

ИЗУЧЕНИЕ ЭФФЕКТА ВИЛЬСОНА ПО ДАННЫМ АНАЛИЗА УСРЕДНЕННЫХ ФОРМ СОЛНЕЧНЫХ ПЯТЕН

Тлатова К.А.^{1,2}, Тлатов А.Г.^{1,2}

¹*Горная астрономическая станция ГАО, Кисловодск, Россия*

²*Калмыцкий государственный университет, Элиста, Россия*

STUDY OF THE WILSON EFFECT BASED ON THE ANALYSIS OF AVERAGED SHAPES OF SUNSPOTS

Tlatova K.A.^{1,2}, Tlatov A.G.^{1,2}

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

²*KalmSU, Elista, Russia*

In this article, we investigated the averaged shape of sunspots. There is a shift of the sunspots umbra boundary to the western edge. The magnitude of the shift varies with the area of the sunspots. For sunspots of small area $S \sim 50 \mu\text{hm}$, the eastern penumbra is $\sim 5\%$ larger than the western one, but for large sunspots $S > 300 \mu\text{hm}$, this difference can reach 20% or more.

Using the method of constructing averaged profiles of sunspots at different distances from the center of the Solar's disk, we estimated the value of the Wilson depression. The magnitude of the depression varies from 100 to 1000 km depending of the sunspots size. There is some imbalance of the Wilson depression at the eastern and western borders of the shadow-penumbra. For sunspots in the area range S : 100–200 μhm , the western depression is slightly larger than the eastern depression, which may indicate a tilt of the sunspots to the west.

DOI: 10.31725/0552-5829-2022-267-270

1. Введение

В 1769 Вильсон обнаружил [1], что при приближении пятна к краю солнечного диска ширина полутени на стороне, удаленной от лимба, убывает быстрее, чем со стороны лимба, т.е. пятно, выглядит как тарелкообразное углубление. Эффект Вильсона трудно измерить количественно, так как эволюция формы пятна мешает четкому определению этого эффекта [2]. В западной половине солнечного диска эффект Вильсона выражен слабее, чем в восточной [3]. Куклин [4] и Hejna and Solov'ev [5] предположили, что основной вклад в восточно-западную асимметрию эффекта Вильсона может вносить смещение к западу тени пятна относительно полутени примерно на 0.04 ширины полутени.

Нами был выполнен анализ формы солнечных пятен при помощи статистического подхода основанном на измерении солнечных пятен из данных долговременных синоптических наблюдений.

2. Данные и метод анализа

В своей работе мы использовали данные наблюдений изображений в континууме телескопа HMI/SDO. Для анализа мы брали 5 изображений за каждый день на моменты времени близкие к 00:00, 05:00, 10:00, 15:00 и 20:00 UT.

В каждом пятне выделялись ядра солнечных пятен, которые мы исключили из рассмотрения. Это было необходимо для того, чтобы мы могли изучать отдельно форму полутени пятен. Далее мы применили метод усреднения формы пятен, по методике, представленной в работе [6]. На рис. 1 представлена усредненная форма полутени солнечных пятен. Всего, на рис. 1, было усреднено 4 828 форм отдельных солнечных пятен.

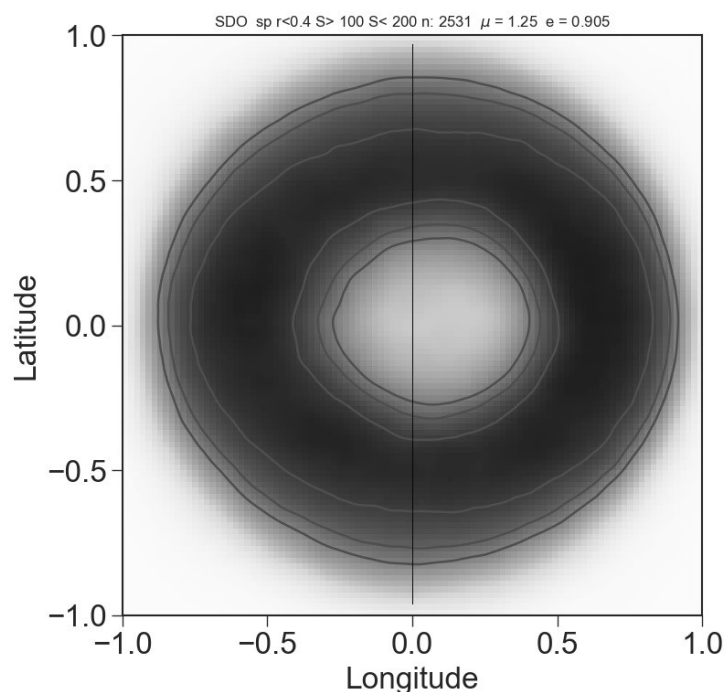


Рис. 1. Усредненная форма полутени солнечных пятен, для пятен площадью $S > 100$ мдп, выбранных из центральной части ($r/R < 0.6$) солнечного диска.

2.1. Восточно-западная асимметрия формы солнечных пятен

На рис. 1 можно заметить, что усредненная область ядер солнечных пятен смещена вправо, то есть к западному лимбу Солнца. Рассмотрим отношение протяженности восточной полутени к западной $rat = P_{ue}/P_{uw}$. На рис. 2 представлено отношение этих величин в зависимости от площади солнечных пятен. С ростом площади это соотношение увеличивается. Соотношение можно записать как: $P_{ue}/P_{uw} = 0.95(\pm 0.05) + 1.2 \cdot 10^{-3}(\pm 2 \cdot 10^{-4})S$, при корреляции $cor = 0.95$.

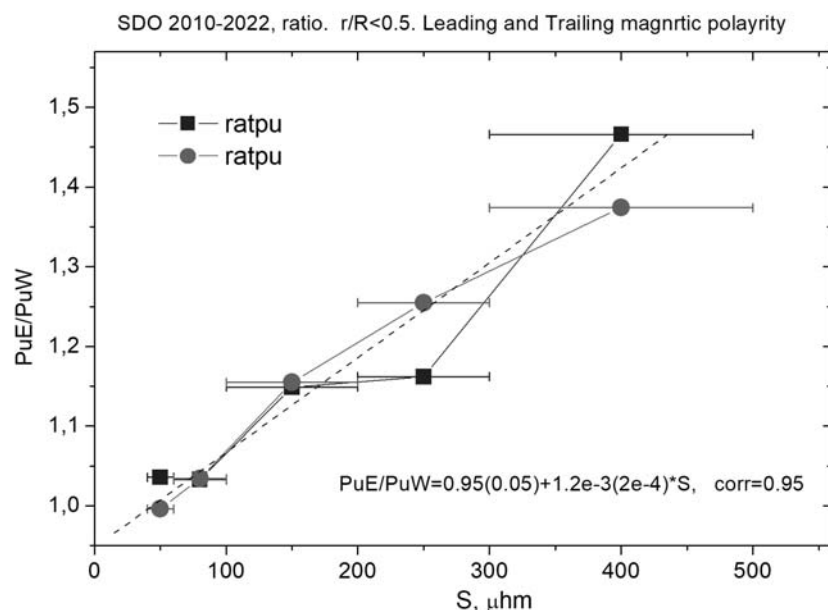


Рис. 2. Отношение протяженности восточной полутени к западной $rat = PuE/PuW$ для солнечных пятен ведущей и хвостовой полярности.

2.2. Определение депрессии Вильсона солнечных пятен

Для определения эффекта Вильсона используют геометрические характеристики солнечных пятен, на разных гелиоцентрических расстояниях от центра солнечного диска. Если мы обозначим Pu_e , Pu_w видимые размеры полутени пятна, наблюдаемого на гелиоцентрическом угле $\theta = \arcsin(r/R_\odot)$, то из геометрии получаем соотношения: Для восточного лимба:

$$Pu_w(\theta) = Pu_w^0 \cdot (\cos(\theta) - \sin(\theta)\tan(\alpha_w)) \quad \tan(\alpha_w) = \left(\cos(\theta) - \frac{Pu_w(\theta)}{Pu_w^0} \right) / \sin(\theta) \quad h_w = \tan(\alpha_w)Pu_w^0$$

$$Pu_e(\theta) = Pu_e^0 \cdot (\cos(\theta) + \sin(\theta)\tan(\alpha_e)) \quad \tan(\alpha_e) = \left(\frac{Pu_e(\theta)}{Pu_e^0} - \cos(\theta) \right) / \sin(\theta) \quad h_e = \tan(\alpha_e)Pu_e^0$$

Мы будем использовать усредненные профили полутеней солнечных пятен, на различных расстояниях от центра солнечного диска $r/R_\odot$. В диапазоне расстояний от $0-0.9 \cdot R_\odot$. Солнечные пятна, находящиеся вблизи центра диска $r/R_\odot < 0.4$ мы будем использовать для измерения Pu_e^0 и Pu_w^0 .

Используя метод построения усредненных профилей солнечных пятен на разных расстояниях от центра диска Солнца мы оценили значение Вильсоновской депрессии. Величина депрессии меняется от 100 до 1000 км в зависимости от размера солнечных пятен (рис. 3): $h = 0.049(\pm 0.14) + 0.0014(\pm 7.5 \cdot 10^{-4}) \cdot S$ Мм, $\text{cor} = 0.94$. Существует некоторый дисбаланс Вильсоновской депрессии у восточной и западной границы тень-полутень. Для солнечных пятен в диапазоне площадей S : 100–200 мдп западная депрессия немного больше восточной депрессии, что может говорить о наклоне солнечных пятен к западу.

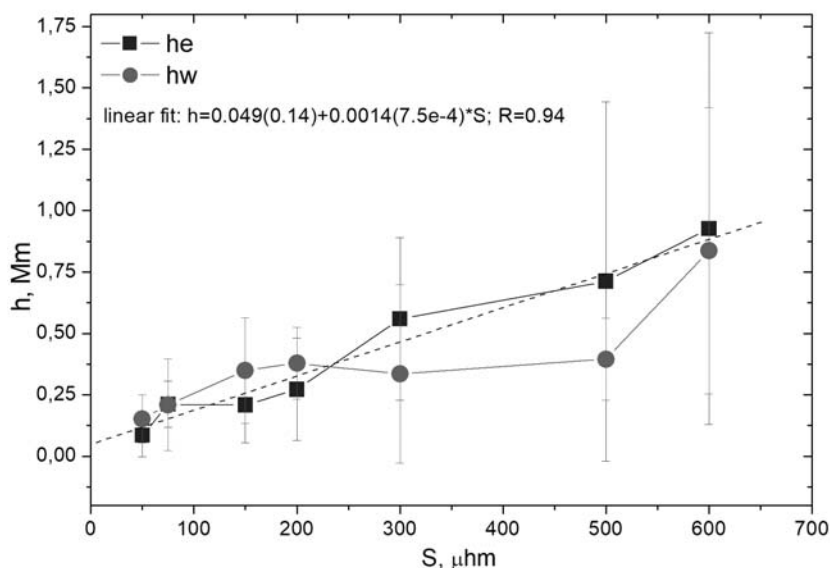


Рис. 3. Значения Вильсоновской депрессии для восточной и западной границы полутень-тень.

3. Обсуждение

В данной работе мы уточнили усредненную форму солнечных пятен. Наблюдается сдвиг границы ядер солнечных пятен к западному краю полутени. Величина сдвига меняется от площади солнечных пятен. Для солнечных пятен малой площади $S \sim 50$ мдп восточная полутень больше западной на $\sim 5\%$, но для больших солнечных пятен $S > 300$ мдп это различие может достигать 20% и более.

Используя метод построения усредненных профилей солнечных пятен на разных расстояниях от центра диска Солнца, мы оценили значение Вильсоновской депрессии. Величина депрессии меняется от 100 до 1000 км в зависимости от размера солнечных пятен.

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

Литература

1. Wilson, A., & Maskelyne, N. // Philos. Trans. R. Soc. London. I, 64, 16 1774.
2. Витинский Ю.И., Копецкий М., Куклин Г.В. Статистика пятнообразовательной деятельности Солнца. – М.: Наука, 1986. – 296 с.
3. Obashev, S.O.; Gainullina, R.K.; Minasiants, T.M. // Solar Physics, 1982, V. 78, 59-66, doi: 10.1007/BF00151142
4. Kuklin, G.V. // Issled. Geomagn., Aehron. Fiz. Solntsa, Moskva, No. 73, p. 52 – 60, 1985.
5. Hejna, L.; Solovev, A.A. // Bulletin of the Astronomical Institute of Czechoslovakia, 1985, vol. 36, p.183.
6. Tlatov, A.G. // Solar Physics, 2022V. 297, article id.110,.