ДОЛГОПЕРИОДИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ СОЛНЕЧНЫХ ПОР НА СТАДИИ ИХ ДИССИПАЦИИ

Ефремов В.И., Парфиненко Л.Д., Соловьев А.А.

Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН, Санкт-Петербург, Россия

LONG-TERM OSCILLATIONS OF SOLAR PORES AT THE STAGE OF SLOW DISSIPATION

Efremov V.I., Parfinenko L.D., Solov'ev A.A.

Central astronomical observatory at Pulkovo of RAS, St. Petersburg, Russia

Based on observations by the Helioseismic and Magnetic Imager (HMI) of Solar Dynamics Observatory (SDO) for two solar pores, the long-term variations of their magnetic field with periods in the range of 4–8 hours are studied. The first pore was a solitary object and the second was situated in active region. The specific character of the magnetic field oscillations was revealed: both the amplitude and the period of oscillations increased significantly during the observation. Such a regime of oscillations is typical for the systems with the effective rigidity decreasing in time. Earlier it was discovered for solar facular knots [Kolotkov et al., 2017], and now, in the present work, the same phenomenon is established for the solar pores.

DOI: 10.31725/0552-5829-2018-165-168

1. Введение

В факельных полях активных областей присутствуют три типа магнитных структур: 1. Короткоживущие элементы малых масштабов (время жизни 5–15 минут, размеры – 0.5–1 угловая секунда [De Pontieu et al., 2006; Berger et al., 2007], напряженность магнитного поля близка к условиям равнораспределения, 200–300 Гс). 2. Факельные узлы (knots) более стабильные и крупномасштабные светлые образования, со временем жизни до 1 суток и более, размерами в несколько Мм и напряженностью магнитного поля от 300 до 1200 Гс. Факельные узлы имеют узкую центральную депрессию и в этом отношении уже близки по своим свойствам к порам. 3. Поры – темные малые пятна без полутени, время жизни – несколько дней, поперечные размеры – до 8 Мм, напряженность магнитного поля от 1200 до 1500 Гс. Для структур 1-го типа характерны «гранульные» масштабы: диаметр 0.3–0.7 Мм, время жизни 5–10 минут, они хорошо описываются численными симуляциями в рамках представлений о магнитоконвекции [Keller et al., 2004]. В факельных узлах наблюдаются колебания с периодами от 1 до 4 часов, которые, очевидно, отражают осцилляции этих структур как целостных магнитных образований около положения их равновесия [Kolotkov et al., 2017; Strekalova et al., 2016]. Поры существуют уже несколько дней, для них можно отследить фазу медленного, но значительного изменения магнитного поля в них и исследовать характер коле-

баний этого поля на данной стадии. Характерно, что начиная с факельных узлов, все магнитные элементы в иерархии масштабов сохраняют свою «структурную идентичность». Это означает, что даже на стадии «гибели» - стадии медленной диссипации, когда параметры объекта (площадь, магнитное поле и т. д.) сильно, но плавно меняются он, при этом, еще уверенно отождествляется и отслеживается на магнитограмме как один и тот же уединенный, самостоятельный элемент. Это позволяет для объекта типа «пора», существующего, как правило, несколько дней, выделить в наблюдении, как стационарную фазу его существования, так и фазу медленной диссипации. В этой фазе параметры системы меняются значительно. Меняется, разумеется, и эффективная жесткость системы, что приводит к изменению характера собственных колебаний системы. Поскольку в колебания такого объекта, как целостной магнитной структуры, вовлекаются значительные массы вещества, то их периоды оказываются много больше (часы), чем для колебаний, вызываемых прохождением МГД-волн по объему объекта (5–15 минут).

2. Наблюдательный материал и результаты

В качестве наблюдательного материала были использованы магнитограммы, полученные космическим аппаратом SDO/HMI с каденцией 12 минут и длительностью наблюдения 40–100 часов. Для исследования характера колебаний магнитного поля в поре на стадии медленной диссипации поля, были выделены два типа пор: поры в активных областях, входящие в факельное поле или находящиеся вблизи его, и уединенные поры. Рассмотрим два типичных примера.

3. Пора в активной области.

Наблюдение 2018/05/11-13 (A)NOAA12709

На рис. 1 (слева) представлена кривая изменения магнитного поля в поре частично в конце интервала ее стационарного существования, затем

Рис. 1. Слева: изменение магнитного поля в поре. Отмечены стрелками: область диссипации, точка исчезновения и область поля равнораспределения. Справа: в области диссипации наблюдается увеличение периода и амплитуды колебаний поля.

на стадии медленной диссипации и, наконец, на стадии развала - выхода на область поля равномерного распределения. Падение напряженности магнитного поля в зоне диссипации поры произошло от 1400 до 450 Гаусс, что соответствует уменьшению магнитного давления, определяющего упругость системы, в 10 раз! Как следствие этого, в соответствии с теоретической моделью [Solov'ev et al., 2017], описывающей малые колебания системы с убывающей во времени жесткостью, нарастает и амплитуда, и период колебаний (рис. 1, справа). После исчезновения поры во фрейме наблюдается поле равномерного распределения магнитных элементов ~ 300 G (это – короткоживущие мелкие факелы гранулярных масштабов).

4. Уединенная пора.

Наблюдение 2014/07/07-08

На рис. 2 (слева) дана кривая изменения магнитного поля в поре на стадии медленной диссипации, справа – характер колебаний поля на этой стадии.

Рис. 2. Слева: изменение магнитного поля в поре. Отмечены область диссипации и точка исчезновения поры. Справа: в области диссипации наблюдается увеличение периода и амплитуды колебаний магнитного поля.

Падение напряженности магнитного поля в зоне диссипации поры наблюдается с 1550 до 450 гаусс, что соответствует уменьшению магнитного давления, определяющего упругость системы, $\sim$ в 12 раз! (слева). Снова, как следствие этого уменьшения жесткости системы, нарастает амплитуда и период колебаний (справа).

5. Выводы

1. Долгопериодические колебания магнитного поля солнечных пор в стадии диссипации имеют, как и факельные узлы, специфический характер: их амплитуда меняется за время наблюдения, и синхронно с ней изменяется в том же направлении и период колебаний, заключенный в диапазоне от 4 до 8 часов.

2. Характер колебаний одинаков как для уединенных солнечных пор, так и для пор активной области. На стадии медленной диссипации при значительном убывании магнитного поля он определяется только падением эффективной жесткости системы со временем.

3. По-видимому, такой колебательный режим характерен для любых магнитных образований на Солнце с убывающей эффективной жесткостью, но сохраняющих в течение времени наблюдения свою структурную идентичность.

Работа поддержана РФФИ (№18-02-00168) и РНФ(№15-12-20001).

Литература

- Berger T.E., Title A.M., Tarbell T.D. et al.* New Solar Physics with Solar-B Mission // ASP Conference Series, 2007, 369, 103-112
- De Pontieu B., Carlsson M., Stein R., et al.* // Ap. J., 2006, 646, 1405-1420.
- Keller C.U., Schussler M., Vagler A., Zakharov V.* // Ap. J., 2004, 607, L59-L62.
- Kolotkov, D.Y., Smirnova, V.V., Strekalova, P.V., Riehoakainen, A., Nakariakov, V.M.* Long-period quasi-periodic oscillations of a small-scale magnetic structure on the Sun // *Astronomy & Astrophysics*, 2017, V. 598, id. L2, P. 4.
- Solov'ev A.A., Kirichek E.A., Efremov V.I.* Eigen oscillations of facular knot on the stage of slow dissipation // *Geomag. & Aeronom.*, 2017, v. 57, № 8, 1101-1105.
- Strekalova, P.V.; Nagovitsyn, Yu.A.; Riehoakainen, A.; Smirnova, V.V.* Long-period variations in the magnetic field of small-scale solar structures // *Geomag. & Aeronomy*, 2016, V. 56, Issue 8, pp.1052-1059.