ТЕПЛОВОЕ ТОРМОЗНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ ЛОКАЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ НАД СОЛНЕЧНЫМИ ПЯТНАМИ ПО МИКРОВОЛНОВЫМ НАБЛЮДЕНИЯМ

Кальтман Т.И.

СПб ф САО РАН, Санкт-Петербург, Россия

THERMAL FREE-FREE EMISSION OF LOCAL SOURCES ABOVE SUNSPOTS WITH THE MICROWAVE OBSERVATIONS

Kaltman T.I.

SPb branch of SAO RAS, St. Petersburg, Russia

The results of the study of microwave thermal bremsstrahlung of local sources over sunspots are presented. Special attention is paid to the transition from thermal bremsstrahlung to the dominant gyroresonance in the short-wave part of the spectrum 1.5–2.5 cm. On decimeter waves the relative contribution of the bremsstrahlung increases again with an increase of its optical thickness in the coronal layers.

On short waves, where the magnitude of the magnetic field is not enough to generate gyroresonance radiation, the main emission is bremsstrahlung. In the magnetic field of spots it is polarized, and the radiation of the ordinary mode comes from the lower and colder layers of the transition zone. Calculated spectra and sizes of modeled source are presented together with scans showing the increase in brightness in the unusual mode and its decrease in the ordinary mode. Based on the calculated scans convoluted with the antenna pattern of RATAN-600, it is shown that the sensitivity and resolution of the instrument are sufficient to detect these effects. Examples of observations are given.

The studied spectral-polarization features allow to interpret the results of observations more accurately and to improve the accuracy of magnetic field measurements and diagnostics of the transition zone.

DOI: 10.31725/0552-5829-2018-207-210

В работе представлены результаты исследования микроволнового теплового тормозного излучения локальных источников над солнечными пятнами. Особенное внимание уделено переходу от теплового тормозного излучения к доминирующему гирорезонансному в коротковолновой части спектра 1.5–2.5 см. Рассчитанные наблюдательные параметры теплового тормозного излучения надпятенных источников сравниваются с их наблюдаемыми на РАТАН-600 особенностями. На дециметровых волнах с ростом оптической толщины тормозного излучения в корональных слоях его относительный вклад снова увеличивается.

Тепловое тормозное излучение надпятенных источников генерируется наряду с более сильным циклотронным излучением. Циклотронное излучение считается основным из-за его значительного превышения по интенсивности. Однако на коротких волнах, где магнитного поля недостаточно для генерации циклотронного излучения, основным является тепловое

тормозное излучение. При интерпретации наблюдений важно различать эти механизмы генерации, так как от этого зависит правильная диагностика плазмы (в частности, измерение магнитного поля).

Рис. 1. Скан обыкновенного (сплошная линия) и необыкновенного (пунктир) излучения AO11486 на волне 2.0 см (ПАТАН-600), наложенный на двумерное изображение SDO/AIA в линиях 1700 Å (слева) и 171 Å (справа).

Рис. 2. Сканы обыкновенного (черная линия) и необыкновенного (серая линия) излучения AO11486 на волнах 1.83–3 см (ПАТАН-600).

Коэффициент поглощения обыкновенной моды в присутствии магнитного поля уменьшается (а необыкновенной моды – увеличивается) по

сравнению с его значением в отсутствие магнитного поля [1]. В результате интенсивность радиоизлучения над пятном уменьшается в обыкновенной моде и увеличивается в необыкновенной [2]. Таким образом, в магнитном поле тепловое тормозное излучение оказывается поляризовано, что было учтено в соответствующем методе измерения продольной компоненты магнитного поля для флоккулов [3].

Расчеты этого эффекта для надпоясанных источников показывают, что эти небольшие по величине изменения яркости (понижение и повышение относительно окружающего фона) могут быть зарегистрированы при наблюдении на РАТАН-600 с одномерной диаграммой направленности. Примеры таких наблюдений показаны на рис. 1–2, также см. [4–6]. Тем более, этот эффект должен быть заметен на двумерных радиоизображениях (например, Нобеяма). Для регистрации эффекта необходима достаточная чувствительность инструмента.

Рис. 3. Слева – расчетный спектр излучения в необыкновенной моде. Показаны вклады гармоник 2–5 гирорезонансного излучения и вклад тормозного излучения. Справа – расчетные размеры источника в необыкновенной моде (показаны вклады 3 и 4 гармоник гирорезонансного излучения и тормозного излучения).

Рис. 4. Расчетные сканы излучения надпоясанных источников (сглаженные с диаграммой РАТАН-600): слева в необыкновенной моде, справа в обыкновенной моде.

Ранее для интерпретации депрессии излучения в обыкновенной моде [4–6] привлекались дополнительные условия, такие как понижение плотности в источнике. Настоящие расчеты показывают, что это не является обязательным условием и объяснить эффект пониженной яркости можно только наличием достаточного магнитного поля.

На рис. 3–4 приведены расчетные характеристики излучения напряженных источников: спектры и размеры, а также расчетные сканы, показывающие повышение яркости в необыкновенной моде и понижение ее в обыкновенной моде. Излучение обыкновенной моды идет из более низких и холодных слоев переходной зоны. Для расчета излучения использована дипольная модель магнитного поля (величина на фотосфере 2500 Гс) и распределение Сельхорста [7] для плотности и температуры в активной области, формулы для расчета интенсивности взяты из [1].

В коротковолновом диапазоне важно учесть совместное действие двух механизмов излучения, что и было сделано в представленных расчетах: с увеличением длины волны к тормозному излучению добавляется вклад циклотронного излучения на 1–4 гармониках. Правильное определение магнитного поля зависит от корректного различия этих вкладов, так как его расчет по тормозному излучению и по различным гармоникам циклотронного излучения дает разные значения.

Изученные спектрально-поляризационные особенности позволят более точно интерпретировать результаты наблюдений и улучшить точность измерения магнитного поля и диагностики температуры переходной зоны.

Работа поддержана грантом РФФИ 18-02-00045.

Литература

1. Железняков В.В. Излучение в астрофизической плазме – М.: «Янус-К», 1997.
2. Zlotnik, E.Ya. Theory of the Slowly Changing Component of Solar Radio Emission. I. // Soviet Astronomy, 1968, Vol. 12, p. 245.
3. Bogod, V.M.; Gelfreikh, G.B. Measurements of the magnetic field and the gradient of temperature in the solar atmosphere above a flocculus using radio observations // Sol. Phys., 1980, Vol. 67, p. 29-46.
4. Topchilo, N.A.; Peterova, N.G.; Borisevich, T.P. The microwave radiation of the corona above a large single sunspot in right- and left-circular polarization // Astronomy Reports, 2010, Vol. 54, Issue 1, pp.69-85.
5. Ryabov, B.I., Gary, D.E., Peterova, N.G., et al. Reduced Coronal Emission Above Large Isolated Sunspots // Sol. Phys., 2015, Vol. 290, Issue 1, pp.21-35.
6. Bogod, V.M., Peterova, N.G., Ryabov, B.I., Topchilo, N.A. On the recording of an emission with a reduced brightness in the region of a strong sunspot magnetic field // Cosmic Research, 2015, Vol. 53, Issue 1, pp.10-20.
7. Selhorst, C.L., Silva-Válio, A., Costa, J.E.R. Solar atmospheric model over a highly polarized 17 GHz active region // A&A, 2008, V. 488, I.3, pp. 1079-1084.