

УДК 523.982, 523.983

ХАРАКТЕРИСТИКИ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ В СОЛНЕЧНЫХ ОБРАЗОВАНИЯХ С РАЗЛИЧНОЙ ТОПОЛОГИЕЙ МАГНИТНОГО ПОЛЯ

С.А. Чупин, Н.И. Кобанов

CHARACTERISTICS OF OSCILLATION PROCESSES IN SOLAR FORMATIONS WITH DIFFERENT TOPOLOGY OF MAGNETIC FIELD

S.A. Chupin, N.I. Kobanov

В последнее время колебательно-волновые процессы в солнечной атмосфере все чаще рассматриваются в качестве средства транспортировки энергии из фотосферы в хромосферу и далее в корону. Для того чтобы лучше понять механизм этого переноса, необходимо иметь как можно больше информации об индивидуальных особенностях колебаний в различных солнечных образованиях. В докладе представлены предварительные результаты таких исследований, проведенных для областей солнечной атмосферы с различной топологией магнитного поля.

Recently oscillatory-wave processes in solar atmosphere are more frequently considered as a mean of energy transfer from the photosphere to the chromosphere and then to the corona. To define better this transportation mechanism it is necessary to have as much information as possible about individual features of oscillations in different solar formations. This study presents the preliminary results of such investigations performed for solar atmosphere regions with different topology of magnetic field.

Введение

Наблюдения были выполнены на горизонтальном солнечном телескопе Саянской обсерватории, оснащенной фотоэлектрической следящей системой, обеспечивающей сканирование и гидирование изображения с точностью до 1 угл. сек, и спектрографом. В качестве фотоприемника использовалась ПЗС-матрица RTE/CCD-256H фирмы Princetone Instruments размером 256×1024 пикселей (размер пикселя 24 мкм), оборудованная системой охлаждения.

Пятна

В пятне, как ни в каком другом солнечном образовании, представлено многообразие форм взаимодействия движений вещества с магнитным полем. Для тени с ее вертикальным направлением магнитного поля на фотосферном уровне характерны признаки опускания вещества и слабо выраженные пятиминутные колебания всей области тени как целого. Более сложная картина движений наблюдается в полутени солнечного пятна, где магнитное поле близко к горизонтальному. Первый тип – осцилляции и волновые движения, второй – квазистационарное радиальное течение, именуемое эвершедовским. Для этого течения характерны достаточно отчетливая радиальная симметрия и высотная инверсия: в фотосфере оно направлено наружу от геометрического центра пятна, а в хромосфере – внутрь.

В хромосфере над пятном существуют две системы волновых движений. Теневые трехминутные колебания распространяются в основном вдоль вертикальных магнитных трубок, тогда как бегущие волны полутени (основной период 5 мин) распространяются вдоль более наклонных силовых линий в зоне высот, на которых идет поглощение в линии H α (рис. 1). Прямая связь между теневыми колебаниями и бегущими волнами полутени отсутствует [1, 2]. Последние не являются про-

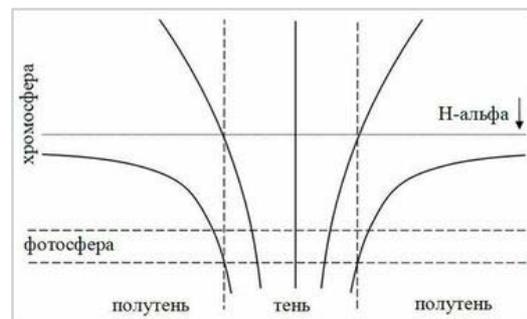


Рис. 1. Условная картина магнитных силовых линий в солнечном пятне, вдоль которых преимущественно осуществляются волновые движения. Стрелка \downarrow показывает уровень высот, ответственных за образование линии H α .

должением трехминутных теневых волн. Наблюдаемое уменьшение частоты бегущих волн полутени по мере удаления от внутренней границы объясняется комбинированным воздействием низких частот.

Полутоновые изображения пространственно-временных распределений лучевой скорости в H α (хромосфера) показывают четкую периодическую структуру, по виду напоминающую шеврон. Расположение «шеvronа» на временной оси служит прямым доказательством присутствия распространяющихся волновых движений в хромосфере тени пятна (рис. 2). Прежде всего, такая структура свидетельствует о пространственной симметрии процесса – наблюдаемые движения направлены от центра тени наружу.

Факелы

Над факелами часто наблюдаются яркие и прямые корональные лучи. В их сторону изгибаются соседние лучи.

Из рис. 3 видно, что область усиленного магнитного поля хорошо отождествляется с яркой областью фотосферы (факельным полем) [3].

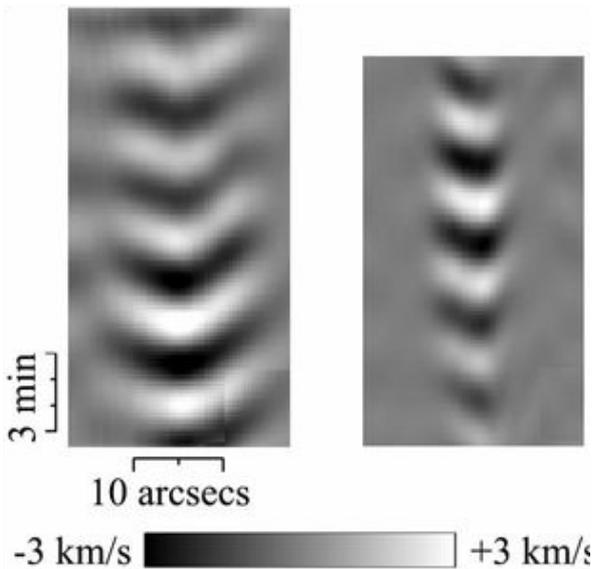


Рис. 2. Полутоновые изображения пространственно-временных распределений лучевой скорости в Но. Картина «шевра» воспроизводится с 3-минутной периодичностью.

На уровне хромосферы установлены смещения мощности колебаний в факелах из области пятиминутных периодов к десяти-пятнадцати минутам (рис. 4). При этом в факельных площадках уверенно отмечается уменьшение амплитуды пятиминутных колебаний лучевой скорости на фотосферном уровне.

Корональные дыры

Корональные дыры (КД) известны как структуры с открытой конфигурацией магнитного поля, имеющие пониженную яркость в излучении ультрафиолета и рентгена и, наоборот, повышенную – в излучении гелия 10830 Å.

Наиболее часто наблюдаются квазистационарные направленные вверх течения со скоростями до 1 км/с в фотосфере и до 4–5 км/с в хромосфере (радиальные скорости 3 и 12–15 км/с соответственно) вблизи темных точек на границе хромосферной сетки внутри полярной КД.

Акустические 3- и 5-минутные колебания (рис. 5 а, б) увеличиваются в КД и достигают 1 км/с в фотосфере и 3–4 км/с в хромосфере в предположении их радиальности. Эти колебания не локализованы пространственно, а отмечаются по всей наблюдаемой области [4]. Спектры мощности лучевых скоростей, усредненных по всей области 60×1.5", содержат значительные периоды 40, 15, 7 мин. В ряде случаев четко прослеживается пространственная локализация низкочастотных вариаций, соответствующих периодам 8, 10–15, 20–25 и 40 мин (рис. 5, в–е).

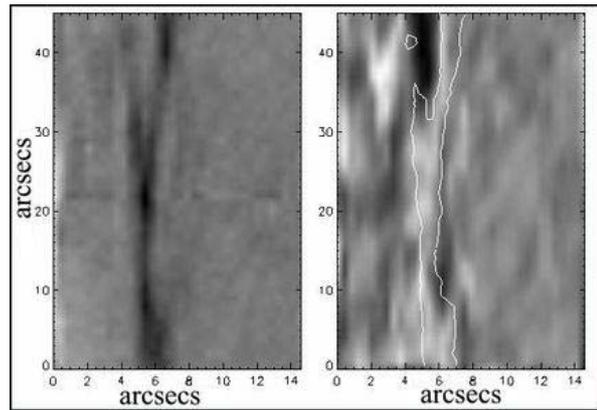


Рис. 3. Факельная площадка. Слева – магнитное поле; справа – яркость в континууме с контуром сильного магнитного поля.

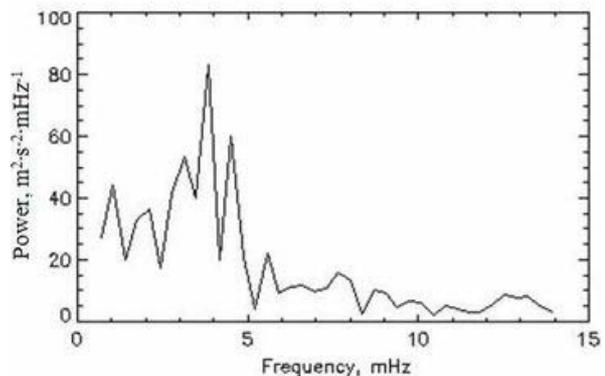
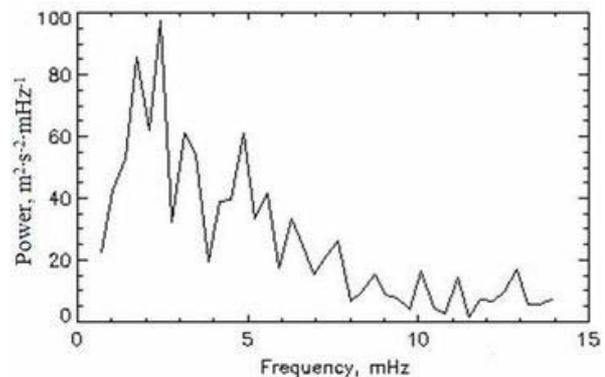


Рис. 4. Фурье-спектры хромосферной лучевой скорости в факеле (вверху) и спокойной области (внизу).

На границах хромосферной сетки наблюдается увеличение мощности колебаний с периодами 15–20 мин, в то время как мощность характерных для хромосферы 3-минутных колебаний уменьшается. Амплитуда колебаний скорости в фотосфере в среднем составляет 300–400 м/с. Иногда увеличивается до 600–700 м/с.

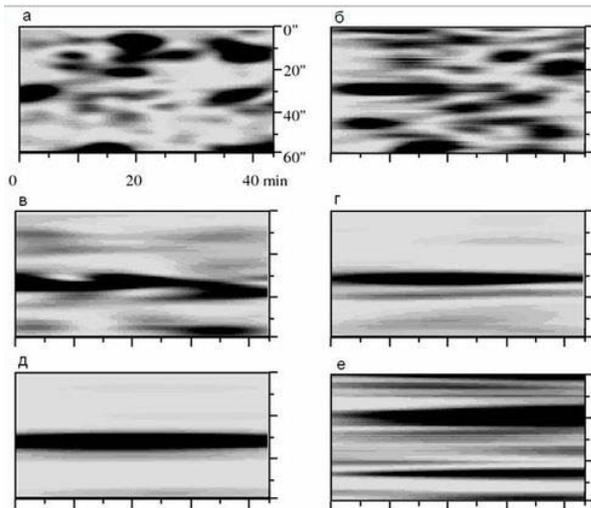


Рис. 5. Вейвлет-диаграммы распределения мощности колебаний с различными периодами: *a* – $H\alpha$, 3 мин; *б* – FeI, 5 мин; *в* – $H\alpha$, 8 мин; *г* – $H\alpha$, 12 мин; *д* – $H\alpha$, 25 мин; *е* – FeI, 25 мин. По горизонтальной оси отложено время, по вертикальной – пространство.

Работа выполнена при частичной поддержке грантов НШ-733.2003.2, РФФИ 05-02-16325.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kobanov N.I., Makarchik D.V. Propagating waves in the sunspot umbra chromosphere // *Astronomy and Astrophysics*. 2004. V. 424. С. 671–675.
2. Kobanov N.I., Kolobov D.Y., Makarchik D.V. Umbral three-minute oscillations and running penumbral waves // *Solar Phys.* 2006 (in print).
3. Пуляев В.А., Кобанов Н.И., Черепанов С.В. Исследования колебательно-волновых процессов в солнечных факелах // *Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. Труды VII Конференции молодых ученых*. С. 184–185.
4. Kobanov N.I., Makarchik D.V., Sklyar A.A. Photospheric and chromospheric oscillations in the base of coronal holes // *Solar Phys.* 2003. V. 217.

Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, chupin@iszf.irk.ru