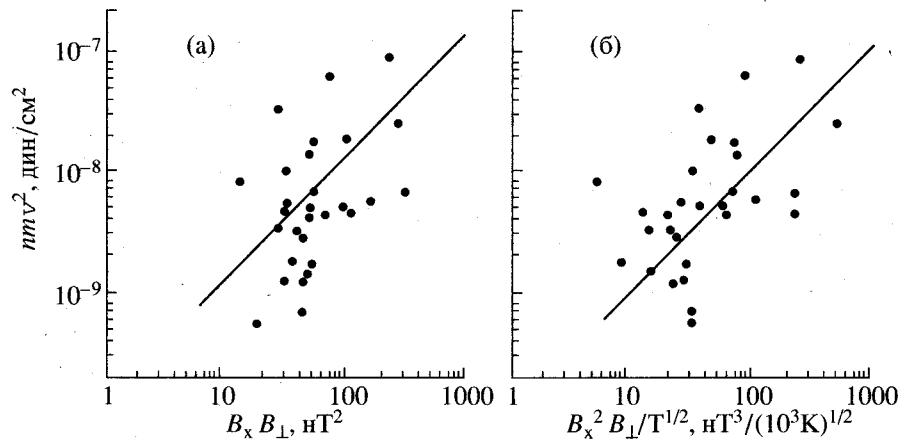


Рис. 5. Зависимости динамического давления тяжелых ионов плазменного слоя от комбинаций компонентов магнитного поля и температуры ионов в хвосте Марса.

Прямые линии соответствуют аппроксимации по методу наименьших квадратов.

мического давления потока тяжелых ионов от величины $B_x B_{\perp}$. Действительно, видна некоторая корреляция этих величин. Проведенная корреляционная прямая соответствует соотношению $L/\delta \sim 4$, т.е. при $L \sim 4000$ км $\delta \sim 1000$ км, что составляет $\sim 10\%$ от характерной величины диаметра магнитного хвоста Марса (ср. [3]).

Корреляционная зависимость улучшается (рис. 5б), если предположить, что величина δ пропорциональна ионному циклотронному диаметру

$$\delta = \chi \frac{2v_{th}}{\omega_{ci}} = 2\chi c \frac{\sqrt{2kTm}}{qB_x} \quad (11)$$

и

$$\rho v^2 \approx \frac{qB_x^2 B_{\perp}}{2\pi c \sqrt{2kTm}} \frac{L}{\chi}, \quad (12)$$

где χ – коэффициент пропорциональности, v_{th} – тепловая скорость ионов, ω_{ci} – циклотронная частота. Корреляционная прямая, показанная на рис. 5 соответствует $\delta \sim 1500$ км ($\chi \sim 3.5$) для $L = 4000$ км и типичных параметров $T = 2 \times 10^5$ К и $B_x = 10\gamma$. Обе корреляционные зависимости, представленные на рис. 5, подтверждают рассмотрение Дубинина и др. [5] и свидетельствуют о том, что механизм ускорения планетных ионов в хвосте магнитосферы Марса за счет натяжения силовых линий магнитного поля, вероятно, играет существенную роль.

ВЫВОДЫ

1. Двумерные измерения спектров ионов в эксперименте ТАУС, проведенном на космическом аппарате *Фобос-2*, показали, что функции распределения тяжелых ионов в плазменном слое хвоста магнитосферы Марса имеют специфическую

форму, напоминающую шляпку гриба. Подобные распределения протонов наблюдались в пограничном слое плазменного слоя Земли, и это свидетельствует о том, что механизмы ускорения ионов в хвосте магнитосфер Марса и Земли, возможно, одни и те же.

2. Наблюдаемые функции распределения не могут быть следствием механизма ускорения ионов в продольном электрическом поле с одновременной деформацией функции распределения за счет сохранения магнитного момента, ибо в этом случае ионы должны быть предварительно ускорены до скорости ~ 100 км/с.

3. Одномерные измерения спектров ионов в эксперименте ТАУС на круговых орбитах космического аппарата *Фобос-2* в феврале–марте 1989 г. дали достаточно статистически богатый материал для анализа зависимостей параметров тяжелых ионов марсианского плазменного слоя от величины магнитного поля в хвосте и от параметров солнечного ветра.

4. Корреляция скорости потока тяжелых ионов и величины минимального магнитного поля, регистрируемой в области нейтрального слоя, по-видимому, указывает на существование поперечного электрического поля в хвосте магнитосферы Марса и, соответственно, на возможное ускорение ионов в центральном токовом слое хвоста.

5. Корреляция динамического давления потока тяжелых ионов плазменного слоя и величины $B_x^2 B_{\perp}/T^{1/2}$ (и менее выраженная корреляция с величиной $B_x B_{\perp}$) показывает, что ускорение ионов за счет натяжения магнитных силовых линий также, вероятно, существенно в хвосте магнитосферы Марса.

Настоящая работа поддержана грантами № 95-02-04223 РФФИ, № 94-982 ИНТАС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Rosenbauer H., Shutte N., Apathy I et al.* Ions of Martian origin and plasma sheet in the Martian magnetosphere: Initial results of the TAUS experiment // *Nature*. 1989. V. 341. № 6243. P. 612.
2. *Розенбауэр Х., Шютте Н., Апати И. и др.* Первые результаты измерений ионов марсианского происхождения и обнаружение плазменного слоя в магнитосфере Марса по данным эксперимента ТАУС на КА "Фобос-2" // *Письма в астрон. журнал*. 1990. Т. 16. С. 368.
3. *Verigin M.I., Shutte N.M., Galeev A.A. et al.* Ions of planetary origin in the Martian magnetosphere (Phobos 2/TAUS experiment) // *Planet. Space Sci.* 1991. V. 39. P. 131.
4. *Lundin R., Zakharov A., Pellinen R. et al.* First measurements of the ionospheric plasma escape from Mars // *Nature*. 1989. V. 341. № 6243. P. 609.
5. *Dubinin E., Lundin R., Norberg O., Pissarenko N.* Ion acceleration in the Martian tail: Phobos observations // *J. Geophys. Res.* 1993. V. 98. P. 3991.
6. *Eastman T.E., DeCoster R.J., Frank L.A.* Velocity distributions of ion beams in the plasma sheet boundary layer // *Ion Acceleration in the Magnetosphere and Ionosphere*. Geophysical Monograph 38. AGU. Washington D.C., 1986. P. 117.
7. *Ip W.-H.* Ion acceleration at the current sheet of the Martian magnetosphere // *Geophys. Res. Lett.* 1992. V. 19. P. 2095.
8. *Розенбауэр Х., Шютте Н., Апати И. и др.* Изучение трехмерных функций распределений основных ионов солнечного ветра протонов и альфа-частиц в проекте "Фобос". Эксперимент ТАУС (комплекс МПК) // *Аппаратура и методы исследования космического пространства*. М.: Наука, 1989. С. 30.
9. *Aydogar Ö., Schwingenschuh K., Schelch G. et al.* The Phobos fluxgate magnetometer (MAGMA) instrument description // IWF-8904. Austrian Academy of Sciences, 1989.
10. *Perez-de-Tejada Y.* Viscous glow circulation of the solar wind behind Venus // *Science*. 1980. V. 207. P. 981.
11. *Шабанский В.П.* Явления в околоземном пространстве. М.: Наука, 1972. С. 167–190.
12. *Speicer T.W.* Particle trajectories in model current sheets, 1. Analytical solutions // *J. Geophys. Res.* 1965. V. 70. P. 4219.
13. *Eastwood J.W.* Consistency of fields and particle motion in the "Speicer" model of the current sheet // *Planet. Space Sci.* 1972. V. 20. P. 1555.
14. *Hill T.W.* Magnetic merging in a collisionless plasma // *J. Geophys. Res.* 1975. V. 80. P. 4689.
15. *Cowley S.W.H.* Plasma populations in a simple open model magnetosphere // *Space Sci. Rev.* 1980. V. 26. P. 217.
16. *Lyons L.R., Speicer T.W.* Evidence for current sheet acceleration in the geomagnetic tail // *J. Geophys. Res.* 1982. V. 87. P. 2276.

Acceleration of Heavy Ions in the Martian Magnetosphere Tail by the Data of the TAUS and MAGMA Experiments on the *Phobos-2* Spacecraft

**G. A. Kotova¹, M. I. Verigin¹, N. M. Shutte¹, A. P. Remizov¹, H. Rosenbauer²,
W. Riedler³, K. Schwingenschuh³, M. Delva³, K. Szegö⁴, and M. Tatrallyay⁴**

¹ *Space Research Institute, Russian Academy of Sciences, ul. Profsoyuznaya 84/32, Moscow, 117810 Russia*

² *Max-Planck-Institut für Aeronomie, Katlenburg-Lindau, Germany*

³ *Institut für Weltraumforschung, Graz, Austria*

⁴ *Central Research Institute for Physics, Budapest, Hungary*

The data obtained in the TAUS experiment carried out on board the *Phobos-2* spacecraft showed that in plasma sheets in the vicinity of Mars, the three-dimensional distribution functions of heavy ions of the planetary origin have the form of a «mushroom cap». To analyze the distribution of ions in the Martian magnetic tail both kinetic and magnetohydrodynamic approaches are used. A number of relationships between the properties of plasma and magnetic field in the magnetosphere tail and in the solar wind are considered. They bear witness to the following acceleration mechanisms taking part in the formation of the observed distribution of ions in the plasma sheet in the vicinity of Mars: acceleration due to the tension of magnetic field lines, acceleration in longitudinal and transverse electric fields of the tail, and acceleration through direct interaction of circumplanetary plasma with the plasma of a magnetosheath in polar regions of the magnetosphere.