

# **Магнитные поля в области сейсмического источника большой солнечной вспышке 28.10.2003 балла X17.2/4B. I. Фотосферные линии**

**В.Г. Лозицкий<sup>1</sup>, В.П. Таращук<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Астрономическая обсерватория Киевского национального университета имени  
Тараса Шевченко, Киев, Украина

<sup>2</sup>Крымская астрофизическая обсерватория, Крым, Научный

## **Аннотация**

Прямые измерения зеемановского расщепления эмиссий в линиях FeI показали, что магнитные поля в области сейсмического источника S2/S3 активной области NOAA 0486 во время вспышки 28.10.2003 балла X17.2/4B достигали  $\approx 50$  кГс. Полуэмпирическая модель вспышки, построенная Э.А.Барановским, имеет тонкий слой в верхней фотосфере, где напряженность магнитного поля достигала 90 кГс. Сверхмощное магнитное поля  $\sim 10^4$  Гс прослеживалось на протяжении примерно 10 Мм в области сейсмического источника, а его максимальная величина наблюдалась в том месте, где эмиссия в линии H $\beta$  была максимальной.

## **Краткое введение**

Солнечные вспышки -это взрывной процесс выделения энергии мощностью  $10^{27} - 10^{32}$  эрг на высотах от фотосферы до короны длительностью от нескольких минут до 4– 5 часов. Типичный масштаб  $10^9 - 10^{10}$  см. Их поведение и вид очень разнообразны, что позволило их классифицировать по разным параметрам. Среди вспышек третьей по величине была большая солнечная вспышка 8 10 2003 балла X17.2/4B по пиковой мощности рентгеновского излучения на  $\lambda = 1-8 \text{ \AA}$  за весь период его

регистрации детекторами GOES (с 1976 г.). Особенностью этой вспышке была регистрация нескольких сейсмических источников. Во время наблюдений вспышки на эшелюном спектрографе горизон-тального солнечного телескопа АО Киевского университета, удалось получить спектры, относящиеся к области одного из таких источников - S2 / S3 согласно Kosovichev (2006) и Zharkova and Zharkov (2007) – см. рис. 1.

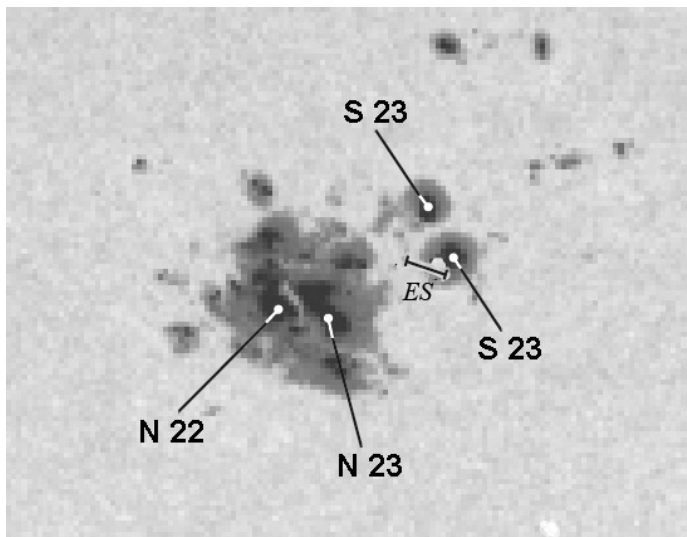


Рис. 1. Изображение активной области NOAA 0486 согласно SOHO в спектральном континууме. Положение сейсмического источника S2 / S3 в полутени пятна показано белым круглым пятном, а интервалом ES показана входная щель эшелюного спектрографа ГСТ АО КНУ. Представлены также напряженности (в сотнях Гс) и полярности в некоторых пятнах по данным визуальных измерений в линии Fe I 5250.2.

Отформатировано: Шрифт: 16 пт

Сопоставление прямых измерений по разным

Отформатировано: Шрифт: 16 пт

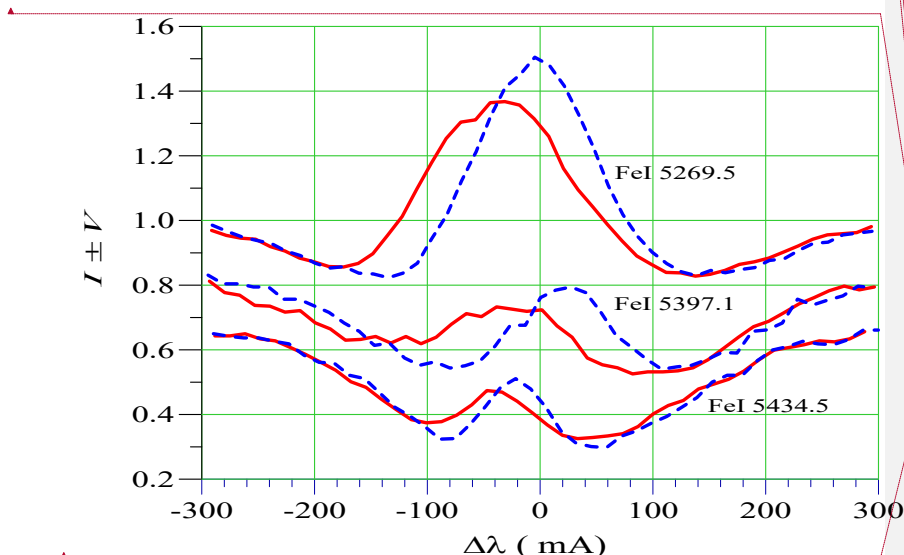
Отформатировано: Шрифт: 16 пт, без подчеркивания

Отформатировано: Шрифт: 16 пт, без подчеркивания

спектральным линиям

**Магнитные поля в этой вспышке изучались по 9 линиям Fe I и Fe II (Lozitsky et al., 2018). Ниже представлены опубликованные, так и еще не опубликованные данные.**

**В области сейсмического источника, расщепление фраунгоферовых профилей линий соответствовало нескольким сотням Гс (до 500 Гс) и S магнитной полярности, тогда как расщепление эмиссионных пиков – от 1 до 50 кГс и различным магнитным полярностям (рис. 2).**



**Рис. 2. Сопоставление профилей  $I \pm V$  линий 15-го мультиплета Fe I, а именно Fe I 5269.5 ( $g_{\text{eff}} = 1.208$ ), Fe I 5397.1 ( $g_{\text{eff}} = 1.426$ ) and Fe I 5434.5 ( $g_{\text{eff}} = -0.014$ ) в области сейсмического источника вспышки. Расщепление эмиссионных пиков этих линий соответствует 1.1, 1.3 и  $\approx 50$  кГс, соответственно. Эти расщепления соответствуют различным магнитным полярностям: S для первых двух линий и N для третьей линии.**

Отформатировано: Шрифт: 16 пт, без подчеркивания

Отформатировано: Шрифт: 36 пт, без подчеркивания

Отформатировано: Шрифт: 16 пт

Отформатировано: Шрифт: 16 пт

Отформатировано: Шрифт: 16 пт, английский (США)

Отформатировано: Шрифт: 16 пт

Отформатировано: Шрифт: 16 пт, английский (США)

Отформатировано: Шрифт: 16 пт

Отформатировано: Шрифт: 16 пт, английский (США)

Отформатировано: Шрифт: 16 пт, Цвет шрифта: Красный, английский (США)

Отформатировано: Шрифт: 16 пт, Цвет шрифта: Красный

Отформатировано: Шрифт: 16 пт, Цвет шрифта: Красный, английский (США)

Отформатировано: Шрифт: 16 пт, Цвет шрифта: Красный

Отформатировано: Шрифт: 16 пт, Цвет шрифта: Красный, английский (США)

Отформатировано: Шрифт: 16 пт, Цвет шрифта: Красный

Отформатировано: Шрифт: 16 пт, Цвет шрифта: Красный, английский (США)

Отформатировано: Шрифт: 16 пт, английский (США)

Отформатировано: Шрифт: 16 пт

Отформатировано: Шрифт: 16 пт

Отформатировано: Шрифт: 16 пт

Отформатировано: Шрифт: 36 пт

## Пространственное распределение и временяуществования\_сверхмощного магнитного поля

Расщепление миссионных пиков в линии Fe I 5434.5 (с фактором Ланде  $g_{\text{eff}} = -0.014$ ) наблюдалось на участке протяженностью около 10 Мм (рис. 3). Причем максимальное расщепление этих пиков наблюдалось в том месте вспышки, где эмиссия в линии H $\beta$  была максимальной. Этот эффект (т.е. магнитное поле  $\sim 10^4$  Гс) наблюдался на протяжении  $\sim 10$  мин примерно в одном и том же месте вспышки.

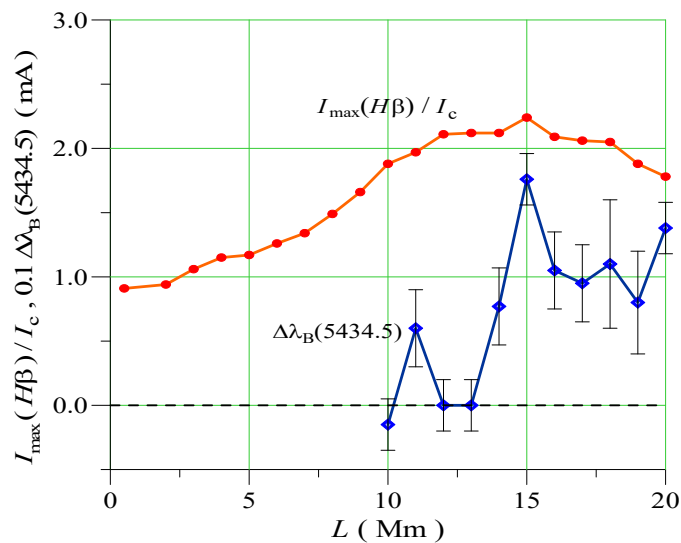


Рис. 3. Распределение величины расщепления  $\Delta\lambda_B$  бисекторов эмиссионных пиков в линии FeI 5434.5 Å вдоль входной щели спектрографа в сравнении с параметром  $I_{\text{max}}(H\beta)/I_c$ , представляющим максимальную интенсивность в ядре H $\beta$ , нормированную на интенсивность в континууме.

## Полуэмпирическая модель вспышки

Полуэмпирическая модель вспышки была построена Э.А.Барановским на основании данных о профилях «немагниточувствительных» линий FeI 5123.7 ( $g_{\text{eff}} = -0.013$ ) и FeI 5434.5 ( $g_{\text{eff}} = -0.014$ ) с использованием компьютерной программы, представляющей собой независимую имплементацию алгоритма кода PANDORA, опубликованную Avrett & Loeser (1969).

Удалось получить удовлетворительное согласие расчетов и наблюдений (рис. 4) в рамках однокомпонентной модели, в которой температура и напряженность магнитного поля существенно меняется по лучу зрения (рис. 5).

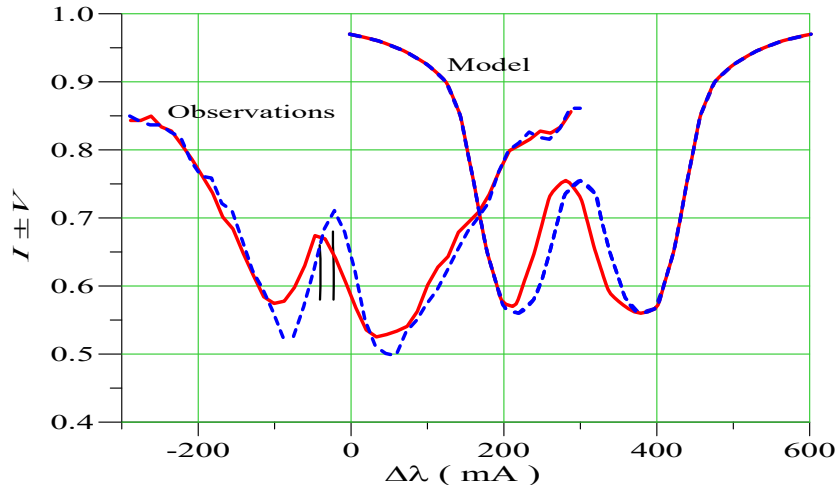


Рис. 4. Сравнение наблюдаемых (слева) и рассчитанных (справа) профилей  $I \pm V$  линии Fe I 5434.5 Å во вспышке для положения  $L = 15$  на рис. 3.

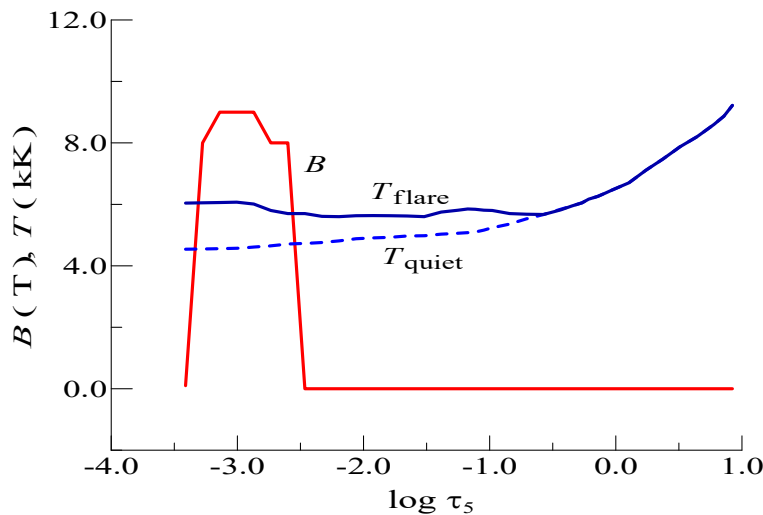


Рис. 5. Полуэмпирическая модель распределения во вспышке температуры  $T_{\text{flare}}$  и магнитного поля  $B$ . Для удобства сравнения, эти параметры указаны в кило-кельвинах (кК) и тесла (Т), соответственно;  $\tau_5$  – оптическая толщина в континууме на длине волны  $\lambda = 5000 \text{ \AA}$ .

Из рис. 5 следует, что распределение напряженности  $B$  во вспышке с высотой в атмосфере было существенно немонотонным: резкое усиление величины поля имело место в тонком слое (толщиной 40-50 км) в верхней фотосфере, где напряженность достигала 9 Тл = 90 кГс. Это интересно сравнить с прямыми измерениями по расщеплению эмиссионных пиков в ядре FeI 5434.5, согласно которым  $B = 47 \pm 4$  кГс. По-видимому, действительные локальные напряженности были еще выше, поскольку измеренные величины представляют результат усреднения как по высоте, так и по поверхности.

Существенной особенностью магнитных полей в исследованной вспышке были не только очень высокие напряженности, но также тесный контакт противоположных магнитных полярностей на участке 1.5 Мм. Это следует не только из сопоставления расщеплений эмиссионных пиков (рис. 2), но также из сопоставления эффективных магнитных полей  $B_{\text{eff}}$ , измеренных по смещению «центров тяжести»

фраунгоферовых профилей линий FeI 6301.5 и FeI 6302.5. Таким образом, необходимые условия для магнитного пересоединения выполнялись в этой вспышке даже на фотосферном уровне (т.е. до высот 500 км).

### **Благодарности**

Это исследование профинансировано Киевским национальным университетом имени Тараса Шевченко, проект 19БФ023-03, и Крымской астрофизической обсерваторией, грант РФФИ № 16-42-910467 р-аэ.

### **Литература**

- Avrett E.H., Loeser R., 1969, SAO, Special Report 303  
Kosovichev A. G., 2006, Solar Phys. 238, 1  
Lozitsky V.G., Baranovsky E.A., Lozitska N.I., Tarashchuk V.P., 2018, MNRAS, 477, 2796  
Zharkova V.V., Zharkov S.I., 2007, Ap J, 664, 573