

Ш. Ш. ДОЛГИНОВ, Е. Г. ЕРОШЕНКО, Л. Н. ЖУЗГОВ

**МАГНИТНОЕ ПОЛЕ В БЛИЖАЙШЕЙ ОКРЕСТНОСТИ МАРСА  
ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВ МАРС-2 И МАРС-3**

(Представлено академиком Л. А. Арцимовичем 3 VIII 1972)

Магнитометрами спутников Марс-2 и Марс-3 в ближайшей окрестности Марса измерено поле, напряженность которого вблизи перигетров орбит в 7–10 раз превышает напряженность межпланетного магнитного поля на расстоянии орбиты Марса.

В июле 1965 г. космический аппарат Маринер 4, пройдя на расстоянии 13 200 км от центра Марса, не обнаружил признаков собственного магнитного поля планеты. Верхний предел возможного магнитного момента Мар-

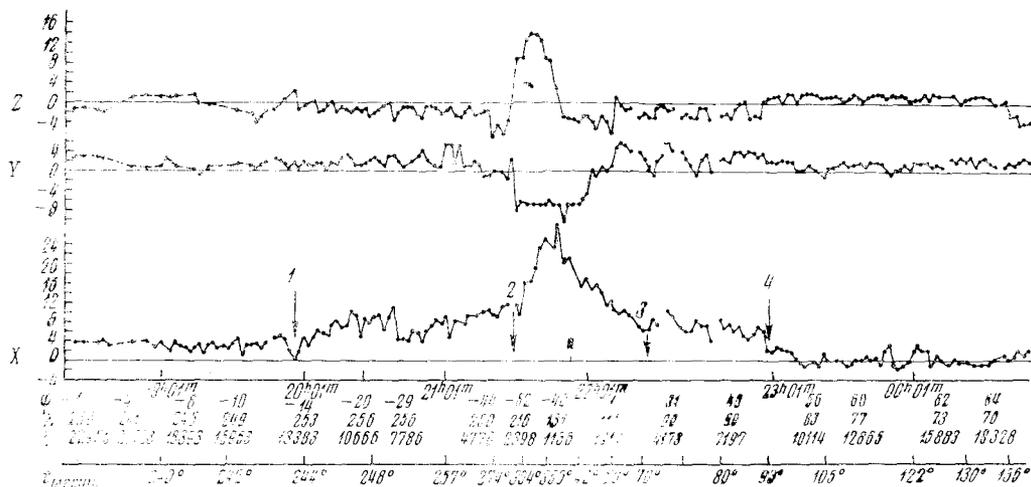


Рис. 1. Магнитограмма спутника Марс-3 21 I 1972. *y* — компонента поля направлена на Солнце; *x* — на полюс мира; *z* — в направлении, дополняющем до правой системы координат. По горизонтальной оси отложены: ареоцентрические координаты, московское время, местное время в градусах (местный полдень — 0°)

са  $M_M \leq 10^{-4} M_Z$  ( $M_Z$  — магнитный момент Земли) был оценен исходя из предположения о пересечении станцией Маринер 4 ударного фронта на больших расстояниях при углах 110–150° с линией Солнце — Марс (1).

Неопределенность положения ударного фронта в подсолнечной области допускала объяснение его возникновения действием двух различных моделей «препятствий»: магнитопаузы (2) или ионопаузы (3).

Характер магнитного поля. На рис. 1, 2 представлены магнитограммы со спутника Марс-3, полученные в сеансах с максимальной частотой измерений. Каждая точка на рис. 1 — среднее значение из 8 измерений.

Непосредственные отсчеты и средние значения поля обнаруживают характерные изменения, позволяющие выявить области с различными физическими свойствами. Границы областей на рис. 1 отмечены цифрами 1–4.

На магнитограмме до  $19^{\text{h}}57^{\text{m}}$  (<sup>1</sup>) компоненты  $x$ ,  $y$ ,  $z$  по величине и характеру поля соответствуют измерениям в солнечном ветре. В интервале, ограниченном цифрами 1 и 2, величина поля и уровень флуктуаций заметно увеличены, как это наблюдается в переходной области между ударным фронтом и границей препятствия.

Резкое одновременное изменение знака поля компонент  $y$  и  $z$  в точке 2 и возврат к прежним направлениям в точке 3 скорее соответствует «магнитосферной» форме границы, чем эффекту обтекания регулярной компоненты межпланетного поля в переходной зоне. Известно, что эта компонента меняет свой знак в направлении утро — вечер за фронтом земной ударной волны только при смене знака солнечного поля (<sup>4</sup>). Точка 4 разделяет области переходной зоны и солнечного ветра на вечерней стороне. Максимальное значение поля,  $27 \gamma$ , отмечено между точками 2 и 3 в области периферии почти в местный полдень.

Магнитограмма рис. 2 получена со спутника Марс-3 18 IV 1972. В этот период высота периферии была уже на 1100 км больше, чем в сеансе 21 I 1972 (рис. 1). Ударный фронт был пересечен на высоте 2350 км. Далее спутник двигался к периферии, приближаясь к полуденному меридиану. При солнечном происхождении поля в этой области следовало бы ожидать максимальное усиление напряженности поля. Между тем, на магнитограммах 6 и 18 IV 1972 ни в периферии, ни в других местах не

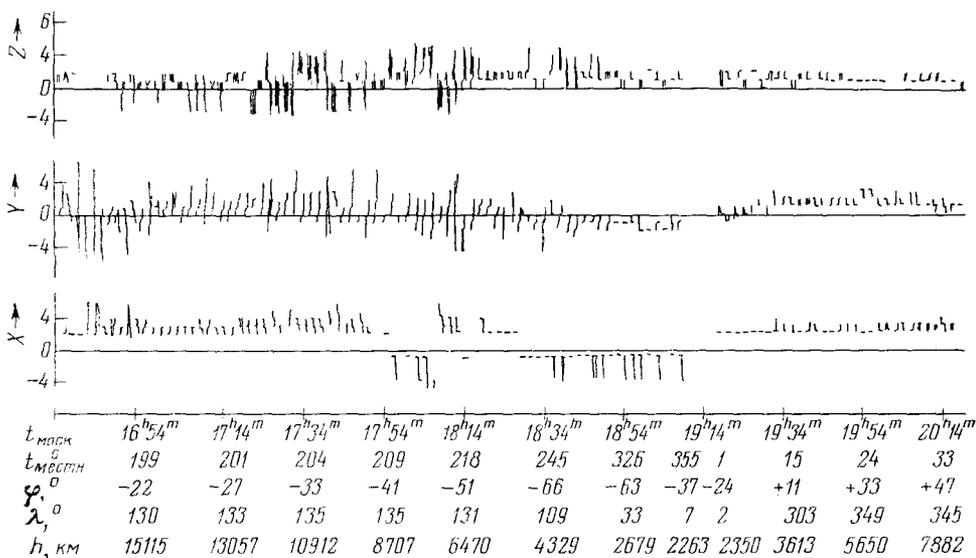


Рис. 2. Магнитограмма спутника Марс-3 18 IV 1972. Обозначения те же, что на рис. 1.

отмечены поля значительной интенсивности. Максимальные поля ( $\sim 6 \gamma$ ) в обоих случаях отмечены на больших высотах с ночной стороны.

В табл. 1 сведены данные, относящиеся к измерениям в области периферии во всех сеансах: координаты и местное время периферии, максимальное значение измеренной скалярной величины поля, вероятный уровень активности на орбите Марса по данным наземных  $K$ -индексов и времени смещения  $\tau$  в событиях на Земле и Марсе, частота измерений в сеансе.

В табл. 2 приведены данные о пересечении ударного фронта и «магнитоплаузы», установленные по магнитограммам с максимальной опросностью.

Данные о плазме. Сведения об изменении потока электронов и вычисленные значения плотности электронов, известные пока для периода  $15^{\text{h}}-02^{\text{h}} 21-22 \text{ I } 1972$  (Марс-3), любезно предоставлены нам К. И. Грингаузом. Эти данные указывают, что: а) плотность  $n$  и скорость  $v$  электронов в солнечном ветре составляла  $0,4 \text{ см}^{-3}$  и  $400 \text{ км/сек}$ , плотность вблизи

Таблица 1

Дата	Перицентр			$t_{\text{мест}}$ , град.	Активность		T $\gamma$ max	Опросность (мин.)
	$\varphi$ , °	$\lambda$ , °	$h$ , км		$\tau$	$K_p$		
Марс-2 вращался со скоростью 0,001—0,005° в 1 сек. вокруг оси Y								
14 XII 1971	-28	189	1094	63	+1,5	1	30	10
18 XII	-37	167	1224	21	+1,6	2	46	10
24 XII	-21	251	1251	66	+1,7	2	16	20
8 I 1972	-22	155	1074	31	+2,2	3	27	2
Марс-3, солнечно-звездная ориентация								
21 I	-40	131	1136	34	+2,7	5	27	2
6 IV	-39	284	2055	0	+5,1	2	3	2
18 IV	-37	7	2263	355	+5,6	4	3	2

планеты — 0,6—0,8 см<sup>-3</sup>; б) максимумы поля и потока электронов в области перицентра не совпадают в пространстве.

Природа наблюдаемого поля. Поле, обнаруженное вблизи Марса, может быть; а) полем солнечного ветра, которое усилено токами, индуцированными в ионосфере планеты <sup>(5)</sup>, а также обжатием в переходной зоне между ударным фронтом и препятствием <sup>(6)</sup>; б) собственным магнитным полем планеты.

Численные расчеты обтекания солнечным ветром ионосферы Марса <sup>(3, 6)</sup> приводят к значениям высоты «препятствия» 170 км и высоты ударного фронта 1400 км в подсолнечной точке. Это не согласуется с высотами ударного фронта 3400 км и 2350 км, определенными при углах 22° и 31° относительно линии Солнце—Марс 6 и 18 IV 1972 (Марс-3), со значением средней высоты «препятствия» (990 км), вычисленной по известным формулам <sup>(7)</sup> из данных о положении ударного фронта, и с реально наблюдаемыми высотами границы «магнитосферы», приведенными в табл. 2.

Измеренные поля несколько выше допускаемых теоретическими моделями обтекания. По расчетам <sup>(8)</sup> при угле между вектором скорости и направлением поля ~60° в переходной зоне у Земли межпланетное поле может быть усилено в 5 раз. Расчеты, выполненные для Марса <sup>(9)</sup>, приводят к меньшим коэффициентам усиления — 1,08—3. Максимальное поле  $B = (8\pi n v^2)^{1/2}$  в сеансе 21 I 1972 могло достигать 18  $\gamma$ .

Наблюдаемые положения ударного фронта, величина и топология поля легко объясняется при допущении, что на спутниках Марс-2 и Марс-3 измерено собственное поле Марса, деформированное солнечным ветром.

1. Средние значения гауссовых коэффициентов дипольного поля, определенные по максимальным отсчетам 21 I 1972, равны:  $\bar{g}_1^0 = 19 \gamma$ ,  $\bar{g}_1^1 = -29 \gamma$ ,  $h_1^1 = 54 \gamma$ . Величина  $H_0 = (\bar{g}_1^0{}^2 + \bar{g}_1^1{}^2 + h_1^1{}^2)^{1/2}$  характеризует экваториальное поле, а его произведение на  $R_M^3$  численно равно магнитному дипольному моменту.  $H_0 = 64 \gamma$ ,  $M_M = 2,47 \cdot 10^{22}$  гаусс·см<sup>3</sup>. Среднее значение

Таблица 2

Спутник	Дата	Пересечение ударного фронта			Границы «магнитопаузы»		
		$t_{\text{моск}}$	угол О—М—С, град.	$h$ , км	угол О—М—С, град.	$h$ , км	$\varphi$ , град.
Марс-3	21 I 1972	19 <sup>h</sup> 57 <sup>m</sup>	111	13800	69	2845	-59
		22 <sup>h</sup> 59 <sup>m</sup>	99	7900	60	1960	+3
	6 IV	6 <sup>h</sup> 20 <sup>m</sup>	22	3400	—	—	—
Марс-2	18 IV	19 <sup>h</sup> 14 <sup>m</sup>	31	2350	—	—	—
	8 I	19 <sup>h</sup> 56 <sup>m</sup>	77	4770	60 43	3173 1183	-44 -9

$H_0$  из 20 измерений, выполненных на расстояниях 4900–7500 км от центра планеты, составляет 67  $\gamma$ . По данным сеанса 8 I 1972 (Марс-2)  $\bar{g}_1^0 = 6 \gamma$ ,  $\bar{g}_2^1 = -10 \gamma$ ,  $\bar{h}_1^1 = 57 \gamma$ ,  $H_0 = 60 \gamma$ ,  $M_M = 2,3 \cdot 10^{22}$  гаусс  $\cdot$  см<sup>3</sup>.

2. При магнитном моменте  $M_M = 2,4 \cdot 10^{22}$  гаусс  $\cdot$  см<sup>3</sup> и измеренной плотности частиц координаты ударного фронта и границы «магнитосферы», определенные экспериментально, согласуются с рассчитанными по формулам газодинамики (7), что иллюстрируется рис. 3.

Рис. 3 объясняет также отличие магнитограмм 6 и 18 IV 1972 от магнитограмм 21 I 1972 и других сеансов. В сеансе 21 I 1972 перигецентр орбиты находился внутри «магнитосферы» при  $n = 0,5$  и  $n = 1$  см<sup>-3</sup>. Перигецентры орбит 6 и 18 IV 1972 лежат на границе «магнитосферы», построенной при плотности частиц в солнечном ветре  $n = 0,5$  см<sup>-3</sup>. В обоих сеансах перигецентры находились на полуденном меридиане. Точно в полдень в сеансах 6 и 18 IV 1972 граница «магнитосферы» оказалась ниже высоты перигецентра; поле планеты ограничено с дневной стороны.

3. Несовпадение максимумов поля и потоков электронов также свидетельствует не в пользу модели усиленного поля солнечного происхождения.

Таким образом, совокупность данных о положении ударного фронта, границ «препятствия», топологии и величине поля, интенсивности солнечного ветра наиболее естественно объясняется предположением, что планета Марс обладает собственным магнитным полем с дипольным моментом, равным  $2,4 \cdot 10^{22}$  гаусс  $\cdot$  см<sup>3</sup>, и напряженностью на магнитном экваторе  $\sim 60 \gamma$ . Вероятно, наблюдаемое поле имеет палеомагнитную природу.

Трехкомпонентные феррозондовые магнитометры сконструированы и изготовлены в ОКБ Министерства геологии СССР. В подготовке аппаратуры приняли участие А. М. Амелькин и Л. Г. Кадинская.

Авторы выражают благодарность организациям и лицам, участвовавшим в эксперименте и обсуждении данных.

Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн Академии наук СССР

Поступило  
19 VII 1972

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> E. J. Smith, L. J. Davis et al, Science, 149, 1241 (1965). <sup>2</sup> M. Dryer, G. R. Heckman, Solar Phys., 2, № 1, 113 (1967). <sup>3</sup> J. S. Speiter, A. W. Rizzi, Planetary and Space Sci., 20, № 2 (1972). <sup>4</sup> D. N. Fairfield, J. Geophys. Res., 72, № 23, 5865 (1967). <sup>5</sup> A. J. Dessler, In: The Atmosphere of Venus and Mars, N. Y., 1968, p. 241. <sup>6</sup> J. R. Spreiter, A. L. Summers, A. W. Rizzi, Planetary and Space Sci., 18, 1231 (1970). <sup>7</sup> T. Obayashi, J. Geophys. Res., 69, 861 (1964). <sup>8</sup> A. Alksne, Planetary and Space Sci., 15, 239 (1967). <sup>9</sup> P. A. Cloutier, M. V. Mcelroy, F. C. Michel, J. Geophys. Res., 74, № 26, 6715 (1969).

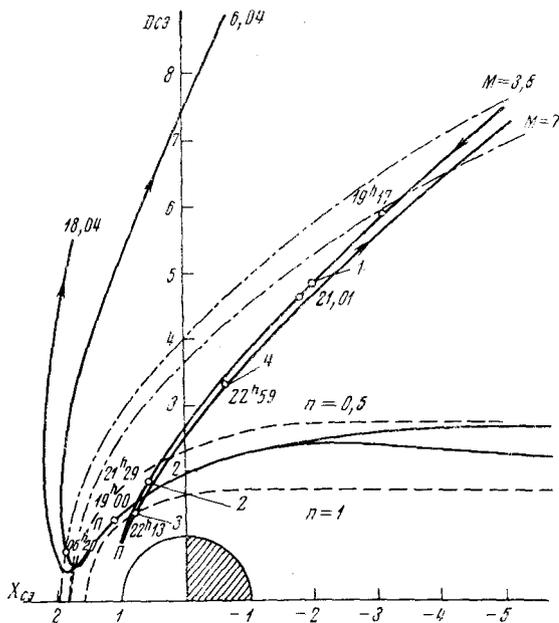


Рис. 3. Проекция орбит спутника Марс-3 на плоскость  $x-D$ . Ось  $x$  в плоскости эклиптики направлена на Солнце.  $D = (y^2 + z^2)^{1/2}$ ;  $z$  — направлена на полюс мира;  $y$  — дополнение до правой системы координат. Магнитосфера при  $n = 0,5$  см<sup>3</sup> и  $n = 1$  см<sup>3</sup>, положение ударного фронта — штрих-пунктир