

ПРОЯВЛЕНИЯ ПОПЕРЕЧНЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ В СПОКОЙНОЙ ФОТОСФЕРЕ НА КРАЯХ ГРАНУЛ

Можаровский С.Г.

Институт прикладной астрономии РАН, Санкт-Петербург, Россия

MANIFESTATIONS OF TRANSVERSE MAGNETIC FIELDS IN A QUIET PHOTOSPHERE AT THE EDGES OF GRANULES

Mozharovsky S.G.

Institute of Applied Astronomy of the RAS, Saint Petersburg, Russia

<https://doi.org/10.31725/0552-5829-2023-227-230>

In the quiet photosphere patches of the transverse magnetic field were studied. These patches are obtained from SP/Hinode data by subtracting the equivalent widths W of the linear $L = \sqrt{(Q^2 + U^2)}$ and the absolute value of the circular $|V|$ polarizations. The W_L and $W_{|V|}$ values calculated for two spectral lines Fe I λ 6301 and 6302 Å combined together were used. It was discovered that patches of the transverse magnetic field ($\Delta_{LV} = W_L - W_{|V|} > \text{Err} = 0.5 \text{ mÅ}$) are constantly present on the Sun; they appear on the edges of granules in the form of “blinks”, lasting from 1.5 to 6 minutes, and have sizes less than 0.5". They are clearly visible not only at the center of the solar disk, but also up to significant heliocentric angles. The W_L values in the “blinks” correspond to transverse field strengths of the order of 100 G. The average brightness and line of sight velocity of the “blinks” approach the average values for the non-magnetic photosphere.

Метод измерений

Для каждой карты спектрополяриметра Hinode [1] может быть рассчитана эквивалентная ширина параметров поляризации – параметра V , значения которого взяты по модулю, а также параметры линейной $L = \sqrt{(Q^2 + U^2)}$ и суммарной $P = \sqrt{(Q^2 + U^2 + V^2)}$ поляризаций. Эквивалентная ширина рассчитывается как площадь под кривой соответствующего параметра Стокса и включает в себя кроме собственно сигнала ещё и шумовую составляющую, см. рис. 1 *слева*. Область суммирования при вычислении эквивалентной ширины охватывает обе спектральные линии Fe I λ 6301 и 6302 Å и исключают области спектра вне линий.

Если построить гистограммы частот встречаемости значений W_V , W_L и W_P то получится картина, которую можно видеть на рис. 1 *справа*. Очевидно, что наибольшее число пикселей на гистограмме соответствуют случаю, когда магнитное поле отсутствует. Смещения положений максимумов относительно нуля показывают шумовую составляющую, которая зависит от числа компонент в параметре поляризации 1, 2 или 3 (V , $Q + U$, $Q + U + V$).

«Всплески» поперечного поля

Поставим задачу найти в невозмущённой фотосфере участки, где поле скорее горизонтально, чем вертикально. Для этого мы построим карту рас-

пределения значений $\Delta_{LV} = W_L - W_{|V|}$ и выделим на ней участки, где $W_L - W_{|V|}$ больше разности их шумовых значений, см. рис. 2 слева.

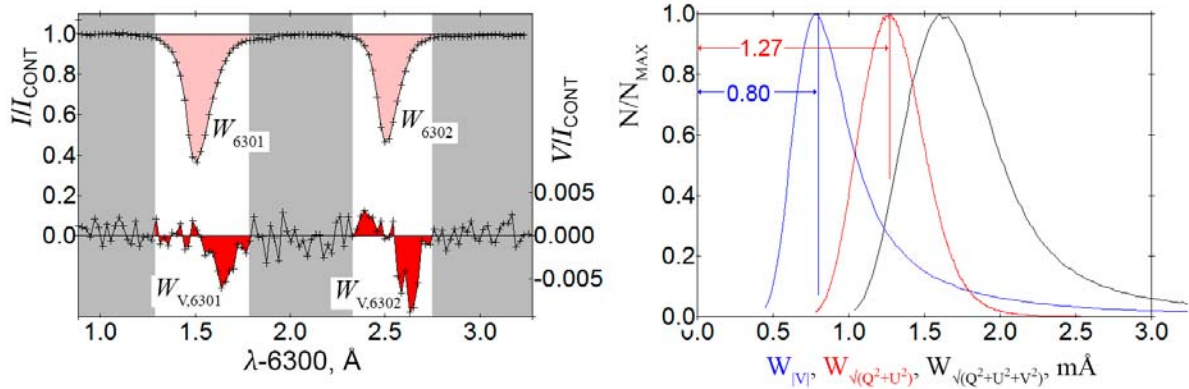


Рис. 1. а) Расчёт эквивалентной ширины параметра интенсивности W и параметра круговой поляризации W_V для линий Fe I λ 6301 и 6302 Å для точки на карте SP/Hinode б) Нормализованные гистограммы частот встречаемости значений эквивалентных ширин поляризаций W_V , W_L и W_P . Сеанс SP/Hinode 20070105_1120

Области, где эквивалентная ширина линейной поляризации W_L больше круговой $W_{|V|}$ (поперечное поле заметно больше продольного) имеют вид отдельных точек, средний размер которых менее $0''.5$. Так как у них короткое время жизни (см. рис. 3) далее будем называть их «всплесками» поперечного поля, или просто «всплесками». Время жизни «всплесков» от 1.5 до 6 минут. Частота встречаемости в единичный момент времени порядка $1 \times 10^{-2} \text{ arcsec}^{-2}$, однако эта величина сильно зависит от уровня шума измерений, так как много слабых «всплесков» скрыто шумом.

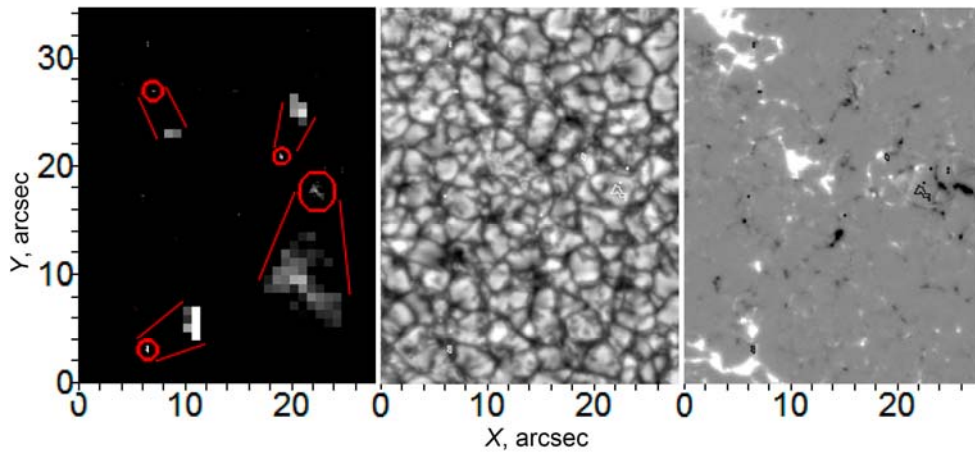


Рис. 2. Фрагмент карты для сеанса SP/Hinode 20070105_1120. Слева – карта, построенная из значений $\Delta_{LV} = W_L - W_{|V|}$. Значения, где Δ_{LV} меньше нуля (с учётом уровня ошибки) закрашены чёрным. «Всплески» поперечного поля очень малы – изображения самых крупных из них вынесены на врезки. По центру – «всплески» (белые контуры) наблюдаются чаще всего на склонах гранул. Справа – вокруг «всплесков» (черные контуры) всегда можно заметить области продольного поля разного знака. Уровни черного и белого отсекают, соответственно значения $[1..3 \text{ mÅ}]$, $[0.8..1.2 \langle I_{\text{CONT}} \rangle]$, $[-200..200 \text{ G}]$.

Как видно из рис. 2 (в центре), «всплески» на карте I_{CONT} заметны чаще всего на склонах гранул. В поле скоростей «всплескам» соответствуют лучевые скорости близкие к нулю. Можно заметить, что они распределены случайно-равномерно в спокойной фотосфере; чаще они появляются в местах стыков разных полярностей слабого продольного поля в межсеточной зоне (internetwork), и их нет в зонах сетки (network), занятых магнитным полем одного знака.

Природа «всплесков» поперечного поля

Была изучена статистика для ряда сеансов SP/HiNode с хорошим отношением сигнал/шум. Получены оценки средней скорости и средней яркости участков с преобладанием поперечного магнитного поля. Оказалось, что такие скорости и яркости приближаются к средним значениям скорости и яркости для невозмущённой фотосферы. Данные для единичной сессии (рис. 4) для карты из 2×10^6 пикселей не вполне репрезентативны. При граничном уровне ошибки $W_{\text{Err}} = 0.8 \text{ mÅ}$, мы получим 25000 точек, но среди них большой процент ложных точек, где W_L обусловлено просто шумом. Если ограничить ошибку уровнем $W_{\text{Err}} = 1.1 \text{ mÅ}$, то у нас остаётся всего 1700 точек (плюсики на диаграмме), и усреднение может быть искажено локальными вариациями магнитного поля в фотосфере.

На рис. 4 *справа* (не забывая про достаточно малую статистику) нельзя разглядеть выстраивания точек со «всплесками» поперечного поля в один или два рукава вдоль значений скорости, характерных для подъёма или опускания вещества. То есть мы явно не видим всплывающих или тонущих вершин петель магнитного поля. Нельзя, также, считать, что все «всплески» относятся к промежуточным областям между вершинами гранул и межгранульными участками. Таким образом, природа «всплесков» заключается, скорее всего, во временной деформации силовых трубок соседствующей с ними конвекцией и временного принятия ими направлений, параллельных плоскости апертуры спектрографа.

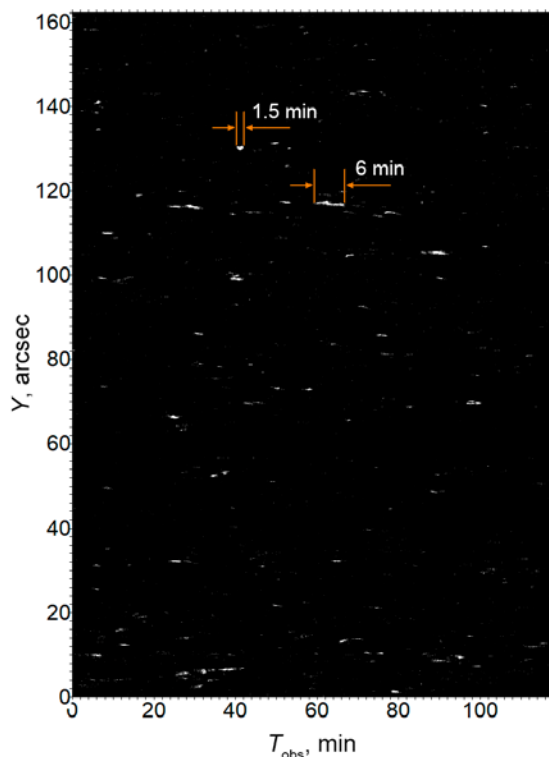


Рис. 3. Карта значений Δ_{LV} для сеанса 20070227_0020. Щель поляриметра в данном сеансе была неподвижна, и мы видим развёртку «всплесков» поперечного поля во времени.

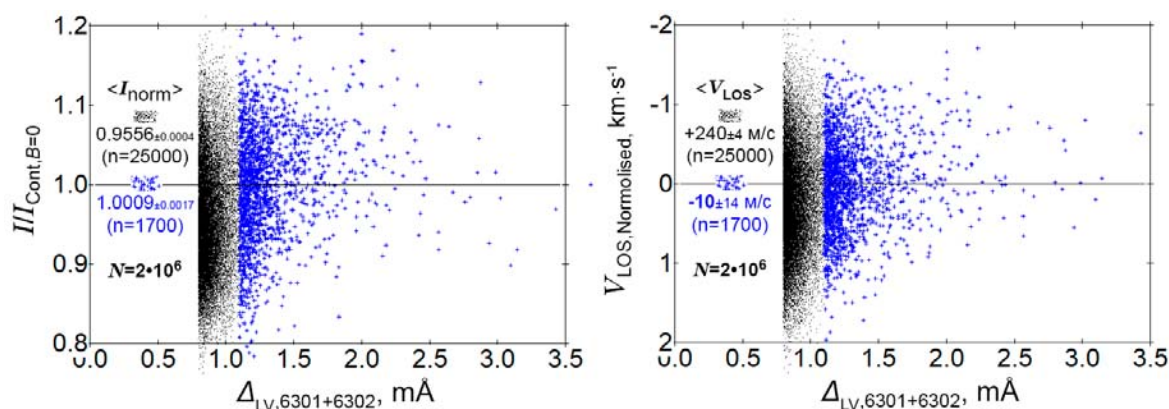


Рис. 4. Статистика средних значений интенсивности континуума (слева) и лучевой скорости (справа) «всплесков» продольного поля (приведённых к средним значениям в немагнитной фотосфере). Сеанс SP/Hinode 20061219_1135.

Обсуждение

Данная работа выполнена для проверки результата статьи [2] о том, что средние напряжённости поперечных полей в спокойной фотосфере в 5 раз превосходят напряжённости продольных (55 Гс против 11). В результате были обнаружены «всплески» поперечного поля. Их свойства в целом соответствуют свойствам поперечного поля вообще (без вычитания продольной компоненты поля), которые получили авторы [2]. Также, обнаруженные в данной работе «всплески» поперечного поля, пополняют собой целую серию разнообразных мелкомасштабных структур магнитного поля и связанных с ними событий в спокойной фотосфере – Supersonic Magnetic Upflows [3], Magnetic Upflow Events [4], Magnetic loop emergence within a granule [5], Small-scale magnetic flux-sheet emergence [6], quiet-Sun jets [7] и т.д. Это позволяет лучше представить картину в целом.

Литература

1. Lites, B.W., D.L. Akin, et al. // Solar Physics, 2013. **283**: 579-599.
2. Lites, B.W., M. Kubo, et al. // The Astrophysical Journal, 2008. **672**: 1237-1253.
3. Borrero, J.M., et al. // The Astrophysical Journal Letters, 2010. **723**(2): p. L144-L148.
4. Jafarzadeh, S., et al. // The Astrophysical Journal, 2015. **810**: p. 54.
5. Gömöry, P., et al. // Astronomy and Astrophysics, 2010. **511**: p. 10pp.
6. Fischer, C.E., et al. // Astronomy and Astrophysics, 2019. **622**: p. L12.
7. Martínez Pillet, V., et al. // Astronomy and Astrophysics, 2011. **530**: p. 6.