

СВЯЗЬ НАПРЯЖЕННОСТИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ В ЦЕНТРЕ ПЯТНА С ПОЛЕМ НА ЕГО ГРАНИЦЕ И ПЛОЩАДЬЮ ПЯТНА

Живанович И.¹, Соловьёв А.А.², Королькова О.А.²

¹*Астрономическая обсерватория Белграда, Белград, Сербия*

²*Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН, Санкт-Петербург, Россия*

RELATIONSHIP BETWEEN THE MAGNETIC FIELD STRENGTH AT THE CENTER OF THE SUNSPOT WITH THE FIELD AT ITS BORDER AND THE SPOT AREA

Živanović I.¹, Solov'ev A.A.², Korolkova O.A.²

¹*Astronomical observatory of Belgrade, Belgrade, Serbia*

²*Main (Pulkovo) observatory of RAS, St. Petersburg, Russia*

As a result of processing 59 sunspots, the relationship between magnetic field flux density in the center of the sunspot umbra and magnetic field along the umbra-penumbra boundary of the sunspot and the area of the sunspot's umbra have been obtained. To determine the area of the sunspot's umbra and the value of the magnetic field flux along the umbra-penumbra boundary, two different methods were used. The significant differences in the results from these methods were discussed. It was shown that there is no specific value of the magnetic field at the umbra-penumbra boundary for all sunspots. As additional result, the brightness in the center of the sunspot and at the umbra-penumbra boundary were found.

The work confirms, using a large amount of observational material, an important conclusion about the saturation of the brightness field in the sunspot's umbra with a sufficiently strong magnetic field.

<https://doi.org/10.31725/0552-5829-2024-107-110>

В текущей работе получены распределения плотности магнитного потока и яркости в центре солнечного пятна и вдоль границы между тенью и полутенью солнечного пятна. Для корректного сопоставления указанных данных важно использовать синхронные наблюдения. Такую возможность дает инструмент HMI (Helioseismic Magnetic Imager) на борту космического аппарата SDO (Solar Dynamics Observatory) [1–3]. Он позволяет получать одновременные наблюдения карт с плотностью магнитного потока и карт с интенсивностью. Эти данные имеют пространственное разрешение в 1 угловую минуту, что позволяет детально исследовать структуру солнечных пятен, а также мелкомасштабных элементов.

Нами были обработаны 59 солнечных пятен. Для того, чтобы в наблюдательном материале избавиться от различных проекционных эффектов моменты наблюдений выбирались так, чтобы исследуемое солнечное пятно находилось вблизи видимого центрального меридиана. Важно подчеркнуть, что выбираемые солнечные пятна, которые находились на стабильном этапе своего существования. Солнечные пятна, которые сфор-

мировались за несколько десятков часов до момента наблюдения, а также те солнечные пятна, которые в течение двух дней перешли в фазу диссипации, нами не использовались. Это обусловлено тем, что в солнечных пятнах, которые находятся на этапе формирования или диссипации, могут происходить различные физические процессы, вызывающие искажения их структуры и магнитного поля, что в данном случае является нежелательным эффектом и не является предметом исследования.

Определение границы между тенью и полутенью пятна делалось как для карт с интенсивностью, так и для карт с плотностью магнитного потока. Для начала из карты целого солнечного диска вырезался фрагмент с исследуемым солнечным пятном, и на этом фрагменте определялась область с максимальным градиентом. Эта область считалась границей тени и полутени солнечного пятна.

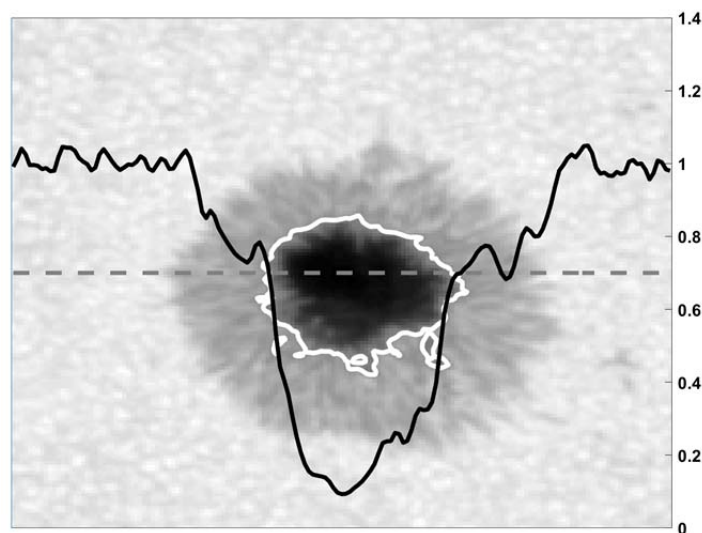


Рис. 1.

На рис. 1 белой линией показана граница между тенью и полутенью, которая была получена таким способом для карты интенсивности, а черной линией показан профиль интенсивности, снятый вдоль пунктирной линии. Профиль построен таким образом, чтобы соответствующие значения яркости для границы между тенью и полутенью пятна на этом профиле попадали на определенную с помощью градиента границу. Следующим этапом была определена яркость вдоль полученной границы.

В случае с картами плотности магнитного потока были использованы два метода определения границы между тенью и полутенью солнечного пятна. Первый метод аналогичен тому, который был использован для карт с интенсивностью. Вторым использованным методом – это известный метод Отсу [4]. Сравнив эти два подхода, при определении границы на картах с плотностью магнитного потока мы убедились, что метод Отсу здесь работает лучше, чем метод с применением градиента. Это обусловлено тем, что

в данных по магнитному потоку нет достаточно сильного градиента. Это приводит к тому, что максимальный градиент может оказаться не только на границе тень-полутень, но и вдали от неё. Особенно это заметно для крупных солнечных пятен: для них доступно большое количество сложных по структуре своего поля областей с измерениями плотности магнитного потока. В качестве иллюстрации приведем распределение плотности магнитного потока вдоль границы между тенью и полутенью пятна в зависимости от плотности магнитного потока в центре пятна (рисунок 2).

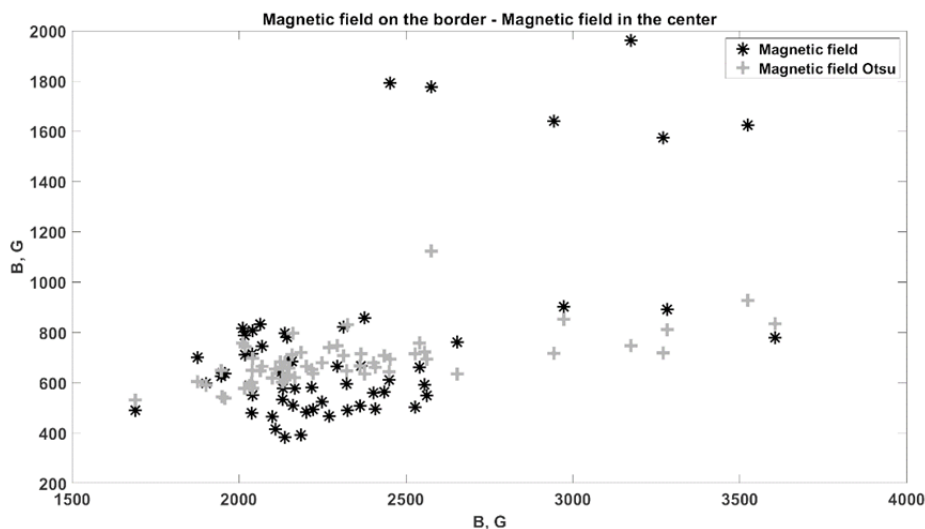


Рис. 2.

Черными звездочками на рис. 2 показано распределение, для которого граница определялась с помощью градиента. Более светлыми плюсиками на рисунке 2 показано распределение в случае, когда граница определялась с помощью метода Отсу [4]. Видно, что диапазон значений плотности магнитного потока на границе, которая определялась с помощью градиента (черные звездочки на рис. 2) существенно больше в сравнении со значениями, определенными вдоль границы по методу Отсу. Как видим, максимальный градиент на картах с плотностью магнитного потока далеко не всегда расположен на границе между тенью и полутенью. В итоге для дальнейшей работы для определения этой границы на картах с магнитным полем был выбран только метод Отсу.

Следующим шагом было построение диаграммы яркость – плотность магнитного потока для разных частей солнечного пятна. Метод построения такой диаграммы для меньшей выборки солнечных пятен был описан в работах [5, 6]. Итоговая диаграмма для выборки из 59 солнечных пятен, которые были использованы в текущей работе, представлена на рисунке 3.

На рисунке 3 черными точками показаны пары значений «яркость – плотность магнитного потока», горизонтальной пунктирной линией показано такое значение яркости, меньше которого она не снижается. Отчетли-

во виден эффект насыщения, когда при дальнейшем увеличении магнитного поля яркость уже не падает. Важным отличием этого распределения от

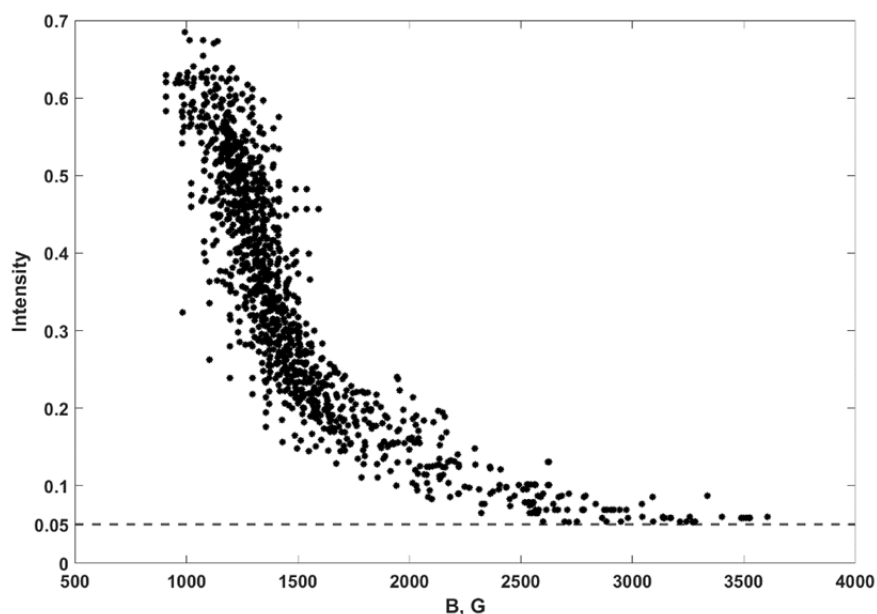


Рис. 3.

того, что было представлено нами в работах [5, 6] состоит в том, что при большей выборке пятен уже не наблюдается эффект разделения диаграммы на 3 области при относительно слабом поле, хотя общий ход зависимости сохраняется и четко подтверждает известную идею Бирмана о том, что достаточно сильное вертикальное магнитное поле в пятне полностью подавляет в его тени конвективный перенос тепла.

Литература

1. *Pesnell W., Thompson B., Chamberlin P.* // Solar Physics, 2012, V. 275, p. 3-15.
2. *Schou J., Scherrer P., Bush R., et al.* // Solar Physics, 2012, V. 275, p. 229-259.
3. *Hoekosema J.T., Yang Liu, Hayashi Keiji, et al.* // Solar Physics, 2014, V. 289, p. 3483-3530
4. *Otsu N.* // IEEE Transactions on Systems, Man, Cybernetics, 1979, V. 9, №1, p. 62-66.
5. *Zhivanovich I., Solov'ev A.A., Efremov V.I., Miller N.O.* // Geomagnetism and Aeronomy, 2020, V. 60, Issue 7, p. 865-871.
6. *Живанович И., Соловьёв А.А.* // Труды всероссийской ежегодной конф. «Солнечная и солнечно-земная физика-2019», 2019, p. 169-172.