Пятенная компонента радиоизлучения активной области AR 6444

В.Е. Абрамов–Максимов[1], М.В. Кушнир[1], Н.Г. Петерова[2], Б.И. Рябов[3]

[1] Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория, С.-Петербург
[2] Санкт-Петербургский филиал Специальной астрофизической обсерватории, С.-Петербург
[3] Вентспилский международный радиоастрономический центр, Рига, Латвия

Представлены результаты исследования структуры локального источника (л.и.) повышенного радиоизлучения, расположенного над крупной активной областью AR 6444 (январь 1991 г.), по спектрально-поляризационным наблюдениям с высоким пространственным разрешением на радиотелескопе РАТАН–600 на 12 длинах волн диапазона 1–30 см с регистрацией интенсивности и круговой поляризации (параметры Стокса I и V) и наблюдениям в оптическом диапазоне на фотогелиографе Горной Астрономической станции ГАО РАН в Кисловодске.

Особенностью пятенной компоненты радиоизлучения AR 6444 являлось сильное различие (4–5 раз) в интенсивности излучения над головной и хвостовой частью группы, не соответствующее различию их площадей. Кроме того, исследованная активная область обладала довольно слабым гало, вклад которого в общее излучение л.и. составлял (20–30)% в диапазоне (3–4) см (обычно $> 50\%$), что упростило измерение характеристик пятенных источников, особенно в длинноволновой части спектра.

Активная область AR 6444, наблюдавшаяся в период с 7 по 20 января 1991 г. (ПЦМ=14.1 d), имела большую площадь Sp=(2150–1800) м.д.п. и протяженность по широте $\sim 20°$. Крупномасштабная структура ее магнитного поля имела четко выраженный биполярный характер, причем величина максимальной напряженности в разнополярных пятнах была примерно одинаковой и составляла 2500–3000 Гс. В межпятенном пространстве отмечалось небольшое количество мелких пятен и пор, имевших одинаковую (S) магнитную полярность с головным пятном. Головное пятно обладало почти правильной формой, практически не менявшейся со временем. В отличие от него хвостовое пятно, более крупное по площади, характеризовалось раздробленной тенью, морфология которой все время менялась. Оба пятна, головное и хвостовое, находились внутри обширного флоккула. Вспышечная активность AR 6444 была невысокой. Хвостовое пятно по своей площади было в $\sim$2 раза крупнее головного, если судить по величине его тени, и в $\sim$2,5 раза — по полутени. Из этих же измерений следует, что все изменения суммарной площади пятен были обусловлены хвостовой ее частью, в то время как головное пятно было стабильным.

В структуре л.и., о которой можно составить представление на основе одномерного распределения радиояркости по наблюдениям на РАТАН-600, выделяются четыре детали. Из них три — это пятенные яркие и сильно поляризованные источники (один над головным пятном и два над хвостовым пятном). Деление источника над хвостовым пятном на две детали, хорошо видное на коротких волнах и заметное по уширению источника в длинноволновой части спектра, согласуется с формой полутени, имеющей перемычку в средней части. И четвертый — протяженный источник с размерами порядка размеров всей АО , ассоциирующийся с ее магнитосферой и называемый гало. Центр тяжести излучения этой детали приходится примерно на нейтральную линию магнитного поля АО, а пятенные источники расположены на периферии гало.

Совокупность всех характеристик свидетельствует о том, что все три пятенные детали по природе излучения принадлежат к одному и тому же классу источников — циклотронных, однако по яркости они заметно различаются. Поток радиоизлучения из хвостового пятна в (3–5) раз превышает поток от пятенного источника, связанного с головным пятном при различии площадей, занимаемых сильными магнитными полями в хвостовом и головном пятне, в (2–2,5) раза при практически одинаковой величине максимального поля. Если бы и остальные физические параметры атмосферы над пятнами тоже были бы одинаковыми, то примерно в такой же пропорции должны были бы различаться потоки. Отсюда следует, что над хвостовым пятном существовал дополнительный прогрев атмосферы Солнца.

Самое удивительное, что различие излучательных способностей имеет место даже в пределах одной полутени. Близкий к нашему результат получен в (Чиудери-Драго и др., 1987), где описаны наблюдения слияния двух однополярных пятен, одно из которых было молодым, сильно раздробленным и имевшим большую скорость собственного движения. Над ним наблюдался источник, яркость которого доходила до 4.5×10^6K, что превышает обычные корональные значения. Модельные расчеты, выполненные в этой работе, показали, что для объяснения результатов наблюдений необходимо допустить существование в атмосфере Солнца над этим пятном наряду с тепловой плазмой некоторого количества релятивистских частиц, доля которых составляет 10^{-4} от тепловых.

Обнаруженная нами при исследовании AR 6444 одна из деталей, связанная с хвостовым пятном, яркостная температура которой достигала 4×10^6K на волне $\lambda = 4$ см, по всей вероятности, имеет такое же происхождение, но с тем отличием от вышеописанного случая, что она была более долгоживущей и входила в состав хвостового пятна, морфология которого в период наших наблюдений не испытывала драматических изменений (типа слияния). Однако известно, что AR 6444 являлась частью очень сложного комплекса активности, наблюдавшегося по крайней мере в течение 3–х оборотов Солнца. Морфология этого комплекса менялась от оборота к обороту существенным образом, что свидетельствует о том, что на подфотосферном уровне происходили бурные события, приводившие к активизации то одной, то другой части этого комплекса.

Полученные характеристики компонент л.и. были использованы для оценки физических параметров атмосферы над соответствующими пятнами с помощью модельных расчетов. Модельные расчеты были выполнены по программе (Рябов, 1981), в основу которой положены представления о циклотронном источнике, развитые в (Злотник, 1968). В результате модельных расчетов было получено распределение электронной температуры Te и плотности электронов Ne с высотой над каждым пятенным компонентом л.и.

Моделирование основных характеристик пятенной компоненты радиоизлучения

AR 6444 в рамках циклотронного механизма излучения показало, что магнитное поле пятен носило непотенциальный характер. Это свидетельствует в пользу существования электрических токов в короне, источником которых могли служить токовые слои, образующиеся между отдельными петлями в жгутах, берущих начало в раздробленных пятнах АО. Эти токи обеспечивали и дополнительный прогрев атмосферы Солнца над пятнами.

Работа выполнена при частичной поддержке грантов РФФИ No.00-02-18017 и 99-02-16171.

Литература

Злотник Е.Я., 1968, АЖ, 45, 310 и 585

Рябов Б.И., 1981, Исслед. Солнца и красных звезд, вып.12, 44

Чиудери-Драго Ф. и др. (Chiuderi-Drago F., Alissandrakis C., Hagyard M.), 1987, SolarPhys., 112, 89-105