УДК 517.9

Сценарий пересоединения в короне солнца с простой дискретизацией

О.В. Починка[1]

Национальный исследовательский университет
Высшая школа экономики[1]

В серии относительно недавних работ специалистов в области магнитной гидродинамики (МГД) (см, например, [1], [2] и др.) было показано, что такие явления, как вспышки на Солнце и других звёздах, суббури в магнитосферах планет, различные эффекты в лабораторной плазме в качестве физической основы имеют пересоединение магнитных силовых линий. Наиболее яркие свидетельства магнитного пересоединения были обнаружены в короне Солнца.

Магнитное пересоединение в трёхмерном случае можно описать как изменение состояния плазмы, при котором два элемента плазмы, вначале связанные силовой линией, после перестают быть ею связанной. Точки, в которых магнитное поле равно нулю, называются нейтральными, или нулевыми точками. Из результатов МГД следует, что с точки зрения теории динамических систем в типичном случае нулевые точки суть трёхмерные структурно устойчивые сёдла, такие, что сумма характеристических чисел данного седла равна нулю. Нулевая точка называется положительной, если среди собственных чисел соответствующего седла одно положительное и два. Нулевая точка называется отрицательной, если среди собственных чисел одно отрицательное и два положительных. Одномерную сепаратрису седла в МГД называют шипом, а двумерную сепаратрису веерной поверхностью.

В ряде случаев процессы пересоединения связанны с появлением и исчезновением так называемых гетероклинических сепараторов – магнитных линий, соединяющих нулевые точки векторного поля, одновременно являющихся пересечением веерных поверхностей. В теории динамических систем такие объекты называют гетероклиническими кривыми. Подробное физическое и математическое описание процессов пересоединения можно посмотреть в книге [2], с. 233-240. Более подробно о моделировании явлений в плазме методами теории динамических систем можно прочитать, например, в работах [3] и [4].

Модель, рассматриваемая в данной статье, имеет следующую структуру. Трёхмерную замкнутую ограниченную область магнитного поля, из которой все линии магнитного поля выходят, считают источниковой областью и условно рассматривают как источник. Трёхмерную замкнутую ограниченную область магнитного поля, в которую все линии магнитного поля входят, считают стоковой областью и условно рассматривают как сток. Мы будем рассматривать магнитное поле с двумя источниковыми, двумя стоковыми областями и двумя нулевыми точками – положительной и отрицательной, веерные поверхности которых пересекаются не менее, чем по одному гетероклиническому сепаратору. Рассмотренная модель с точки зрения теории

динамических систем представляет собой поток на сфере S^3, неблуждающее множество которого состоит в точности из двух источников, двух стоков и двух сёдел разного топологического индекса.

В настоящей работе описан одни из возможных сценариев рождения гетероклинических сепараторов в солнечной короне (см. [5], [6]). Именно, в пространстве потоков, обладающих описанными выше свойствами, мы строим простой путь с двумя седло-узловыми бифуркационными точками, соединяющий систему без гетероклинических кривых с системой с двумя гетероклиническими кривыми. Или, в терминологии МГД, нами построен путь, связывающий магнитное поле с двумя нулевыми точками разного знака, веерные поверхности которых не пересекаются, с магнитным полем с двумя нулевыми точками и двумя гетероклиническими сепараторами, их соединяющими. Отметим, что дискретизация такого пути также является простым путём в пространстве соответствующих диффеоморфизмов.

Благодарности: Работа выполнена в рамках проекта РНФ 17-11-01041.

Литература

1. Сыроватский С.И. Магнитная гидродинамика // Успехи физических наук, 1957, Т. LXII, № 7, С. 247-302.
2. Priest E.R., Forbes T.G. Magnetic reconnection: MHD theory and applications. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 2007. 616 pp. спектральных характеристик фредгольмова оператора // Журнал Средневолжского математического общества. 2013. Т. 15. № 3. С. 100-107.
3. Grines V., Medvedev T., Pochinka O., Zhuzhoma E. On heteroclinic separators of magnetic fields in electrically conducting fluids // Phisica D: Nonlinear Phenomena. 2015. Vol. 294. pp. 1-5.
4. Жужома Е. В., Медведев В. С. Рождение сепараторов в магнитных полях // Динамические системы. 2016. Т. 6(34). № 1. С. 35-45.
5. Browns D. S., Priest E. R. The topological behaviour of stable magnetic separators // Solar Physics. 1999. Vol. 190. pp. 25-33.
6. Haynes A. L., Parnell C. E., Galsgaard K., Priest E. R. Magnetohydrodynamic evolution of magnetic skeletons // Proceeding of the Royal Society A. 2007. Vol. 463. pp. 1097-1115.

MSC 37D15

Scenario of reconnection in the solar corona with a simple discretization

O. V. Pochinka[1]

National Research University Higher School of Economics[1]