

3. Курочка С., Осика О., Лозицкий В. Магнітні поля та турбулентні швидкості на різних фазах розвитку сонячного спалаху // Вісник Київ. нац. ун-ту ім. Т. Шевченка. Астрономія.—2006.—Вип. 43.—С. 7—12.
4. Лозицкий В. Г. Наблюдения магнитных полей напряженностью в несколько тесла в солнечных вспышках // Кинематика и физика небес. тел.—1998.—14, № 5.—С. 401—414.
5. Лозицкий В. Г. Проблема надпотужних магнітних полів в атмосфері Сонця // Кинематика и физика небес. тел.—1993.—9, № 3.—С. 23—32.
6. Северный А. Б. Некоторые проблемы физики Солнца. — М.: Наука, 1988.—224 с.
7. Abramenko V. I., Baranovsky E. A. Flare-related changes in the profiles of six photospheric spectral lines // Solar Phys.—2004.—220.—P. 81—91.
8. Lozitsky V. G., Baranovsky E. A., Lozitska N. I., Leiko U. M. Magnetic field evolution in a solar flare // Solar Phys.—2000.—191, N 1.—P. 171—183.
9. Statsenko M. M., Lozitsky V. G. Magnetic field measurements in a limb solar flare: observational evidences to small-scale cold features with 2 kG fields // Abstr. of 14th Open Young Scientist's Conf. on Astronomy and Space Phys. — Kyiv: Kyiv Taras Shevchenko Univ, 2007.—P. 55.

MAGNETIC FIELDS IN SOLAR FLARES

V. G. Lozitsky

New observational data obtained with spectral-polarized method are briefly presented. The data confirm the conclusion made earlier by the author that extremely strong magnetic fields may exist in solar flares which reach values of several tesla (~ 10 kG) in the upper photosphere and temperature minimum zone.

УДК 523.982

Н. И. Лозицкая¹, В. М. Малащук², Н. Н. Степанян²

¹Научно-исследовательская лаборатория «Астрономическая обсерватория»
Киевского национального университета имени Тараса Шевченко

²Научно-исследовательский институт «Крымская Астрофизическая обсерватория»

Результаты исследования быстрых изменений магнитного поля солнечного пятна по данным одновременных измерений в КАО и КраО

Представлено 25.06.07

Быстрые осцилляции магнитного поля солнечного пятна изучены из материала визуальных измерений Зееман-эффекта в линиях Fe I 525.02 и Fe I 630.25 в тени наибольшего пятна активной области NOAA 10953. В течение 27 и 28 апреля 2007 г. выполнено около 600 измерений на солнечных телескопах Киевской и Крымской обсерваторий, причем 112 измерений сделаны одновременно с точностью до минуты на обоих инструментах. Обработка временных рядов с помощью вейвлет-, спектрального фурье- и автокорреляционного анализа показала существование периодов в 6—7 мин и 14—16 мин, их амплитуды равны 2 ± 1 сТл и 3 ± 1 сТл соответственно.

ВВЕДЕНИЕ

Первые данные о быстрых изменениях магнитного поля солнечных пятен на 2—7 сТл в час получены при визуальных измерениях величины зееман-эффекта на солнечных телескопах с высоким спектральным разрешением в 1940—1970 гг. [3]. В пользу солнечной природы колебаний свидетельствовали одновременные изменения площади и контраста пятна. Одновременные наблюдения в Пулковско и Потсдаме показали сходство временного хода напряженностей одних и тех же пятен. Влия-

ние качества изображения на величину измеренных напряженностей исследовалось в работе [2]. Величина дрожания и качество изображения регистрировались одновременно с измерениями напряженности магнитного поля с дискретностью около 12 мин в течение 9 ч. В большинстве случаев быстрые вариации напряженности не были связаны с этими параметрами. Поэтому в работе [2] сделан вывод, что в основном наблюдаются реальные изменения напряженности магнитного поля солнечных пятен, несколько искаженные изменением качества изображения. Во время солнечных вспышек на

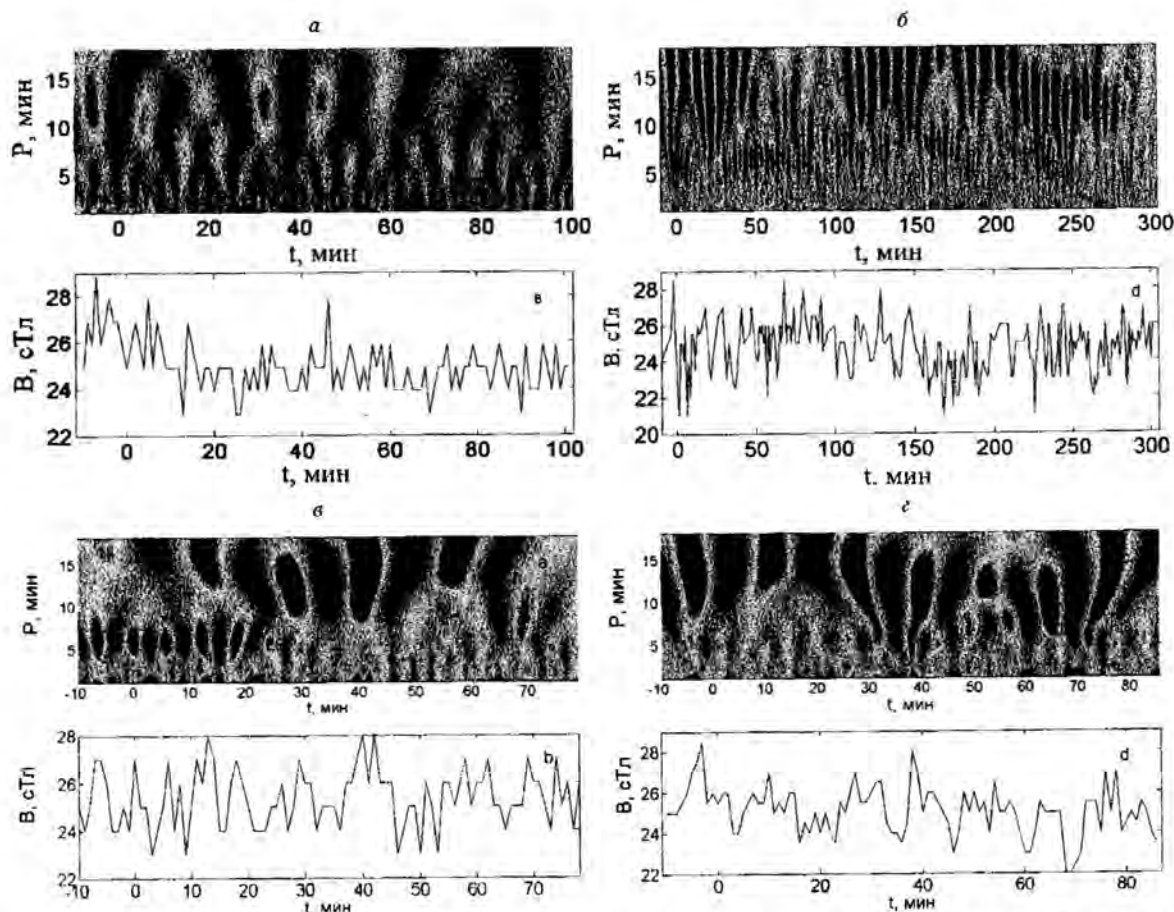


Рис. 1. Ряды измерений магнитного поля солнечного пятна: *а, б* — 27 апреля 2007 г. и их вейвлет-анализ по данным КраО с 17 мин до 9 ч 08 мин UT (*а*) и КраО с 9 ч 48 мин до 14 ч 56 мин UT (*б*). Измерения в КраО до 9 ч 47 мин не включены, так как интервал между измерениями в первые часы наблюдений в КраО был в среднем 2 мин; *в, г* — 28 апреля 2007 г. по данным КраО с 6 ч 07 мин до 7 ч 36 мин UT (*в*) и КраО с 7 ч 32 мин до 9 ч 08 мин UT (*г*)

временной шкале в 1 мин фотографически зафиксированы изменения магнитного поля близрасположенного пятна со средней амплитудой 6 сТл [1]. В данной работе мы исследуем осцилляции магнитного поля пятна, не связанные со вспышками.

НАБЛЮДЕНИЯ И СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА

Визуальные измерения магнитного поля солнечного пятна выполнены в Астрономической обсерватории Киевского национального университета (КаО) и НДИ «Крымская астрофизическая обсерватория» (КраО). Средняя величина магнитного поля исследуемого пятна была 25 сТл при стандартном отклонении 1.3 сТл. Хотя характеристики спектрографов КаО и БСТ-2 КраО, погодные условия и используемые спектральные линии разные, коэффициент

корреляции между одновременно (в пределах мин) измеренными напряженностями оказался равен 0.42, достоверность связи двух рядов превышает 90%. При временном сдвиге на 1–3 мин коэффициент корреляции не превышает 0.19, связь недостоверна. Это указывает на солнечное происхождение кратковременных вариаций магнитного поля. Пространственное разрешение ограничено величиной дрожания (в дни наблюдений оно было 4–10"). Размер тени пятна был 20", полутени — 50". Измерения проводились в центре тени.

На рис. 1 виден квазипериодический характер колебаний магнитного поля пятна. Наиболее заметны 6–7-минутные и 12–15-минутные периоды. Временные участки «пропадания» осцилляций могут быть обусловлены как ухудшением качества изображения и дискретностью измерений (по техническим причинам бывали перерывы в измерениях

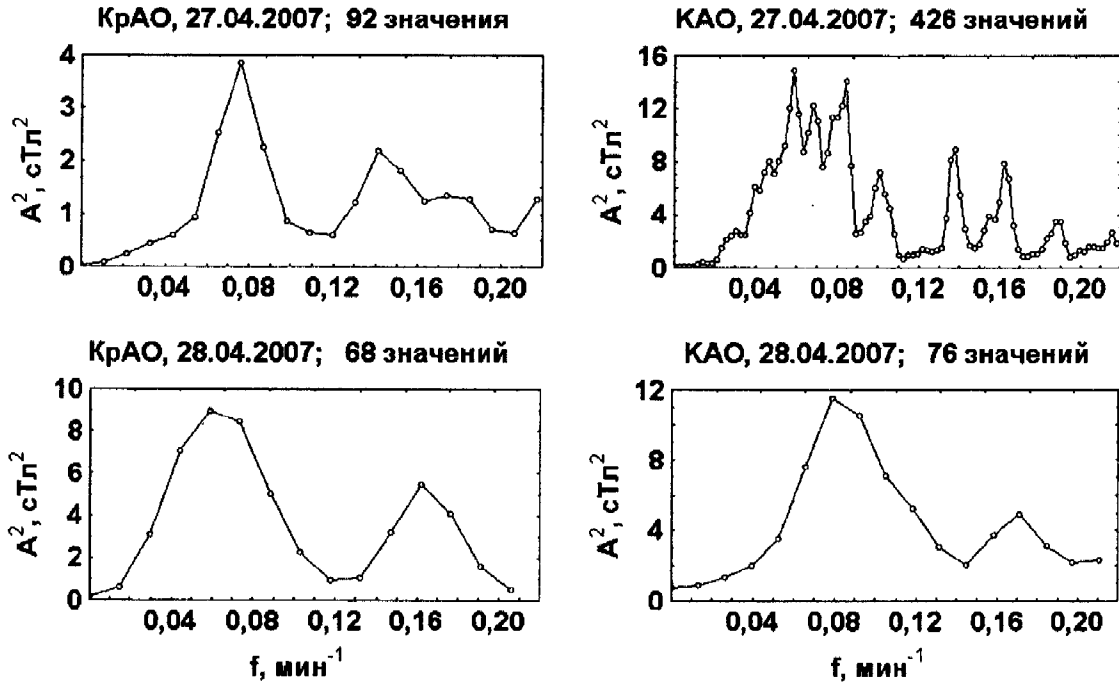


Рис. 2. Спектральный анализ ежеминутных значений магнитного поля солнечного пятна, измеренных в двух обсерваториях

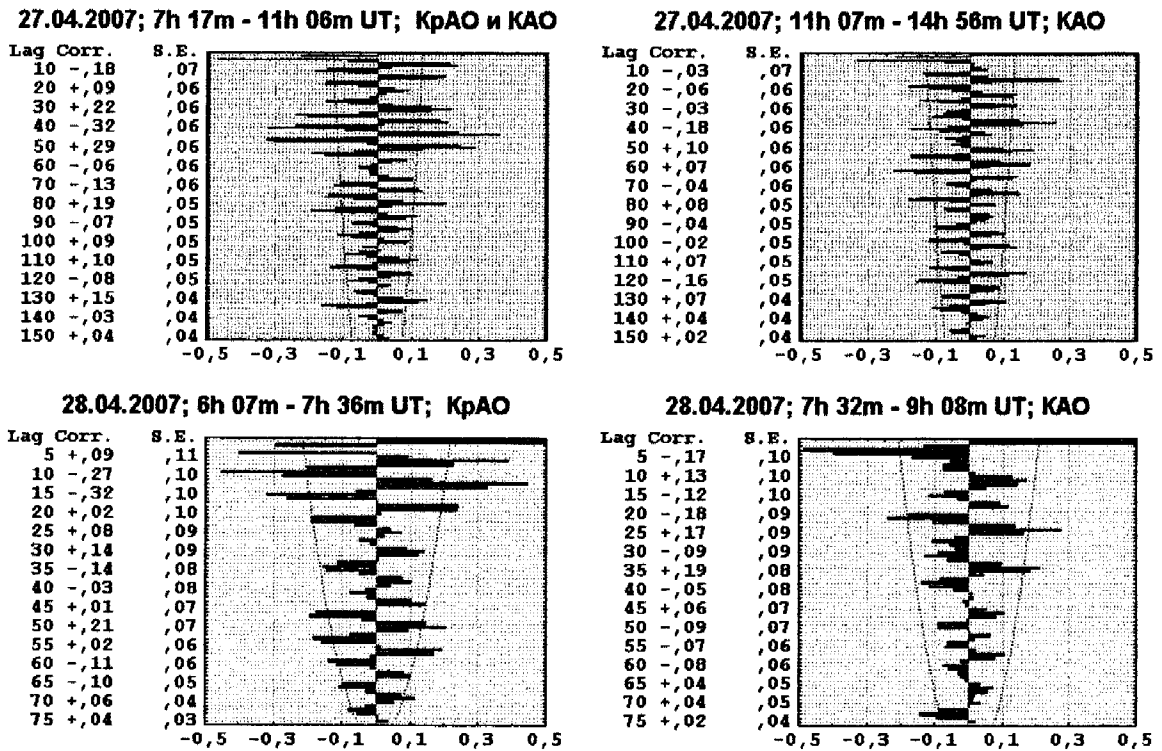


Рис. 3. Автокорреляционные функции преобразованного ряда значений магнитного поля (от исходных значений вычтены 8-минутные бегущие средние)

ях на 1—3 мин), так и реальными процессами в пятне.

Для оценки амплитуд найденных колебаний выполнен фурье-анализ. Окно исследуемых периодов выбрано 4—20 мин вычитанием от исходного ряда 20-минутного бегущего среднего и сглаживанием разниц по 3 точкам. По спектрам мощности (рис. 2) найдено, что амплитуда 12—14-минутных колебаний равна примерно 3 сТл, а 6—7-минутных — около 2 сТл. Ошибка определения амплитуды не превышает 1 сТл.

Автокорреляционный анализ рядов измерений во временном окне 2—10 мин, представленный на рис. 3, показал, что период изменяется от 5 до 8 мин, составляя в среднем 6—7 мин, средняя значимость пиков 0.05.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Применение различных методик анализа временных рядов, дополняющих друг друга, дают одинаковый результат в отношении периодов колебаний. Осцилляции магнитного поля пятна солнечного происхождения имеют периоды 6—7 и 12—14 мин. Они регистрируются не на всем интервале измерений и найдены при статистической обработке многочасовых рядов частых измерений (в основном ежеминутных) на фоне шумов с диапазоном вариаций в 5—7 сТл, обусловленных как истинными разнопериодными вариациями, так и нестабильностью условий наблюдений.

Характерной чертой найденных колебаний оказалась большая амплитуда, около 2—3 сТл, вдвое превышающая среднее квадратичное отклонение ряда наблюдаемых значений. Известно, что 5-минутные колебания скорости в тени пятна имеют в несколько раз меньшую амплитуду, чем вне пятен. Эффект изменения прозрачности [4, 5] вследствие этих колебаний при высотном градиенте магнитного поля больших пятен 0.1—0.6 мТл/км мог бы объяснить амплитуды короткопериодических осцилляций только до 1 сТл, скорее всего 0.4—0.5 сТл, как в работе [5].

Наблюдаемые нами колебания поля обнаружены при весьма посредственном пространственном разрешении. Это возможно при когерентности осцилляций на значительной части тени пятна, что согласуется с данными, приведенными в [5]. В то же время найденные амплитуды колебаний на по-

рядок превышают приведенные в литературе последних 10 лет [4, 5]. Возможно, причина расхождения не в различной технике измерений, а в длительности наблюдений. Если колебания происходят «сгугами», на что указывают вейвлет-диаграммы и некоторые автокорреляционные функции, для их регистрации необходим достаточно длительный интервал (2—3 ч) наблюдений вектора магнитного поля значительной части ядра крупного пятна. При всесторонней статистической обработке многочасовых рядов ежеминутных измерений положительно решается вопрос о реальности мощных короткопериодических осцилляций.

Авторы благодарны В. Г. Лоцицкому за проведение значительной части наблюдений и А. В. Грицаю за программу для вейвлет-анализа наших наблюдений.

1. Бабин А. Н., Коваль А. Н. Быстрые изменения магнитных полей пятен во время вспышек // Изв. Крым. астрофиз. обсерватории.—2003.—99.—С. 89—91.
2. Вяльпин Г. Ф., Юдина И. Ф. К вопросу об измерении максимальных напряженностей магнитных полей солнечных пятен при исследовании их быстрых изменений // Солн. данные.—1982.—№ 5.—С. 97—101.
3. Чистяков В. Ф. Колебания магнитных полей солнечных пятен и их связь с явлениями в активной области // Солн. данные.—1977.—№ 10.—С. 93—98.
4. Khomenko E. V., Collados M., Bellot Rubio L. R. Magnetoacoustic waves in sunspots // *Astrophys. J.*—2003.—588.—P. 606—619.
5. Settele A., Sigwarth M., Muglach K. Temporal and spatial variations of the magnetic field vector in sunspots // *Astron. and Astrophys.*—2002.—392.—P. 1095—1104.

RESULTS OF THE INVESTIGATION OF FAST MAGNETIC FIELD OSCILLATIONS IN A SUNSPOT ON THE BASIS OF SIMULTANEOUS MEASUREMENTS IN THE KYIV AND CRIMEA OBSERVATORIES

N. I. Lozitska, V. M. Malashchuk, N. N. Stepanyan

Fast oscillations of sunspot magnetic fields were studied using visual measurements of the Zeeman splitting in the Fe I 525.02 and Fe I 630.25 lines observed in umbra of the largest sunspot of the active region NOAA 10953. During 27—28 April 2007, about 600 measurements were carried out with solar telescopes of the Kyiv and Crimea observatories including 112 quasi-simultaneous measurements (with a time gap less than 1 min). Reducing the observational data with the use of wavelet, Fourier and autocorrelation analysis showed the existence of 6—7 min and 14—16 min oscillations; their amplitudes were 2 ± 1 cT and 3 ± 1 cT, respectively.