К ВОПРОСУ О СУЩЕСТВОВАНИИ СВЕРХСИЛЬНЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ ВО ВСПЫШКАХ

Барановский Э.А.¹, Лозицкий В.Г.², Лозицкая Н.И.², Тарашчук В.П.¹

¹*Крымская астрофизическая обсерватория РАН, Научный, Крым, Россия*

²*Астрономическая обсерватория КНУ, Киев, Украина*

ABOUT THE EXISTENCE OF SUPERSTRONG MAGNETIC FIELDS IN FLARES

Baranovsky E.A.¹, Lozitsky V.G.², Lozitska N.I.², Tarashchuk V.P.¹

¹*Crimea Astrophysical Observatory, Nauchny, Crimea, Russia*

²*Astronomical Observatory of the National University of Kyiv, Ukraine*

The physical properties of solar flares are determined from spectral observations on a base of theoretical modeling. For the flares October 28, 2003 class X17.2 / 4B flare we used spectral lines with different Lande factors for study magnetic fields and thermodynamic conditions. The flares refers to the area of the seismic source associated. It was found that the substance in the flare had a complex layered structure with various physical parameters. According to the FeI 5250.2 Å with large Lande factor ($g = 3.0$), the magnetic field in flare was about 3000 G. According to the FeI 5250.2 Å. with large Lande factor ($g = 3.0$), the magnetic field in flare was about 3000 G. Evidences to stronger magnetic fields were found by the spectral effects in the FeI 5434.5 line with $g = -0.014$. In this line, splitting of emission peaks was observed; if this splitting to interpreted as the Zeeman effect, then the magnetic field strength is near 40 kG. Two other lines with very small $g = -0.014$, FeI 5576.1 Å and 5123.7 Å, do not have emission peaks in the flare. This indicates that their formations region were located in deeper layers of the atmosphere. It was found that in layered structures there can exist not only high temperatures, but also very strong magnetic fields. Apparently, such superstrong magnetic fields do not exist for long, they have small scale in horizontal and vertical direction, and this is the difficulty in detecting them.

DOI: 10.31725/0552-5829-2019-35-38

Введение

Солнечные вспышки представляют процесс взрывного выделения энергии. Физические параметры вспышек определяют из спектров. Одним из главных параметров вспышек являются магнитные поля (МП) с их экстремально быстрой трансформацией в другие процессы. Величины МП варьируют в широких пределах. Локальные МП имеют величину 10^2 – 10^3 Гс. Однако есть указание на возможность недолгого существования очень сильных МП величиной до 10^4 Гс. Предположение о существовании таких МП в 1957 г. высказал Северный А.Б. [1], а затем Брюс (1966) [2] и Аликаева (1970) [3]. Физические параметры вспышек являются результатом моделирования при сходстве рассчитанных и наблюдаемых контуров спектральных линий.

Расчеты моделей приводят к необходимости задавать плотные и горячие конденсации, т.е. иметь слоистую структуру вспышек. Тогда получает-

ся хорошее согласие профилей. Если плотность мала, то это может указывать на подъем нагретого фотосферного вещества или это основание вспышечной арки. Так в [4] для моделей двух вспышек получено наличие конденсаций с плотностью $3 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$. В [5] исследована хромосфера двухленточной вспышки 4.09.1990 г. в активной области NOAA 6233 для линии $\text{H}\alpha$. В двухкомпонентной модели одна из компонент имеет глубокий прогрев хромосферного слоя, занимающего 8–10 % общей площади вспышки. В работе [6] об источнике субтерагерцевого излучения на основании анализа вспышки 2.04.2017 г. рассмотрена модель атмосферы Мачадо (1980). Наблюдаемое излучение образуется в слое хромосферы толщиной порядка 10 км с температурой плазмы в объеме 10^5 K .

Наблюдения, обработка

Двухленточная вспышка 28 октября 10 2003 г. класса X17.2 / 4B – третья по мощности наблюдалась на эшелъном спектрографе АО Киевского университета. Входная щель проектировалась на место сейсмического источника вспышки S2 / S3 с координатами L с координатами $L = 291,00$ и $\phi = -16,64$. Использованы излучения $I \pm V$ профилей 9 линий Fe I с разными факторами Ланде, потенциалами возбуждения и высотами формирования в атмосфере. Для исследования взята поздняя фаза развития вспышки – 11:14 UT. В линии $\text{H}\alpha$ регистрировались самые яркие места.

МП в этом месте было многокомпонентным противоположных магнитных полярностей и широким спектром напряженностей до 10^4 Гс . Данные о линиях приведены в таблице. Было найдено, что во вспышке существовали 4 компоненты МП. Они находились в объеме геометрической толщи фотосферы $1.5 \times 1.5 \times 0.5 \text{ Мм}^3$, что согласуется с пространственным разрешением телескопа. Моделирование показало диапазон высот 40–50 км в верхней фотосфере.

Таблица 1. Спектральные линии.

No.	Element of multiplet	Wavelength λ (Å)	Equivalent width W (mÅ)	Excitation potential EP (eV)	Lande factor g_{eff}
1	FeI-16	5123.72	101	1.01	–0.013
2	FeI - 15	5434.52	184	1.01	–0.014
3	FeI - 686	5576.09	113	3.43	–0.012
4	FeI - 1	5247.05	59	0.09	1.998
5	FeI - 1	5250.21	62	0.12	2.999
6	FeI - 816	6301.51	127	3.65	1.669
7	FeI - 816	6302.50	83	3.69	2.487
8	FeI - 15	5269.54	478	0.86	1.208
9	FeI- 15	5397.14	239	0.91	1.426

При изучении МП важную информацию дают спектральные линии с разными факторами Ланде, особенно с очень низким значением, например, для Fe I $\lambda = 5123.723 \text{ \AA}$ и Fe I $\lambda = 5434.527 \text{ \AA}$. Рассчитанные теоретически коэффициенты Ланде (g) для LS -связи равны нулю ($g_{LS} = 0,000$). Но лабораторные данные дают $g_{Lab} = -0,013$ и $-0,014$. При расчетах расщепленные контуры этих линий можно получить, если МП достигает очень больших величин. Такой эффект для линий Fe I 5123,7 и 5434,5 $\text{\AA}$ приведен в [7]. Расщепление пико в профилях линий $I \pm V$ измерялось в диапазоне $\Delta\lambda_V = 5\text{--}36 \text{ m\AA}$, тогда как для $I \pm Q$ профилей оно около нуля ($\Delta\lambda_Q \leq 5 \text{ m\AA}$). В соответствии с эффектом Зеемана это требует поля около $\approx 15 \text{ кГс}$. На пиковой фазе вспышки наблюдался резкий локальный максимум МП в 2 кГс в верхней фотосфере, который смещался в более глубокие слои атмосферы.

Для диагностики МП величиной в кГс применен метод отношения линий для пар линий типа FeI 5247.1–5250.2 $\text{\AA}$ и Fe I 6301.5–6302.5 $\text{\AA}$ с почти одинаковыми температурными чувствительностями и высотой формирования, но с существенно разными факторами g_{eff} . Линии Fe I 5123.7 $\text{\AA}$, 5434.5 $\text{\AA}$ и 5576.1 $\text{\AA}$ немагнитные для LS связи. В мощных вспышках расщепление может соответствовать величине МП $\sim 10^4 \text{ Г}$. Расщепление эмиссионных пиков в линиях с фактором $g_{eff} 1\text{--}1.7$ соответствует МП $1\text{--}3 \text{ кГ}$.

Интересным оказалось моделирование для трех линий с очень низкими факторами Ланде (например, FeI 5434.5, $g_{eff} = -0.014$). Для одной из них расщепление пико соответствовало МП величиной до $4 \cdot 10^4 \text{ Г}$ и температура была выше. В месте формирования двух других линий температура была ниже, и МП было существенно ниже, что также указывает на слоистую структуру области вспышки. В зависимости от состояния атомов и физических условий в том или ином слое расщепление пиков линий с очень низкими факторами g_{eff} приводит к разным значениям магнитных полей. МП большой величины существуют очень непродолжительное время в мощных вспышках и трудно наблюдаемы.

Распределение МП по высоте не монотонно, а может иметь узкие пики. Это еще одно свидетельство слоистой структуры – на уровне верхней фотосферы.

Выводы

Многокомпонентное МП при сравнении профилей $I + V$ линий Fe I с разными параметрами имело не менее 4 компонент:

- с умеренной напряженностью (10^2 Г) с полярностью (S) как у тени ближайшего пятна;
- МП на среднем уровне фотосферы ($h = 300 \text{ км}$) N-полярности с напряженностью в диапазоне кГс ;
- мелкомасштабные МП $1.1\text{--}1.3 \text{ кГ}$ S-полярности;

- сверхсильные МП до $4 \cdot 10^4$ G N полярности в верхней фотосфере – $h = 400\text{--}500$ км.

МП такого типа имели вспышки 25.07.1981 г., 08.06.1989 г., 16.06.1989 г. и 17. 06. 2004 г. Расщепление пиков в профилях $I \pm V$ в соответствии с эффектом Зеемана соответствует полю более 15 кГс. На пиковой фазе вспышки наблюдался резкий локальный максимум МП 2 кГс в верхней фотосфере, смещавшийся в более глубокие слои атмосферы.

Литература

1. Северный А.Б. // Астр. журн., 1957, т. 34, с. 684.
2. Bruce C.E.R. // Observatory, 1966, 86, 82.
3. Alikaeva K.V. // Astrometr. Astrofiz., 1970, 8, 92.
4. Барановский Э.А., Кондрашова Н.Н., Пасечник М.Н., Таращук В.П. // Кинемат. и физ. неб. тел, 2013, т. 29, с. 18.
5. Барановский Э.А., Лозицкий В.Г., Таращук В.П. // Кинематика и физика неб. тел, 2009, т. 25, № 5, с. 373.
6. Моргачев А.С., Цап Ю.Т., Смирнова В.В., Моторина Г.Г. // Геомаг. и аэронам., 2019, в печати.
7. Лозицкий В.Г. // Кинемат. и физ. небесн. тел., 1998, Т. 14, № 5, с. 401.