

ДОЛГОПЕРИОДИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ СОЛНЕЧНЫХ ПЯТЕН ПО ДАННЫМ SDO

Королькова О.А.¹, Живанович И.², Соловьёв А.А.¹

¹Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН, Санкт-Петербург, Россия

²Астрономическая обсерватория Белграда, Белград, Сербия

LONG-TERM OSCILLATIONS OF THE MAGNETIC FIELD OF SUN- SPOTS ACCORDING TO SDO DATA

Korolkova O.A.¹, Živanović I.², Solov'ev A.A.¹

¹Main (Pulkovo) observatory of RAS, St. Petersburg, Russia

²Astronomical observatory of Belgrade, Belgrade, Serbia

The study of long-period oscillations of solar formations, such as sunspots, chromospheric filaments, and coronal loops, is a relatively young but actively developing area of research in modern solar physics. Observations of the Sun with the Solar Dynamics Observatory (SDO) make it possible to detect oscillations of physical parameters of solar activity elements with periods ranging from several tens of minutes to several tens of hours. In the case of long-term oscillations, we observe a displacement along one or another direction of the physical body of the sunspot as a whole. Significant masses of matter are involved in such oscillations.

To identify the periods of magnetic field oscillations, we sampled sunspots from SDO data and applied Fast Fourier Analysis (FFT), one of the Fourier transforms widely used in time series analysis. FFT allows us to identify the most significant frequencies in a discrete signal. The obtained values of the oscillation periods of the selected sunspots agree well with the theoretical estimates obtained in [6].

<https://doi.org/10.31725/0552-5829-2024-177-180>

1. Введение

Современные космические наблюдения позволяют обнаруживать колебания физических параметров элементов солнечной активности с периодами от нескольких минут до нескольких десятков часов. Медленные колебательные процессы выражаются в том, что квазипериодически меняются параметры всей системы в целом, как единого магнитосвязанного объекта, смещающегося в поле сил тяжести. В такие колебания вовлекаются значительные массы вещества.

Исследованию колебаний хромосферных волокон и корональных петель посвящен ряд работ [2, 3]. Изучение низкочастотных колебаний пятен и связанных с ними миллиметровых радиоисточников представлено в работе [4]. В работе [1] представлены результаты исследования долгопериодических колебаний пятен по данным обсерватории SOHO. Были надежно обнаружены периоды в несколько десятков часов. Также эти периоды были разделены на различные моды, связанные с разными физическими процессами, происходящими в пятнах. В работе [6] была предложена теорети-

ческая модель «неглубокого» солнечного пятна, которая хорошо согласовывалась с наблюдательными данными.

В данной работе мы исследуем временные изменения напряженности магнитного поля в центре пятна по данным Solar Dynamic Observatory, продолжая работы, проводимые в лаборатории физики Солнца ГАО РАН раньше.

2. Модель неглубокого солнечного пятна

Модель неглубокого пятна [6] рассматривает униполярное солнечное пятно как достаточно уединенную магнитную структуру, ограниченную не только боковой квазицилиндрической поверхностью, где нормальная составляющая поля обращается в нуль, но и снизу, на глубине около 4 Мм под фотосферой.

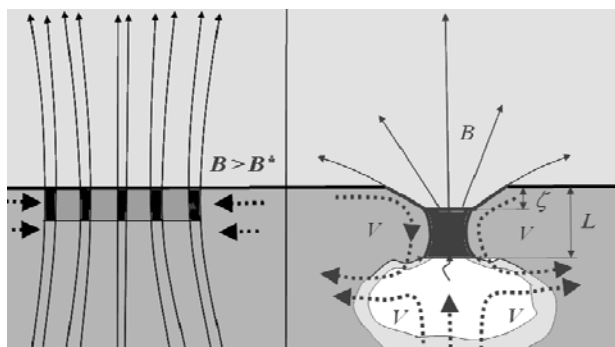


Рис. 1.

На рис. 1 представлено схематическое изображение модели. В области, где вертикальное поле превышает поле равномерного распределения B^* (слева), конвекция тормозится, создается зона тепловой депрессии. Верхние части трубок с сильным магнитным полем, а также промежутки между ними,

охлаждаются и сжимаются к центру разностью газовых давлений $P_{\text{ex}} - P_{\text{in}}$. Справа сжатие пятна останавливается, течения газа с глубиной меняют знак и, встречая у верхней кромки горячей зоны (выделена белым), восходящие из неё потоки газа, получают от них поддерживающий импульс.

Модель показывает, что крупномасштабные течения газа вокруг пятна и под ним являются следствием, а не причиной образования пятна. Однако существуют ограничения параметров по напряженности поля и по площади, которые связаны с отличием геометрии магнитного поля пятна от геометрии поля круглого соленоида. Последнее является важной предпосылкой нашей работы. Именно в работе [6] была впервые исследована устойчивость равновесий солнечных пятен, изучены собственные колебания пятна как целого и получена теоретическая зависимость предельной колебательной моды солнечного пятна от напряженности его магнитного поля.

3. Обработка данных

В качестве объектов нами были выбраны три солнечных пятна, расположенных в активных областях NOAA 11371, NOAA 12107, NOAA 12995. Временные интервалы наблюдений (время указано в UTC): 1) NOAA 11371 с 2011.12.05 22:00 по 2011.12.10 02:12; 2) NOAA 12107 с 2014.07.03

00:00 по 2014.07.08 00:00; 3) NOAA 13310 с 2023.05.19 00:00 по 2023.05.28 00:00. На рис. 1 представлена магнитограмма SDO/HMI от 8 декабря 2011 г., справа – увеличенная область диска Солнца с активной областью NOAA 11371.

Для всех отобранных солнечных пятен мы исследовали напряженность магнитного поля в центре пятна, а точнее, экстремальное значение B_{ext} магнитного поля в тени. При выборе длины ряда наблюдения мы руководствовались следующими принципами: а) ожидаемый период P_{exp} для лучшей выделяемости должен кратно укладываться на длине ряда; б) 12-ти часовой артефакт, который есть в данных SDO/HMI [5], наоборот, не должен быть кратен; в) наблюдение должно быть симметричным относительно момента прохождения пятна по центральному меридиану.

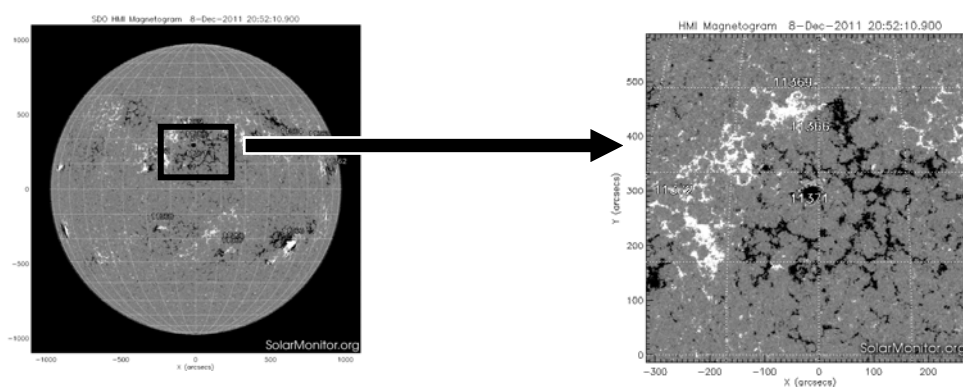


Рис. 2.

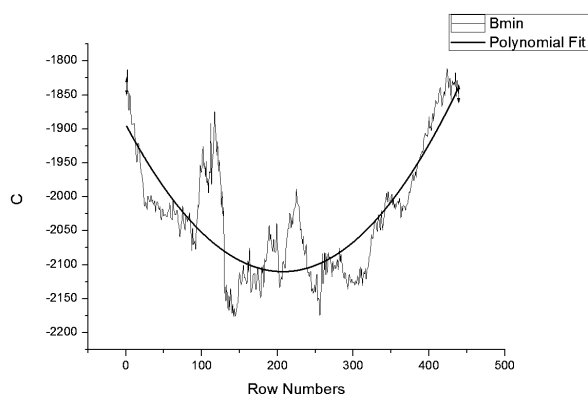


Рис. 3.

На рис. 3 показано изменение значения B_{ext} в течение времени для NOAA 11371, толстой сплошной линией проведен тренд. Пятно имело отрицательную полярность.

Для выявления периодов колебаний магнитного поля мы применяли метод быстрого Фурье анализа (FFT) – одного из преобразований Фурье, широко используемого при анализе временных рядов. FFT позволяет выявить наиболее значимые частоты в дискретном сигнале.

На рис. 4. показаны результаты применения FFT для всех исследуемых нами пятен. Хорошо наблюдается значимый искомый период, а также период в районе 12 часов, соответствующий артефактному. Для NOAA 11310 также получен удвоенный период в районе 34 часов, что говорит о необходимости доработки нашего метода и дальнейшего исследования. В правом нижнем углу рис. 4. представлена зависимость предельной колеба-

тельной моды (M1) солнечного пятна от напряженности его магнитного поля (рисунок взят из статьи [1]). Черными кружками нанесены значения полученных нами периодов. Видно, что они достаточно хорошо ложатся на кривую (Fit M1) и согласуются с результатами предыдущих наблюдений (черные точки).

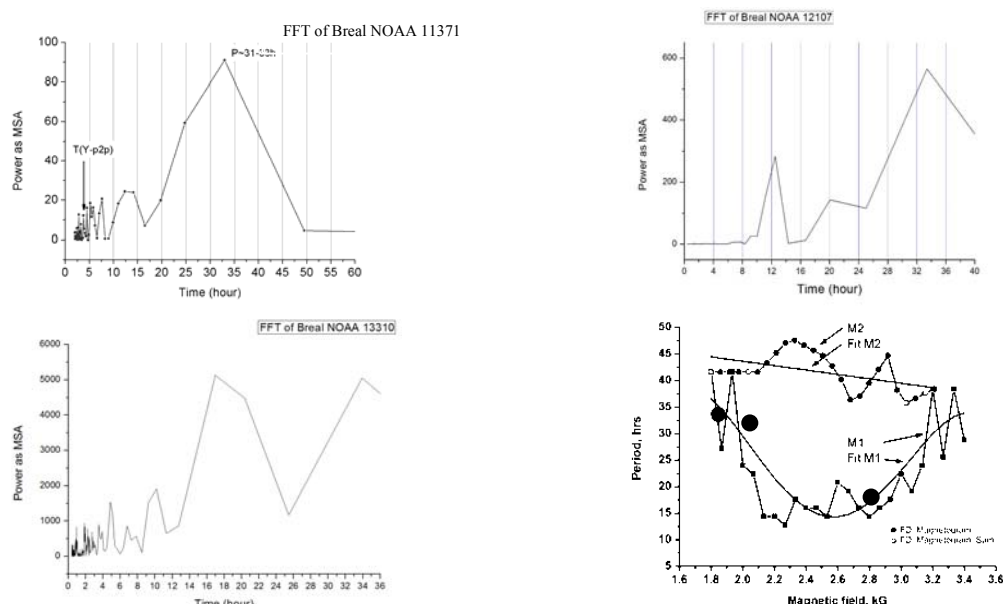


Рис. 4.

4. Заключение

Выявлены долгопериодические колебания магнитного поля трех солнечных пятен по данным SDO. Данные по SDO добавляют уже имеющийся каталог обработанных пятен по SOHO и GONG. Природу низкочастотных колебаний можно объяснить тем, что солнечное пятно, как единое целое, совершает квазипериодические вертикальные смещения: то поднимается, то опускается, при этом, вследствие относительной медленности процесса, сохраняется баланс давлений между пятном и окружающей фотосферой, так что при вертикальных смещениях пятна изменяется и поперечный размер его магнитной силовой трубки, а вместе с этим, вследствие сохранения магнитного потока, и среднее по сечению магнитное поле.

Литература

1. Efremov V.I., Parfinenko, L.D., Solov'ev A.A., Kirichek E.A. // Solar Phys., 2014, vol. 289, iss. 6, pp.1983-1998.
2. Foullon C., Verwichte E., Nakariakov V.M. // Astrophys. J., 2009, vol. 700, iss. 2, pp.1658-1665.
3. Kumar P., Nakariakov V.M., Cho Kyung-Suk // Astrophys. J., 2015, v. 804, iss. 1, id.4, 11 pp.
4. Smirnova V., Riekhokainen A., Ryzhov V., et al. // A&A, 2011, vol. 534, id.A137, pp.1-6.
5. Smirnova V.V., Efremov V.I., Parfinenko L.D. et al. // A&A, 2013, v. 554, id.A121, 7 pp.
6. Solov'ev, A.A., Kirichek, E.A. // Astrophys. and Space Sci., 2014, vol. 352, iss. 1, pp.23-42.