ВЛИЯНИЕ КВМ И СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШЕК НА ВАРИАЦИИ СО ВРЕМЕНЕМ УГЛОВ НАКЛОНА СИЛОВЫХ ЛИНИЙ МАГНИТНОГО ПОЛЯ В ТЕНИ СОЛНЕЧНЫХ ПЯТЕН

Загайнова Ю.С.¹, Файнштейн В.Г.²

¹ИЗМИРАН, Москва, Троицк, Россия

²ИСЗФ СО РАН, Иркутск, Россия

THE INFLUENCE OF CMES AND SOLAR FLARES ON THE TIME VARIATIONS OF MAGNETIC FIELD LINE INCLINATION IN UMBRAE

Zagainova Yu.S.¹, Fainshtein V.G.²

¹IZMIRAN, Moscow, Troitsk, Russia

²ISTP SB RAS, Irkutsk, Russia

It is demonstrated that processes in solar active regions (AR), including CME and flare, can substantially affect the time variation of the minimum and average (for the AR umbra) magnetic field line inclination, $\alpha_{\min}$ and α_{mean} , including their fluctuation character. A preliminary analysis of the $\alpha_{\min}$ oscillations properties was conducted. The $\alpha_{\min}$ and α_{mean} values were found by means of SDO/HMI vector measurements of the photospheric field.

DOI: 10.31725/0552-5829-2020-113-116

1. Введение

Магнитное поле в тени солнечных пятен подвержено вариациям на различных масштабах времени [1, 2]. В ряде работ исследовались колебания магнитного поля в пятнах с периодами от нескольких минут до более 10 часов (о долгопериодических колебаниях см. [3]). В работе [4] проанализировано изменение поля в тени пятен в периоды, охватывающие либо полностью, либо частично все время их существования. В то же время до сих пор было получено мало сведений об особенностях изменений характеристик магнитного поля в тени солнечных пятен АО до начала и во время происходящих в этих АО вспышек и формирований КВМ (предварительные результаты см. в нашей работе [5]). В настоящей работе мы продолжили выяснение того, как изменяются углы наклона силовых линий поля в тени солнечных пятен в АО до и после начала в них вспышек и формирований КВМ, либо в отсутствие таких процессов?

2. Данные и методы их анализа

Были исследованы вариации углов наклона силовых линий магнитного поля $\alpha_{\min}$ и α_{mean} в тени солнечных пятен в трех группах событий: (1) в активных областях (АО), в которых сформировался корональный выброс массы (КВМ) и была зарегистрирована рентгеновская вспышка; (2) в АО, в которой произошла только сильная вспышка; (3) в АО, в которой не были зарегистрированы КВМ и связанная вспышка. В свою очередь группа со-

бытий (1) была разбита на две подгруппы. В первую вошли события с быстрыми КВМ (их линейная проекционная скорость $V_{lin} > 1300$ км/с – 9 таких событий), во вторую подгруппу вошли события с медленными КВМ ($400 < V_{lin} < 600$ км/с – 9 событий). Здесь α_{min} – минимальный угол наклона силовых линий поля, который приблизительно равен углу наклона оси магнитной трубки из тени пятна; α_{mean} – средний в пределах тени пятна угол наклона линий поля. Характеристики магнитного поля в тени пятен находились с использованием векторных измерений фотосферного поля инструментом SDO/HMI. Угол наклона линий поля α находился с использованием соотношения: $\cos(\alpha) = |B_r|/B$. Здесь B_r – радиальная компонента поля. Величина B_r находилась с помощью соотношения, включающего измеряемые величины: модуль вектора магнитной индукции B , угол δ между направлением поля и лучом зрения и азимут – угол ψ , измеряемый в плоскости неба против часовой стрелки между направлением столбцов массива ПЗС-матрицы и проекцией вектора поля на эту плоскость. Положение пятен в области эрупции определялись по изображениям Солнца, полученным в континууме инструментом SDO/HMI.

3. Результаты

Наш анализ показал, что процессы, включающие КВМ и вспышку, могут существенно влиять на поведение α_{min} и α_{mean} , в том числе на характер их колебаний. При этом разнообразие и интенсивность отклика поведения углов на вспышку и возникновение КВМ особенно велико для событий с быстрыми КВМ и мощными вспышками. Несколько наиболее ярких примеров изменения поведения α_{min} и α_{mean} после начала вспышки для такого события 07.03.2012 показано на рис. 1.

Рис. 1. Левая крайняя панель в верхнем ряду – пример отсутствия заметного влияния эруптивного события на усредненное по времени поведение α_{min} и α_{mean} после начала вспышки, следующие 4 панели – примеры заметного изменения после начала вспышки поведения минимального и среднего углов наклона линий поля в тени пятна, крайняя правая в нижнем ряду панель – положения, форма и размеры тени пятен в анализируемой АО. Желтыми линиями показаны линии $B_r=0$.

Оказалось, что наиболее сильные и резкие изменения $\alpha_{\min}$ и α_{mean} происходят в тени пятен с минимальными размерами. В большинстве пятен характер изменения $\alpha_{\min}$ и α_{mean} в среднем до и после начала вспышки приблизительно одинаковый. Но в одном случае (вторая слева верхняя панель на рис. 1) до начала вспышки $\alpha_{\min}$ и α_{mean} изменяются со временем в противофазе. На рис. 2 показаны примеры изменения со временем $\alpha_{\min}$ и α_{mean} для события с медленным КВМ, для события, связанного только с сильной вспышкой, а также для события, не связанного с КВМ и вспышкой.

В пятнах активной области с медленным КВМ после начала вспышки также наблюдаются заметные изменения в поведении $\alpha_{\min}$ и α_{mean} , но менее интенсивные и в меньшем количестве пятен, чем в пятнах АО с событием с быстрым КВМ. В пятнах АО, в которой произошла вспышка, но не был сформирован КВМ, после начала вспышки также наблюдаются изменения поведения $\alpha_{\min}$ и α_{mean} , но менее интенсивные, чем в АО с быстрым КВМ.

Рис. 2. Верхние панели – для события от 21.11.2012 с медленным КВМ, средние панели – для события от 22.10.2014 со вспышкой и без КВМ, нижние панели – для события от 28.10.2017 без КВМ и вспышки.

Еще одна особенность вариаций углов наклона в этом случае заключается в том, что изменения $\alpha_{\min}$ и α_{mean} часто не коррелируют друг с другом. И, наконец, в АО, в которой не было вспышек и КВМ, в основном наблюдаются хаотические изменения со временем $\alpha_{\min}$ и α_{mean} , но в отдельные периоды времени наблюдаются заметные эволюционные изменения двух типов углов (пример таких изменений см. внизу справа на рис. 3).

Из приведенных примеров изменения $\alpha_{\min}$ и α_{mean} со временем видно, что эти изменения носят колебательный характер. Мы оценили особенности спектра колебаний $\alpha_{\min}$ и α_{mean} для всех анализируемых групп событий как в целом, в течение рассматриваемого периода 12 часов, так и отдельно,

в течение 6 часов, до и после начала вспышки (в событиях со вспышками). На рис. 3 показаны примеры спектров колебаний для различных пятен для всех изученных групп событий. Все спектры являются дискретными. Отдельные гармоники находятся в местах стыковки соседних прямых отрезков. Ниже мы покажем спектры колебаний только для $\alpha_{\min}$.

Рис. 3. Верхние панели – спектры колебаний $\alpha_{\min}$ для пятен, показанных на рис.1, нижние панели – для пятен из рис. 2, индекс «all» – за период 12 ч, «bfl» – за 6 ч до начала вспышки, «afl» – спустя 6 ч после начала вспышки (или середины интервала наблюдений – для события без вспышки).

Детальный анализ колебаний $\alpha_{\min}$ и α_{mean} мы планируем провести в отдельной работе. Здесь же только отметим, что в большинстве всех рассмотренных случаев наибольшая амплитуда приходится на основную частоту, близкую к 0.05 МГц, или на ее ближайшие гармоники (иногда наблюдаются относительно широкие спектры – см. левую панель в верхнем ряду и третью слева панель в нижнем ряду рис. 3). Во многих случаях максимальная амплитуда колебаний после начала вспышки превышает максимальную амплитуду колебаний до начала вспышки и для всего рассмотренного периода. Приведем некоторые характерные периоды для основной частоты, ее ближайшей гармоники и наименьший наблюдаемый периоды: $> 325\text{--}340$ мин. (частота < 0.05 МГц), $205\text{--}220$ мин. (≈ 0.08 МГц), ≈ 15 мин. (≈ 1.2 мГц).

Авторы благодарят команды SOHO/LASCO, SDO/HMI за возможность свободного использования данных этих инструментов. Работа выполнена в рамках базового финансирования программы ФНИ П.16 и при частичной поддержке гранта РФФИ 20-02-00151.

Литература

1. Pen M.J., Livingston, W. // Ap. J., 2006, 649, L45.
2. Pevtsov A.A., Bertello L., Tlatov A.G., et al. // Solar Phys., 2014, 289, 593.
3. Efremov V.I., Parfinenko L.D., Solov'ev A.A., RiehoKainen A. // G&A, 2016, 56, 897.
4. Zagainova Yu.S., Fainshtein V.G., Obridko V.N., Rudenko G.V. // G&A, 2016, 56, 1015.
5. Zagainova Yu.S., Fainshtein V.G., Rudenko G.V., Obridko V.N. // G&A, 2017, 57, 835.