Топологические К-преобразования на сферической поверхности и проблема структурного моделирования солнечного магнитного цикла

В.П.Михайлуца, М.П.Фатьянов

Горная асторномическая станция ГАО РАН, Кисловодск

В работе описана модель эволюции на сфере динамической К-системы (подобной преобразованию Пуанкаре [1]), которая в ходе эволюции проходит последовательные состояния фрагментации и объединения подмножеств зонального и секторного типов. Применение для модели преобразования пекаря позволяет получить особую картину эволюции сиистемы, подобную дипольно- квадрупольному переходу в цикле активности. Более адекватная структурная модель магнитного цикла должна воспроизводить и другие характерные признаки цикла эволюции крупномасштабного магнитного поля Солнца. По мнению авторов, в первую очередь необходимо обеспечить следующие наблюдательные положения: 1. Укрупнение доминирующей моды на ветви спада цикла после периода хаотизации до появления моды зонального осевого диполя. 2. Трансформация картины зональных мод в тессеральные при переходе через минимум активности. 3. Дефрагментация структур поля и почти полная хаотичность системы на ветви роста активности. 4. Циклическое повторение пп. 1-3 (модель солнечного цикла). 5. Наиболее известное свойство эволюции магнитного поля от цикла к циклу – обращение знака полярного магнитного поля Солнца. Мы сформулировали его как выход из эпохи хаотизации и воспроизведение фазы низких зональных мод со сменой знака магнитного поля на полюсах.

Рекуррентное применение преобразования пекаря соответствует дискретному динамическому процессу, сохраняющему меру (на плоскости - площадь квадрата, а в случае нашей модели – площадь поверхности сферы). В целом свойства этой динамической системы таковы, что ее динамика консервативна, обратима во времени, возвратна и хаотична [2]. Эти же свойства характерны и для многих реальных динамических систем со сложным поведением, например магнитные циклы Солнца и звзд. Авторы использовали алгоритм преобразования пекаря в модифицированном виде, поскольку требовалось учитывать геометрические особенности модели на сфере. Уравнение эволюции такой системы впервые было описано в [3]

Первоначально на основе преобразования пекаря была создана молель системы в которой магнитное поле на поверхности сферы, было определено как непрерывная и гладкая функция координат. Были получены двумерные картины эволюции этой модели, удовлетворяющую пп.1-3. Попытки создать обратимую во времени модель на основе ПП на сфере не привели к положительному результату. Это объясняется следующими причинами.

1) Существованием точек сингулярности вблизи полюсов. Локальные поля, принимающие вблизи этих точек почти экстремальные значения переносятся затем в зону экватора. В эпохи. когда преобладают крупные регулярные моды поля на сфере, это обстоятельство не приводит к нарушениям в последовательной смене

состояний. Но в фазе состояний с большой хаотизацией дальнейшая эволюция системы становится полностью непредсказуемой. При создании модифицированной модели требуется дополнительно либо обходить точки сингулярности, либо сглаживать значения поля вблизи полюсов.

2) При аппроксимации поля непрерывной функцией невозможно определить критическую величина порога дискретизации, или размер тех элементарных "волокнистых" подмножеств, на которые разбивается поверхность сферы при ее переходе в каждое последующее фазовое состояние.

С этой целью исходные данные распределений магнитного поля по поверхности Солнца были преобразованы в квадратные матрицы размером кратным числу 2. В трех вариантах по разбиениям на количество ячеек, это были матрицы состояний размером 8 x 8, 16 x 16, 32 x 32, элементов. Эти элементы матриц соответствуют размеру намагниченной элементарной (далее уже не трансформируемой преобразованием пекаря) площадки поверхности последовательно: 22o x 45o, 11o x 22,5o и 5,5o x 11,25o гелиографических градусов (размер: широта x долгота в приэкваториальной зоне).

Результаты моделирования.

1) Очень важно, что зональные и секторные состояния структуры полярностей крупномасштабного магнитного поля Солнца в цикле активности (диполь - квадруполь) легко реализуются преобразованием пекаря на сфере. Это свидетельствует о том, что принципы детерминированной хаотичности приложимы к задачам исследования причин магнитной цикличности Солнца.

2) Картина преобразований решающим образом зависит от размера элементарной ячейки полярности крупномасштабного магнитного поля Солнца. Картина, согласующаяся с реальной, получается лишь при размере ячейки порядка или более 20 гелиографических градусов. Таким образом, активные области здесь выпадают из дипольно-квадрупольных преобразований структур полярностей глобального поля Солнца. На наш взгляд это общий и важный результат.

3) От состояния секторного квадруполя к зональному диполю динамическая система проходит за количество шагов (5-7), которое на порядок меньше, чем от зонального диполя к секторному квадруполю (25). Это может означать, что в реальных системах из секторных полей гораздо легче получаются зональные, чем из зональных - секторные

4) Наблюдается обращение полярности зонального диполя после двух циклов максимальной хаотизации. По прохождении системой четырех подобных циклов модель приходит в состояние с обращенными тесеральными гармониками. Этот эффект предстоит проверить специальной обработкой данных по крупномасштабным структурам полярностей за период 8 - 12 циклов активности.

Литература

1.Заславский Г.М., Сагдеев Р.З.: Введение в нелинейную физику,1988, М., Наука, 380 с.
2.Николис Г., Пригожин И.: Познание сложного. 1990, М.,Мир, с 342.
3.Pakonski P.,Ostruszka A., Zyczkowski K.: Quantum baker map on the sphere. 1998, preprint chao-dyn/9805020 23 May 1998.