

## РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ СПЕКТРОПОЛЯРИМЕТРА 4–8 ГГц

Д.А. Жданов, В.Г. Занданов

### THE RESULTS OF THE 4–8 GHz SPECTROPOLARIMETER OBSERVATIONS

D.A. Zhdanov, V.G. Zandanov

Мы представляем первые результаты наблюдений спектрополяриметра 4–8 ГГц, расположенного в Радиоастрофизической обсерватории Института солнечно-земной физики СО РАН. Считается, что микроволновые всплески могут быть связаны с первичным энерговыделением во вспышках. Наблюдения на Сибирском солнечном радиотелескопе (ССРТ) позволяют локализовать источники радиоизлучения. С помощью динамических спектров спектрополяриметра 4–8 ГГц можно оценить спектральное и временное поведение этих источников. Данные спектрополяриметра 4–8 ГГц представляют собой количественные измерения интенсивности и поляризации в микроволновом диапазоне от 4 до 8 ГГц с высоким временным (до 10 мс) и спектральным (до 120 МГц) разрешением.

We present the first observations results of the 48 GHz spectropolarimeter located in the Radioastrophysical observatory of the Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS. Microwave bursts are supposed to have relation with primary energy release in flares. With the Siberian solar radio telescope (SSRT) we can locate sources of these microwave bursts on the Sun. 4–8 GHz spectropolarimeter data are particular useful for the temporal and spectral diagnostics of microwave bursts. 4–8 GHz spectropolarimeter data are quantitative measurements of both the intensity and the polarization in microwave band from 4 GHz to 8 GHz with the high temporal resolution of up to 10 ms and the spectral resolution of up to 120 MHz.

#### Инструмент

Спектрополяриметр (рис. 1) был разработан для регистрации солнечного микроволнового излучения в диапазоне 4–8 ГГц [Жданов, 2007; 2009]. Антенна представляет собой параболическое зеркало диаметром 1.8 м, смонтированное на экваториальной опорно-поворотной установке. В первичном фокусе антенны установлен широкополосный 4–8 ГГц облучатель. Принятая линейная поляризация преобразуется с помощью ортогонального гибридного моста на левую и правую круговые компоненты. Модуляторы 5 и 7 осуществляют синхронную коммутацию между выходами облучателя 1, 2 и нагрузками 3, 4 соответственно. Модуляционный сигнал прямоугольного типа с частотой 1770 Гц генерируется удаленной системой синхронизации, расположенной в здании обсерватории. Каждая компонента поляризации усиливается на 24 дБ отдельными малошумящими усилителями 9 и 11 с шумовой температурой около 75 К. Модулятор поляризации 6 обеспечивает коммутацию левой и правой компоненты по времени в общий усилительный тракт. Временное разрешение инструмента зависит от частоты переключения модулятора поляризации, поэтому период переключения не превышает 10 мс. Общий усилительный тракт собран на усилителе мощности 10 на 24 дБ, установленном на антенне, и усилителе 8 на 40 дБ, который расположен в здании. Сигнал с антенны передается по коаксиальному кабелю 13, имеющему потери 12 дБ. Шаговый аттенуатор 12 на 10 дБ необходим при наблюдении мощных вспышек, чтобы детекторы находились в квадратичном режиме.

Гребенки фильтров 14 и 15 имеют по восемнадцать (18) подстраиваемых узкополосных фильтров каждая, которые в совокупности перекрывают диапазон от 3.8 до 8.2 ГГц. В настоящее время, для работы используется двадцать шесть фильтров с шагом между максимумами до 150 МГц. Полоса пропускания фильтра изменяется с ростом резонансной частоты и составляет около 35 МГц в нижней области принимаемого спектра и до 80 МГц на высоких

частотах. Высокочувствительный квадратичный детектор преобразует СВЧ-колебания, выделяемые фильтром, в электрический ток. Низкочастотные каскады 17–32 и 33–48 усиливают напряжение до 200 мВ, что составляет около 6 % динамического диапазона аналого-цифрового преобразователя 49 (АЦП). Каждый усилительный каскад состоит из управляемого аттенуатора с коэффициентом ослабления до 20 дБ. Оцифровка каналов происходит по очереди в последовательности, заданной программно, со скоростью до 16 мкс на канал АЦП L-782 фирмы «Л-Кард», установленного в компьютере 50. Таким образом, время получения мгновенного спектра составляет 512 мкс. Мы используем программное усреднение для улучшения отношения сигнал/шум. В результате временное разрешение данных достигает 10 мс [Zhdanov, 2011].

#### Наблюдения

Радиоизлучение связано с нетепловыми потоками электронов как в области их ускорения, так и на протяжении всего пути распространения потока. Для микроволнового диапазона типичны всплески III типа, которые характеризуются узкой полосой излучения (несколько десятков МГц) и быстрым дрейфом по частоте. Считается, что частота излучения всплесков III типа определяется локальной плазменной частотой, пропорциональной квадратному корню из плотности плазмы [Meshalkina, 2002].

Зебра-структура является хорошо известной тонкой структурой в дециметровом и метровом диапазонах [Yasnov, 2002; Zlotnik 2009], однако в микроволновом диапазоне еще не существует устоявшейся модели, объясняющей природу зебра-структуры [Chernov, 2002; Altyntsev, 2005]. Событие 4 апреля 2011 г. в 06:28:53–06:28:59 UT наблюдалось спектрополяриметром 4–8 ГГц, спектр этого события представлен на рис. 2 (левая верхняя панель). В спектре присутствуют всплески III типа. Источник микроволнового излучения локализован в активной области 11180 (636", 496") по данным ССРТ. Рентгеновское изображение источника и данные косми-

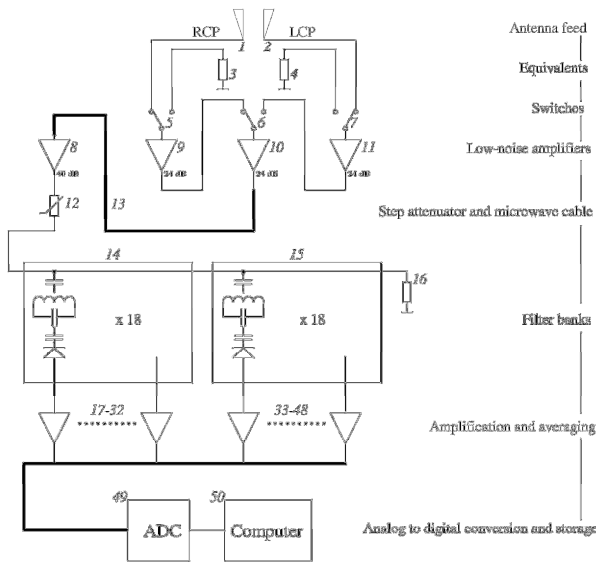


Рис. 1. Блок-схема спектрополяриметра 4–8 ГГц: 1, 2 – выходы облучателя; 3, 4, 16 – согласованные нагрузки; 5–7 – коммутатор; 8–11 – малошумящие усилители мощности; 12 – аттенуатор; 13 – сверхвысокочастотный кабель с малыми потерями; 14, 15 – гребенки фильтров; 17–48 – каскады усилителей и фильтров низкой частоты; 49 – аналого-цифровой преобразователь; 50 – вычислительная машина регистрации.

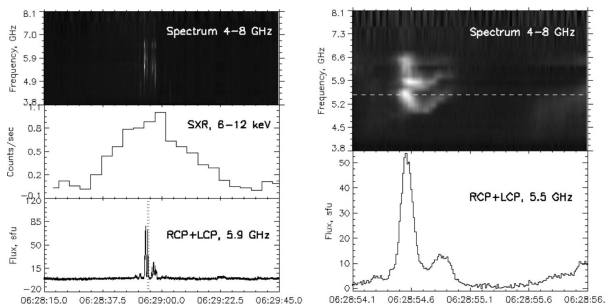


Рис. 2. Слева: верхняя панель – спектр 4-8 ГГц события 04.04.2011; средняя панель – временной профиль мягкого рентгена 6–12 кэВ; нижняя панель – временной профиль интенсивности 5.9 ГГц. Справа: верхняя панель – спектр зебра структуры 4–8 ГГц; нижняя панель – профиль интенсивности 5.5 ГГц. Штриховая линия обозначает место среза временного профиля интенсивности. Пунктирными линиями обозначены границы зебра-структуры.

ческого аппарата RHESSI отсутствуют. Слабый поток мягкого рентгена инструмента FERMI (GBM) космического аппарата GLAST совпадает в максимуме с временным профилем интенсивности всплеска рис. 2 (средняя и нижняя левые панели).

Рассмотрим часть спектра всплеска, на которой присутствует структура, похожая на зебру рис. 2 (правые панели). Структура наблюдается в частотном диапазоне 4.9–6.85 ГГц и состоит из двух ярко выраженных ветвей излучения, напоминающих всплеск U-типа, третья более высокочастотная ветвь выражена слабо. Ветви разнесены между собой на 530–560 МГц длительностью около 500 мс. Сверхтонкая структура ветвей остается под вопросом [Chernov, 2002]. Максимум интенсивности приходится на частоту 5.9 ГГц и составляет 50 с.е.п. над фоновым излучением.

На динамическом спектре зебра-структуры 06:28:54.4 UT, виден U-подобный частотный дрейф. Частоты на двух ярких полосах сначала уменьшаются и затем возрастают. Мы полагаем, что это поведение вызвано нагревом и расширением локальной области в магнитной петле, с последующим охлаждением [Altyntsev, 2005]. Локальное нагревание вызывает уменьшение плотности плазмы и уменьшение магнитного поля вследствие вмороженности магнитных силовых линий, которое сопровождается уменьшением частоты излучения. Затем нагретая область возвращается к начальному состоянию и частота возрастает. Заметим, что процесс локального нагревания приводит к малым размерам источника (около тысячи километров), и поэтому все зебра-полосы будут генерироваться в одном источнике (или вблизи источников).

### Заключение

Мы представили наблюдения солнечного микроволнового всплеска с тонкой спектральной структурой типа зебра-структуры. Это первое наблюдение зебры-структуры спектрополяриметром 4–8 ГГц. Положение источника зебра-структуры определено с помощью Сибирского солнечного радиотелескопа, оно находится вблизи компактного источника у основания вспыхивающей петли по данным Solar Dynamic Observatory (SDO) 304 Å. Следующим шагом будет попытка оценить магнитное поле в источнике и определить характер излучения.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Жданов Д.А., Занданов В.Г. Разработка программного обеспечения для спектрографа Сибирского солнечного радиотелескопа // Байкальская международная молодежная научная школа по фундаментальной физике. Труды X конференции молодых ученых «Современные проблемы в астрофизике и физике космической плазмы». Иркутск. 2007. С. 209–211.

Жданов Д.А., Занданов В.Г. Пробные наблюдения и калибровка спектрополяриметра 4–8 ГГц // Байкальская международная молодежная научная школа по фундаментальной физике. Труды XI конференции молодых ученых «Гелио- и геофизические исследования». Иркутск. 2009. С. 236–237.

Altyntsev A.T., Kuznetsov A.A. On the origin of microwave zebra pattern // Astron. Astrophys. 2005. V. 43. P. 1037–1046.

Chernov G.P., Yihua Yan, Qijun Fu. A spiky structure of zebra-pattern in solar microwave bursts // ESA SP-506. 2002. P. 565.

Meshalkina N.S., Altyntsev A.T., Grechnev V.V. An analysis of the spatial features of drifting bursts in the microwave range // ESA SP-506. 2002. P. 343.

Zhdanov D.A., Zandanov V.G. Broadband microwave spectropolarimeter // Cent. Eur. Astrophys. Bull. Zagreb. 2011. V. 35. P. 223–228.

Zlotnik E.Ya. Origin of zebra pattern in type IV solar radio emission // Cent. Eur. Astrophys. Bull. Zagreb. 2009. V. 33. P. 281–298.

Yasnov L.V., Chernov G.P., Yan Y. On the zebra structure in microwave bursts // ESA SP-506. 2002. P. 791–794.

Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск