Самоинверсия круговой поляризации и рассеяние радиоизлучения в микроволновых источниках типа "гало" активных областей на Солнце

Т.И. Кальтман, А.Н. Коржавин, Н.Г. Петерова

Санкт-Петербургский филиал Специальной Астрофизической Обсерватории РАН, Пулково, Санкт-Петербург

Предлагается модель, объясняющая особенности спектра потоков и явление смены знака круговой поляризации, наблюдаемые в длинноволновом диапазоне ($\lambda \geq 5$) у источников микроволнового излучения, расположенных над активными областями (АО) на Солнце. Ранее по наблюдениям на БПР, РАТАН-600 и ССРТ было замечено (Коржавин и Петерова, 1992, Петерова, 1997), что интерпретация этих особенностей в рамках теории циклотронного излучения пятенной компоненты и его распространения через QT магнитное поле встречает определенные трудности. В отличие от этой теории развиваемая нами модель рассматривает излучение плазмы с учетом QT-распространения, удерживаемой в вершине АО и образующей протяженный источник, названный нами "гало" (Коржавин, 1994). Модельные расчеты сопоставляются с наблюдениями больших АО, в пространственной структуре которых преобладающей была деталь типа гало. Основные наблюдательные факты:

1.Вклад гало (широкий бесструктурный источник размером 3'-5') в полное радиоизлучение больших активных областей может составлять 50% и более во всем диапазоне 2-30 см, компактные пятенные источники, обычно хорошо наблюдаемые на коротких волнах (2-5 см), ослаблены или отсутствуют.

2.В спектре гало, имеющем в целом нетепловой характер, выделяются следующие участки: а)плоская тепловая часть на самых коротких волнах (2-3 см) с уровнем потока 2-5 с.е.п.; б) область резкого (спектральный индекс $n \simeq 6$) роста потока с длиной волны в диапазоне 3-5 см; в) область максимума, где поток достигает 20-50 с.е.п. на волнах 5-8 см; г)область спада на более длинных волнах со спектральным индексом $n \simeq -1$. Яркостная температура гало достигает значений 3-5 МК.

3.Излучение гало имеет очень слабую направленность, что говорит о большой протяженности источника излучения по высоте. Лимбовые наблюдения дают высоту центра тяжести излучения гало 30-50 тыс.км.

4.Излучение гало слабо поляризовано по кругу, причем вблизи центрального меридиана (2-3 дня до и после ПЦМ) оно имеет симметричную биполярную структуру, соответствующую по знаку преобладанию необыкновенной волны в согласии с фотосферными измерениями магнитного поля. На восходе и заходе поляризованное излучение гало асимметрично или униполярно со знаком поляризации, соответствующим магнитному полю той части активной области, которая обращена к центру солнечного диска. Степень поляризации гало в диапазоне резкого роста потока (3-5 см) весьма велика (до 50%), что обычно характерно только для пятенной компоненты микроволновой структуры активных областей.

Результаты наблюдений интерпретируются и моделируются в рамках представлений о тепловом и гиросинхротронном излучении электронов, удерживаемых в большой корональной петле (магнитосфере активной области) с достаточно сильным магнитным полем. При этом учитывается, что нетепловые электроны теряют энергию на возбуждение плазменных волн (Коржавин, 1994), которые в свою очередь приводят к эффективному рассеянию радиоволн с сильной зависимостью от длины волны, распространяющихся в упомянутой корональной петле. Рассеяние объясняет наличие максимума в спектре потоков гало на волнах 5-8 см из-за сильного подавления излучательной способности нетепловых эдектронов на этих и более длинных волнах (это область непрозрачности вещества гало по рассеянию) и крутой участок спектра гало в диапазоне полупрозрачности (3-5 см), являющийся по существу суммарным излучением гало и пятенной компоненты, размытой из-за рассеяния по всему объему гало. На самых коротких волнах (2-3 см) и рассеяние и нетепловая добавка незначительны, поэтому здесь наблюдается только излучение оптически тонкой тепловой корональной плазмы.

Расчеты выполнялись: для пятенных источников - в рамках модели теплового магнитнотормозного излучения на 2 - 3 - ей гармониках гирочастоты корональной плазмы в сильных магнитных полях над пятнами; для пекулярного источника - в рамках модели теплового гиросинхротронного излучения компактной корональной петли с температурой 10-100 МК; для гало - в рамках модели большой корональной петли, содержащей тепловые электроны и надтепловые со степенным распределением по энергиям. Расхождение наблюденных и расчетных спектров в длинноволновом участке спектра может быть устранено при учете эффекта рассеяния радиоизлучения при его распространении через материю гало. При этом коэффициет рассеяния должен быть $\sigma \sim \lambda^4$, что характерно для некоторых видов волн плазменной турбулентности.

При моделировании поляризованного излучения гало учитывались эффекты распространения через QT-область магнитного поля, которая в условиях большой корональной петли находится внутри самого источника излучения. Самоинверсия знака поляризации имеет место для той части корональной петли, которая расположена ближе к лимбу. Учет самоинверсии хорошо объясняет наблюдаемую асимметрию поляризационного изображения при прохождении АО вблизи лимба. Согласно наблюдениям магнитное поле в обсуждаемой корональной петле должно достигать значений 300 Гс и более. Рассчетные значения степени поляризации гиросинхротронного излучения составляют 5-20%, что соответствует наблюдениям на всех волнах, кроме диапазона 3-5 см резкого роста потока гало. Наблюдаемая здесь более высокая степень поляризации объясняется рассеяным вкладом пятенной компоненты, истинная степень поляризации которой, как хорошо известно, может достигать 100%.

Работа выполнена при частичной поддержке грантами РФФИ 00-02-18017, РФФИ-ИНТАС IR-97-1088 и ГНТП "Астрономия".

Литература

Коржавин А.Н., 1994, Нетепловые источники микроволнового излучения активных областей на Солнце. Докторская диссертация, С.Петербург.

Коржавин А.Н., Петерова Н.Г., 1992, Об особенностях поляризации межпятен-

ного излучения в локальных источниках на Солнце. Межрегиональная конференция по радиоастрономическим исследованиям солнечной системы, Нижний Новгород, 14-18 сентября 1992г., Тезисы докладов, М., с.14.
Петерова Н.Г., 1997, Правильно ли интерпретируется инверсия знака поляризации в излучении источников S-компоненты на Солнце? Проблемы современной радиоастрономии. XXVII радиоастрономическая конференция, Санкт-Петербург, 10-14 ноября 1997 г., Том 2, с.34-35.