

МОДЕЛИРОВАНИЕ СПЕКТРА РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ НАДПЯТЕННОГО ИСТОЧНИКА С КВАЗИПЕРИОДИЧЕСКОЙ СТРУКТУРОЙ МАГНИТНОГО ПОЛЯ

Кальтман Т.И., Овчинникова Н.Е., Лебедев М.К.

Специальная астрофизическая обсерватория, Санкт-Петербург, Россия

MODELING OF THE RADIO EMISSION SPECTRUM OVER A SUNSPOT SOURCE WITH A QUASI-PERIODIC STRUCTURE OF THE MAGNETIC FIELD

Kaltman T.I., Ovchinnikova N.E., Lebedev M.K.

Special Astrophysical Observatory, St. Petersburg, Russia

<https://doi.org/10.31725/0552-5829-2023-153-156>

The radio emission of solar active regions is determined by the structure of the strong magnetic fields of the solar corona. The new capabilities of RATAN-600 for observations of solar spectra with high spectral resolution in the range of 1–18 GHz make it possible to detect subtle spectral effects and diagnose the features of the magnetic structure of active regions. We presents model calculations of the effects of the influence of the quasi-periodic structure of the magnetic field on the spectrum of a solar sunspot source. It is shown that such a model representation is consistent with some features of the observed wavelike spectra.

Описание модели

Радиоизлучение активных областей (АО) на Солнце определяется структурой сильных магнитных полей солнечной короны. В предположении, что периодическое изменение магнитного поля вызовет изменения в спектре излучения и для расчета таких изменений были проведено следующее моделирование. Рассчитывался спектр циклотронного излучения модельного источника с некоторым заданным начальным магнитным полем и стандартной атмосферой (рис. 1).

Распределение температуры и плотности задавалось согласно Selhorst 2008. Магнитное поле моделировалось диполем, погруженным под фотосферу на 16 Мм, величина магнитного поля на поверхности фотосферы составляла 2000 Гс на оси диполя. Затем добавлялись периодические вариации вертикальной компоненты магнитного поля (отклонения от начального распределения моделировались с различными амплитудами и шагом по высоте), рис. 2. При моделировании была учтена уточненная диаграмма РАТАН-600 с учетом боковых лепестков.

Результаты расчетов

Внесение квазипериодических колебаний в магнитную структуру источника отразилось в изменении расчетного спектра источника. Задаваемые параметры изменений магнитного поля, такие как шаг по высоте и

амплитуда, вызвали добавочный волнообразный спектральный тренд, рис. 3, характеристики которого (шаг по частоте и амплитуда отклонений) зависят от вносимых изменений в магнитное поле.

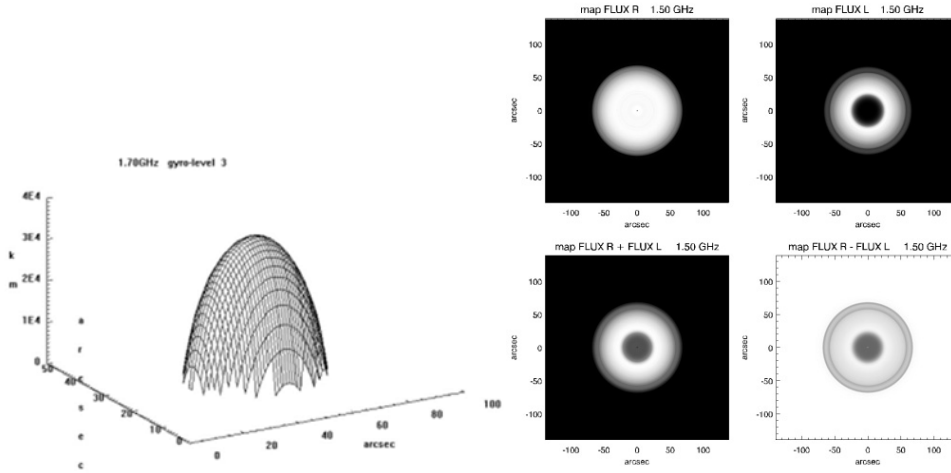


Рис. 1. Слева поверхность третьего giroуровня модельного циклотронного источника на частоте 1.7 ГГц, справа – карты яркостных температур для правополяризованного и левополяризованного излучения, их суммы (полной интенсивности) и разности (поляризации).

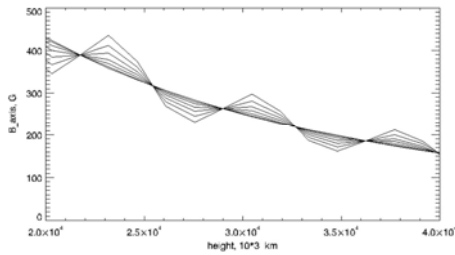


Рис. 2. Задаваемые распределения магнитного поля с вариациями амплитуды

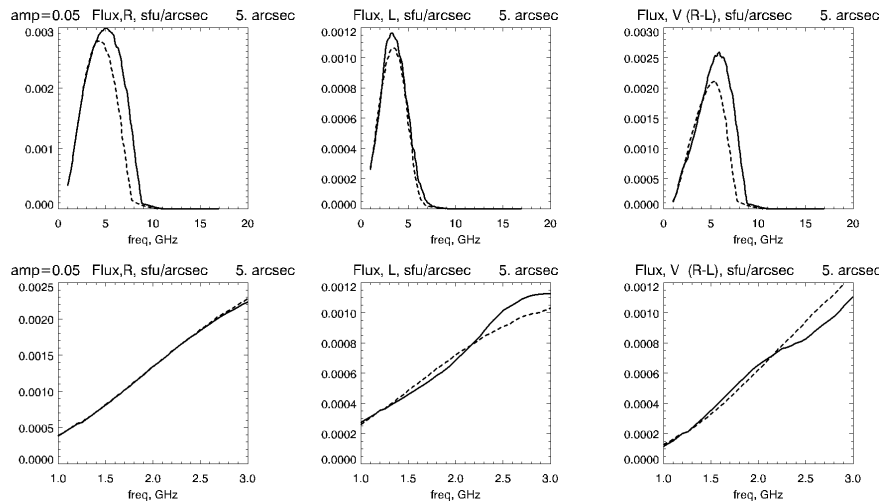


Рис. 3. Спектры центральной части пятна (5 угл. сек. от центра). Слева направо: необыкновенное излучение, обыкновенное излучение и их разность. Штриховой линией показан спектр при невозмущенном магнитном поле, сплошной линией – спектр с учетом квазипериодического возмущения магнитного поля. Сверху представлен диапазон 1–18 ГГц, снизу от 1 до 3 ГГц.

Наблюдения волнообразных спектров на РАТАН-600

В марте и мае 2023 года на РАТАН-600 были проведены многоазимутальные наблюдения отдельных активных областей (АО) на Солнце в дециметровом диапазоне в режиме сопровождения на антенной системе «Юг + Плоский». Использовался режим наблюдений с сокращенной апертурой (61 щит) с установкой главного зеркала антенной системы в азимутах через 4° . Длительность непрерывного сопровождения в азимутах составила 500 секунд. В пяти азимутах, включая меридиан, наблюдения проходили в штатном пассажном режиме с полной апертурой. После остановки сопровождения или до его начала часть Солнца наблюдалась в транзите, что позволяло осуществлять калибровку по спектральной плотности потока. 27 марта были получены серии наблюдений АО NOAA13258. Для анализа данных применялись методы факторного анализа. Для построения начальной модели разложения данных после деконволюции с диаграммой направленности антенной системы применялся анализ главных компонент (РСА), позволяющий исключить из рассмотрения излучение источников, не связанных с Солнцем (спутники или случайные помехи), точно определить количество и вид значимых спектральных составляющих радиосигнала и выявить наличие особенностей в спектрах отдельных источников.

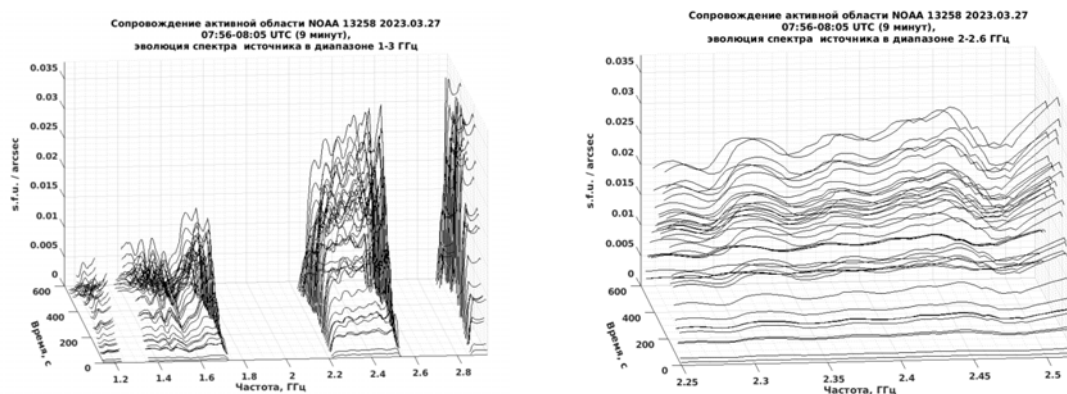


Рис. 4. Излучение источника в АО NOAA 13258 (1–3 ГГц).

В случае сопровождения спокойной области АО NOAA 13258 удалось разделить фоновое излучение (т.н. "спокойного Солнца") с постоянным спектром и излучение источника в АО, спектр которого имел волнообразную структуру в области 2–3 ГГц (рис. 4), а наклон спектра существенно изменялся во времени в течение прохождения одного азимута. В конце наблюдения в источнике возникла пульсация с периодом ~ 37 секунд.

Выводы

Наблюдения Солнца на РАТАН-600 [1–4] в режиме сопровождения с использованием нового высокоскоростного спектрополяриметрического комплекса диапазона 1–3 ГГц позволяют выявлять тонкие эффекты в сол-

нечных спектрах в дециметровом диапазоне длин волн, а также на их основе диагностировать особенности магнитной структуры АО.

Задаваемые параметры периодических изменений магнитного поля определяют добавочный периодический спектральный тренд и его характеристики (амплитуду и шаг по частоте). Таким образом, волнообразный спектр может свидетельствовать о наличии колебаний магнитной структуры активной области на корональных высотах, соответствующих гирорезонансным уровням диапазона частот, на которых наблюдается колебание спектра. В проведенных расчетах было учтено только тепловое излучение фоновой плазмы. Необходимы дальнейшие расчеты, чтобы учесть также нетепловое излучение [5–6]. Данное моделирование может быть использовано для интерпретации соответствующих наблюдательных эффектов.

Благодарности

Наблюдения на телескопах CAO РАН выполняются при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации. Обновление приборной базы осуществляется в рамках национального проекта «Наука и университеты».

Литература

1. Лебедев М.К., Н. Е. Овчинникова, А.А. Стороженко. Методические результаты применения режима сопровождения на РАТАН-600 / Всерос. конф. "Современные инструменты и методы в астрономии" 04-09 сентября 2023 г., CAO РАН
2. Овчинникова Н.Е., М.К. Лебедев, Т.И. Кальтман. Результаты наблюдения Солнца на РАТАН-600 в режиме сопровождения / Всерос. конф. "Современные инструменты и методы в астрономии" 04-09 сентября 2023 г., CAO РАН
3. Ovchinnikova et al. Results of a new approach to the analysis of multi-wavelength observations data obtained with RATAN-600 / Proc. of The Multifaceted Universe: Theory and observations - 2022, 425
4. Bogod et al. Detection of absorption in the decimeter radio emission of solar corona / Proc. of The Multifaceted Universe: Theory and observations - 2022, 425
5. Kaltman, Tatyana I. and Kupriyanova, Elena G. Microwave response to kink oscillations of a plasma slab // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 2023, Volume 520, Issue 3, pp.4147-4153
6. Kupriyanova, Elena G., Kaltman, Tatyana I., and Kuznetsov, Alexey A. Modulation of the solar microwave emission by sausage oscillations // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 2022, Volume 516, Issue 2, pp.2292-2299