

УДК 523.985

В. Г. Лозицкий

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

## Магнитные поля в солнечных вспышках

*Представлено 25.06.07*

Кратко представлены новые наблюдательные данные, полученные спектрально-поляризационным методом. Эти данные подтверждают сделанный ранее автором вывод о том, что в солнечных вспышках могут возникать особо сильные локальные магнитные поля, которые в верхней фотосфере и зоне температурного минимума достигают значений в несколько тесла ( $\sim 10$  кГс).

**Введение.** Солнечные вспышки возникают, как правило, в местах с усложненной и быстро меняющейся структурой магнитного поля, а также в тех участках активных областей, где наблюдаются значительные горизонтальные градиенты магнитного поля. Вопрос о действительной величине локальных магнитных полей в области вспышек в настоящее время неясен. Магнитографические измерения [6] показали, что наиболее яркие узлы  $H_{\alpha}$ -эмиссии вспышек возникают вблизи линии инверсии продольного фотосферного магнитного поля ( $B_{\parallel} = 0$ ). Большая часть соответствующих данных получена в линии Fe I 525.02 нм, которая формируется на уровне средней фотосферы, на высоте  $h \approx 320$  км [1]. Спектрально-поляризационные наблюдения позволили установить, что даже если яркие узлы вспышки располагаются в области слабых и умеренных продольных полей ( $B_{\parallel} < 70$  мТл), в этих местах (в картинной плоскости) также могут существовать сильные поля ( $\approx 100$  мТл), но на более высоком уровне — в верхней фотосфере и в зоне температурного минимума ( $h = 400$ — $500$  км) [8]. Полуэмпирические модели вспышек дают двойную картину высотного распределения магнитного поля: а) с локальными по высоте экстремумами поля [8] и б) с обычным монотонным ослаблением поля с высотой [7]. В первом случае возникают узкие особенности (высотные пики), ширина которых доходит до 100 км. С развитием вспышки эти пики магнитного поля исчезают, а вместо них возникает значительная турбулизация плазмы, соответствующий параметр которой (турбулентная скорость) также распределяется с высотой немонотонно [3].

Во вспышках наблюдались спектральные эффекты, указывающие на еще более сильные поля, величиной 2—9 Тл [4, 5]. Как поля «килогауссово-

го» диапазона, так и «сверхсильные» поля ( $\sim 10$  кГс) изменяются в течение вспышки немонотонно: магнитное поле сначала быстро возрастает до определенного уровня, а затем более медленно ослабевает, причем максимум напряженности достигается в максимуме  $H_{\alpha}$ -эмиссии [4]. Характерное время соответствующих изменений поля 10—15 мин, а поперечный линейный масштаб тех участков, где отмечены эти эффекты, в среднем 1—2 Мм. Последнее, впрочем, не означает, что действительный размер индивидуальных магнитных структур с такими полями также близок к 1—2 Мм. Поскольку указанные спектральные эффекты довольно слабые (2—4 %), они должны относиться к структурам с весьма небольшим фактором заполнения, 5—10 %. Но тогда действительный масштаб поперечного сечения соответствующих мелкомасштабных элементов должен быть намного меньше 1—2 Мм.

Методические проблемы диагностики таких полей детально обсуждены в работе [5]. Там, в частности, указывается, что для повышения видимости (контраста) зеемановских  $\sigma$ -компонентов, сформированных в участках с такими «сверхсильными» полями, лучше использовать спектральные магниточувствительные линии, имеющие небольшие факторы Ланде ( $g \leq 1$ ). В настоящей работе анализируются новые данные наблюдений в таких линиях, относящиеся к двум недавним вспышкам 23-го цикла солнечной активности.

**Новые наблюдательные данные.** Ниже изучаются две вспышки: 5 ноября 2004 г. балла M4.1/1B и 14 июля 2005 г. балла X1.2. Вспышки наблюдались автором на эшелном спектрографе горизонтального солнечного телескопа Астрономической обсерватории Киевского национального университета им.

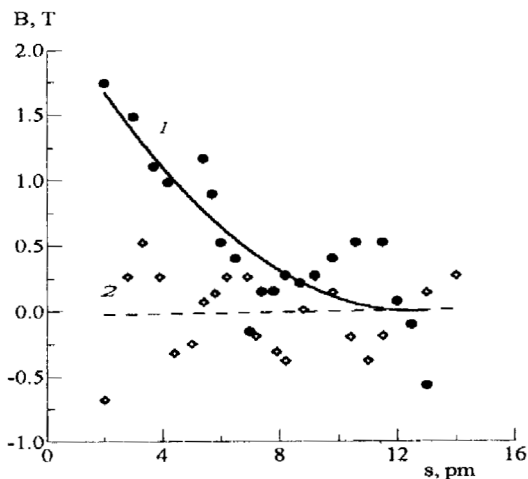


Рис. 1. Сопоставление наблюдаемого расщепления бисекторов профилей  $I \pm V$  в линии Fe I 557.61 нм для вспышки 5 ноября 2004 г. (зависимость 1) и невопыхечной области (зависимость 2). По оси абсцисс дано расстояние  $s$  от центра линии в пикометрах, по оси ординат — величина магнитного поля  $B$  в тесла (Тл)

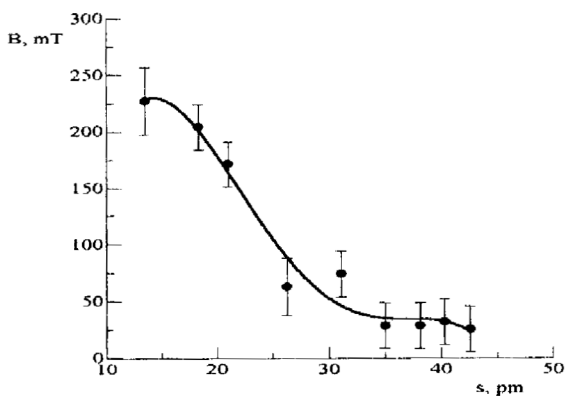


Рис. 2. Зависимость измеренного (по расщеплению бисекторов профилей  $I \pm V$ ) магнитного поля  $B$  от расстояния  $s$  от центра линии  $H_\alpha$  во вспышке 14 июля 2005 г. Этот результат соответствует высоте 18 Мм над уровнем фотосферы

Тараса Шевченко [2]. Первая вспышка наблюдалась в активной области AR 10696 вблизи центра диска ( $\mu = 0.96$ ), вторая — в активной области AR 10786 на западном лимбе Солнца.

Вспышка 5 ноября 2004 г. уже исследовалась в работе [3] по 10 спектральным линиям, имеющим факторы Ланде в пределах 0.1—3.0. В настоящей работе дополнительно изучается еще одна линия, Fe I 557.61 нм, имеющая очень низкую магнитную чувствительность,  $g = -0.012$ . На рис. 1 представлено наблюдаемое расщепление бисекторов профилей

$I + V$  и  $I - V$  в этой линии для двух случаев: вспышки (зависимость 1) и места той же активной области, но за пределами вспышки (зависимость 2).

Из сравнения общего хода зависимостей 1 и 2 видно, что во вспышке в ядре линии Fe I 557.61 существует достоверное магнитное расщепление, величина которого, выраженная в магнитной индукции, достигает 1.5 Тл, т. е. 15000 Гс. Как показало исследование теллурических линий  $O_2$  в области линии Fe I 630.25, в них подобный эффект отсутствует, а это означает, что наблюдаемое расщепление бисекторов в линии Fe I 557.61 не может быть инструментальным. Согласно расчетам, такой эффект в линии Fe I 557.61 возможен, если имеем двухкомпонентную структуру магнитного поля, состоящую из слабого поля с обычными по ширине спектральными линиями, а также магнитную компоненту с сильным полем, небольшим фактором заполнения и узкими профилями линий. Относительный доплеровский сдвиг профилей обоих компонентов незначительный, менее 0.5 км/с. Наблюдаемое максимальное расщепление бисекторов профилей  $I + V$  и  $I - V$  в ядре линии позволяет тогда оценить нижний предел локальной напряженности [5]. В нашем случае он равен, как уже говорилось выше, 1.5 Тл. Вероятная высота появления таких полей во вспышке (учитывая высоту формирования линии Fe I 557.61) — около 400 км, что соответствует области верхней фотосферы.

В лимбовой вспышке 14 июля 2005 г. найдены места на расстоянии 18—20 Мм от лимба, где линия  $H_\alpha$  расщеплена в ядре на 200—250 мТл (рис. 2).

Заметим, что для нижней короны это также «сверхсильные» поля, учитывая то, что давление плазмы может удерживать здесь поля величиной лишь в несколько десятых миллитесла (т. е. несколько Гс). На других расстояниях от лимба, в частности, в диапазоне высот 12—17 Мм, величина магнитного поля во вспышке не превышала 100 мТл [12]. Таким образом, как в диапазоне фотосферных высот, так и в нижней короне отмеченные сильные поля могут быть весьма локальными по высоте. По-видимому, сильные локальные поля существенно снижают температуру и турбулентную скорость, что проявляется в значительном сужении профилей спектральных линий.

1. Гуртовенко Э. А., Костык Р. И. Фраунгоферов спектр и система солнечных сил осцилляторов. — Киев: Наук. думка, 1989.—200 с.
2. Курочка Е. В., Курочка Л. Н., Лозицкий В. Г., Лозицкая Н. И. и др. Горизонтальный солнечный телескоп Астрономической обсерватории Киевского университета // Вестн. Киев. ун-та. Астрономия.—1980.—Вып. 22.—С. 48—56.

3. Курочка С., Осика О., Лоцицкий 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. Лоцицкий В. Г. Наблюдения магнитных полей напряженностью в несколько тесла в солнечных вспышках // Кинематика и физика небес. тел.—1998.—14, № 5.—С. 401—414.
5. Лоцицкий 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. Лоцицкая<sup>1</sup>, В. М. Малащук<sup>2</sup>, Н. Н. Степанян<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Научно-исследовательская лаборатория «Астрономическая обсерватория»  
Киевского национального университета имени Тараса Шевченко

<sup>2</sup>Научно-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 на материале 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  $2 \pm 1$  сТл и  $3 \pm 1$  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 Пулково 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