

УДК 523.98

Наблюдательные характеристики белой вспышки 9 августа 2011 г.

А.Н. Бабин, А.Н. Коваль

НИИ “Крымская астрофизическая обсерватория” КНУ им. Т. Шевченко, Научный,
АР Крым, Украина, 98409
koval@crao.crimea.ua

Поступила в редакцию 1 ноября 2013 г.

Аннотация. Мы анализируем H_{α} монохроматические и спектральные (в диапазоне 6549–6579 Å) наблюдательные данные для вспышки 2B/X 6.9 9 августа 2011 г., которая дала излучение в оптическом континууме. Исследуется морфология и эволюция H_{α} -вспышки, положение, временное развитие, спектр и энергетика ядер белой вспышки (WLF). Получены следующие результаты: вспышка возникла в месте столкновения старого и нового быстро растущего и распространяющегося магнитного потока, что привело к слиянию двух биполярных активных областей. Структура белой вспышки была сложной: зарегистрировано не менее 5 ядер непрерывной эмиссии в предимпульсной и импульсной фазах вспышки. Предимпульсные и импульсные ядра белого свечения принадлежат к различным типам белых вспышек: II и I соответственно. Для импульсных ядер белого свечения наблюдалось хорошее временное соответствие максимумов белого свечения и пика микроволнового излучения. Максимальный поток, светимость и полная энергия, излученная самым ярким импульсным ядром WLF, составляли $1.4 \cdot 10^{10}$ эрг $\text{см}^{-2}\text{с}^{-1}$, $1.5 \cdot 10^{27}$ эрг/с и $5 \cdot 10^{29}$ эрг соответственно. H_{α} -профили в импульсных ядрах WLF имели протяженные крылья (полные протяженности до 26 Å, полуширины до 9 Å) и самообращенное ядро. Контуры симметричные, но смещены в целом в красную сторону спектра, что указывает на опускание всего излучающего объема с лучевой скоростью несколько десятков км/с. Ход интенсивности в крыле не соответствует штарковскому. Контуры расширены нетепловыми турбулентными движениями со скоростями 150–300 км/с. Наблюденные H_{α} -профили были проанализированы и сравнены с особенностями профилей, вычисленных для сильного нагрева хромосферы нетепловыми электронами с образованием движущейся вниз хромосферной конденсации. Мы приходим к заключению, что анализируемая нами вспышка показывает спектральные особенности, которые трудно объяснить в контексте нагрева хромосферы пучком нетепловых электронов.

OBSERVATIONAL CHARACTERISTICS OF THE WHITE-LIGHT FLARE OF 2011 AUGUST 9, by *A.N. Babin and A.N. Koval*. We present observational data for the 2011 August 9 2B/X6.9 white-light flare (WLF) including H_{α} images and spectra within the range 6549–6579 Å. The morphology and evolution of the H_{α} flare, location, temporal behavior, spectrum and energetics of the WLF kernels were investigated. The following results have been obtained: the flare erupted inside the regions of interaction of new rapidly growing and pushing magnetic flux and preexistent strong magnetic fields, that leads to superposition of two bipolar active regions. The structure of the WLF was complex. At least five individual kernels of continuum emission could be identified before and during the impulsive phase. The pre-impulsive and impulsive WLF kernels belong to different types: II and I, respectively. For the impulsive phase of white light emission there was a good time correlation between the maximum of

continuum emission and the peak of microwave radiation. Peak surface flux, luminosity and total energy in optical continuum of the brightest impulsive WLF kernel were $1.4 \cdot 10^{10} \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$, $1.5 \cdot 10^{27} \text{ erg/s}$ и $5 \cdot 10^{29} \text{ erg}$, respectively. The H_α profiles have a broad emission wings (overall extensions up to 26 \AA , halfwidths up to 9 \AA) and central reversal. Broad-wing profiles are symmetrical and shifted to the red as a whole, indicating the downward motion of the H_α emission region with bulk velocities some tens km/s. The H_α broad wings are not the result of Stark broadening. They are broadened by nonthermal turbulent motion with velocities 150–300 km/s. The observed H_α profiles have been analyzed in terms of H_α profiles calculations for strong nonthermal electron beam heating of the chromosphere and formation of a downward moving chromospheric condensation. We must conclude that the flare shows spectral signatures that are difficult to explain within the context of electron beam heating.

Ключевые слова: Солнце, вспышки, движение хромосферного вещества

1 Введение

Вспышка 9 августа имела две особенности: это была самая мощная рентгеновская вспышка 24 цикла солнечной активности и она дала излучение в оптическом континууме. Появление вспышек в оптическом континууме еще недавно считалось особенностью, присущей только сильным двухленточным вспышкам класса X. Однако анализ наблюдений, полученных на YОНКОН (Метьюс и др., 2003), показал, что вспышки, излучающие в белом свете, имели рентгеновский класс от X 6.1 до C 7.8 и H_α -балл от 3B до SN. Наблюдения белых вспышек на SMM показали, что не каждая белая вспышка имеет мощное излучение в жестком рентгене, и не каждая мощная НХР-вспышка излучает в белом свете (Ригер и Ган, 1993). Значит, для появления излучения в оптическом континууме должны быть особые условия в атмосфере белой вспышки. В излучении континуума содержится значительная часть полной энергии вспышки (до 10^{31} эрг), но до сих пор окончательно не выяснены ни механизм излучения в континууме, ни глубина, из которой континуум исходит. Увеличение яркости в континууме создает ряд трудностей при построении моделей вспышки и механизмов переноса энергии из короны в нижние слои хромосферы и фотосферу. Классические формы переноса энергии встречаются со значительными трудностями (Ган и др., 2000; Динг и др., 1994).

Несмотря на значительное увеличение числа наблюдений белых вспышек с широкополосными фильтрами, центрированными на разные участки длин волн, только для немногих белых вспышек имеются спектральные наблюдения, охватывающие импульсную и максимальную фазы вспышки, которые необходимы для построения моделей. Такие наблюдения получены нами для вспышки 9 августа 2011 года. Вспышка оптического балла 2B, рентгеновского класса X 6.9 произошла в активной области NOAA 1263 вблизи NW лимба, координаты N17 W69. Согласно наблюдениям GOES, вспышка началась в 7:48 UT, достигла максимума в 8:05 UT и продолжалась около полутора часов. В настоящей работе мы изучаем эволюционные, морфологические, спектральные характеристики и энергетику белой вспышки на основании анализа спектральных и монохроматических наблюдений, полученных на Большом коронографе (КГ-2) НИИ “Крымская астрофизическая обсерватория”. При анализе также использовались данные наблюдений магнитных полей пятен и микроволнового излучения (НИИ “КрАО”), данные GOES и SDO.

2 Наблюдения и анализ

2.1 Характеристика активной области

Так как это была самая мощная рентгеновская вспышка 24 цикла солнечной активности, представляет интерес рассмотреть ее магнитное окружение. Согласно исследованиям ряда авторов (Гайзаускас и др., 1983; Гайзаускас, 1989), большие вспышки происходят при взаимодействии старого и

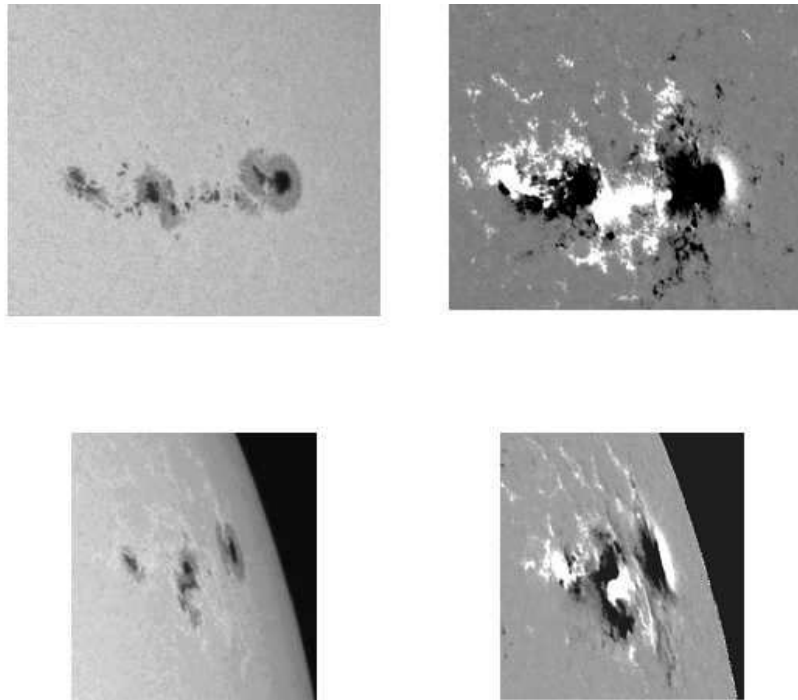


Рис. 1. Фотогелиограммы и магнитограммы активной области NOAA 11263 7 августа (наверху) и 9 августа (внизу) 2011 г.

нового магнитного потока в комплексах активности, которые существуют продолжительное время и обновляются и поддерживаются выходом нового магнитного потока в форме биполярных структур.

Активная область (а. о.) 1263 была восточным компонентом активного комплекса в северном полушарии, состоящего из трех довольно больших биполярных групп пятен. Появилась на восточном краю солнечного диска 27 июля в виде двух близко расположенных больших пятен лидирующей и хвостовой полярности. Магнитная ситуация в активной области заметно изменялась ото дня ко дню за время прохождения по диску Солнца. В непосредственной близости от пятен лидирующей и хвостовой полярности возникали поры противоположной полярности, образовывались кратковременные δ -конфигурации. 4 августа напряженность магнитного поля в лидере и хвостовом пятне достигала 3600 Гс и 3100 Гс соответственно. С 5 августа началось уменьшение магнитного потока основных пятен. Напряженность магнитного поля в лидере и хвостовом пятне уменьшилась до 2700 Гс и 2400 Гс. В это же время (5–6 августа) в непосредственной близости, к востоку от хвостового пятна, произошел выход нового магнитного потока в виде биполя. 7 и 8 августа выход нового магнитного потока продолжался, что привело к усложнению структуры магнитного поля, слиянию хвостового пятна старой активной области с ведущим пятном всплывающего биполя с образованием мощной δ -конфигурации в середине активной области, при этом линия раздела полярностей была ориентирована параллельно экватору. Такая магнитная конфигурация является вспышечно активной (Коваль, 1974; Зирин и Лигет, 1987). Фотогелиограммы и магнитограммы активной области 7 и 9 августа, полученные на SDO, представлены на рис. 1. 9 августа а. о. была вблизи западного края Солнца. Магнитные поля пятен были преимущественно поперечные.

До 9 августа вспышечная активность в а. о. была невысокой, наблюдались вспышки рентгеновского класса C1–C5, хотя прогнозисты NOAA с 5 по 8 августа давали вероятность вспышек класса X 12 %, класса M 41 % и класса C 54 %. Вспышка рентгеновского класса M 2.5 произошла только 9 августа в 3:19 UT.

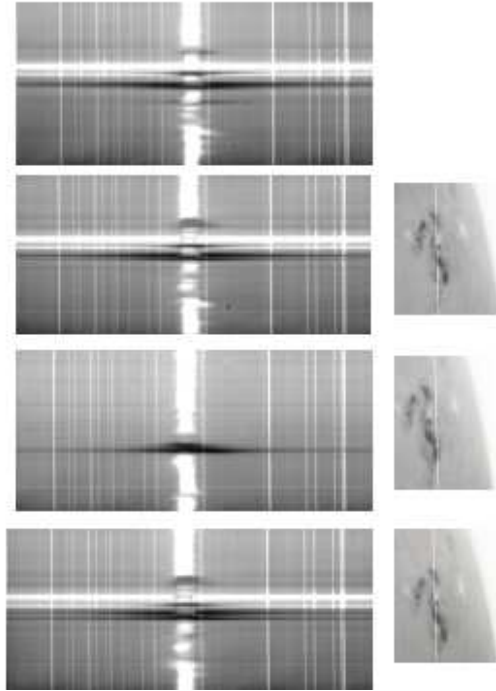


Рис. 2. Спектрограммы некоторых вспыхивающих узлов в импульсной фазе вспышки и соответствующие снимки изображений на щели спектрографа

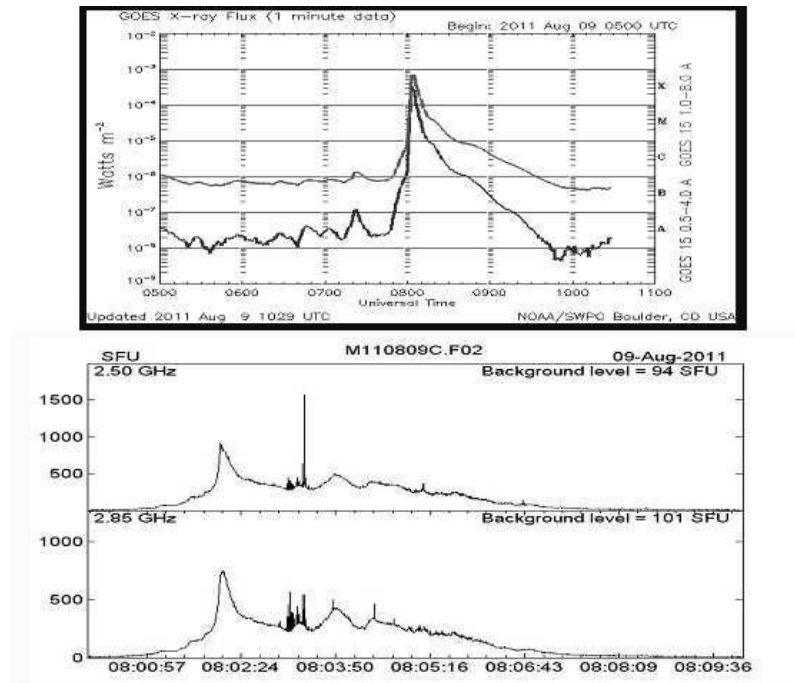


Рис. 3. Мягкое рентгеновское излучение (GOES) и микроволновое радиоизлучение вспышки (Кацивели, КраО)

2.2 Предвспышечная активность

9 августа спектральные и монохроматические наблюдения а. о. 1263 на коронографе КГ-2 были начаты в 6:25 UT. По H_{α} наблюдениям в период 6:25–7:40 UT по всей а. о. наблюдались яркие протяженные усы и поглощающие структуры с лучевыми скоростями, характерными для AFS (Arc filament system). Такая активность на уровне хромосферы является свидетельством выхода нового магнитного потока (Коваль, 1965). Наибольшая активность наблюдалась в области полутени среднего пятна и к югу от него. Усы появлялись в полутени пятна, а над ядрами пятна наблюдалась эмиссия в центре линии H_{α} . На границе ядро-полутень происходили заметные движения на уровне фотосферы с лучевыми скоростями, указывающими на подъем вещества. Такие движения характерны для предвспышечной ситуации (Гопасюк, 1964; Бабин, Коваль, 1992). В 7:20 UT в центральной части а. о. разгорелась небольшая вспышка (C1.4), узелки которой располагались в тех же местах, что и будущая большая вспышка. Согласно определению (Гайзаускас, 1989), ее можно считать предвестником вспышки.

2.3 Особенности структуры и развития вспышки

Спектральные и монохроматические фотографические наблюдения вспышки на КГ-2 были начаты в 7:53:26 UT. Наблюдался спектральный участок 6549–6579 Å с дисперсией 0.58 Å/мм, экспозиция для H_{α} -спектров составляла 0.15 с, временное разрешение от 5 до 30 с. Диаметр изображения Солнца на щели спектрографа 18 см. Одновременно со спектрами регистрировалось изображение Солнца на щели спектрографа через H_{α} -фильтр, что позволяло отождествить положение щели спектрографа при каждой экспозиции и изучать морфологические и эволюционные особенности вспышки. Часть света использовалась для визуального контроля развития вспышки. В период 7:53–8:39 UT было получено 82 спектрограммы ряда узлов вспышки. Качество изображений было неустойчивым и изменялось от отличных до удовлетворительных.

На рис. 2 приведены H_{α} -снимки и спектрограммы некоторых вспышечных узлов в импульсной фазе вспышки. По своей структуре и эволюции вспышка 9 августа не была классической двухленточной вспышкой. Она имела сложную структуру с большим количеством ядер, которые разгорались и угасали не одновременно и быстро изменялись со временем. С другой стороны, эти ядра как бы объединялись в ленточные структуры. Но в отличие от двухленточных вспышек не наблюдалось макроскопических движений вспышечных лент. Первые вспышечные узлы появились вдали от места основного энерговыделения, к W от хвостового пятна (см. рис. 2). Световая кривая потока мягкого рентгеновского излучения в полосе 1–8 Å и 0.5–4 Å и изменение потока микроволнового радиоизлучения на частоте 2.5 GHz и 2.85 GHz, характеризующие тепловую и импульсную фазы вспышки, представлены на рис. 3. В микроволновом диапазоне вспышка имела выраженную импульсную и постепенную фазу. Микроволновое излучение состояло из импульсного всплеска с максимумом в 8:02 UT продолжительностью 28 с и постепенного всплеска, начавшегося около 8:00 UT и закончившегося около 8:09 UT. На постепенный компонент накладывались довольно выраженные флуктуации интенсивности, которые образовали по крайней мере три индивидуальных пика. Каждому всплеску микроволнового излучения соответствовало изменение структуры и яркости существующих H_{α} -узлов вспышки или возгорание новых.

2.4 Особенности свечения вспышки в оптическом континууме

Приведенные в литературе данные о зарегистрированных вспышках (Слоним и Коробова, 1975; Нейдиг и Кливер, 1983; Бабин и др., 1998; Метьюс и др., 2003; Бабин, Коваль, 2008) показывают, что белые вспышки сильно различаются по своим наблюдательным параметрам: количеству и размерам ядер белого свечения, максимальному контрасту относительно невозмущенной фотосферы, положению в группе пятен, мощности потока излучения в рентгене и микроволновом излучении, отношению к различным фазам вспышки.

Структура белой вспышки 9 августа была сложной. По спектральным наблюдениям, которые не

полностью отражают истинную картину, так как щель спектрографа не покрывает одновременно все вспышечные узлы, можно отождествить не менее пяти ядер, излучающих в континууме. Они располагались как в полутени δ -пятна, так и в области фотосферы.

Спектральные характеристики белых вспышек и механизмы образования их континуумов недостаточно изучены. Согласно Нейдиг (1989), по многим параметрам нет фундаментальных различий в спектре белых вспышек от обычных вспышек класса X. Однако более поздние наблюдения (Бабин, Коваль, 1993, 1999; Бабин и др., 1998), полученные для самого яркого узла мощной белой вспышки 15 июня 1991 года (ЗВ/X12), позволили обнаружить в спектре эмиссионные линии углерода, ионизованного углерода, ионизованного магния и ионизованного гелия. Эти линии не были зарегистрированы в спектре ни одной из мощных вспышек, которые не дали излучение в оптическом континууме. Также в месте свечения в континууме происходило значительное изменение профилей фотосферных линий, проявляющееся в изменении глубины линии и крутизны крыльев без эмиссионного обращения, что указывает на изменение термодинамической структуры фотосферы (Бабин, Коваль, 1993, 2007).

Рассмотрим спектральные характеристики непрерывной и линейчатой эмиссии в разных узлах непрерывного излучения вспышки 9 августа на разных стадиях ее развития. Согласно Мачадо и др. (1986), Фанг и Динг (1995), ядра вспышек, излучающих континуум, по спектральным характеристикам можно разделить на два класса, физическая природа которых, по-видимому, различна. Первый тип – это наиболее яркие образования с сильными бальмеровскими линиями с центральным обращением и бальмеровским скачком. Для них наблюдается хорошее временное соответствие между максимумами непрерывного излучения и максимумами НХР и микроволнового излучения. Для второго типа максимум непрерывного излучения может предшествовать или запаздывать по отношению к НХР и микроволновому излучению в промежутке нескольких минут, бальмеровские линии слабые, бальмеровский скачок отсутствует.

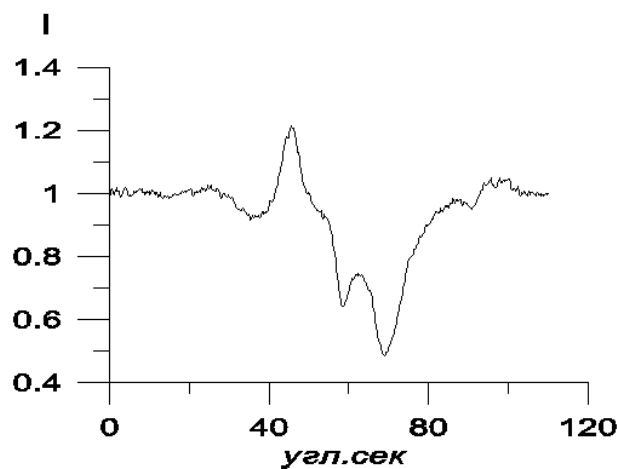


Рис. 4. Фотометрический разрез спектра поперек дисперсии в области $\lambda 6578 \text{ \AA}$ (сп. 23)

Для вспышки 9 августа непрерывное излучение было зарегистрировано как в предимпульсной, так и в импульсной фазе вспышки. В 7:56:20–8:00 UT щель спектрографа пересекала ядро непрерывного излучения, расположенное в восточной части полутени δ -пятна (см. рис. 2). С началом импульсной фазы появилось несколько ядер непрерывного излучения, расположенных между ядрами противоположной полярности в δ -пятне, и начала формироваться вспышечная лента к югу от этого пятна, северный конец которой укоренялся в пятно, а южный – в область фотосферы. В местах укоренения концов вспышечной ленты было зарегистрировано непрерывное излучение (рис. 2). В 8:02:04–8:02:50 UT по характеру спектра наблюдался максимум H_{α} и непрерывного излучения,

Таблица 1. Характеристики ядер непрерывной эмиссии

Время УТ	№ спектра	Контраст $\Delta I/I_n$	Размер угл. сек	Интеграль- ный поток 10^{10} эрг/см ² с	Полная про- тяженность крыльев, Å	Полу- ширина, Å	Макс. ин- тенсивность I_m/I_n	Скорость опускания км/с
8:02:11	23	0.27	5.1	1.4	26	8.9	2.07	29
8:02:21	24a	0.20	4.2	1.0	24	9.3	1.96	15
8:02:36	25	0.14	4.6	0.7	22	5.6	2.16	38
8:02:46	26a	0.17	2.6	0.8	21	6.5	2.00	24
8:02:46	26b	0.10	3.3	0.5	23	8.1	1.93	19

который по времени совпадал с максимумом импульсного компонента микроволнового радиоизлучения. Непрерывное излучение регистрировалось на протяжении излучения постепенного компонента микроволнового излучения и не обнаруживалось на спектрограммах, полученных после 8:09 УТ.

Из фотометрических разрезов спектров, полученных вблизи максимума непрерывного излучения перпендикулярно направлению дисперсии в области $\lambda 6578$ Å, были определены размеры излучающей континуум области, интенсивность непрерывной эмиссии и ее контраст $C = (I_v - I_n)/I_n$, где I_v – интенсивность вспышки, I_n – интенсивность подложки, I_n – интенсивность соседней невозмущенной фотосферы. Пример записи спектра перпендикулярно направлению дисперсии представлен на рис. 4. Предполагая, что контраст не зависит от угла зрения, и используя данные Макаровой и др. (1991), был определен поток излучения в континууме с единицы площади разных ядер в импульсной и предимпульсной фазе. Результаты измерений представлены в таблице 1. Поток излучения континуума с единицы площади самого яркого ядра белой вспышки составлял $1.4 \cdot 10^{10}$ эрг см⁻²с⁻¹, светимость – $1.5 \cdot 10^{27}$ эрг/с, а энергия, излученная в континууме этим ядром, составляла $5 \cdot 10^{29}$ эрг. Такие значения этих величин характерны для типичных белых вспышек (Нейдиг, 1989).

На рис. 5 представлены фотометрические записи H_α -спектров и разностные профили линии H_α в нескольких ядрах белого свечения, которые являются типичными для всех ядер. Профили линии H_α в ядре непрерывного излучения, зарегистрированного в предимпульсной фазе, существенно отличаются от H_α -профилей в импульсной фазе (см. рис. 5, спектр 8). Это непрерывное излучение должно быть отнесено ко II типу (Фанг, Динг, 1995). Общей особенностью H_α -профилей в импульсной фазе являются протяженные крылья, самообращенное ядро и смещение в целом в красную сторону спектра практически симметричных контуров, что указывает на опускание всего излучающего объема с лучевой скоростью до нескольких десятков км/сек. Количественные данные об H_α -профилях представлены в таблице 1. Мощные H_α -профили характерны для I типа белых вспышек.

На рис. 6 приведены фотометрические записи спектра ядра непрерывной эмиссии и невозмущенной фотосферы вблизи вспышки, которые показывают существенное изменение профилей фотосферных линий. Линии не в эмиссии, но значительно изменена их глубина и крутизна крыльев, как и в ранее исследованных белых вспышках (Бабин, Коваль, 1993).

3 Обсуждение результатов

Исходя из того, что источник энергии находится в короне, предлагается три вида объяснения излучения в оптическом континууме: а) хромосферная конденсация, б) нетепловые эффекты, включающие нетепловую ионизацию и возбуждение, и с) очень сильный нагрев хромосферы (Ган, 1997).

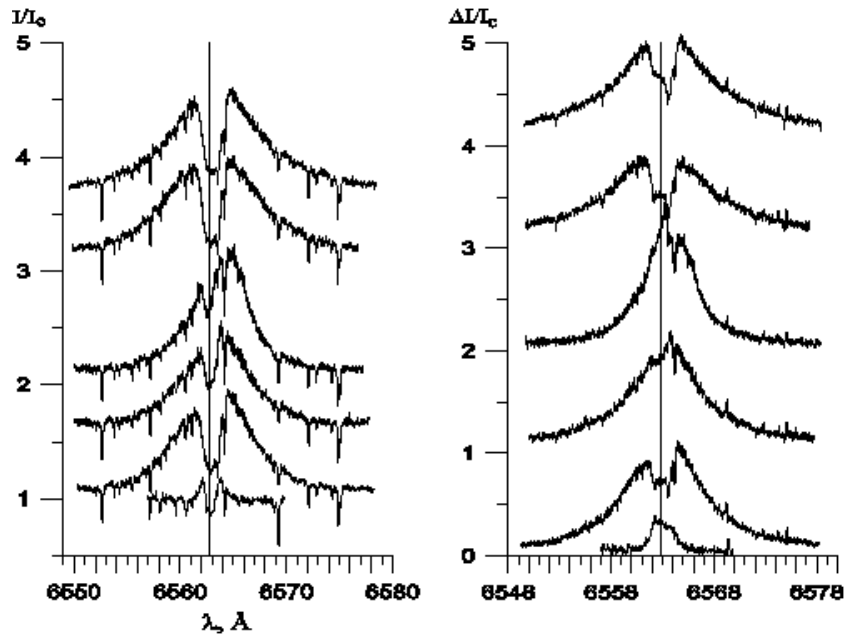


Рис. 5. Фотометрические записи H_{α} -спектров и разностные профили в нескольких ядрах белого свечения (сверху вниз: спектры 23, 24, 25, 26а, 26б в импульсной и сп. 8 в предимпульсной фазе вспышки); наблюдаемые контуры разнесены по оси ординат на 1 или 0.5, а разностные – на 1

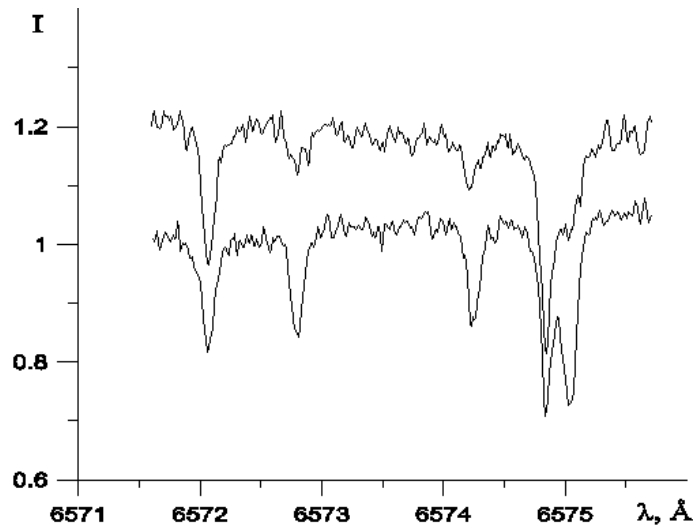


Рис. 6. Сравнение спектра ядра непрерывной эмиссии и невозмущенной фотосферы

Так как наблюдается временное совпадение максимумов свечения непрерывного излучения с максимумами НХР и микроволнового излучения, то можно предположить, что непрерывное излучение связано с проникновением нетепловых электронов в хромосферу из короны. Расчеты ряда авторов показали, что H_{α} -профили чувствительны к механизму нагрева. Только при нагреве хромосферы пучком нетепловых электронов контуры имеют самообращенное ядро, мощные штарковские крылья и красную асимметрию (Кенфилд и др., 1984; Кенфилд и Гайлей, 1987).

Рассмотрим H_{α} -профили с точки зрения присутствия нетепловых электронов и движений излучающего вещества. Наблюдаемые в импульсной фазе H_{α} -профили показывают признаки, используемые для определения механизма переноса энергии: широкие эмиссионные профили с центральным обращением и красную асимметрию. Проанализируем подробнее эти профили. H_{α} -эмиссионные профили смещены в целом в красную сторону спектра, а центральное обращение не смещено, смещено в меньшей степени или даже в синюю сторону спектра относительно центра невозмущенной линии. Следовательно, оно возникает не в излучающем объеме, а вследствие поглощения излучения вспышки в вышележащей хромосфере со своим полем скоростей. Асимметрия, наблюдаемая во время импульсной фазы – смещение в целом эмиссионного профиля с протяженными крыльями, – не объясняется динамической моделью движущейся вниз хромосферной конденсации (Кенфилд и Гайлей, 1987). Полученные из наблюдений скорости опускания излучающего объема не соответствуют тем, которые, согласно расчетам, должны быть произведены хромосферной конденсацией (Де ля Божардь и др., 1994).

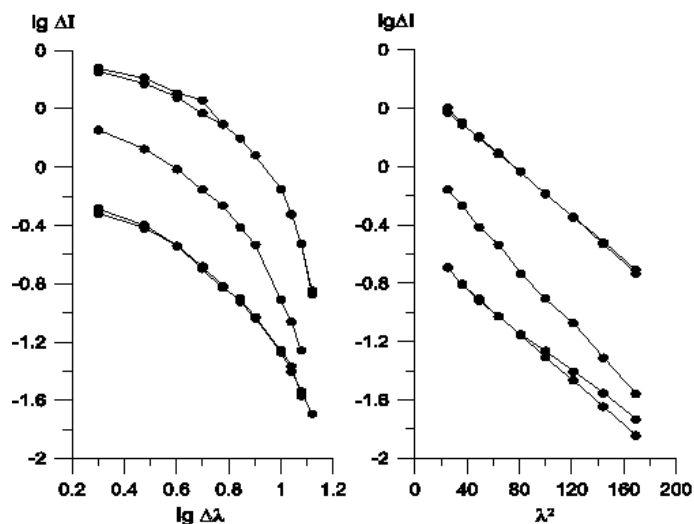


Рис. 7. Ход интенсивности в крыльях наблюдаемых H_{α} -профилей в штарковских (слева) и доплеровских (справа) осях для трех вспышечных узлов (верхний и нижний – оба крыла линии, средний – только красное крыло)

На рис. 7 представлен ход интенсивности в крыле наблюдаемых профилей в штарковских и доплеровских осях. Как видно из рис. 7, ход интенсивности в крыле наблюдаемых H_{α} -профилей не соответствует штарковскому. Лучшее согласие с наблюдениями для всех контуров дает расширение эмиссии нетепловыми движениями атомов со скоростями 150–300 км/сек. Таким образом, мы приходим к заключению, что наблюдаемые H_{α} -профили не соответствуют признакам нагрева хромосферы потоком нетепловых электронов из короны. Аналогичные результаты были получены нами для белой вспышки 26 июня 1999 г. Кроме того, для вспышки 26 июня 1999 г. наблюдалось несколько НХР-всплесков, а максимум белого свечения совпадал с максимумом одного из них, который не был ни наиболее мощным, ни наиболее жестким (Бабин, Коваль, 2005), как и в белой

вспышке 7 марта 1989 г. (Нейдиг и др., 1993). Это является еще одной трудностью при объяснении белого свечения нагревом хромосферы нетепловыми электронами.

В последнее время появились расчеты, показывающие, что если исходить из величины наблюдаемого контраста излучения в видимом континууме и интенсивности H_{α} -профилей, а также мощности потока нетепловых электронов, то ни хромосферная конденсация, ни нетепловые эффекты не могут объяснить усиление континуума в области 4000–7000 Å. Нужен нагрев более глубоких фотосферных слоев (Ган и др., 2000). Полуэмпирическая модель самого яркого узла мощной белой вспышки 15 июня 1991 г., рассчитанная на основании наблюдаемого хода контраста с длиной волны в области 6585–5500 Å и профилей 8 фотосферных линий, показывает глубокое расположение ($\tau_{5000} > 1$) и высокую температуру (до 30000 К) слоя, излучающего непрерывный спектр вспышки (Бабин и др., 1998). Первое прямое определение абсолютной высоты белой вспышки на лимбе и связанного с ней НХР-источника показало неожиданно низкую высоту обоих источников. Средняя высота над фотосферой ($\tau_{5000} = 1$) была 195 ± 70 км и 305 ± 170 км для белого и НХР-источников соответственно, что значительно ниже ожидаемой глубины проникновения электронов с энергиями 50 keV (Оливерос и др., 2012).

4 Выводы

Анализ наблюдений активной области NOAA 1263 и вспышки 9 августа 2011 года показал: вспышка произошла вследствие вторжения сильного магнитного потока ведущей полярности всплывающего биполя в область сильного магнитного поля хвостовой полярности существующей активной области, что привело к слиянию двух активных областей с образованием δ -конфигурации. В предвспышечный период выход нового магнитного потока продолжался.

Места основного энерговыделения располагались в области взаимодействия нового и старого магнитного потока. Вспышка не была классической двухленточной, она представляла собой растянутый процесс энерговыделения: разные вспышечные узлы включались во вспышечный процесс не одновременно. Зарегистрировано не менее 5 источников свечения в оптическом континууме. Непрерывное излучение наблюдалось в предимпульсной и в импульсной фазе вспышки, но различалось по своим спектральным и энергетическим характеристикам. Поток излучения в континууме с единицы площади самого яркого ядра белого свечения составлял $1.4 \cdot 10^{10}$ эрг $\text{см}^{-2}\text{с}^{-1}$, светимость $1.5 \cdot 10^{27}$ эрг/с. Полная энергия, излученная в континууме этим узлом, $5 \cdot 10^{29}$ эрг.

Наблюдалось совпадение во времени максимумов H_{α} и непрерывного излучения в импульсной фазе с максимумом излучения в микроволновом диапазоне. H_{α} -профили в импульсных узлах белого свечения имели очень протяженные крылья, самообращенное ядро и были сдвинуты в целом в красную сторону спектра. Но количественный анализ показал, что они не соответствуют теоретическим профилям, рассчитанным для нагрева хромосферы потоком нетепловых электронов для статической и динамической моделей.

Исследование выполнено при частичной финансовой поддержке Государственного фонда фундаментальных исследований Украины (проект Ф53.2/099).

Литература

- Бабин А.Н., Барановский Э.А., Коваль А.Н., Калман Б., Герлеи О. // Кинем. и физ. небесн. тел. 1998. Т. 14. № 4. С. 330.
- Бабин А.Н., Коваль А.Н. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 1992. Т. 86. С. 152.
- Бабин А.Н., Коваль А.Н. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 1993. Т. 88. С. 60.
- Бабин А.Н., Коваль А.Н. // Кинем. и физ. небесн. тел. 1999. Т. 15. № 1. С. 51.
- Бабин А.Н., Коваль А.Н. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 2005. Т. 101. С. 107.
- Бабин А.Н., Коваль А.Н. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 2007. Т. 103. № 1. С. 90.
- Бабин А.Н., Коваль А.Н. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 2008. Т. 104. С. 13.
- Гайзаускас (Gaizauskas V.) // Solar Phys. 1989. V. 121. P. 135.

- Гайзаускас и др. (Gaizauskas V., Harvey K.L., Harvey J.W. and Zwan C.) // *Astrophys. J.* 1983. V. 265. P. 1056.
- Ган (Gan W.Q.) // *Acta Astron. Sin.* 1997. V. 38. P. 394.
- Ган и др. (Gan W.Q., Henoux J.-C. and Faug C.) // *Astron. Astrophys.* 2000. V. 354. P. 691.
- Гопасюк С.И. // *Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв.* 1964. Т. 32. С. 14.
- Де ля Божардьё и др. (De la Beaujardiere J-F., Canfield R.C., Metcalf T.R., et al.) // *Solar Phys.* 1994. V. 151. P. 389.
- Динг и др. (Ding M.D., Fang C., Gan W.R., and Okamoto T.) // *Astrophys. J.* 1994. V. 429. P. 890.
- Зирин, Лигет (Zirin H., Liggett M.A.) // *Solar Phys.* 1987. V. 113. P. 267.
- Коваль А.Н. // *Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв.* 1965. Т. 33. С. 138.
- Коваль А.Н. // *Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв.* 1974. Т. 51. С. 13.
- Кенфилд и Гайлей (Canfield R.C., Gayley K.G.) // *Astrophys. J.* 1987. V. 322. P. 999.
- Кенфилд и др. (Canfield R.C., Gunkler T.A., Ricchiazzi P.J.) // *Astrophys. J.* 1984. V. 282. P. 296.
- Макарова Е.А., Харитонов А.В., Казачевская Т.В. // *Поток солнечного излучения.* М.: Наука. 1991.
- Мачадо и др. (Machado E.M., Avrett E.H., Falciani R., et al.) // *The lower atmosphere of solar flares.* / Ed. Neidig D.F. 1986. P. 483.
- Метьюс и др. (Matthews S.A., Van Driel-Gestelyi L., Hudson H.S., Nitta N.V.) // *Astron. Astrophys.* 2003. V. 409. P. 1107.
- Нейдиг (Neidig D.F.) // *Solar Phys.* 1989. V. 121. P. 261.
- Нейдиг и др. (Neidig D.F., Kiplinger A.L., Cohl H.S., Wiborg P.H.) // *Astrophys. J.* 1993. V. 416. P. 306.
- Нейдиг, Кливер (Neidig D.F., Kliver E.W.) // *Solar Phys.* 1983. V. 88. P. 275.
- Оливерос и др. (Oliveros J-C. M., Hudson H.S., Hurford G.J., et al.) // *Astrophys. J. Lett.* 2012. V. 753. L. 26.
- Ригер, Ган (Rieger E., Gan W.Q.) // *Acta Astron. Sin.* 1993. V. 34. P. 430.
- Слоним, Коробова (Slonim Yu.M., Korobova Z.B.) // *Solar Phys.* 1975. V. 40. P. 397.
- Фанг, Динг (Fang C., Ding M.D.) // *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.* 1995. V. 110. P. 99.