СПЕКТРЫ МОЩНОСТИ ЗАТУХАЮЩИХ АКТИВНЫХ ОБЛАСТЕЙ

Куценко О.К., Куценко А.С., Абраменко В.И.

Крымская астрофизическая обсерватория РАН, Научный, Крым, Россия

MAGNETIC POWER SPECTRA OF DECAYING ACTIVE REGIONS

Kutsenko O.K., Kutsenko A.S., Abramenko V.I.

Crimean Astrophysical Observatory of RAS, Nauchny, Crimea, Russia

Magnetic fields of decaying NOAA active regions 11066, 12640, 12722 were analyzed by power spectra techniques. Power spectra of radial component of magnetic field were calculated to study energy interplay between different spatial scales. We found that magnetic energy loss in decaying active regions occurs predominantly at scales larger than 6 Mm. Direct cascade was observed occasionally. Power spectra index α – the slope of the power spectra – demonstrated slow monotonic increase from values of about $-5/2$ to -1 during active region dissipation. Dynamic regime of spectral index value during emergence of an active region differs dramatically from that during active region decaying.

DOI: 10.31725/0552-5829-2019-269-272

Введение

Исследование активных областей и их эволюции является важным вопросом солнечной физики. Спектры мощности магнитного поля являются удобным инструментом для исследования турбулентной природы активной области. Существует несколько моделей, описывающих диссипацию магнитного потока в активных областях. Согласно одной из них [1, 2], малые движущиеся магнитные образования отщепляются от крупных структур и выводят магнитную энергию за пределы активной области. Эта модель соответствует так называемому прямому каскаду, когда энергия крупных областей переходит в энергию меньших и т.д. Данная работа посвящена попытке обнаружить подобный способ эволюции активной области методами спектров мощности магнитного поля.

Данные и методы

В настоящей работе использовались наблюдения инструмента Helioseismic and Magnetic Imager (HMI) космической обсерватории Solar Dynamic Observatory (SDO).

Для расчета спектров мощности использовался метод, предложенный в [3]. Вкратце, вначале вычислялся квадрат преобразования Фурье от двумерной магнитограммы. В результате получался двумерный спектр магнитного поля в координатах волновых чисел с мощностью, сконцентрированной в центре координат. Одномерный спектр мощности вычислялся пу-

тем интегрирования двумерного по «тонким кольцам» с центром в начале координат. Спектральный индекс α определялся как наклон спектра мощности, построенного в логарифмической шкале по волновым числам и мощности. Для расчета выбирался линейный участок (2,5–10 Мм). Также была вычислена разность энергий между последовательными спектрами, что позволило проанализировать временное изменение энергии на разных пространственных масштабах.

Сравнительный анализ спектров мощности, рассчитанных для радиальной и продольной компонент магнитного поля

В нашей предыдущей работе [4] анализировались активные области, наблюдавшиеся в течение трех-четырех дней в пределах 30 гелиографических градусов от центрального меридиана. Это позволяло минимизировать эффект проекции и использовать для расчетов продольную компоненту магнитного поля. Однако, активные области затухают на временном интервале более трех дней, поэтому необходимы исследования на большем временном и пространственном интервале. Следовательно, необходимо разработать метод, который позволяет оценивать спектр мощности для областей, находящихся, в том числе, на большом удалении от центра диска. В данной работе мы решили использовать радиальную компоненту магнитного поля, которая получается при измерении полного вектора поля. Однако, для нее шумы больше. Поэтому первый этап работы посвящен сравнительному анализу спектров мощности магнитного поля, рассчитанных для радиальной и продольной его составляющих.

Рис. 1. Слева: спектры мощности, рассчитанные для продольной компоненты магнитного поля (черный цвет) и радиальной компоненты магнитного поля (серый цвет) активной области NOAA 11076. Справа: спектры мощности затухающей активной области NOAA 11066. Пунктирными линиями обозначен линейный участок (2,5 – 10 Мм), используемый для расчетов.

Как можно увидеть на рис. 1 (слева), для радиальной составляющей отсутствует завал на малых масштабах (больших волновых числах), что можно объяснить большими шумами в этом диапазоне. На участке, используемом для расчетов (между пунктирными линиями), спектры мощности совпадают. Отсюда можно сделать вывод, что в районе 30–35 градусов

от центра диска можно использовать радиальную компоненту вместо продольной. Далее для того, чтобы расширить временной и пространственный диапазон, в качестве рабочей гипотезы мы решили использовать радиальную компоненту и за пределами упомянутых ограничений, считая, что спектр считается надежно.

Спектры мощности затухающих областей

На следующем этапе работы проводился анализ затухающих активных областей. Были выбраны 3 активные области: NOAA 11066, NOAA 12640, NOAA 12722. На рис. 1 (справа) представлены спектры мощности для области NOAA 11066, для двух остальных картина аналогична. Здесь показано, что диссипация активных областей сопровождается уменьшением энергии и уменьшением наклона спектров, причем, преимущественно это происходит на больших масштабах (малых волновых числах).

Далее была предпринята попытка обнаружить прямой каскад в процессе затухания. Для этого были проанализированы графики разности энергий между последовательными спектрами. В случае прямого каскада, должно наблюдаться одновременное уменьшение энергии на больших масштабах и прирост энергии на малых масштабах. На рисунках это должно выглядеть как отрицательные значения на малых волновых числах (больших масштабах) и положительные значения на больших волновых числах (малых масштабах). Однако анализ данных показал другую картину. В основном, имеет место уменьшение энергии на больших масштабах, более 6 Мм (рис. 2, справа). Эпизодически имели место кратковременные свидетельства прямого каскада (рис. 2, слева), но этот способ не является основным способом эволюции активной области. Очевидно, упомянутый ранее способ диссипации активной области, когда магнитная энергия уносится из больших структур малыми подвижными магнитными фракциями, имеет место, однако не является основным механизмом уменьшения энергии в активной области.

Рис. 2. Разности между последовательными спектрами затухающей активной области NOAA 11066. Слева: уменьшение энергии на больших масштабах, справа: свидетельства прямого каскада.

На заключительном этапе работы проводился анализ изменений показателя спектра мощности α . На рис. 3 можно увидеть, что при распаде области уменьшение полного потока энергии сопровождается плавным уменьшением по модулю спектрального показателя α . Эта картина была одинакова для всех исследуемых активных областей. Причем, если всплытие активной области сопровождается резким скачком значения спектрального индекса [4], то диссипация происходит в совсем другом динамическом режиме – гораздо более медленно и плавно.

Рис. 3. Изменение полного магнитного потока (серый цвет) и показателя спектра α (черный цвет) на протяжении эволюции активных областей NOAA 11066 (слева) и NOAA 12722 (справа).

Эти данные согласуются с другими исследованиями диссипации активных областей. Например, в [5] было показано, что магнитный поток, демонстрировал резкое возрастание при всплытии и плавное монотонное убывание при затухании.

Выводы

Уменьшение энергии в затухающих активных областях происходит преимущественно на больших масштабах. Эпизодически наблюдается прямой каскад, однако он не является основным методом эволюции активной области. Затухание активных областей происходит в более медленном динамическом режиме, нежели всплытие.

Работа выполнена при частичной поддержке гранта РФФИ 17-02-00049.

Литература

1. Kubo M., Lites B.W., Shimizu T., Ichimoto K. // *Astrophys. J.*, 686: 1447.
2. Driel-Gesztelyi L., Green L.M. // *Living Rev. Solar Phys.*, 2015, 12, 1.
3. Abramenko V.I. // *Astrophys. J.*, 2005, 629, 1141-1149.
4. Kutsenko O.K., Kutsenko A.S., Abramenko V.I. // *Sol. Phys.*, 2019, 294, 102.
5. Ugarte-Urra I., Upton L., Warren H.P., Hathaway D.H. // *Astrophys. J.*, 2015, 815, 90.