

УДК 523-98

ВОЗМОЖНЫЙ СЦЕНАРИЙ ВЫДЕЛЕНИЯ И ПЕРЕНОСА ЭНЕРГИИ ВО ВРЕМЯ СОЛНЕЧНОЙ ВСПЫШКИ 26 АПРЕЛЯ 2003 г.

А.С. Фролова, П. Котрч, Л.К. Кашапова

POSSIBLE SCENARIO OF RELEASE AND TRANSFER OF ENERGY DURING THE SOLAR FLARE ON APRIL 26, 2003

A.S. Frolova, P. Kotrch, L.K. Kashapova

Целью данной работы является изучение механизмов переноса энергии во время вспышек. Мы представляем результаты исследования солнечной вспышки, произошедшей на западном лимбе 26 апреля 2003 г. Вспышка наблюдалась в широком диапазоне частот: 5.7 ГГц (ССРТ), жесткое рентгеновское излучение (КА RHESSI), интегральные потоки 245–15400 МГц (RSTN) и спектры хромосферных линий (обсерватория Ондражев). Проведено изучение взаимосвязи быстрого и медленного компонента изменения интенсивности линий H_{α} и H_{β} с индикаторами присутствия ускоренных электронов во вспышечной плазме – жесткого рентгеновского и микроволнового излучений. Полученные результаты сравниваются с теоретическими расчетами, приведенными в работе [1].

The purpose of this paper is to study mechanisms of energy transport during flares. We present results of investigation into the solar flare exploded on the western limb on 26 April 2003. The flare was observed in a wide wavelength range: SSRT (5.7 GHz), RHESSI data (hard X-ray emission, HXR), integral microwave flux (245–15400 MHz) by RSTN and the Ondrejov observatory (chromospheric line spectra). We carried out study of the relationship between the fast and gradual components of the H_{α} and H_{β} line intensities and the indicator of accelerated electrons in flare plasma (HXR and microwave emissions). These results are compared with theoretical calculations obtained by Kasparova et al [1].

Введение

Наблюдения солнечных вспышек ведутся на протяжении уже нескольких десятилетий. Сегодня мы знаем, что вспышка – это высокоэнергетический процесс, начинающийся в короне, а затем энергия различными путями переносится в фотосферу и хромосферу. Существуют два основных механизма переноса энергии во время вспышек – тепловой и с помощью потоков ускоренных частиц (электронов или протонов). Результаты изучения морфологии и эволюции хромосферной эмиссии по отношению к микроволновому и жесткому рентгеновскому излучению являются хорошим тестом, с помощью которого мы можем понять разницу между двумя основными формами переноса энергии, предлагаемыми различными моделями вспышки.

Исследования, проведенные в работе [2], показали, что, используя одновременные наблюдения в микроволновом, жестком рентгеновском диапазонах и хромосферных линиях, можно сделать оценку основных параметров модели вспышки и определиться с механизмами переноса энергии в рамках этой модели. Однако использованные в [2] данные в микроволновом и жестком рентгеновском диапазонах не позволили определить точное положение источников излучения, что внесло некоторую неопределенность в интерпретацию полученных результатов. Кроме того, для исследования отклика хромосферы использовалась только одна линия бальмеровской серии – линия H_{α} .

Данные космического аппарата RHESSI [3] и Сибирского солнечного радиотелескопа (ССРТ) [4], полученные для исследуемого в данной работе события 26 апреля 2003 г., позволяют восполнить перечисленные выше пробелы работы [2].

Наблюдения

Исследуемая солнечная вспышка произошла на западном лимбе 26 апреля 2003 г., 31° N, 82° W. Данная вспышка класса M7 длилась с 08:01 до 08:09 UT.

Для ее изучения на уровне хромосферы были использованы спектральные наблюдения в линиях H_{β} и H_{α} , а также фильтрограммы в центре линии H_{α} , полученные с 4-секундным временным разрешением на многоканальном спектрографе MFS Астрономического института Чешской академии наук. Для анализа использовались профили линий H_{α} и H_{β} , полученные с 08:03:49 до 08:07:33 UT, которые были предварительно обработаны. Положение микроволнового источника было определено по изображениям на частоте 5.7 ГГц, полученным на ССРТ Института солнечно-земной физики СО РАН. Положение источников в жестком рентгеновском излучении и временные зависимости потоков излучения были получены по наблюдениям КА RHESSI. Положение источников жесткого рентгеновского и микроволнового излучения совпало с положением вспышечной эмиссии, видимой на хромосферной фильтрограмме и щели спектрографа. Данный факт позволил нам провести сравнение временных вариаций хромосферного и жесткого рентгеновского излучений.

Построены кривые изменения интенсивности линий H_{α} и H_{β} в центре (рис. 1) и в крыльях линий (рис. 2, 3). Для сравнения с ними использовались потоки фотонов жесткого рентгеновского излучения в полосах энергий 12–25 кэВ и 50–100 кэВ. Первая энергетическая полоса соответствует тепловым механизмам переноса энергии, а излучение, возникающее в диапазоне 5–100 кэВ, формируется под действием ускоренных электронов. Как видно из рис. 1–3, мы можем выделить быстрый и медленный компоненты изменения интенсивности в центре и в крыльях линии H_{α} во время вспышки. Медленный компонент H_{α} меняется незначительно, и не наблюдается сильного роста данного компонента. Возможно, такое поведение связано с нагревом вспышечной плазмы с помощью теплового механизма, а затем с ее постепенным охлаждением. В быстром компоненте H_{α} наблюдаются три хорошо выраженных пика, которые практически совпадают по времени со всплесками

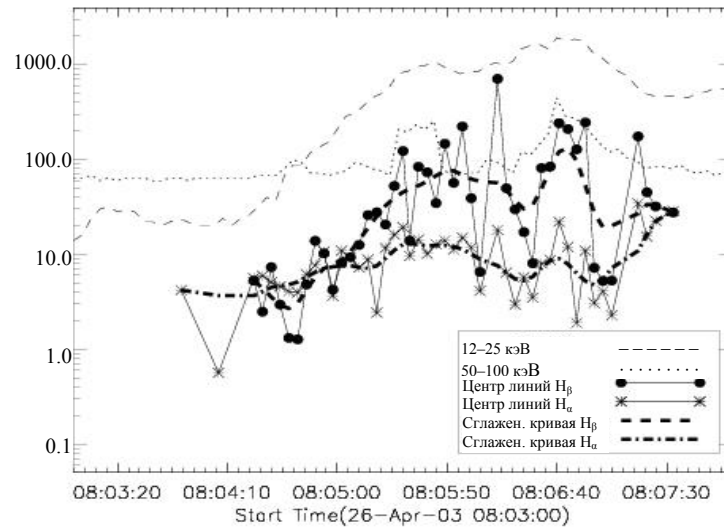


Рис. 1. Временная эволюция рентгеновских потоков в 12–25 кэВ и 50–100 кэВ, изменение интенсивности в центре линии H_{α} , изменение интенсивности в центре линии H_{β} .

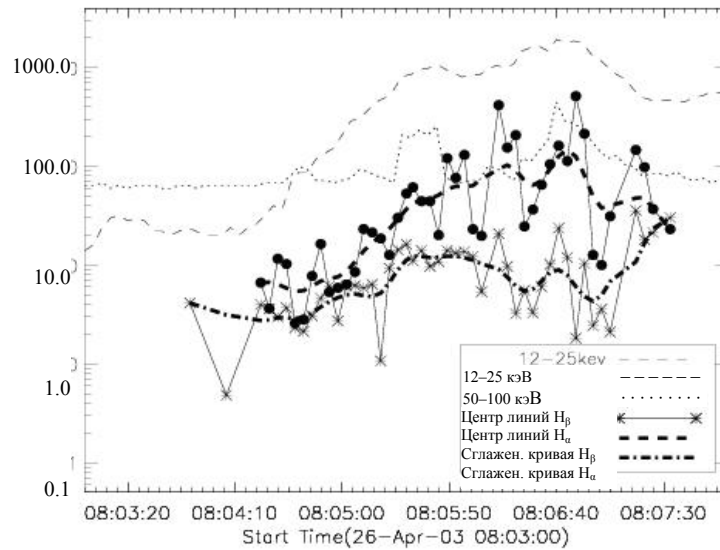


Рис. 2. Временная эволюция рентгеновских потоков в 12–25 кэВ и 50–100 кэВ, изменение интенсивности в красном крыле линии H_{α} , изменение интенсивности в красном крыле линии H_{β} .

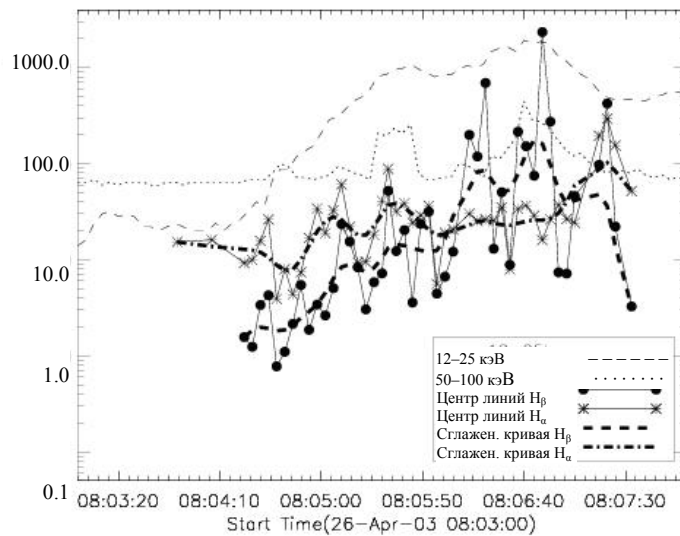


Рис. 3. Временная эволюция рентгеновских потоков в 12–25 кэВ и 50–100 кэВ, изменение интенсивности в синем крыле линии H_{α} , изменение интенсивности в синем крыле линии H_{β} .

в жестком рентгене. Первый всплеск приходится на временной промежуток около 08:05:25, второй – 08:06:10, третий – 08:06:40.

На рис. 1–3 видно, что временные вариации интенсивности в линии H_{β} демонстрируют более тесную связь с эволюцией потока в жестком рентгене, чем интенсивность в линии H_{α} . Этот эффект лучше всего проявляется после максимума вспышки. Наблюдаемые в полосе энергий 50–100 кэВ всплески обычно связывают с моментами инжектирования пучков ускоренных электронов в хромосферу. Наилучшая корреляция между эволюцией жесткого рентгеновского потока в этой полосе видна для синего крыла линии H_{β} . Также хорошо заметен медленный компонент, который коррелирует с рентгеновским потоком в 12–25 кэВ, отражающим общий температурный рост.

На основании сказанного выше можно сделать следующие выводы:

1. Подтверждено существование быстрого и медленного компонентов временной эволюции изменения интенсивности в центре и в крыльях линии H_{α} .
2. Обнаружено наличие подобных изменений интенсивности в центре и в крыльях линии H_{β} .
3. Отклик на воздействие потоков ускоренных электронов в линии H_{β} более информативен по сравнению с наблюдаемым откликом в линии H_{α} .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kasparova J., Varady M., Karlický M., et al. H_{α} line in solar atmosphere heated by particle beams // ESA SP-600. 2005. P. 127.
2. Trotter G., Rolli E., Magun A., et al. The fast and slow H_{α} chromospheric responses to non-thermal particles produced during the 1991 March 13 hard X-ray/gamma-ray flare at ~08 UTC. // Astron. Astrophys. 2000. V. 356. P. 1067–1075.
3. Lin R.P., Dennis B.R., Hurford G.J., et al. The Reuven Ramaty high-energy solar spectroscopic imager (RHESSI) // Solar Phys. 2002. V. 210. P. 3–32.
4. Smolkov G.Ya., Alissandrakis C.E., Lubyshev B.I., et al. Two-dimensional solar mapping at 5.2 cm. with the Siberian Solar radio telescope // Solar Phys. 1992. V. 142. P. 341–358.

Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск