ИЗМЕРЕНИЕ УГЛА НАКЛОНА ОСИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ СОЛНЕЧНЫХ ПЯТЕН (МЕТОД И РЕЗУЛЬТАТЫ)

Топчило Н.А.¹, Петерова Н.Г.²

¹*Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург, Россия*

²*Санкт-Петербургский филиал САО РАН, г. Санкт-Петербург, Россия*

MEASUREMENT OF THE TILT ANGLE OF THE SUNSPOT MAGNETIC FIELD AXIS (METHOD AND RESULTS)

Topchilo N.A.¹, Peterova N.G.²

¹*St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia*

²*St. Petersburg Branch of SAO RAS, St. Petersburg, Russia*

The results of measurements of the tilt angle of the sunspot magnetic field (MF) axis for active regions (ARs) of different morphological structure are presented. The data archive of the RATAN-600 radio telescope and the NoRH radio interferometer observations was taken and analyzed using a new processing technique. The method is based on the image peculiarities of the cyclotron radiation source over the sunspot and its changes depending on the sunspot coordinates on the disk caused by the rotation of the Sun. Measurements showed that the tilt angle of the sunspot MF axis is quite small (within 1-10°) and practically does not depend on the morphology of AR. At the same time, the MF of the head sunspot in most cases as expected is inclined to the E-limb. Deviations from this rule are presumably explained if the sunspot MF is partially closed upon other ARs located nearby.

DOI: 10.31725/0552-5829-2019-407-410

Продолжено исследование структуры коронального магнитного поля (МП) солнечных пятен с использованием новой методики измерения наклона оси МП, предложенной в [1]. Метод основан на отличительной особенности циклотронного механизма излучения – значительному изменению изображения источника микроволнового излучения (ИМИ) над пятном в зависимости от изменения угла зрения при изменении гелиографической долготы пятна, вызванной вращением Солнца. Для «идеального» (стабильного, одиночного, правильного) пятна эти изменения должны быть симметричны относительно момента прохождения пятна через центральный меридиан Солнца (ПЦМ) с минимумом яркости излучения ИМИ в момент ПЦМ. Однако по наблюдениям на микроволнах нами [1] было замечено регулярное опережение/отставание момента минимума относительно момента ПЦМ для геометрического центра пятна, что было объяснено наклоном оси МП к поверхности фотосферы.

Анализ динамики ИМИ существенно зависит от используемого инструмента и частоты наблюдений. В настоящее время имеется два инструмента, обеспечивающих регулярную ежедневную регистрацию радиоизлучения пятен, это радиогелиограф NoRH (карты Солнца на волне 1.76 см) и

радиотелескоп РАТАН-600 (одномерные сканы в диапазоне (1.65–10) см). Самой простой методикой анализа изображения ИМИ для NoRH является измерение максимальной яркостной температуры (Тя) на карте источника. Для РАТАН-600 более удобно измерение превышения максимальной антенной температуры (Та) над фоновым уровнем. Пример динамики пятна в NOAA 11899 приведен на рис. 1.

Рис. 1. а) Схематичное изображение вида, положения и динамики радиоисточника, ассоциированного с пятном. Наблюдения на (б) радиогелиографе Нобеяма (верхний ряд) и (в) радиотелескопе РАТАН-600 (нижний ряд, вычтен временной тренд).

На графиках “Температура – Время” (рис. 1б и 1в) явно видно несоответствие момента минимума температуры (ММТ) с ПЦМ (черные вертикальные стрелки). Разность времен ММТ-ПЦМ переводилась в угол наклона МП. Другой способ измерения угла схематически показан на рис. 1б (справа) – график “Температура – Долгота пятна”. Долгота (по модулю) отсчитывается от центрального меридиана, стрелками указано направление ее изменения во времени. Конфигурация кривых, образуемая при перемещении вдоль стрелок, напоминает явление гистерезиса, величина которого в нашем случае пропорциональна углу наклона МП.

Результаты сопоставления измерения наклона МП описанным выше способом на обоих инструментах на примере «идеального» головного пятна группы NOAA 11899 приведены на рис. 2 (справа). К измерениям добавлен результат (точка, отмеченная на графике ромбиком), полученный на РАТАН-600 третьим способом, а именно: для идеального пятна в момент, когда мы смотрим строго вдоль МП изображение должно быть симметричным. На рис. 2 (слева) жирным выделена волна, где изображение ИМИ симметрично в момент регистрации скана. Как видно, все результа-

ты для рассмотренного случая достаточно хорошо согласуются между собой и демонстрируют рост угла наклона с длиной волны, т.е. с высотой ИМИ над уровнем фотосферы, что отмечалось нами ранее [1].

Рис. 2. Зависимость угла наклона МП от длины волны по данным РАТАН-600 (сплошные кривые) и радиогелиографа NoRH.

Изначально метод был разработан [1] нами для «идеального» пятна, которые встречаются сравнительно редко. В данной работе мы исследовали применимость новой методики к пятнам более сложной морфологической структуры и динамики. Отобранный из архивов РАТАН-600 и NoRH наблюдательный материал был классифицирован и были выделены 3 типа пятен (см. примеры на рис. 3): I – «правильные» – круглые одиночные стационарные пятна; II – «полуправильные» – стационарные пятна, имеющие неправильную, раздробленную форму; III – «неправильные» – не стационарные, обычно раздробленные и с активным МП. Для пятен I и II типа предложенная методика позволяет достаточно точно оценить величину наклона МП, соответствующую результатам измерений в оптике [2, 3]. Для пятен III типа необходима разработка дополнительных способов оценки МП в особенности для сильно эволюционирующих пятен.

В целом, представленные результаты измерений величины угла наклона МП солнечных пятен в микроволновом диапазоне (около 10 случаев) показывают, что она не велика ($1\text{--}10^\circ$) и не зависит от морфологии АО. При этом наклонение МП направлено к Е-лимбу Солнца, что и можно было ожидать для ведущих пятен, МП которых обычно замыкается на хвостовую часть АО. Отклонения от этого правила требуют специальных исследований с привлечением дополнительных сведений о структуре коронального МП.

Рис. 3. Примеры наблюдений солнечных пятен различных типов (I, II, III). Слева – фотогелиограммы и карты продольного МП для момента ПЦМ пятна. Здесь же приведены оценки угла и направления наклона МП для Е- и О-мод излучения ИМИ. Справа – динамика яркостной температуры T_b по наблюдениям на NoRH.

Работа выполнена в рамках Гос. задания: №АААА-А17-117011810013-4.

Литература

1. Топчило Н.А., Петерова Н.Г. // Труды XXII Всеросс. конф. по физике Солнца, «Солнечная и солнечно-земная физика 2018», ГАО РАН, СПб, 2018, с. 373-376.
2. Гопасюк О.С. // Астрофизика, 2017, т. 60, вып. 1, с. 105-114.
3. Загайнова Ю.С., Файнштейн В.Г., Руденко Г.В., Обридко В.Н. // АЖ, 2015, т. 92, №2, с. 180–189.