

М. Б. ГОХБЕРГ, О. А. ПОХОТЕЛОВ, В. А. ТРОИЦКАЯ

О ВОЗМОЖНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТРУКТУРЫ СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ МАГНИТОСФЕРЫ ПО НАЗЕМНЫМ ДАННЫМ

(Представлено академиком М. А. Садовским 30 III 1976)

1. Впервые задача о собственных колебаниях магнитосферы была поставлена Дж. Данжи (¹). Им были выведены два связанных друг с другом одномерных волновых уравнения, описывающие колебания альфвеновского и магнитозвукового типа. Большое число работ посвящено исследованию этих уравнений и интерпретации на их основе некоторых типов геомагнитных пульсаций (²⁻⁴). Однако аналитическое решение их удастся получить только ценой целого ряда упрощений поставленной задачи и, как

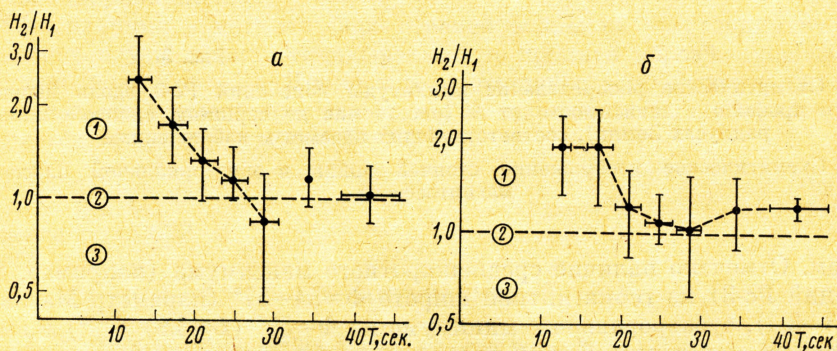


Рис. 1. Зависимость отношения амплитуд полного горизонтального вектора H_2 (станция Ivalo, $L=5,5$) к H_1 (станция Kevalo, $L=6,0$) от периода пульсаций Pc-3. а — 18 X 1974, б — 18–23 X 1974. Области 1, 2, 3 соответствуют положению аврорального максимума на $L \approx 4,5-5,5$, $5,5-6$ и >6 . Вертикальные отрезки — среднеквадратичное отклонение, горизонтальные — средние по периодам Pc-3

правило, в физически малоинтересных случаях. В работе (⁵) была принята попытка численного решения уравнений для собственных колебаний магнитосферы. При этом, однако, ввиду отсутствия точных сведений о параметрах магнитосферной плазмы при численном решении этих уравнений имеется значительный произвол.

В данной работе обращается внимание на возможность решения поставленной в работе (¹) задачи, основываясь на наземных наблюдениях геомагнитных пульсаций.

2. Общепринятым считается, что геомагнитные пульсации являются либо альфвеновскими, либо магнитозвуковыми волнами. Однако в силу того, что они в магнитосфере могут быть связанными, разделение этих волн является условным. Действительно, многочисленные измерения при помощи спутников (^{6, 4}) свидетельствуют о наличии в магнитосфере колебаний смешанного типа, представляющих как сжатие, так и изгиб силовых линий магнитного поля. Поэтому колебания, у которых $B_{\parallel}$ (изгиб силовой линии) много больше $B_{\perp}$ (сжатие), условно принято считать альфвеновскими. В то время как магнитозвуковым волнам соответствует $B_{\parallel} \gg B_{\perp}$.

Наличие указанной связи в реальной магнитосфере позволяет обсудить гипотезу о возможности возникновения в экваториальной области магнитосферы, ограниченной ионосферой и магнитопаузой, собственных «связанных» магнитогидродинамических колебаний. Ниже предлагается возможное объяснение наблюдаемой на земной поверхности пространственной структуры геомагнитных пульсаций как отражение наличия в магнитосфере узлов и пучностей стоячей магнитогидродинамической волны.

3. Многочисленные наземные наблюдения геомагнитных пульсаций указывают на немонокотонное увеличение их интенсивности к полярным

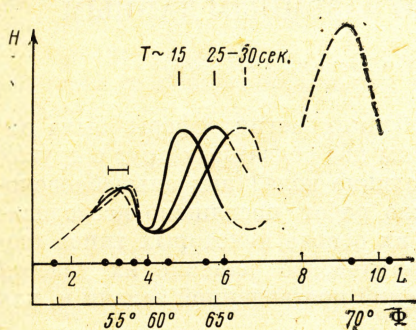


Рис. 2

Рис. 2. Схематическое распределение амплитуды колебаний Рс-3 вдоль меридионального профиля в зависимости от L (расстояние до вершины силовой линии в радиусах Земли), соответствующих наземным наблюдениям

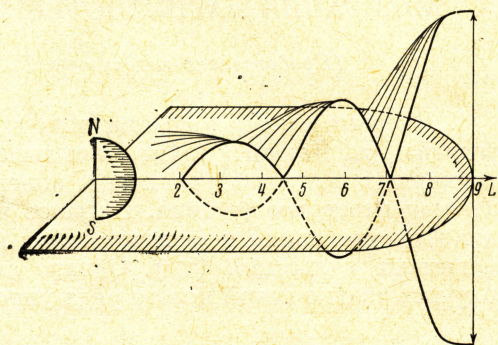


Рис. 3

Рис. 3. Схематическое изображение стоячей волны в экваториальной плоскости магнитосферы

широтам. Отмечено наличие среднеширотного максимума (например, для пульсаций Рс-3) на геомагнитной широте $\Phi \approx 54-57^\circ$ (параметр Маклвайна $L \approx 3-3,4$), субаврорального минимума на $\Phi \approx 59^\circ$ ($L \approx 3,8$)⁽⁷⁻¹⁰⁾ и высокоширотного максимума $\Phi \approx 70^\circ$ промежуточного аврорального максимума.

Таким образом, наблюдаемая на земной поверхности «гофрированная» структура пространственного распределения амплитуды пульсаций, а именно: чередование максимумов и минимумов, может быть результатом возникновения стоячей волны, причем пространственная длина волны должна определяться как удвоенное расстояние между соседними максимумами. При этом очевидно, что вариации с различными периодами колебаний должны быть пространственно разделены.

Покажем это на примере аврорального максимума.

В работе⁽¹¹⁾ показано, что положение среднеширотного максимума мало подвержено влиянию Кр-индекса. Поэтому для первых грубых оценок мы будем считать, что для него $L = 3,25 \pm 0,25$. Естественно, что более тонкие спектрально-временные методы анализа позволят в дальнейшем выяснить особенности положения этого максимума для различных периодов, однако, как уже говорилось, для грубых оценок достаточно использовать результаты работ^(8, 11). Положение высокоширотного максимума, поскольку он является отражением структуры волны в пограничных областях магнитосферы, более подвержен влиянию внешних факторов, может, вообще говоря, сильно меняться. Однако ограниченность данных (всего одна станция в области максимума)⁽¹⁰⁾ не позволяет пока выяснить эти особенности. Большие градиенты амплитуд пульсаций Рс-3 в авроральной области, а также более густая сеть станций⁽¹¹⁾ позволили обнаружить в этой области пространственное разделение волн с разными периодами.

Действительно, если построить отношение амплитуд полного горизонтального вектора H_2/H_1 на двух станциях (индексы 1, 2 соответствуют станциям с $L=6$ и 5,5) от периода колебаний Рс-3, то видна достаточно четкая зависимость до периодов $T=30$ сек. (рис. 1). Для периодов $T \approx 25-30$ сек. статистически отношение $H_2/H_1 \approx 1$, что говорит о наличии максимума между $L=5,5-6$. В тех случаях, когда все же амплитуда на станции с $L=6$ несколько выше, чем на станции с $L=5,5$, можно ожидать наличия максимума за $L=6$, поскольку, исходя из данных работы (¹¹), отношение амплитуд на более южной паре станций $H_2/H_3 > 1$ (индекс 3 соответствует станции с $L=4,5$), и в тех случаях к северу отмечается сильное уменьшение градиента амплитуды. Для малых периодов отношение растет и $H_2/H_1 > 1$, что говорит о смещении аврорального максимума к югу с уменьшением периода. Так, для пульсаций Рс-3 с периодом 12–20 сек. максимум должен находиться между $L=4,5-5,5$.

Схематическая картина распределения авроральных максимумов для разных периодов, дополненная данными работ (^{8, 10, 11}), представлена на рис. 2. Если оценить пространственную длину волны для пульсаций с различным периодом, то, например, $\lambda/2 \approx 2,5R_E = 1,5 \cdot 10^4$ км для $T=25-30$ сек. и $\lambda/2 \approx 1,75R_E \approx 10^4$ км для $T \approx 15$ сек. Скорость, вычисленная по этим данным, оказывается 1000–1400 км/сек, что соответствует общепринятым представлениям о скорости распространения гидромагнитных колебаний в магнитосферной плазме.

При наличии в магнитосфере стоячей волны на расстоянии от Земли до магнитопаузы должно укладываться, по крайней мере, полуцелое число полудлин волн (рис. 3). Кроме того, длительность процесса должна быть много больше времени пробега волны от магнитопаузы к Земле, что выполняется, например, для колебаний Рс-3.

Институт физики Земли
им. О. Ю. Шмидта
Академии наук СССР
Москва

Поступило
15 III 1976

ЛИТЕРАТУРА

- ¹ J. W. Dungey, Pennsylvania State Univ. Sci. Rep., № 69 (1954). ² H. R. Radoski, R. L. Carovilano, Phys. Fluids, v.9, 285 (1966). ³ Ю. Л. Москвин, Д. А. Франк-Каменецкий, ДАН, т. 174, 1079 (1967). ⁴ А. В. Гульельми, В. А. Троицкая, Геомагнитные пульсации и диагностика магнитосферы, М., «Наука», 1973. ⁵ W. D. Cummings, R. J. Sullivan, P. J. Coleman, J. Geophys. Res., v. 74, 778 (1969). ⁶ J. N. Barfield, R. L. McPherron, D. J. Southwood, J. Geophys. Res., v. 77, 143 (1972). ⁷ В. А. Гудкова, О. М. Располов и др., Геомагнетизм и аэрномия, т. 9, № 6 (1971). ⁸ L. A. Dmitrieva, Iu. A. Koryutenko et al., Ann. Geophys., v 31, 93 (1975). ⁹ Л. Н. Баранский, Т. П. Плясова-Бакунина и др., Геомагнетизм и аэрномия, т. 13, № 6, 1092 (1973). ¹⁰ Л. Н. Баранский, Т. А. Плясова-Бакунина, там же, т. 14, № 2, 337 (1974). ¹¹ Л. Н. Баранский, М. Б. Гохберг и др., В кн.: Исследования по геомагн. аэрном. и физика Солнца, Иркутск, 1967.