

УДК 523.98

Двухкомпонентные модели солнечных H_{α} вспышечных петель

К.В. Аликаева¹, Э.А. Барановский², С.Н. Черногор¹

¹Main Astronomical Observatory, National Academy of Sciences, 27 Zabolotnogo Str., Kyiv, Ukraine, 03680

²НИИ “Крымская Астрофизическая Обсерватория”, 98409, Украина, Крым, Научный

Аннотация. Рассчитываются модели хромосферы для вспышки 3 сентября 1990 г. Особенностью вспышки является значительная эмиссия в крыльях при малой величине эмиссии в центре линии H_{α} . Получено, что наблюдаемые профили H_{α} невозможно интерпретировать с помощью однородных моделей. Для объяснения профилей рассчитан набор двухкомпонентных моделей с различной глубиной прогрева хромосферы вспышки.

TWO-COMPONENT MODELS OF SOLAR H_{α} FLARE LOOPS, by *K.V. Alikayeva¹, E.A. Baranovskiy², S.N. Chornogor¹*. Chromosphere models are calculated for the flare on September 3, 1990. The flare has notably enhanced intensity in the wings of H_{α} line and rather moderate emission in the center of the line. It was concluded that the observed H_{α} profiles could not be interpreted with homogeneous models. The set of two-component models with various depths of chromospheric heating is calculated for the explanation of profiles.

Ключевые слова: Солнце, вспышки, модели

Объектом исследования является яркая вспышка (1b/M2.2) 3 сентября 1990 г. В работе были использованы следующие наблюдательные данные:

- спектры, полученные на горизонтальном солнечном телескопе АЦУ-26 ВНБ “Терскон” Главной астрономической обсерватории НАНУ;
- телевизионные H_{α} -изображения активной области;
- данные GOES о рентгеновском излучении;
- карта фотосферного магнитного поля исследуемой активной области за несколько часов до вспышки из NSO Digital Library.

Вспышка возникла вблизи сложного пятна, состоящего из нескольких ядер S-полярности с вкраплениями N-полярности. Первичный очаг в H_{α} возник в виде нескольких петель, основания которых располагались по обе стороны от линии раздела полярностей.

Развитие вспышки происходило по такому сценарию:

- а) места наибольшего свечения H_{α} петель смещались вдоль аркады над нейтральной линией, огибая отдельные супергрануляционные ячейки (рис. 1, б-д);
- б) более ранние вспышечные очаги постепенно затухали;
- в) на конечной стадии распространение вспышечного процесса прекратилось на границе крупной супергранулы, отмеченной на рис. 1а стрелочкой, частично заполняя ее;
- г) в конце вспышки отдельные петли были видны вблизи границы сетки (рис. 1д);
- д) увеличение площади и яркости вспышки свидетельствует о том, что происходит нагрев не только в самих петлях, но и окружающего их вещества.

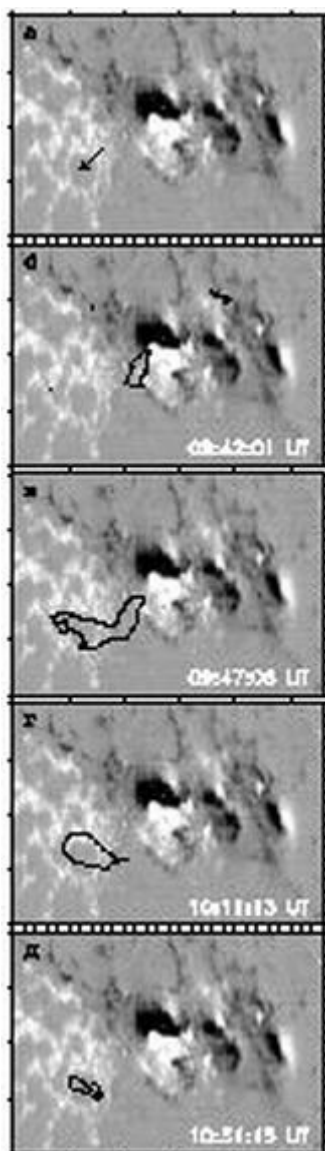


Рис. 1. Наложение H_{α} -изображения на карту магнитных полей

На щель спектрографа проектировались две петли А и Б, наиболее яркие в первичном очаге вспышки, которые отслеживались на протяжении всей вспышки. Одна из петель (Б) проектировалась на полутень пятна, следствием чего было более низкое значение интенсивности в континууме.

Сопоставление временного хода рентгеновского излучения и развития вспышки в H_{α} позволяет рассматривать эту вспышку как последовательность элементарных вспышек в аркаде. Последовательное возбуждение петель в аркаде может быть следствием многократных пересоединений.

Из рассмотрения H_{α} -изображений следует, что при каждом акте освобождения энергии возбуждаются и соседние с А и Б петли, хотя и в меньшей степени. В обеих петлях изменения интенсивности линии H_{α} происходят синхронно в вершине и основании, причем интенсивность

в основании больше. Аналогичная картина наблюдалась в рентгеновских петлях в импульсных вспышках в работах других авторов.

Было выполнено моделирование физических условий в хромосфере и фотосфере для разрезов двух $H\alpha$ -петель (А и Б). Модели получены для двух моментов вспышки. Первый момент (09:45:19 UT) совпадает с максимумом $H\alpha$ -интенсивности петли А. Второй момент (09:46:03 UT) можно рассматривать как минимум поярчания в петле А и начало поярчания петли Б. Моделирование основывалось на профилях линии $H\alpha$ и ряда линий поглощения с малыми факторами Ланде, область образования которых простирается от хромосферы до нижней фотосферы. В процессе развития вспышки в $H\alpha$ -профилях меняются центральная интенсивность и протяженность эмиссии в крыльях. Следует отметить, что $H\alpha$ -профили существенно различаются для петли А и петли Б.

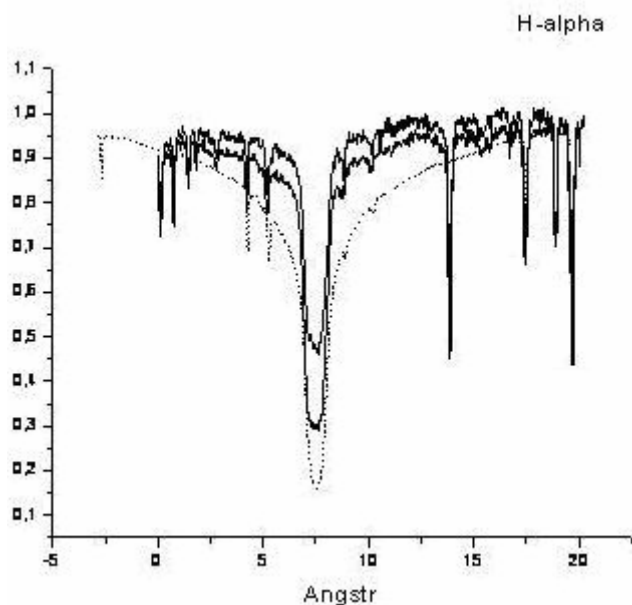


Рис. 2. Наблюдаемые профили линии $H\alpha$ для первого разреза вспышки. Пунктир — невозмущенный профиль

Отдельные разрезы для трех узлов вспышки получены со смещением вдоль щели на $1.1''$ дуги. Качество изображения соответствует разрешению около $1''$. Особенности этих профилей в том, что при низкой центральной эмиссии эмиссия в крыльях высокая (рис. 2 и 3). Соотношение между величиной эмиссии в центре линии и в крыльях различное для разных разрезов. Имеются два типа профилей: с малой центральной эмиссией и большой эмиссией в крыльях и профили с малой эмиссией в крыльях, но с большой центральной эмиссией (рис. 4).

Далее по наблюдаемым профилям линии $H\alpha$ мы рассчитываем модели хромосферы вспышки, а именно — определяем такую зависимость температуры, плотности и турбулентной скорости от высоты, которая дает согласие вычисленных и наблюдаемых профилей. Вычисление профилей делается по не-ЛТР программе, алгоритм которой описали Эврет и др. (1969). Модели определяются посредством подбора подходящей зависимости температуры и других параметров от высоты, т. е. методом проб и ошибок.

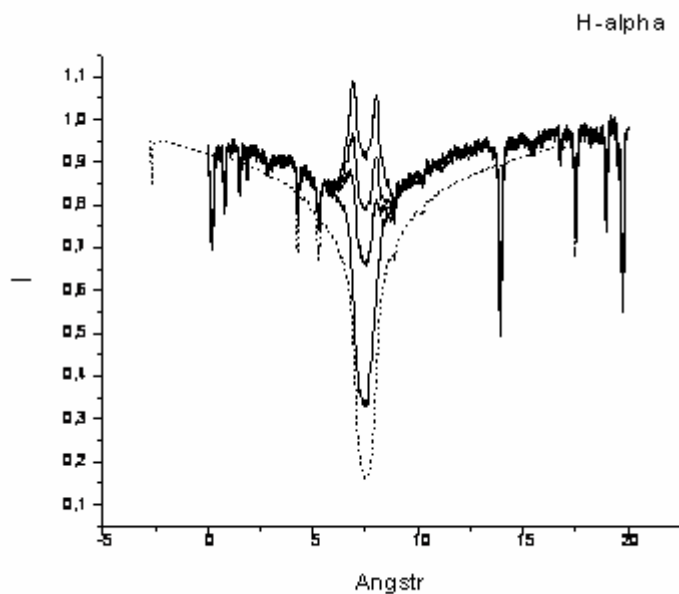


Рис. 3. Наблюдаемые профили линии H_{α} для второго разреза вспышки. Пунктир – невозмущенный профиль

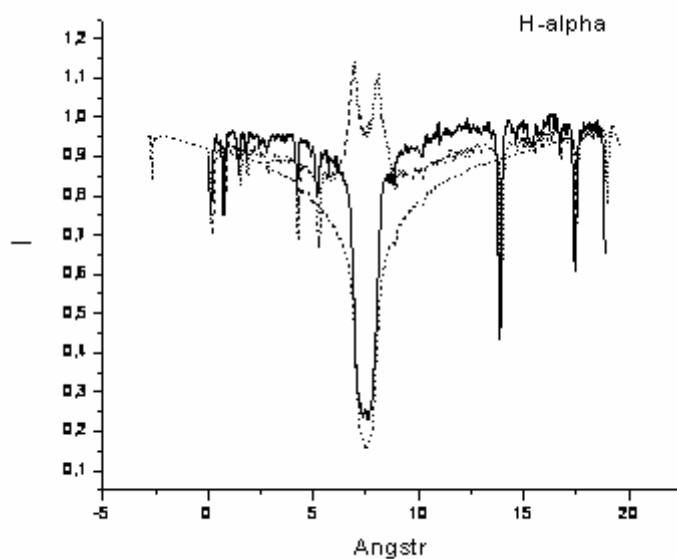


Рис. 4. Профили с различным соотношением интенсивности в центре линии и в крыльях. Пунктир – невозмущенный профиль

В процессе подбора моделей выяснилось, что наблюдаемые профили невозможно интерпретировать с помощью одной модели. Для объяснения профилей необходимо допустить, что наблюдаемые профили являются результатом усреднения профилей от нескольких участков вспышки с различными значениями температуры и других параметров. Согласно вычисленных

и наблюдаемых профилей мы получили с моделями из двух, иногда из трех компонент. Основное различие между моделями – это глубина прогрева хромосферных слоев вспышки. На рис. 5 показаны две такие модели. Соответствующие этим моделям профили различаются протяженностью крыльев (рис. 6).

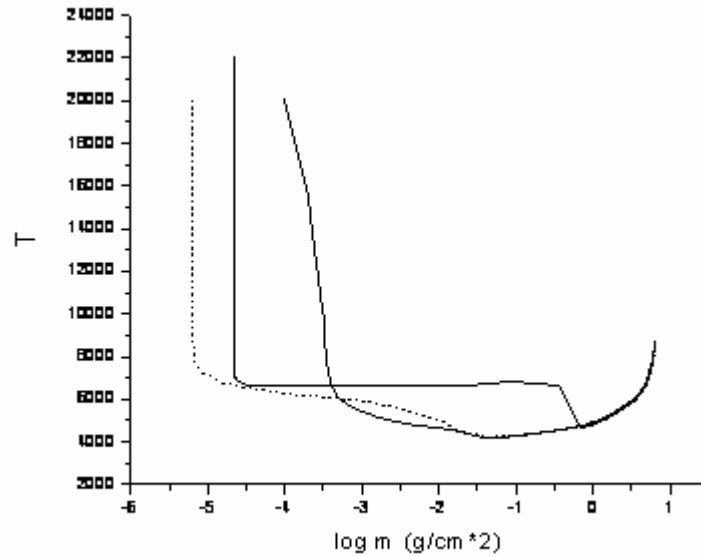


Рис. 5. Модели с различной глубиной прогрева хромосферных слоев. Пунктир – невозмущенная модель

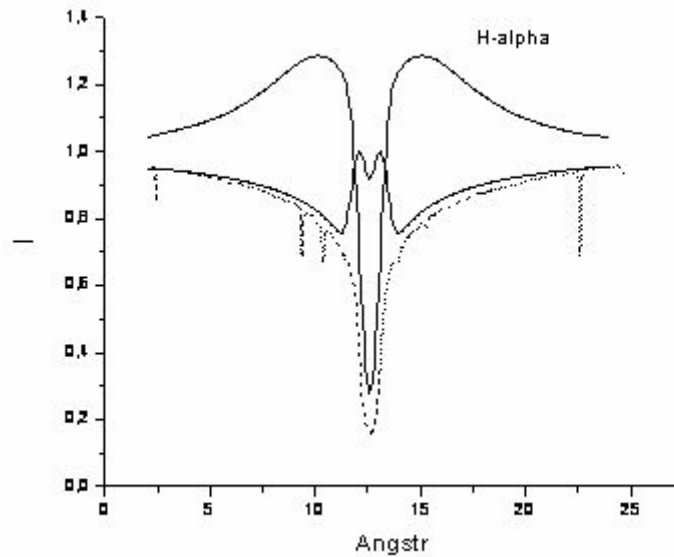


Рис. 6. Профили линии $H\alpha$, соответствующие моделям на рис. 5. Пунктир – невозмущенный профиль

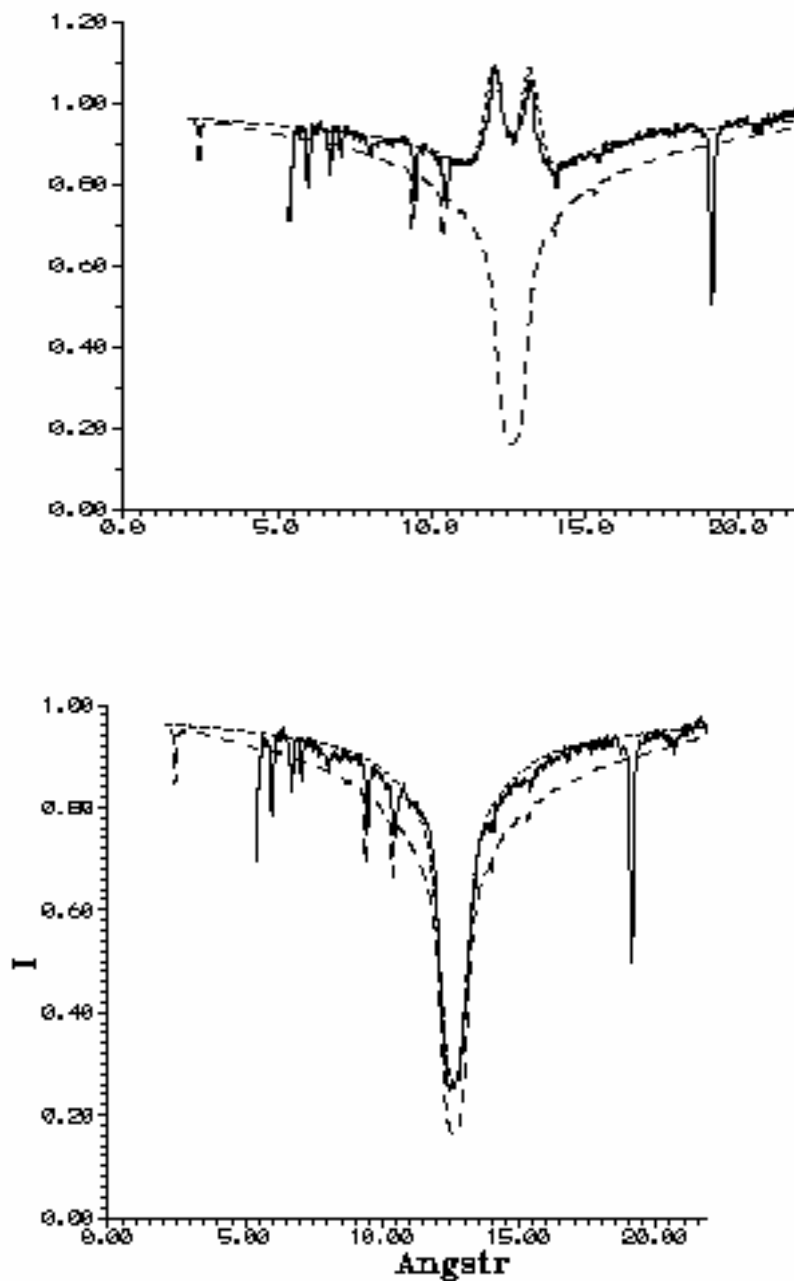


Рис. 7. Пример сравнения вычисленного (короткий пунктир) и наблюдаемого (сплошная линия) профилей. Длинный пунктир – невозмущенный профиль

Такого вида профили усредняются с какими-то весами, и результат сравнивается с наблюдаемыми профилями. При подборе моделей мы меняем не только модели, но и веса моделей. В большинстве случаев оказалось, что модели с глубоким прогревом имеют существенно меньший вес, т. е. занимают меньшую площадь, чем модели с прогревом только верхней

хромосферы. Соотношение весов от 1/5 до 1/3. Так как наблюдения сделаны с разрешением 1", то размер участков вспышки, соответствующих глубокому прогреву хромосферы, не более 0.5". Такой результат получен для всех разрезов, т. е. вся вспышка имеет тонкую структуру с элементами около 0.5". Пример сравнения вычисленных и наблюдаемых профилей показан на рис. 7.

При достаточно глубоком и сильном прогреве хромосферы (до температурного минимума и верхней фотосферы) появляется эмиссия в континууме (10–15%). Для некоторых разрезов первого узла вспышки континуум действительно наблюдается (до 4%), и модели для этих разрезов подобраны так, что получено согласие и профилей линии H_α и величины континуума.

Модели фотосферы, рассчитанные по нескольким фотосферным линиям с помощью программы SIR (Руиз Кобо и др. 1992), обнаруживают неоднородности температуры и плотности по всей глубине фотосферы.

Заключение

Рассчитаны двухкомпонентные модели для вспышки, у которой наблюдаемые профили линии H_α имеют значительную эмиссию в крыльях при небольшой эмиссии в центре линии. Компоненты модели имеют различную глубину прогрева хромосферы. Размер компонентов меньше 1".

Модели хорошо объясняют наблюдаемые профили линии H_α и наблюдаемый континуум. Континуум образуется на уровне нижней хромосферы, температурного минимума и частично верхней фотосферы, когда температура здесь увеличивается до 5500-6500 К. Оптическая толщина области образования континуума для 5000 Å равна 0.3–0.5. Тонкая структура исследуемой вспышки выявлена с помощью моделирования.

Литература

- Эврет и др. (Avrett E.H, Loeser R.) // *Smiths. Astrophys. Obs. Sp. Rep.* 1969. N. 303.
Руиз Кобо и др. (Ruiz Cobo B., del Toro Iniesta J.C.) // *Astrophys.J.*, 1992. V. 398. P. 375.