

Магнитные поля в области сейсмического источника большой солнечной вспышке 28.10.2003 балла X17.2/4B.

II. Хромосферные линии

В.Г. Лозицкий¹, Е.А. Кравченко², В.П. Таращук¹

1. АО КНУ, Киев, 2. Физ. ф-т КНУ., Киев, 3. КрАО РАН, Крым, Научный

Аннотация

Прямые измерения зеемановского расщепления эмиссий в линиях $H\alpha$, $H\beta$, $H\gamma$, $H\delta$ показали, что магнитные поля в области сейсмического источника S2/S3 активной области NOAA 0486 во время вспышки 28.10.2003 балла X17.2/4B на уровне хромосферы достигали значений до ≈ 2 кГс, причем эти поля меняли магнитную полярность по высоте солнечной вспышки. Полуэмпирическая модель вспышки, построенная Э.А.Барановским, имеет интересную особенность: очень плотный (10^{18} см⁻³) и тонкий (3-5 км) слой в хромосфере на высоте 1200 км. Косвенная оценка магнитного поля по этим параметрам приводит к минимальной напряженности 9000 Гс.

Профили хромосферных линий

Согласно наблюдениям, выполненным на ГСТ АО КНУ, большая солнечная вспышка 28.10.2003 балла X17.2/4B имела беспрецедентный бальмеровский декремент, при котором отношение интенсивностей линий $H\beta$ и $H\alpha$ было следующим: $I(H\beta) / I(H\alpha) = 1.68$ (Lozitsky et al., 2018), см. рис. 1. Известны лишь четыре солнечных вспышки, для которых $I(H\beta) / I(H\alpha) > 1$, для остальных вспышек

это отношение меньше единицы. Такой высокий декремент указывает на большую оптическую толщину водородной плазмы во вспышке, что подтверждается также полуэмпирической моделью (см. ниже).

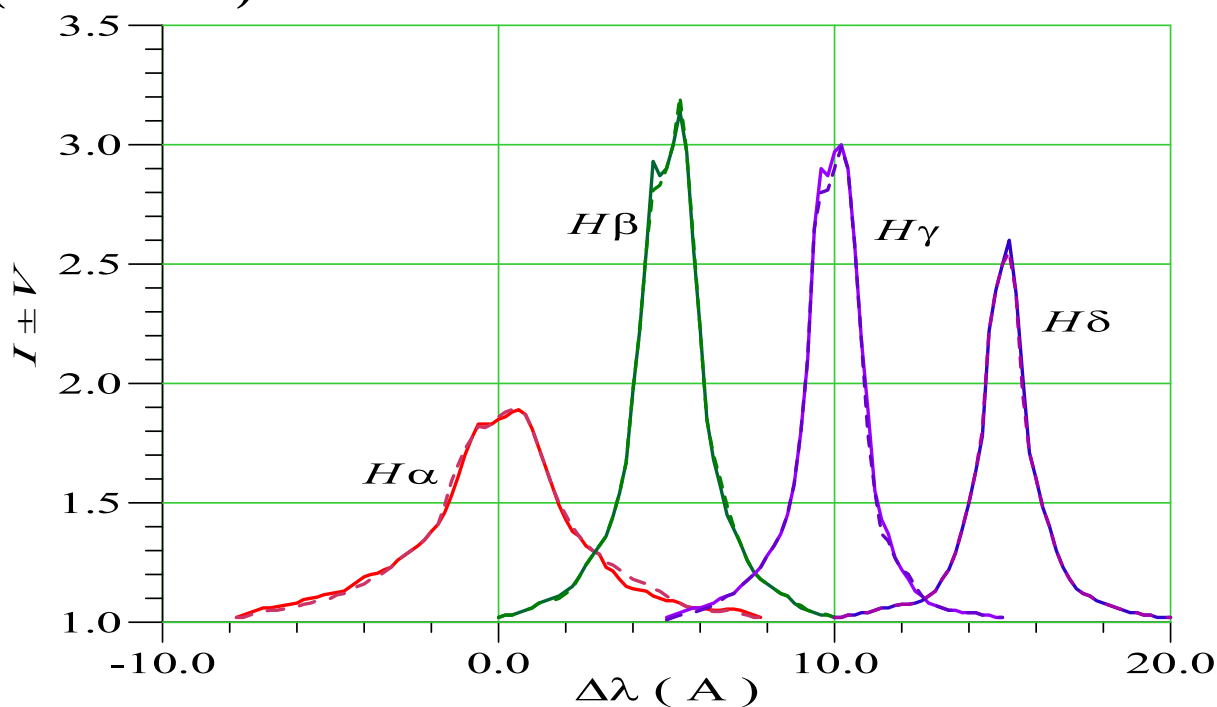


Рис. 1. $I \pm V$ профили первых четырех водородных линий серии Бальмера для максимальной фазы (11:06 UT) солнечной вспышки 28 октября 2003 г. Профили линий $H\beta$, $H\gamma$ и $H\delta$ были искусственно сдвинуты вдоль оси абсцисс на 5 \AA , 10 \AA и 15 \AA , соответственно, для более удобного сравнения данных.

Напряженности V_{eff} и бисекторы профилей

$$\underline{I \pm V}$$

Эффективные (усредненные по площади входной щели инструмента) напряженности V_{eff} , измеренные по расщеплению эмиссионных пиков линий $H\alpha$, $H\beta$, $H\gamma$ и $H\delta$ в области сейсмического источника, были следующими: 1250, 650, 800 и 2150 Гс (ошибки измерений $\pm 150 \div 300$ Гс). Важно отметить, что магнитные полярности по этим линиям были различными: N , N , S и N , соответственно. Таким образом, на хромосферном уровне вспышки были не только очень сильные, но и знакопеременные поля. О существенной неоднородности магнитного поля во вспышке свидетельствуют также бисекторы профилей (рис. 2) - их локальные максимумы расщепления.

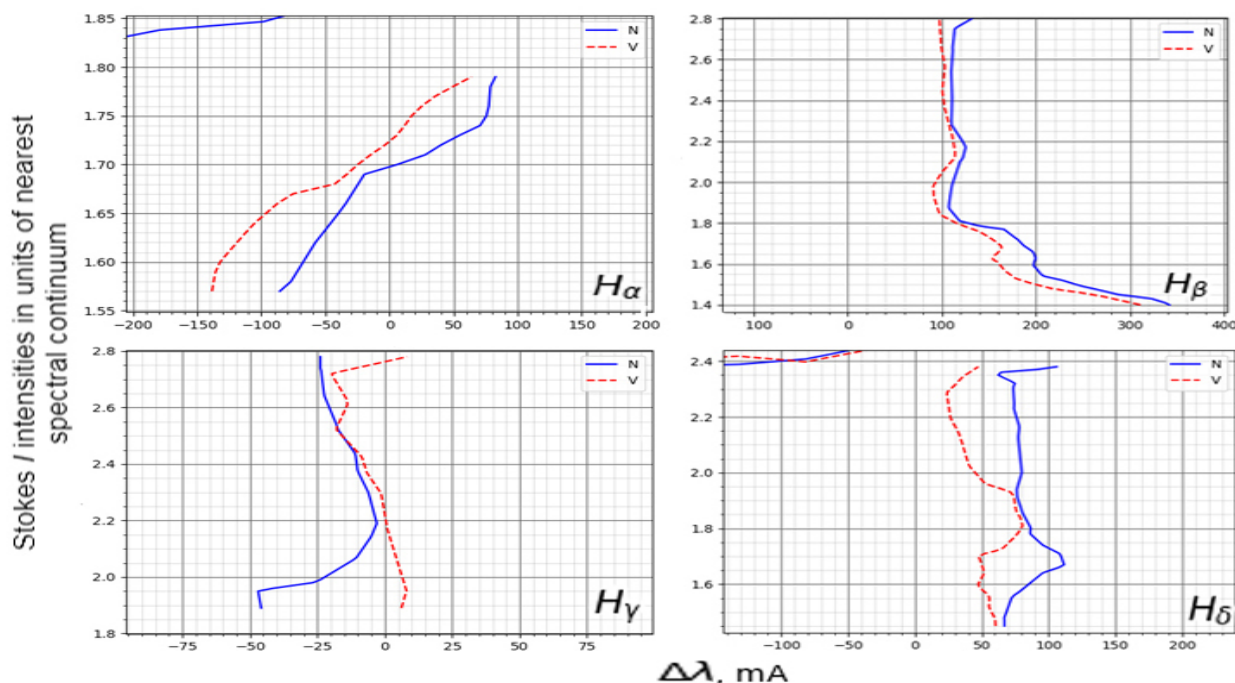


Рис. 2. Сравнение вида бисекторов профилей $I + V$ и $I - V$ для первых четырех линий бальмеровской серии. При однородном магнитном поле эти

бисекторы должны быть параллельны друг другу, т.е. иметь везде одинаковое магнитное расщепление.

Полуэмпирическая модель вспышки

Полуэмпирическая модель вспышки была построена Э.А. Барановским на основании данных о профилях хромосферных линий $H\alpha$, $H\beta$, $H\gamma$ и $H\delta$ с использованием компьютерной программы, представляющей собой независимую имплементацию алгоритма кода PANDORA, опубликованную Avrett & Loeser (1969). Было показано, что данные наблюдений хорошо объясняются двухкомпонентной моделью, с горячей и холодной компонентами (рис. 3 и 4).

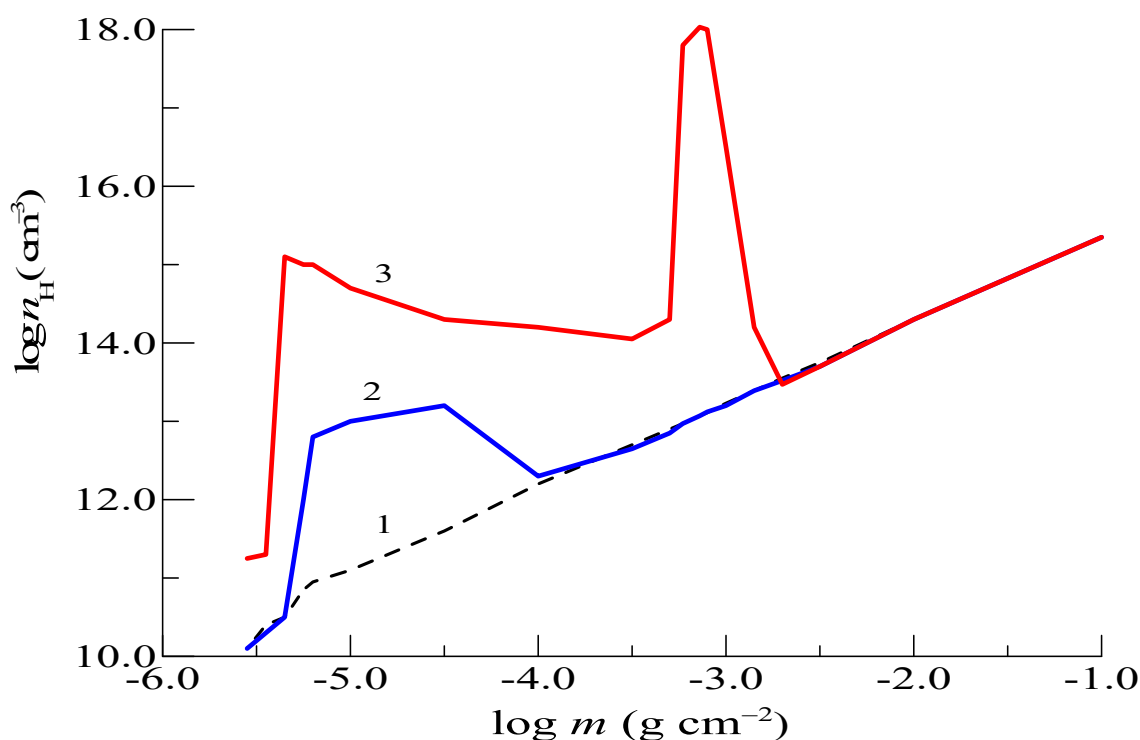


Рис. 3. Концентрация атомов нейтрального водорода n_H в зависимости от массы плазмы m в столбике с сечением 1 см^2 для различных объектов: 1 – невозмущенная атмосфера, 2 – первая компонента эмиссии изученной вспышки, 3 – вторая компонента вспышки (Lozitsky et al., 2018).

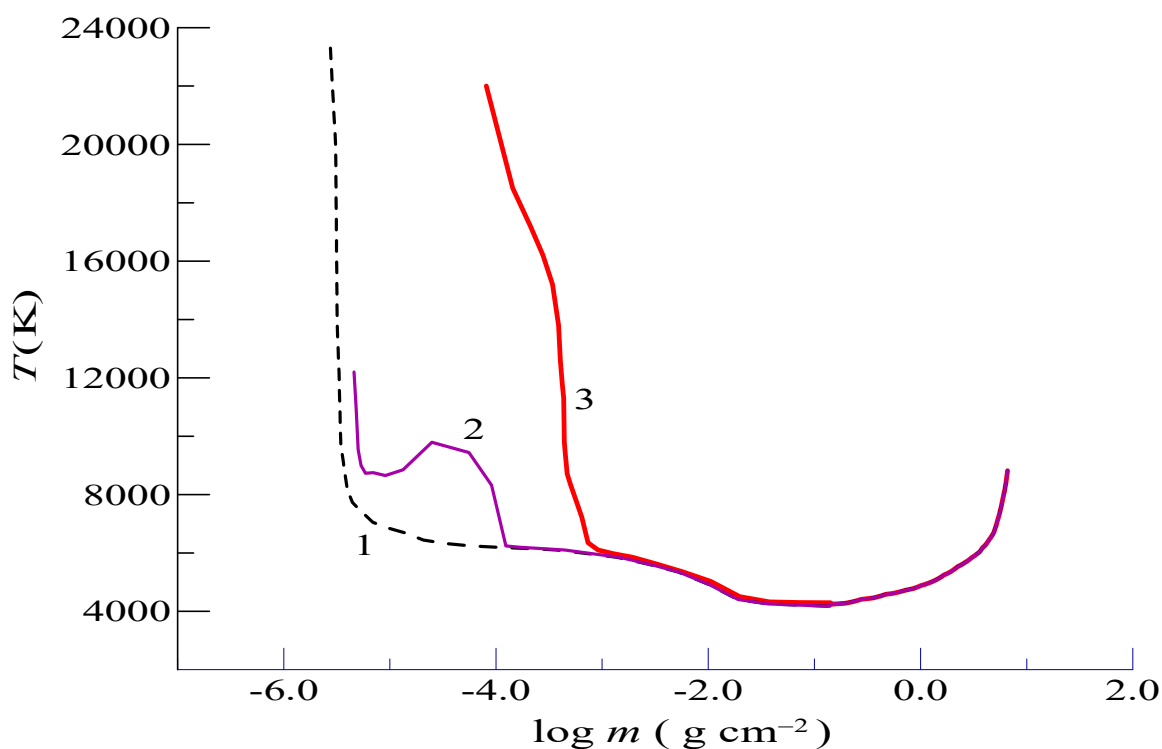


Рис. 4. Температура T в зависимости от массы плазмы m в столбике с сечением 1 см^2 для различных объектов: 1 – невозмущенная атмосфера, 2 – первая компонента эмиссии изученной вспышки, 3 – вторая компонента вспышки (Lozitsky et al., 2018).

Из рис. 3 видно, что распределение концентрации атомов водорода n_H в зависимости от массы плазмы m в столбе сечением 1 см^2 имеет очень интересные детали: при $\lg m \approx -3$ наблюдается резкий локальный скачок параметра n_H примерно на 5 порядков, вплоть до уровня

концентрации $\sim 10^{18} \text{ см}^{-3}$, т.е. до фотосферных значений. Столь аномально высокая концентрация достигается на геометрической высоте 1200 км над уровнем $\tau_5 = 1$, в очень тонком слое толщиной всего 3–5 км. На этой высоте нет никаких особенностей в «холодной» составляющей. Однако они появляются в этом компоненте выше, начиная с уровня $\log m \approx -4$.

Косвенная оценка магнитного поля во вспышке

Существование таких узких и плотных слоев во вспышке не могло бы возникнуть без сильных магнитных полей. Подобные слои (но не столь плотные) были обнаружены Tsuneta et al. (1984) по данным о рентгеновском излучении солнечных вспышек. В указанной работе магнитное поле оценивалось по формуле

$B = (24\pi nkT)^{0.5}$, где n - концентрация частиц, T - температура, k - постоянная Больцмана. Tsuneta et al. (1984) получили концентрацию электронов $\sim 10^{12} \text{ см}^{-3}$ и $T \sim 20\text{-}25 \text{ мК}$. Это дает минимальное магнитное поле 300 Гс. В случае вспышки 28 октября 2003 г., по указанной формуле при $n_H \sim 10^{18} \text{ см}^{-3}$ и $T \approx 6000 \text{ К}$ получаем

$B \approx 9000 \text{ Гс}$ на высоте 1200 км.

В заключение следует отметить, что очень сильные магнитные поля бывают в очень мощных

вспышках и очень короткое время. Это затрудняет их наблюдение.

Благодарности

Это исследование профинансировано КНУ им. Т Шевченко, проект 19БФ023-03, и КрАО РАН, грант РФФИ № 16-42-910467 р-аэ.

Литература

- Avrett E.H., Loeser R., 1969, SAO, Special Report 303**
Lozitsky V.G., Baranovsky E.A., Lozitska N.I., Tarashchuk V.P., 2018, MNRAS, 477, 2796
Tsuneta S., Nitta N., Takakura T., Makishima K. et al. 1984. Astrophys. J. 284, 827-832.