

523.98

Некоторые результаты спектральных и монохроматических наблюдений вспышек в КрАО

А.Н.Бабин, А.Н.Коваль

НИИ “Крымская астрофизическая обсерватория”, 98409, Украина, Крым, Научный

Поступила в редакцию 17 января 2006 г.

Аннотация. Представлены некоторые результаты исследований солнечных вспышек в КрАО в оптическом диапазоне. Рассмотрены такие характеристики как: структура H_{α} -вспышек, особенности выделения энергии и нагрев хромосферы, линейная поляризация H_{α} -излучения, красная асимметрия и непрерывное излучение вспышек, глобальность вспышечного процесса. Отмечены расхождения между наблюдениями и стандартной моделью вспышки.

SOME RESULTS OF SPECTRAL AND MONOCHROMATIC OBSERVATIONS OF FLARES IN CRIMEA, *by A.N.Babin, A.N.Koval.* Some results of investigations of solar flares in visual range at the Crimean astrophysical observatory are presented. The structure of H_{α} flares, the peculiarities of energy release and chromospheric heating, the linear polarization of H_{α} emission, the red asymmetry and continuum are considered. The discrepancies between observations and standard flare model are noted.

Ключевые слова: Солнце, вспышки, спектральные и монохроматические наблюдения

1 Введение

Солнечные вспышки – самое мощное проявление солнечной активности. Исследование солнечных вспышек в оптическом диапазоне было одним из основных научных направлений в работе отдела физики Солнца Крымской астрофизической обсерватории, а Крымская обсерватория – одной из ведущих обсерваторий по исследованию вспышек в Советском Союзе. Можно выделить несколько направлений в изучении вспышек в КрАО:

1. Определение физических условий во вспышках по спектральным наблюдениям.
2. Изучение морфологии и развития вспышек, а также наблюдаемых в них движений и сопутствующих явлений в активной области по монохроматическим наблюдениям.
3. Исследование тонкой структуры вспышек и тонкоструктурных образований (усов и ядер непрерывной эмиссии) по спектральным и монохроматическим наблюдениям.
4. Поляризационные исследования вспышек.
5. Непрерывное излучение вспышек.
6. Теоретические работы, связанные с выявлением механизма свечения солнечных вспышек, а также модельные расчеты.
7. Исследование связи вспышек с конфигурацией магнитного поля активной области, а также изменения магнитных полей в связи со вспышками.
8. Разработка методов прогноза вспышек.

Исследованием вспышек в оптическом диапазоне занимались Э.Р. Мустель, А.Б. Северный, Е.Ф. Шапошникова, Т.В. Казачевская, В.Л. Хохлова, В. Бумба, Н.В. Степенко, С.И. Гопасюк, Н.Н. Степанян, М.Б. Огирь, А.Н. Коваль, В.Г. Банин, Э.Е. Дубов, А.Н. Бабин, Э.А. Барановский, Т.Т. Цап, В.И. Абраменко, Л.Г. Карташова, В.Б. Юрчишин, З.А. Щербакова, А.В. Шумко, А.Н. Шаховская и другие сотрудники. Исследования проводились двумя методами: а) накопление большого наблюдательного материала и получение результатов на основании его анализа и б) подробное изучение отдельных событий, наблюдения которых получены при отличном качестве изображений с высоким временным и пространственным разрешением.

Многие результаты были получены впервые, а все исследования вносили заметный вклад в изучение вспышек и установление механизма выделения энергии. Особое значение имел обнаруженный Бумбой (1958) и Северным (1958, 1960, 1963, 1964) факт возникновения вспышек вблизи линии раздела полярностей магнитного поля, в местах с особой конфигурацией поперечного магнитного поля, который вызвал к жизни ряд теоретических работ и имел принципиальное значение для построения модели вспышки. История исследования солнечных вспышек в КрАО изложена в докладе Степанян (1998) на совещании, посвященном 50-летию юбилею КрАО. В этом сообщении мы хотим остановиться на некоторых наблюдательных особенностях и результатах спектральных и монохроматических исследований вспышек в КрАО и сравнить их со стандартной моделью вспышки (Кунду и др., 1989).

2 Развитие активной области и вспышки

Начатые в 1951 году систематические наблюдения на внезатменном коронографе КГ-1 привели Северного и Шапошникову (1954) к выводу, что вспышка не является исключительным и редким явлением, а представляет собой скорее типичное, характерное явление, сопутствующее развитию групп пятен.

3 Структура вспышек

Первые визуальные наблюдения эмиссионного спектра вспышки в линии H_{α} на БСТ-1 в 1954 году при хороших изображениях привели Северного (1957а) к открытию тонкой структуры вспышки. Они показали, что протяженная эмиссия вспышки исходит из очень мелких близко расположенных ядер размером порядка угловой секунды. Такая структура особенно характерна для взрывной фазы сильных вспышек, когда крылья бальмеровских линий состоят из усов разной протяженности и яркости (Северный, 1957б, 1959). Были также обнаружены тонкоструктурная непрерывная эмиссия и появление тонких протяженных эмиссионных крыльев возле водородных линий при отсутствии эмиссии в центре линии, названных усами (Северный, 1957а). Делается вывод о том, что наблюдения, полученные на инструментах, не способных разрешить эту тонкую структуру, а также при плохом качестве изображений не дают надежных данных о спектре этих образований, а следовательно и о физической природе этой эмиссии. Такие наблюдения лишь грубо, в среднем, характеризуют физические условия, которые фактически имеют место во вспышках, приводя иногда к фиктивным результатам (Северный, 1957а).

Тонкая структура вспышек обнаруживалась и при монохроматических H_{α} -наблюдениях. При исследовании двухленточных вспышек (Огирь, 1968) было обнаружено, что вспышечные ленты не однородны, а состоят из отдельных ярких узелков, которые сливаются и образуют сплошную ленту. Наблюдения вспышки балла 3В на коронографе КГ-1, охватывающие весь период ее развития при реальном пространственном разрешении $1.5''$, позволили обнаружить, что в начальный период разгорание вспышки происходит путем последовательного уярчения уже существующих флоккульных узелков, т.е. распространения возбуждения (Бабин, 1974). В процессе развития вспышки размеры узелков (собственно вспышки) не увеличиваются, а растет их яркость и появляется менее яркая диффузная материя, заполняющая промежутки между узелками. В максимуме вспышечные ленты состояли из перепутанных волоконцев и узелков, имеющих диаметры около $2''$ и напоминали

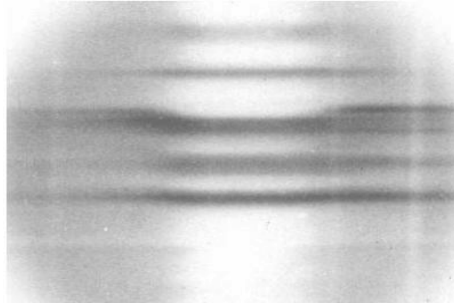


Рис. 1. Тонкая структура вспышечной эмиссии в линии H_{α} (негативное изображение). Вспышка балла 2N 01.10.1978, 7:18.5 UT

моток перепутанной пряжи. Таким образом, еще в 70-е годы была обнаружена тонкая структура вспышечных лент в линии H_{α} , подобная зарегистрированной у нескольких вспышек на космических аппаратах TRACE и YONKON в ультрафиолете (195Å и 171Å) и в мягком рентгеновском излучении. Анализ монохроматических H_{α} -наблюдений белой вспышки балла 3B/X12 15.06.1991 г. (Бабин, Коваль, Огирь, 1995) и вспышки балла 2B 26.09.1963 г. (Банин, 1966), расположенных вблизи лимба, показал, что H_{α} вспышечные ленты по структуре представляют собой систему плотно упакованных ярких петель. Петельные структуры уже существуют в самом начале вспышки. Вспышечные ленты двигались к лимбу, что указывает на подъем петель. При выходе на лимб оказалось, что вспышечные ленты – это верхушки петель, в которых сосредоточено яркое вещество, а оба основания петель укореняются в первоначальное положение данной вспышечной ленты. Т. о., данные наблюдений свидетельствуют о том, что вспышечные ленты в H_{α} представляют собой очень яркие компактные петли с концентрацией вещества в верхушках петель. Такая структура H_{α} вспышечных лент не рассматривается и не объясняется стандартной моделью вспышки.

4 Выделение энергии и нагрев хромосферы

Согласно общепринятой в настоящее время точке зрения, вспышка является результатом очень быстрой реализации свободной магнитной энергии в короне в верхушке магнитной петли. Реализуемая в короне энергия идет на ускорение электронов и ионов до высоких энергий, на прямой нагрев и движение плазмы. Сам процесс энерговыделения недоступен наблюдениям. О нем можно судить по вторичным явлениям, одним из которых является оптическое излучение вспышек. Оно является результатом нагрева хромосферы и фотосферы мощными пучками заряженных частиц, потоками тепла и жесткого электромагнитного излучения, проникающих в хромосферу и фотосферу вдоль магнитной петли из места основного энерговыделения в короне. Преобладание того или иного механизма нагрева позволяет судить о механизме первоначального энерговыделения. Анализ полученных из наблюдений H_{α} -профилей и их сравнение с теоретическими профилями, рассчитанными для физических процессов, которые играют определяющую роль в нагреве хромосферы (Кэнфилд и др., 1984), дают возможность определить относительную роль различных механизмов переноса энергии из короны в хромосферу, а также особенности выделения энергии. Той же цели служит изучение кривых развития вспышки в линии H_{α} и сравнение с временным ходом излучения в жестком и мягком рентгене, а также в микроволновом диапазоне. Пример протяженных крыльев линии H_{α} , а также штатковского распределения эмиссии в крыльях, что характерно для нагрева хромосферы нетепловыми электронами, приведен на рис. 2.

Исследование спектральных и монохроматических наблюдений нескольких сильных вспышек в линии H_{α} показало, что нагрев хромосферы осуществлялся как пучком нетепловых электронов, так и теплопроводностью, относительная роль которых была различна в разных вспышечных узлах и изменялась со временем. Выделение энергии и ускорение частиц имели место не только

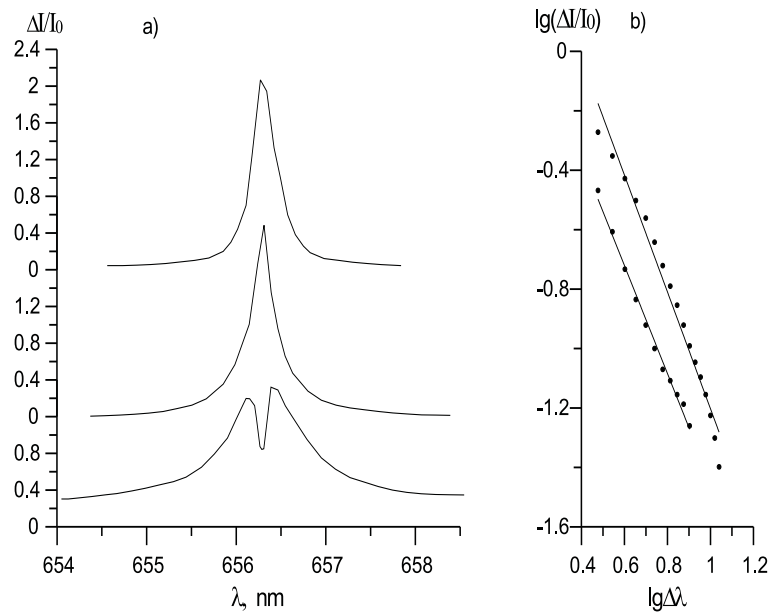


Рис. 2. а) Профили избыточной эмиссии в линии H_{α} в трех вспышечных узлах вспышки 15.06.1991. б) Ход интенсивности эмиссии в синем крыле линии H_{α} двух верхних профилей в штарковских осях

в импульсной, но и в постепенной фазе вспышки. Места выделения энергии в импульсной и в постепенной фазе были пространственно разнесены (Бабин, Коваль, 2002); в импульсной фазе выделение энергии происходило в тонкоструктурных элементах, которые включались во вспышечный процесс на временной шкале в несколько секунд (Бабин, Коваль, 2005).

5 Поляризационные наблюдения

Еще одним методом выявления механизма нагрева хромосферы является исследование линейной поляризации H_{α} -излучения. В 1980 г. на БСТ-2 и КГ-2 Бабиным и Коваль (1983) были начаты спектральные и монохроматические поляризационные наблюдения солнечных эмиссионных образований в линии H_{α} . Обнаружена кратковременная (1-3 мин.) значительная (до 20%) поляризация эмиссии вспышек и усов, а также тонкая структура поляризованных элементов вспышек и усов, когда степень поляризации и азимут плоскости поляризации в некоторых эмиссионных узлах изменяется на протяжении нескольких угловых секунд (Бабин, Коваль, 1985а, 1985б). Исследование линейной поляризации H_{α} -эмиссии во время импульсной фазы вспышки балла 2В 26 июля 1982 года, наблюдения которой получены с высоким временным разрешением, показали, что существенное изменение поляризации некоторых эмиссионных деталей происходит в течение 10 секунд (Бабин, Коваль, 1985с). Природа линейной поляризации H_{α} -излучения вспышек до настоящего времени не установлена, а результаты исследований пока противоречивы. В частности, результат (Бианда и др., 2005) об отсутствии поляризации излучения в линии H_{α} , превышающей 0.07%, у 30 вспышек разной мощности не является убедительным, поскольку высокая чувствительность к поляризации получена за счет грубого усреднения по площади ($10 \cdot 10$ угл. сек) и по времени (40 сек). Т. о., при интерпретации поляризационных наблюдений, полученных с недостаточным временным и пространственным разрешением, нужно учитывать влияние на получаемые результаты тонкой структуры поляризованных элементов вспышки и быстрое изменение поляризации со временем.

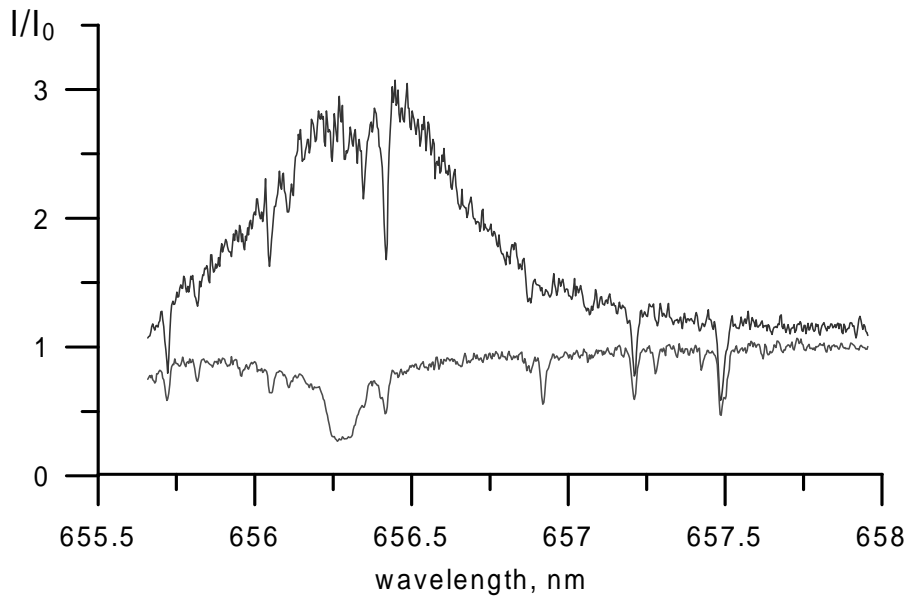


Рис. 3. Фотометрическая запись спектра ядра вспышки 26.06.1999, излучающего континуум, и соседней невозмущенной фотосферы

6 Красная асимметрия эмиссии

Красная асимметрия эмиссионных линий является одной из особенностей спектра вспышки (Швестка и др., 1962). Поэтому она должна быть тесно связана с процессами, происходящими во вспышке, и должна учитываться при построении ее модели. Если нагрев хромосферы производится мощным потоком частиц или интенсивным потоком теплопроводности с энергиями свыше 10^{10} эрг $\text{см}^{-2} \text{с}^{-1}$, то, согласно стандартной модели вспышки, внезапное увеличение температуры вызывает испарение хромосферы с образованием движущейся вниз хромосферной конденсации, излучение которой может наблюдаться как смещенная в красную сторону H_α -эмиссия. В КрАО асимметрию исследовали Северный (1968), Банин (1965), Коваль (1976), Коваль и Бабин (1985с, 1999, 2002).

Наблюдения показывают, что во вспышках наблюдается два вида красной асимметрии. Первый вид – когда максимум интенсивности эмиссионного профиля линии находится в центре несмещенной линии, а красное крыло ярче и протяженнее синего. В этом случае профиль можно представить наложением двух эмиссий, которые пространственно не разрешены: центральной, неподвижной и эмиссии с протяженными крыльями, которую излучают элементы вспышки, движущиеся с лучевой скоростью 40-70 км/с, если рассматривать красную асимметрию как направленное вниз движение излучающего вещества. Этот вид асимметрии наблюдается до импульсной фазы вспышки, в импульсной фазе и после нее, причем часто в местах, не связанных с импульсным энерговыделением. Значит нужно предположить сильный нагрев хромосферы до импульсной фазы вспышки.

Второй вид асимметрии – когда симметричный профиль сдвинут в целом в красную область спектра, представлен на рис. 3. Этот вид асимметрии характерен для H_α -эмиссии с протяженными крыльями во время импульсной фазы вспышки. Лучевые скорости движущегося объема вспышки 10-30 км/с. В линиях, представляющих разные температурные области вспышки, асимметрия различна. Этот вид асимметрии, в принципе, согласуется с моделью испарения хромосферы с образованием движущейся вниз хромосферной конденсации, но в этом случае придется предположить, что все излучение вспышки в линии H_α исходит из движущейся конденсации. Однако следует обратить внимание на то, что имеет место очень большое различие наблюдаемых и теоретических H_α -профилей, рассчитанных для динамической модели хромосферы при импульсном нагреве

нетепловыми электронами или теплопроводностью. Является ли красная асимметрия H_{α} -профиля результатом испарения хромосферы, в настоящее время однозначно ответить невозможно. Так что теоретикам есть над чем поработать.

Следует также отметить появление эмиссии с синей асимметрией как в начальный период вспышки, так и на более поздней стадии, причем места ее появления не совпадают с местами, где наблюдается красная асимметрия.

7 Непрерывное излучение вспышек

Излучение вспышек в оптическом диапазоне континуума является одним из необъясненных проявлений вспышечного процесса. До сих пор не установлен как механизм возбуждения свечения, так и глубина, из которой излучение исходит. Энергия, излучаемая в оптическом континууме во время мощных вспышек, превосходит 10^{31} эрг, а мощность излучения $\geq 10^{28}$ эрг/с значительно превосходит мощность излучения в других диапазонах, и этим объясняется повышенный интерес исследователей к непрерывному излучению вспышек.

Первая работа в КрАО, посвященная исследованию непрерывного излучения хромосферных вспышек, была выполнена Мустелем (1955). В ней рассматривался весь, довольно немногочисленный на то время, наблюдательный материал и сформулированы основные общие свойства непрерывного излучения вспышек: кратковременное появление непрерывного излучения на ограниченной площади сильных хромосферных вспышек в момент, близкий к максимуму излучения в H_{α} . Обсуждался также вопрос о возможных механизмах возникновения непрерывного излучения хромосферных вспышек: первый – рекомбинационный, второй – проникновение вспышек в фотосферу. Повышение средней температуры фотосферы в области вспышки на 150-200 К может объяснить появление непрерывного излучения в этой области. В этой же работе сформулированы основные наблюдательные задачи дальнейшего изучения непрерывного спектра солнечных вспышек: количественное распределение энергии в непрерывном спектре, изучение непрерывного спектра за пределами серии Бальмера, изменение непрерывного излучения со временем и изучение поляризации излучения. Эти задачи остаются актуальными и в настоящее время.

Результаты исследования непрерывного излучения вспышек заметно отличаются для разных вспышек. Эти расхождения отражают не только сложность проблемы, но и реальные различия между индивидуальными случаями непрерывного излучения. Можно выделить два типа непрерывного излучения, физическая природа которых, по-видимому, различна (Швестка, 1972). К первому типу относятся ядра непрерывной эмиссии, видимые в спектре во время вспышек довольно продолжительное время как узкие эмиссионные полосы. Положение ядер этой эмиссии не совпадает с наиболее энергичными узлами вспышек. Ядра непрерывной эмиссии этого типа могут появляться во флоккулярных полях вспышечно-активных групп пятен и в отсутствие вспышек. Исследование непрерывного излучения этого типа активно проводилось в КрАО в 60е-70е годы (Северный, 1957а; 1958; 1960b; Северный, Хохлова, 1958; 1959; Хохлова, 1958; Стешенко, 1971; Коваль, Стешенко, 1963; Коваль, 1979; Барановский, Коваль, 1981; 1982). Получено, что распределение непрерывного излучения с длиной волны существенно отличается от распределения в спектре Солнца и близко к распределению в спектре горячих АО звезд. Отсутствует усиление эмиссии за пределами серии Бальмера. Наблюдения показали, что эмиссия возникает в оптически тонком слое на различных глубинах в атмосфере Солнца $0 \leq \tau_{5000} \leq 0.5$. С другой стороны, модельные расчеты показали, что наблюдаемое распределение эмиссии с длиной волны в непрерывном спектре и в крыльях линий К CaII и D2 NaI хорошо согласуются с моделью, в которой температура в фотосферных слоях $\tau = 10^{-2} - 1.7$ увеличена на 200-300 К. Физические процессы, приводящие к появлению этого типа непрерывного излучения, не ясны.

Второй тип непрерывного излучения – это кратковременное появление излучения в континууме на ограниченной площади вспышки во время импульсной фазы, так называемые “белые вспышки”. Эти наиболее яркие образования в непрерывном спектре совпадают с местами наибольшего свечения линий водорода, профили которых имеют протяженные крылья. В настоящее

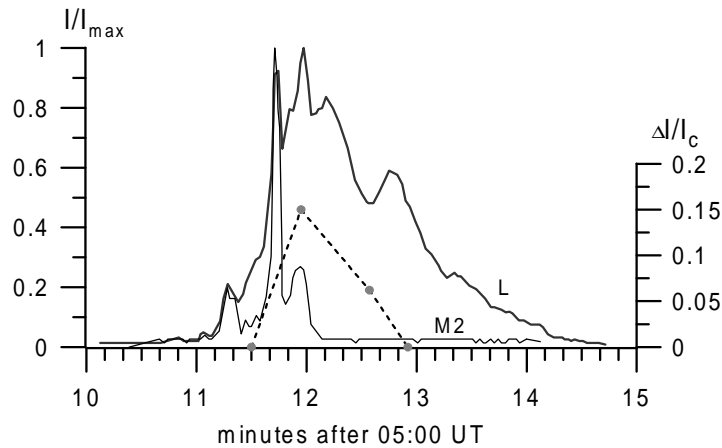


Рис. 4. Изменение контраста вспышки в континууме со временем (пунктир, правая шкала) и световые кривые HXR в каналах L и M2 (левая шкала)

время имеется довольно большое количество наблюдений этого вида непрерывного излучения, полученных с широкополосными фильтрами, но спектральные наблюдения немногочисленны ввиду кратковременности явления (от десятков секунд до нескольких минут) и ограниченности по площади (несколько угловых секунд). В КРАО получены спектральные наблюдения непрерывного излучения трех вспышек во время импульсной фазы: 23 сентября 1963 г. (Банин, 1965; Барановский, Коваль, 1982), 15 июня 1991 г. (Бабин, Коваль, 1993) и 26 июня 1999 г. (Бабин, Коваль, 2005), которые в какой-то степени дополняют друг друга. Рассмотрим особенности излучения этих вспышек.

Для вспышки 23 сентября 1963 г. Баниным на БСТ-1 при помощи спектрографа с эшелле были получены спектрограммы узла белой вспышки, которые относились к послемаксимальному периоду белого свечения. Контраст непрерывной эмиссии в области 5000 \AA составлял 15%, в области длин волн $6600\text{-}4000 \text{ \AA}$ наблюдалось слабое увеличение контраста с уменьшением длины волны и резкое увеличение контраста в области длин волн $\leq 4000 \text{ \AA}$. Наблюдается увеличение контраста в области бальмеровского предела. Величина контраста увеличивается почти в два раза при переходе от 3800 \AA к 3646 \AA (Барановский, Коваль, 1982). В спектре наблюдались в эмиссии очень высокие члены бальмеровской серии водорода вплоть до H19. В больших вспышках на диске обычно наиболее высокими бальмеровскими линиями, наблюдаемыми в излучении, являются H15-H16.

Для вспышки 15 июня 1991 г. Бабиным и Коваль на БСТ-2 были получены спектры наиболее яркого узла белой вспышки в импульсной фазе в области длин волн $6517\text{-}6598 \text{ \AA}$. В этой вспышке наблюдался довольно резкий рост интенсивности непрерывного излучения в синюю сторону спектра: 120% яркости невозмущенной фотосферы в области 6550 \AA и 150% в области 5500 \AA (по наблюдениям в Дебрецене). Это была одна из наиболее мощных белых вспышек. Энергия, излученная в континууме, составляла $2.7 \cdot 10^{31}$ эрг. Оптический спектр излучения импульсных узлов белых вспышек мало изучен. Считается, что линейчатый спектр белых вспышек не отличается от спектра ярких вспышек, которые не излучают в континууме (Нейдиг, 1989). Однако, по-видимому, это не так. Исследование линейчатого спектра в участке $6517\text{-}6598 \text{ \AA}$ в области непрерывного излучения показало практически полное отсутствие в спектре солнечных линий поглощения: они залиты излучением континуума. В то же время в излучении наблюдаются линии углерода, ионизованного углерода, ионизованного магния и ионизованного гелия 6560 \AA . Появление в спектре вспышки этих линий в излучении никем ранее не отмечалось. Полная протяженность эмиссионных крыльев линии H_α достигала 40 \AA (Бабин и др., 1998; Бабин, Коваль, 1999).

Для вспышки 26 июня 1999 г. на КГ-2 были получены спектральные поляризационные наблюдения с высоким временным (5-10 с) и пространственным (около $1''$) разрешением (Бабин,

Коваль, 2005). Особенности спектра и мощность излучения континуума с единицы площади в области 6580 \AA ($1.1 \cdot 10^7 \text{ эрг см}^{-2} \text{ с}^{-1} \text{ нм}^{-1}$) были те же, что во вспышке 15 июня 1991 г. Высокое временное разрешение наблюдений позволило построить кривую развития непрерывного излучения и сравнить с излучением в жестком рентгене по наблюдениям на YONKON (рис. 4). Максимум излучения в непрерывном спектре совпадал с одним из всплесков (третьим) жесткого рентгеновского излучения в диапазоне энергий 33-53 keV (канал M2), который не был самым мощным. С другой стороны, наблюдалось хорошее соответствие кривой развития вспышки в континууме с ходом постепенного компонента жесткого рентгеновского излучения в области энергий 14-23 keV (канал L). Исследование поляризации показало, что непрерывное излучение не поляризовано. Наблюдался один источник непрерывного излучения в месте пересечения двух вспышечных петель (начальной и вновь вспыхнувшей). Эти особенности свечения в континууме трудно согласовать со стандартной моделью белой вспышки.

Была рассчитана полуэмпирическая модель фотосферы белой вспышки 15 июня 1991 г. (Бабин и др., 1998), которая объясняет усиление континуума в сторону коротких длин волн. Основной особенностью модели является глубокое расположение ($\tau > 1$) и высокая температура (30 000 K) слоя, излучающего непрерывный спектр вспышки. Нагрев столь глубоко расположенного слоя трудно объяснить, используя традиционные представления о переносе энергии из короны в хромосферу и фотосферу.

8 Глобальность вспышечного процесса

Из наблюдений следует, что большая вспышка представляет собой сложный процесс энерговыделения, растянутый в пространстве и во времени, который не ограничивается событиями, наблюдаемыми на месте основного энерговыделения во время импульсной фазы. Об этом свидетельствуют такие явления, как усиление хромосферной и фотосферной активности на некотором промежутке времени до начала мощной вспышки, в том числе и в местах, не совпадающих с местом основного энерговыделения: движение пятен, активизация волокна, темные выбросы, уярчения флоккулов и изменение структуры флоккульных узелков, небольшие вспышки – хромосферные предвестники, предимпульсный нагрев в местах основного энерговыделения. Это показано в работах Северного и Шапошниковой (1954), Гопасюка (1962), Гопасюка, Огирь и Цапа (1963), Гопасюка и Огирь (1963), Бабина (1980), Карташовой (1989), Бабина и Коваль (2002; 2006).

Последовательное вспыхивание уже существующих флоккульных узелков во время разгорания вспышки указывает на то, что выделение энергии даже в начальной фазе происходит не одновременно (Бабин, 1974). С развитием вспышки во вспышечный процесс включаются все более удаленные от мест основного энерговыделения участки активной области, в которых могут наблюдаться различные фазы вспышки (Бабин, Коваль, Огирь, 1995). На всех стадиях вспышки происходит выбрасывание ярких сгустков и струй с большими лучевыми скоростями (Северный, Шапошникова, 1960; Гопасюк, 1960; Огирь, 1970; Бабин, 1970; Бабин, Коваль, 1999). Как показали наблюдения Гопасюка (1964), во время вспышек происходит подъем вещества из фотосферы в хромосферу с последующим его опусканием, возрастают скорости подъема и опускания газа в области пятен. Происходят быстрые изменения напряженности и структуры магнитного поля близлежащих пятен (Коваль, Степанян, 1983; Бабин, Коваль, 2003). Вспышечный процесс затрагивает все структурные образования активной области.

Из нашего краткого обзора следует, что ряд результатов исследования вспышек в оптическом диапазоне, полученных сотрудниками КрАО, трудно согласовать со стандартной моделью вспышки. Необходимо улучшить качество как наземных наблюдений (путем увеличения пространственного и временного разрешения), так и теоретических расчетов отклика хромосферы на события в короне. При построении модели вспышек нужно учитывать тонкоструктурность вспышки и глобальность вспышечного процесса.

Литература

- Бабин А.Н. // Изв. Крымской Астрофиз. Обсерв. 1970. Т. 41-42. С. 45.
- Бабин А.Н. // Изв. Крымской Астрофиз. Обсерв. 1974. Т. 50. С. 152.
- Бабин А.Н. // Изв. Крымской Астрофиз. Обсерв. 1980. Т. 62. С. 142.
- Бабин А.Н., Барановский Э.А., Коваль А.Н., Калман Б., Герлеи О. // Кинематика и физика небесных тел. 1998. Т. 14. № 4. С. 330.
- Бабин А.Н., Коваль А.Н. // Изв. Крымской Астрофиз. Обсерв. 1983. Т. 66. С. 89.
- Бабин А.Н., Коваль А.Н. // Изв. Крымской Астрофиз. Обсерв. 1985 а. Т. 70. С. 3.
- Бабин и Коваль (Babin A.N., Koval A.N.) // Solar Phys. 1985 b. V. 98. P. 159.
- Бабин А.Н., Коваль А.Н. // Изв. Крымской Астрофиз. Обсерв. 1985 с. Т. 72. С. 142.
- Бабин А.Н., Коваль А.Н. // Изв. Крымской Астрофиз. Обсерв. 1993. Т. 88. С. 60.
- Бабин А.Н., Коваль А.Н. // Кинематика и физика небесных тел. 1999. Т. 15. № 1. С. 51.
- Бабин А.Н., Коваль А.Н. // Информ. Бюлл. УАА. 1995. № 7. С. 98.
- Бабин А.Н., Коваль А.Н. // Изв. Крымской Астрофиз. Обсерв. 2002. Т. 98. С. 27.
- Бабин А.Н., Коваль А.Н. // Изв. Крымской Астрофиз. Обсерв. 2003. Т. 99. С. 86.
- Бабин А.Н., Коваль А.Н. // Изв. Крымской Астрофиз. Обсерв. 2006. Т. 101, в печати.
- Бабин А.Н., Коваль А.Н., Огирь М.Б. // Изв. Крымской Астрофиз. Обсерв. 1995. Т. 92. С. 28.
- Барановский Э.А., Коваль А.Н. // Изв. Крымской Астрофиз. Обсерв. 1981. Т. 64. С. 127.
- Барановский Э.А., Коваль А.Н. // Изв. Крымской Астрофиз. Обсерв. 1982. Т. 65. С. 35.
- Банин В.Г. // Изв. Крымской Астрофиз. Обсерв. 1965. Т. 33. С. 118.
- Банин В.Г. // Изв. Крымской Астрофиз. Обсерв. 1966. Т. 35. С. 190.
- Бианда и др. (Bianda M., Benz A.O., Stenflo J.O. et al.) // Astron. Astrophys. 2005. V. 434. P. 1183.
- Бумба В. // Изв. Крымской Астрофиз. Обсерв. 1958. Т. 19. С. 105.
- Гопасюк С.И. // Изв. Крымской Астрофиз. Обсерв. 1960. Т. 23. С. 331.
- Гопасюк С.И. // Изв. Крымской Астрофиз. Обсерв. 1962. Т. 27. С. 110.
- Гопасюк С.И. // Изв. Крымской Астрофиз. Обсерв. 1964. Т. 32. С. 14.
- Гопасюк С.И., Огирь М.Б. // Изв. Крымской Астрофиз. Обсерв. 1963. Т. 30. С. 185.
- Гопасюк С.И., Огирь М.Б., Цап Т.Т. // Изв. Крымской Астрофиз. Обсерв. 1963. Т. 30. С. 148.
- Карташова Л.Г. // Изв. Крымской Астрофиз. Обсерв. 1983. Т. 68. С. 15.
- Кенфилд и др. (Canfield R.C., Gunkler T.A., Richiazzi P.J.) // Astrophys. J. 1984. V. 282. P. 296.
- Коваль А.Н. // Изв. Крымской Астрофиз. Обсерв. 1976. Т. 55. С. 42.
- Коваль А.Н. // Изв. Крымской Астрофиз. Обсерв. 1979. Т. 59. С. 64.
- Коваль А.Н., Степанян Н.Н. // Изв. Крымской Астрофиз. Обсерв. 1983. Т. 68. С. 3.
- Коваль А.Н., Стешенко Н.В. // Изв. Крымской Астрофиз. Обсерв. 1963. Т. 30. С. 200.
- Кунду и др. (Kundu M.R., Woodgate B., Schmahl E.J. (editors)) // Energetic Phenomena on the Sun. Kluwer Academic Publishers. 1989.
- Мустель Э.Р. // Изв. Крымской Астрофиз. Обсерв. 1955. Т. 15. С. 54.
- Нейдиг (Neidig D.F.) // Solar Phys. 1989. V. 121. P. 261.
- Огирь М.Б. // Изв. Крымской Астрофиз. Обсерв. 1968. Т. 38. С. 78.
- Огирь М.Б. // Изв. Крымской Астрофиз. Обсерв. 1970. Т. 41-42. С. 25.
- Северный А.Б. // Изв. Крымской Астрофиз. Обсерв. 1957а. Т. 17. С. 129.
- Северный А.Б. // Астрон. журн. 1957b. Т. 34. С. 688.
- Северный А.Б. // Изв. Крымской Астрофиз. Обсерв. 1958. Т. 19. С. 72.
- Северный А.Б. // Изв. Крымской Астрофиз. Обсерв. 1958. Т. 20. С. 22.
- Северный А.Б. // Изв. Крымской Астрофиз. Обсерв. 1959. Т. 21. С. 131.
- Северный А.Б. // Изв. Крымской Астрофиз. Обсерв. 1960а. Т. 22. С. 12.
- Северный А.Б. // Изв. Крымской Астрофиз. Обсерв. 1960b. Т. 22. С. 67.
- Северный А.Б. // Изв. Крымской Астрофиз. Обсерв. 1963. Т. 30. С. 161.
- Северный А.Б. // Изв. Крымской Астрофиз. Обсерв. 1964. Т. 31. С. 159.
- Северный (Severny A.B.) // Nobel Symposium 9. 1968. P. 71.
- Северный А.Б., Хохлова В.Л. // Изв. Крымской Астрофиз. Обсерв. 1958. Т. 20. С. 67.

- Северный А.Б., Хохлова В.Л. // Изв. Крымской Астрофиз. Обсерв. 1959. Т. 21. С. 190.
Северный А.Б., Шапошникова Е.Ф. // Изв. Крымской Астрофиз. Обсерв. 1954. Т. 12. С. 3.
Северный А.Б., Шапошникова Е.Ф. // Изв. Крымской Астрофиз. Обсерв. 1960. Т. 24. С. 235.
Степанян Н.Н. // Изв. Крымской Астрофиз. Обсерв. 1998. Т. 94. С. 54.
Стещенко Н.В. // Изв. Крымской Астрофиз. Обсерв. 1971. Т. 43. С. 130.
Хохлова В.Л. // Изв. Крымской Астрофиз. Обсерв. 1958. Т. 19. С. 115.
Швестка (Svestka Z.) // Ann. Rev. Astron. Astrophys. 1972. V. 10. P. 1.
Швестка и др. (Svestka Z., Kopecky M. and Blaga M.) // V. A. S. 1962. V. 13. P. 37.