

НАКЛОН СОЛНЕЧНЫХ ПЯТЕН ВЕДУЩЕЙ И ХВОСТОВОЙ ПОЛЯРНОСТИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ

Тлатова К.А.¹, Тлатов А.Г.^{1,2}

¹*Горная астрономическая станция ГАО РАН, Кисловодск, Россия*

²*Калмыцкий государственный университет, Элиста, Россия*

THE INCLINATION OF THE SUNSPOTS OF THE LEADING AND TAIL POLARITY

Tlatova K.A.¹, Tlatov A.G.^{1,2}

¹*Kislovodsk mountain astronomical station of the Pulkovo Observatory, Kislovodsk, Russia*

²*Kalmyk State University, Elista, Russia*

<https://doi.org/10.31725/0552-5829-2023-317-320>

We are investigating the inclination of sunspots with respect to the vertical. To determine the angle of deviation, the method of searching for differences at different distances of spots from the central meridian, in the eastern and western hemispheres of the Sun was used. Special attention is paid to the difference in the angles α for the spots of the leading and tail polarity of the magnetic field. It is established that the angles of deviation of the nuclei of sunspots from the vertical depend on the logarithm of the area, but have opposite signs $\alpha_L = 0.45^\circ (\pm 0.5) + 2.08 (\pm 0.5) \cdot \lg(S)$, ($r = 0.95$) for leading spots (L) and $\alpha_T = 5.43^\circ (\pm 1.0) - 3.9 (\pm 0.7) \cdot \lg(S)$ for trailing sunspot umbra (T). With a magnetic field value of $B_{mx} \sim 1500$ G, the deflection angle α is approximately zero. The found dependencies indicate the ascent of U-shaped power tubes.

Введение

Одним из первых исследований, посвященных асимметрии солнечных пятен по отношению направления Восток-Запад (E-W) выполнено Миннартом [1]. На основе асимметрии наблюдаемой общей площади он определил, что наклон осей для всех пятен составляет 0.44° , 4.3° и 6.8° для долгоживущих пятен со временем жизни длительностью до 14 дней, 7.6° для рекуррентных пятен. В статье [2] по данным наблюдений в Дебрецене, напротив, показано, что E-W асимметрия может быть для малых пятен, но отсутствует для пятен площадью более 20 миллионных долей полусферы (мдп). В работе [3] на основе анализа ~40000 солнечных пятен показано, что угол отклонения солнечных пятен ведущей полярности составляет $\sim 17^\circ$.

В данной работе мы исследуем восточно-западную асимметрию солнечных пятен различной площади на основе наблюдения магнитных полей.

Данные и метод анализа

Для анализа мы использовали данные обсерватории HMI/SDO. Мы брали 5 изображений за каждый день. Обработывались изображения в “бе-

лом” свете, на которых выделялись солнечные пятна и ядра солнечных пятен. Для определения полярности магнитного поля мы накладывали наблюдений магнитных полей на тот же момент времени. Всего выделено более 155 тыс. солнечных пятен и пор.

Для установления угла наклона солнечных пятен будем рассматривать измерения интенсивности B на разных долготных расстояниях от центрального меридиана ϕ . На рис. 1 представлены кривые изменения магнитного поля, измеренные в ядрах солнечных пятен площадью в диапазоне S 20–50 мдп для пятен ведущей и хвостовой полярностей. Магнитные поля пятен ведущей полярности имеют несколько большие ($\sim 5\%$) значения B . Также существует сдвиг кривой аппроксимации для пятен ведущей полярности от центрального меридиана к восточному полушарию. Мы считаем, что этот сдвиг обусловлен углом отклонения магнитного поля в центре солнечных ядер от вертикали α . Тогда значения магнитного поля можно записать $B_E = B \cdot \cos(\beta - \alpha)$ для пятен на восточном полушарии и $B_W = B \cdot \cos(\beta + \alpha)$ для пятен на западном полушарии. Для поиска угла α удобнее пользоваться разностью значений, измеренных на одинаковом расстоянии от центрального меридиана $B_E - B_W = 2 \cdot B \cdot \sin(\alpha) \cdot \sin(\beta)$. В первом приближении мы можем принять $\beta = \phi$. На рис. 2 представлены функции изменения значения разности для пятен ведущей и хвостовой полярности для выборки на рис. 1.

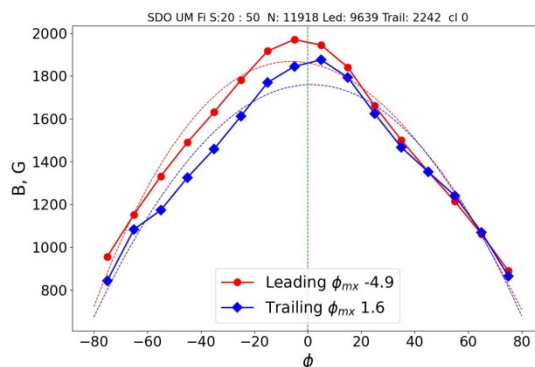


Рис. 1. Измеренные значения интенсивности магнитного поля для ядер солнечных пятен, ведущей и хвостовой полярности в зависимости от расстояния от центрального меридиана.

Такую функцию легче аппроксимировать в центральной части. Угол наклона зависит от искомого угла α . Изучая такие аппроксимации для разных диапазонов площадей ядер солнечных пятен, получим следующие зависимости от логарифма площади: $\alpha_L = 0.45^\circ (\pm 0.5) + 2.08 (\pm 0.5) \cdot \lg(S)$, ($r = 0.95$) для ведущих пятен (L) и $\alpha_T = 5.43^\circ (\pm 1.0) - 3.9 (\pm 0.7) \cdot \lg(S)$, ($r = 0.93$) для ядер хвостовой (T) полярности. То есть пятна имеют зависимости от площади разного знака. Загибы функции на рис. 2 около лимбов связаны с эффектами

ми Вилсона и Эвершеда, то есть депрессией и отклонением магнитного поля от вертикали на краю ядер солнечных пятен.

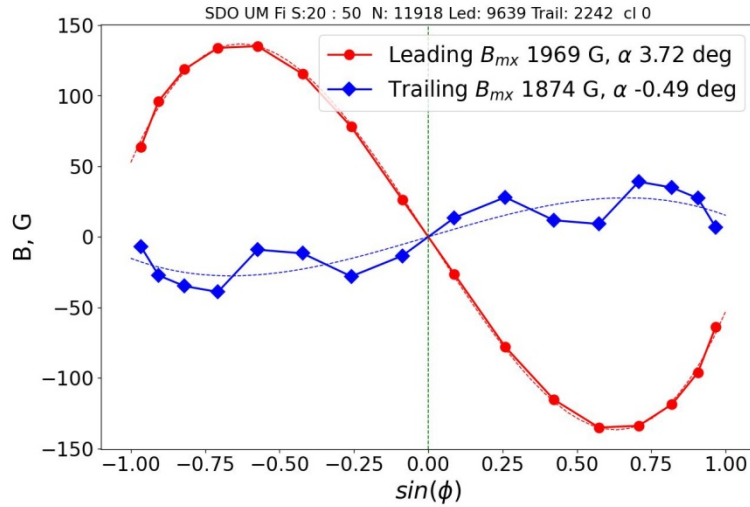


Рис. 2. Разность значений интенсивности восток-запад в зависимости от расстояния до центрального меридиана.

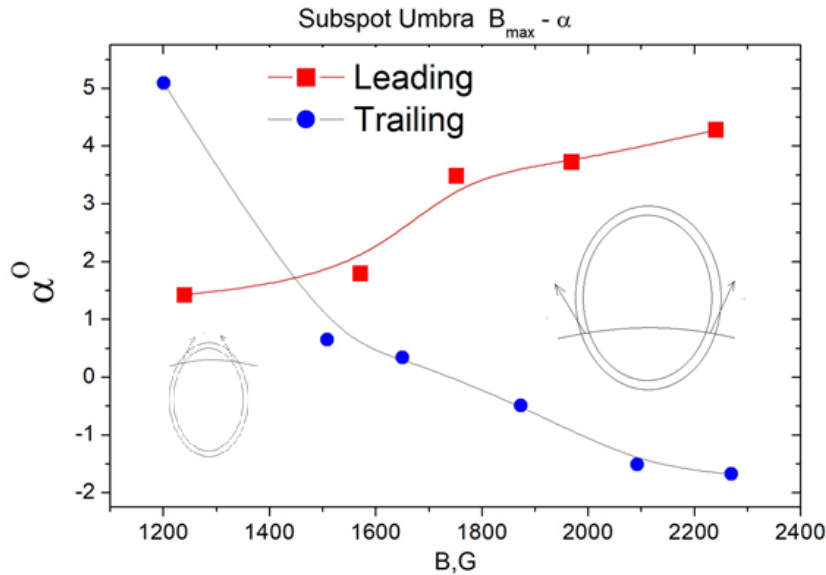


Рис. 3. Зависимость отклонения магнитного поля от вертикали от интенсивности α магнитного поля B_{mx} для пятен ведущей и хвостовой полярности, а также схема магнитной трубки.

Учитывая, что как интенсивность магнитного поля логарифм пропорциональна логарифму площади, на рис. 3 представлена зависимость угла α от максимальной интенсивности. Для солнечных пятен малой площади пятна, или малых значений B , ведущей полярности отклонены к востоку. А для пятен большой площади, пятна отклоняются к западу. Для пятен хвостовой полярности обратная картина. Такое разнонаправленное отклонение пятен ведущей и хвостовой полярности трудно объяснить, например,

эффектом дифференциального вращения с глубиной. Возможно, это связано с динамикой всплытия U-образных силовых трубок. Для пятен малой площади, на стадии начального развития U-образных мы видим верхнюю часть петли. А для пятен большей интенсивности стадию достаточно сильного выхода силовой трубки. Такое поведение по аналогии с автомобилем можно условно назвать “сход-развал” солнечных пятен.

Выводы

Обнаружен различный характер углов наклона магнитных полей пятен от вертикали для пятен ведущей и хвостовой полярности. Зависимость можно интерпретировать всплытием U-образных силовых трубок.

Работа выполнена при частичной поддержке проекта 075-03-2022-119/1.

Литература

1. *Minnaerty M.G.J.* // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 1946, Vol. 106, p.98 10.1093/mnras/106.2.98
2. *Mező, G., Baranyi, T.* // East-West Asymmetry in the sunspot number distribution on the basis of different sunspots catalogues / In: Proceedings of the 4th Workshop of Young Researchers in Astronomy & Astrophysics; Budapest, Hungary, 11-13 January, 2006; Publications of the Astronomy Department of the Eötvös University (PADEU), Edited by E. Forgács-Dajka, 2006, ISBN 963 463 557, ISSN 0238-2423, Vol. 17., p. 15, 2006
3. *Illarionov E.A., Tlatov A.G.* Asymmetry in the Form of Solar Spot // Geomagnetism and Aeronomy, 2016, Vol. 56, No. 8, pp. 1031–1035. 10.1134/S0016793216080089.