

УДК 523.985.3

Физические условия в хромосфере двухленточной солнечной вспышки, сопровождавшейся выбросом

Э.А. Барановский¹, Н.Н. Кондрашова², М.Н. Пасечник², В.П. Таращук¹

¹НИИ «Крымская астрофизическая обсерватория» КНУ им. Т. Шевченко, Научный, АР Крым, Украина, 98409
edward@crao.crimea.ua

²Главная астрономическая обсерватория НАНУ, Киев, Украина, 03680
kondr@mao.kiev.ua

Поступила в редакцию 15 ноября 2013 г.

Аннотация. Изучаются хромосферные слои солнечной вспышки по наблюдаемым профилям линии $H\alpha$. Двухленточная вспышка наблюдалась 4 сентября 1990 г. Спектры получены на солнечном горизонтальном телескопе АЦУ-26 ГАО НАНУ (Приэльбрусье, пик Терскол, 3100 м). Фотометрия спектров сделана для двух ярких узлов одной из лент вспышки. На некоторые разрезы накладывается выброс. Наблюдаемые профили линий обнаруживают значительную эмиссию в крыльях линии $H\alpha$ (до $10 \div 12 \text{ \AA}$) при сравнительно малой интенсивности в центре $H\alpha$ ($r = 0.35\text{--}0.6$). Для интерпретации такой особенности профилей сделаны расчеты для моделей вспышек с двумя или тремя компонентами. Отдельные компоненты модели соответствуют неразрешаемым деталям в области вспышки, и рассчитывается усредненный профиль. Эмиссия в далеких крыльях объясняется компонентами моделей с глубоким прогревом хромосферных слоев. Эти детали занимают 5–12 % общей площади. Заметная асимметрия эмиссии объясняется наличием лучевых скоростей до 70 км/сек и более. Поиск моделей выполняется путем согласования наблюдаемых и вычисленных профилей. Обработано несколько фотометрических разрезов для семи моментов наблюдений. Температура в моделях с глубоким прогревом в нижней хромосфере увеличена на 1000–2500 К по сравнению с моделью невозмущенной хромосферы VAL – C.

Вторая особенность наблюдаемых профилей – сильная асимметричность и смещение по отношению к невозмущенным профилям. Это интерпретируется наличием противоположно направленных движений вещества. Получено, что для большинства разрезов движение направлено вверх в верхней хромосфере ($10 \div 100 \text{ км/сек}$) и вниз в нижней хромосфере ($5 \div 20 \text{ км/сек}$).

PHYSICAL CONDITIONS IN THE CHROMOSPHERE OF A TWO-RIBBON SOLAR FLARE ACCOMPANIED BY A SURGE, *by E.A. Baranovsky, N.N. Kondrashova, M.N. Pasechnik, V.P. Tarashchuk*. The chromosphere layers of the solar flare are studied on the observed profiles of $H\alpha$ line. The two-ribbon flare was observed on 4 September 1990. The spectra have been taken with the solar horizontal telescope ATsU-26 at the Terskol Peak Observatory. The photometry of spectra was made for two bright kernels of one of the ribbons. Some cuts were superimposed by a surge. The observed line profiles show significant emission in the $H\alpha$ line wings (up to $10\text{--}12 \text{ \AA}$) with quite moderate intensity in the $H\alpha$ line center ($r = 0.35\text{--}0.6$). For explaining such peculiarities of line profiles the calculations of flare models were made with two or three components. The model

components refer to unresolved details in the flare region and finally the average profile is calculated. The emission in the line wings is explained by the model component with significant warming of the lower chromosphere and the temperature minimum region. The factor of filling of the additional components was from 5 to 12 %. The asymmetry of emission is explained by the presence of line-of-sight velocities up to 70 km/s and more. The calculation of models was done by the way of concordance of the calculated and observed profiles. The results were obtained for seven moments of observations for a number of photometric cuts. Additional components of models show that the temperature in the lower chromosphere and the temperature minimum region is increased by 1000–2500 K as compared with the temperature in quiet Sun model VAL – C.

The second peculiarity of the observed profiles is a strong asymmetry of all profiles and displacement with respect to the undisturbed profiles. This feature is interpreted by the presence of opposite movements of matter. In the majority of obtained models the line-of-sight velocities are directed to the observer in the upper chromosphere (10–100 km/sec) and from the observer in the lower chromosphere (5–20 km/sec).

Ключевые слова: Солнце, вспышка, модели

1 Введение

Двухленточные вспышки часто начинаются с эрупции волокна, лежащего вдоль линии раздела полярностей магнитного поля. Происходит выброс его вещества, магнитная конфигурация становится неустойчивой. Причиной этих процессов может быть выход нового магнитного потока, который всплывает из-под фотосферы Солнца в корону и взаимодействует с уже существующим магнитным полем. Эти процессы затрагивают непосредственно и хромосферные слои вспышки. Происходит нагрев хромосферной плазмы, и возникают движения вещества со скоростями в десятки километров в секунду. Изменения физических условий в хромосфере в активной области во время таких событий исследуются посредством наблюдений профилей хромосферных линий.

Мы представляем результаты моделирования хромосферы активной области NOAA 6233, используя наблюдаемые профили линии H α . Двухленточная вспышка, сопровождавшаяся выбросом хромосферного вещества, произошла в этой области 4 сентября 1990 г.

2 Наблюдения

Исследуемая активная область NOAA 6233 4 сентября 1990 г. находилась на западном краю солнечного диска. В ее состав входили восемь небольших пятен и одно большое хвостовое пятно, а также несколько изогнутых волокон. Область имела сложную магнитную структуру, вкрапления паразитных полярностей. Согласно Solar Geophysical Data в 7^h41^m UT в ней начала развиваться двухленточная вспышка балла 2N/C9, которая продолжалась примерно 1^h20^m, максимум в линии H α наблюдался в 8^h06^m. Ее координаты – N12W67, $\cos\theta = 0.3$. Вспышка возникла в районе большого хвостового пятна южной полярности и сопровождалась хромосферным выбросом, который был виден в спектре уже в первый момент наблюдений.

Данные наблюдений на спутнике GOES в рентгеновских диапазонах 0.05–0.4 нм и 0.1–0.8 нм показали, что резкий рост потока рентгеновского излучения вспышки начался примерно в 7^h57^m и продолжался до 8^h03^m. Максимум его интенсивности в диапазоне 0.05–0.4 нм зарегистрирован в 8^h10^m 48^s, а в диапазоне 0.1–0.8 нм – в 8^h12^m.

В 7^h40^m UT наблюдался радиовсплеск III типа, продолжавшийся 5 мин., с максимумом интенсивности в 7^h41^m30^s UT. Известно, что радиовсплески этого типа характеризуют

Физические условия в хромосфере двухленточной солнечной вспышки...

импульсную фазу вспышки и сопровождают жесткое рентгеновское излучение, которое генерируется высокоэнергичными электронами.

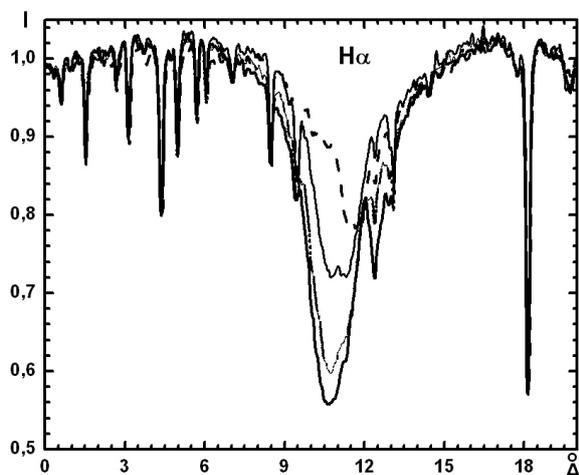


Рис. 1. Наблюдаемые профили линии $H\alpha$ для четырех разрезов момента $8^h05^m33^s$

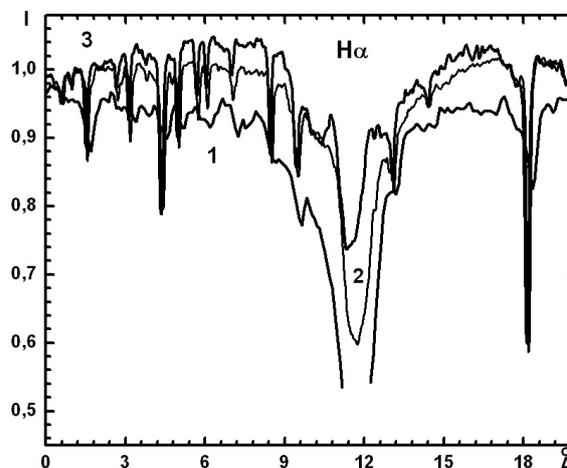


Рис. 2. Наблюдаемые профили линии $H\alpha$ для невозмущенной области (1) и для вспышки (2) – $8^h04^m14^s$, (3) – $8^h05^m33^s$. Положение объектов на диске $r/R = 0.94$

Для изучения изменений физических условий были использованы спектры, полученные Т.И. Редюк на солнечном горизонтальном телескопе АЦУ-26 ГАО НАНУ (Кавказ, пик Терскол, 3100 м). Дисперсия спектрографа в четвертом порядке – 31 мм/нм для длины волны 650 нм. Диаметр изображения Солнца – 16 см. В процессе наблюдений щель спектрографа пересекала участок АО, включающий несколько ярких узлов одной из лент вспышки и выброс, ассоциируемый с этой вспышкой.

Спектры были получены в начальной стадии развития вспышки в моменты $8^h00^m48^s$, $8^h01^m38^s$, $8^h02^m20^s$, $8^h02^m43^s$ (фаза быстрого роста интенсивности рентгеновского излучения) и $8^h03^m27^s$, $8^h04^m14^s$, $8^h05^m33^s$ (фаза постепенного роста интенсивности рентгеновского излучения). Здесь мы представляем результаты обработки спектров для моментов $8^h03^m27^s$, $8^h04^m14^s$, $8^h05^m33^s$, что является продолжением нашего прошлого исследования (Барановский и др., 2013), в котором изучались спектры первых четырех моментов.

3 Вычисления и обсуждение

Для каждого момента проведена фотометрия нескольких разрезов. На рис. 1 показаны профили $H\alpha$ для 4 разрезов момента $8^h05^m33^s$. Форма профилей сильно различается по ширине и по характеру асимметричности.

Сравнение наблюдаемых профилей с невозмущенными для такого же положения на диске Солнца (рис. 2) обнаруживает значительную эмиссию в крыльях линии $H\alpha$ (до 10–12 Å).

Для интерпретации наблюдаемых особенностей мы рассчитываем профили линии $H\alpha$ по не-ЛТР программе для различных моделей хромосферы. Модели характеризуются зависимостью температуры, плотности и лучевой скорости от высоты. Сравнивая вычисленные профили с наблюдаемыми, мы подбираем модели хромосферы, которые дают наилучшее согласие профилей. Таким образом, мы определяем ход с глубиной параметров моделей – температуры, плотности, турбулентной скорости, лучевой скорости.

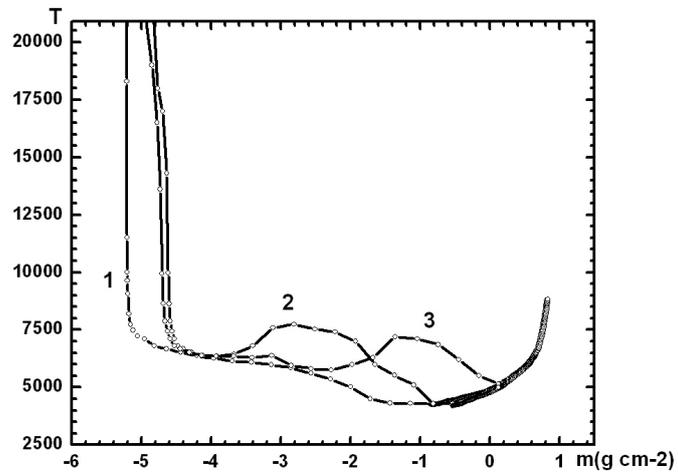


Рис. 3. Температура в моделях хромосферы. 1 – невозмущенная; 2, 3 – модели с глубоким прогревом хромосферы

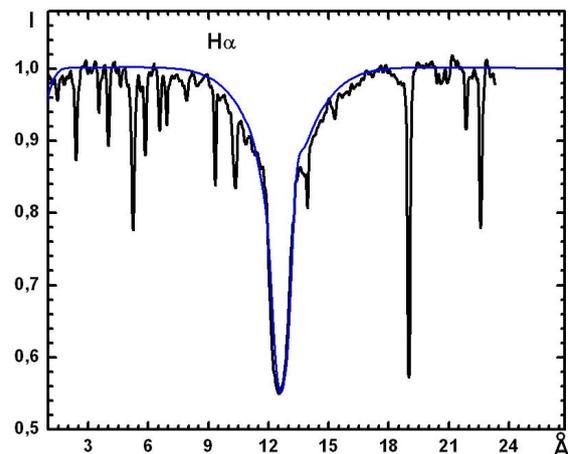
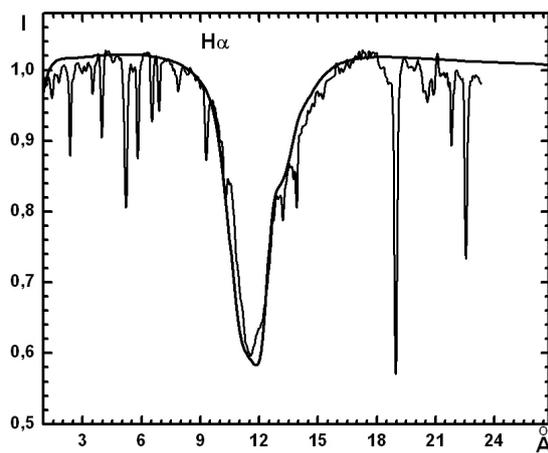


Рис. 4–5. Сравнение вычисленных и наблюдаемых профилей линии $H\alpha$. UT $08^h03^m27^s$, $08^h04^m14^s$

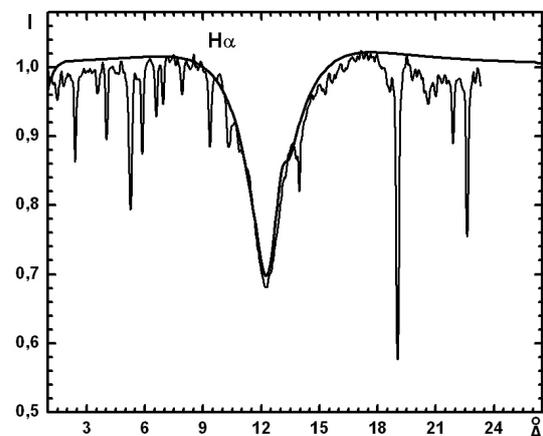
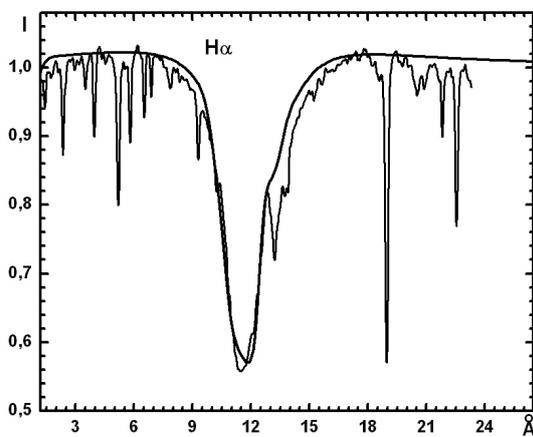


Рис. 6–7. Сравнение вычисленных и наблюдаемых профилей линии $H\alpha$. UT = $08^h05^m33^s$

Физические условия в хромосфере двухленточной солнечной вспышки...

Получить вычисленные профили $N\alpha$ с эмиссией в крыльях при малой величине эмиссии в центре линии оказалось возможным только с помощью двухкомпонентных моделей. Компоненты модели описывают физические условия в двух субтелескопических площадках, которые наблюдаются как одно целое. В одной из компонент имеется увеличение температуры на 1000–2000 К на уровне нижней хромосферы и температурного минимума. На рис. 3 показан ход с глубиной температуры в хромосфере для двух типов таких моделей. Эта компонента занимает около 6–8 % общей площади.

Увеличение температуры в нижней хромосфере подбирается так, чтобы согласовать вычисленную эмиссию в крыльях линии с наблюдаемой эмиссией. Для основной компоненты, занимающей 92–94 % общей площади, подбирается ход температуры и лучевой скорости с глубиной для согласования вычисленных и наблюдаемых профилей с учетом ширины профилей, смещения и асимметричности. При подборе лучевой скорости оказалось существенным наличие противоположно направленных движений. Для всех трех моментов наблюдения движение направлено вверх в верхней хромосфере и составляет 20–80 км/с. В нижней хромосфере также преобладает движение вверх, но скорости здесь не превышают 40 км/с. Эти величины отличаются от результатов, полученных ранее (Барановский и др., 2013) для первых четырех моментов наблюдения ($8^{\text{h}}00^{\text{m}}48^{\text{s}}$, $8^{\text{h}}01^{\text{m}}38^{\text{s}}$, $8^{\text{h}}02^{\text{m}}20^{\text{s}}$, $8^{\text{h}}02^{\text{m}}43^{\text{s}}$ – фаза быстрого роста интенсивности рентгеновского излучения). Для этих начальных моментов движение вещества вверх наблюдалось только в верхней хромосфере (10–30 км/с), а в нижней хромосфере движение было направлено вниз.

На рисунках 4–7 показаны примеры согласования вычисленных и наблюдаемых профилей линии $N\alpha$ при расчете моделей хромосферы.

4 Заключение

Проведено моделирование хромосферных слоев двухленточной вспышки на основании наблюдаемых профилей линии $N\alpha$ для нескольких разрезов трех моментов наблюдений фазы постепенного роста интенсивности рентгеновского излучения. При моделировании учитывалась сильная асимметричность профилей и наличие эмиссии в крыльях линии. Рассчитаны двухкомпонентные модели, объясняющие особенности наблюдаемых профилей. В одной из компонент имеется глубокий прогрев хромосферных слоев до температурного минимума. Эта компонента образует эмиссию в крыльях линии; она занимает 8–10 % общей площади.

Определены лучевые скорости, объясняющие особенности асимметрии профилей. В верхней хромосфере движение направлено вверх и составляет 20–80 км/с. В нижней хромосфере преобладает движение вверх, но скорости здесь не превышают 40 км/с и в некоторых разрезах имеется движение вниз.

Получено, что в исследуемой здесь фазе вспышки (фаза постепенного роста интенсивности рентгеновского излучения) характер движения хромосферного вещества существенно изменился по сравнению с первой фазой (фазой быстрого роста интенсивности). В верхней хромосфере скорости движения вверх увеличились с 35 км/с до 80 км/с (максимальные значения). В нижней хромосфере движение вниз изменилось на противоположное почти во всех разрезах.

Литература

Барановский Э.А., Кондрашова Н.Н., Пасечник М.Н., Тарашук В.П. // Кинем. и физ. небесн. тел. 2013. Т. 29. № 4. С. 18.