

ИЗМЕРЕНИЯ МАКСИМАЛЬНЫХ НАПРЯЖЕННОСТЕЙ СИЛЬНЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ СОЛНЕЧНЫХ ПЯТЕН ПО ДАННЫМ MWO, КРАО И HINODE

Ахтемов З.С., Цап Ю.Т., Шапошников В.Д., Плотников А.А.
Крымская Астрофизическая Обсерватория РАН, пос. Научный, Крым, Россия

MEASUREMENTS OF THE MAXIMUM STRENGTH OF STRONG MAGNETIC FIELDS OF SUNSPOTS BASED ON MWO, CRAO AND HINODE DATA

Akhtemov Z.S., Tsap Y.T., Shaposhnikov V.D., Plotnikov A.A.
Crimean Astrophysical Observatory RAS, Nauchny, Crimea, Russia

Based on 4135 measurements of maximum magnetic fields B of the same sunspots obtained at the Mount Wilson Observatory (MWO, USA) and the Crimean Astrophysical Observatory (CrAO RAS) from 2009 to 2019 were analyzed. It was shown that for the magnetic field $B_{MWO} \geq 1500$ G obtained in MWO, the Pearson correlation coefficient $cc \approx 0.60$. In turn, for the selected 142 sunspots with $B_{MWO} \geq 2500$ G the correlation coefficient $cc \approx 0.28$. The differences in the absolute value of the measured field $|B_{MWO} - B_{CrAO}|$ change according to the CrAO and MWO data in the range from 0 to 2000 G. The comparison between the ground-based observatory data and the magnetograms obtained by the Japanese satellite Hinode showed that the Crimean measurements are in better agreement with the results obtained by Hinode. The correlation coefficients cc between the B_{CrAO} and B_{Hinode} values, as well as B_{MWO} and B_{Hinode} for 73 measurements, were equal to 0.62 and 0.47, respectively. The scatter diagrams and histograms for the absolute difference in measured magnetic fields were constructed. Possible reasons for the obtained discrepancies are discussed.

<https://doi.org/10.31725/0552-5829-2024-21-24>

Введение

Солнечные пятна – это области фотосферы с высокой концентрацией магнитного потока, состоящие из тени и полутени, которые в белом свете имеют вид более темных образований округлой формы.

В настоящее время регулярные наземные измерения магнитных полей солнечных пятен, основанные на эффекте Зеемана, проводятся по одной и той же методике в двух обсерваториях в КраО и обсерватории Маунт-Вилсон (МВО) [1, 2]. Непосредственное измерение расщепления спектральных линий все еще остается достаточно надежным методом. Это объясняется тем, что на результаты не оказывает влияние модель атмосферы Солнца, эффект насыщения сигнала, слабая интенсивность излучения в источнике и т.д.

Для определения напряженности магнитного поля пятен измеряется расстояние между сигма-компонентами простых триплетов, которое с помощью калибровочных таблиц позволяет получить максимальные значе-

ния поля с точностью около 100 Гс. Измерения в КрАО ($D = 45$ см, FeI 6302 Å, $g = 2.5$) и MWO ($D = 60$ см, FeI 5250 Å, $g = 3$) проводятся практически по одной методике. Между тем на спутнике Hinode для измерения магнитного поля пятен с помощью спектрополяриметра (SP) также как и в КрАО используется линия FeI 6302 Å. Высокое пространственное разрешение и стабильное качество данных Hinode/SP позволяет получить детальную информацию как о продольной, так и поперечной компоненте магнитного поля АО, благодаря измерению параметров Стокса и решению уравнения лучистого переноса, полученного Унно и Рачковским.

Ранее мы уже проводили сравнения результатов измерений максимальных напряженностей магнитных полей одних и тех же пятен за период с 2009 по 2019 гг., полученных на MWO (B_{MWO}), Hinode/SP (B_{Hinode}) и в КрАО (B_{CrAO}) для полей с $B_{CrAO} \geq 2500$ Гс [3, 4]. Однако полученные нами диаграммы рассеяния для значений магнитных полей пятен не дают однозначного ответа, какие измерения являются более адекватными. На наш взгляд, эту проблему можно решить, если рассмотреть выборку данных измерений магнитных полей пятен с $B_{MWO} \geq 2500$ Гс, а не с $B_{CrAO} \geq 2500$ Гс. Это объясняется тем, что данные MWO, видимо, дают явно заниженные значения магнитного поля.

Цель данной работы – провести сравнительный анализ измерений максимальных напряженностей магнитного поля одних и тех же пятен с $B_{MWO} \geq 2500$ Гс по данным, полученным в MWO, КрАО РАН и на Hinode за период с 2009 по 2019 гг.

Измерения сильных магнитных полей пятен в КрАО, MWO и Hinode

За период с 2009 по 2019 гг. при $B_{MWO} \geq 2500$ Гс было выбрано 142 измерения из 4135. Сразу отметим, что разность модуля измеренных значений полей $|B_{MWO} - B_{CrAO}|$ варьировалась в диапазоне от 0 до 2000 Гс. Однако с учетом данных Hinode, которые находились в свободном доступе на сайте https://csac.hao.ucar.edu/sp_data.php, в нашем списке осталось 73 измерения максимальных напряженностей магнитного поля соответствующих пятен. Результаты статистического анализа представлены на рис. 1 и 2. Отметим, что для определения максимальных значений напряженности по данным Hinode/SP использовалась программа SAOImageDS9, также находящаяся в открытом доступе.

Обращает на себя внимание то, что наземные измерения дают более низкие значения максимальных полей. Это, как показал анализ, объясняется высоким пространственным разрешением Solar Optical Telescope, установленном на Hinode ($\sim 0.3''$). Таким образом, крымские измерения сильных магнитных полей представляются более надежными, чем в MWO.

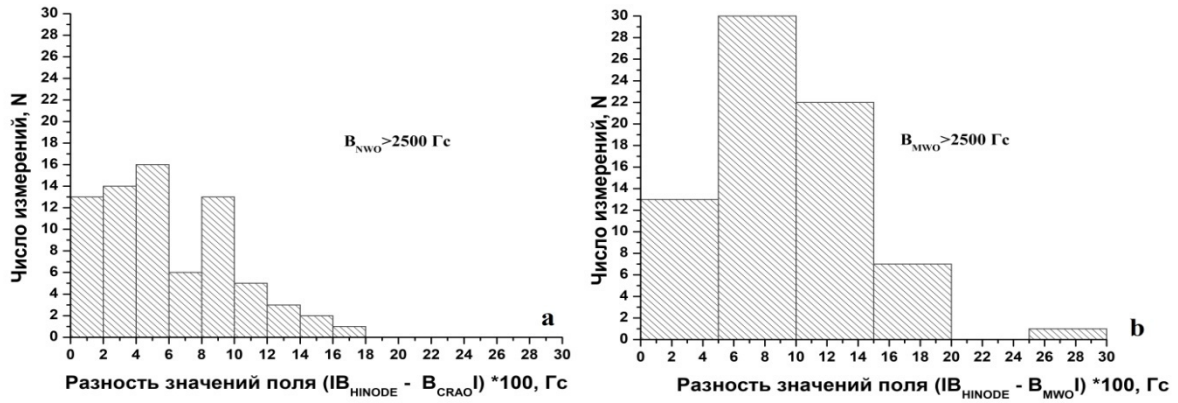


Рис. 1. Слева: гистограмма, полученная по данным измерения магнитных полей пятен в КрАО и на спутнике Hinode. Максимум гистограммы приходится на интервал 0–600 Гс. Справа: гистограмма, полученная по данным MWO и Hinode, максимум которой соответствует 500–1000 Гс. Следовательно, измерения сильных магнитных полей в MWO и Hinode отличаются в гораздо большей мере, чем в КрАО и Hinode.

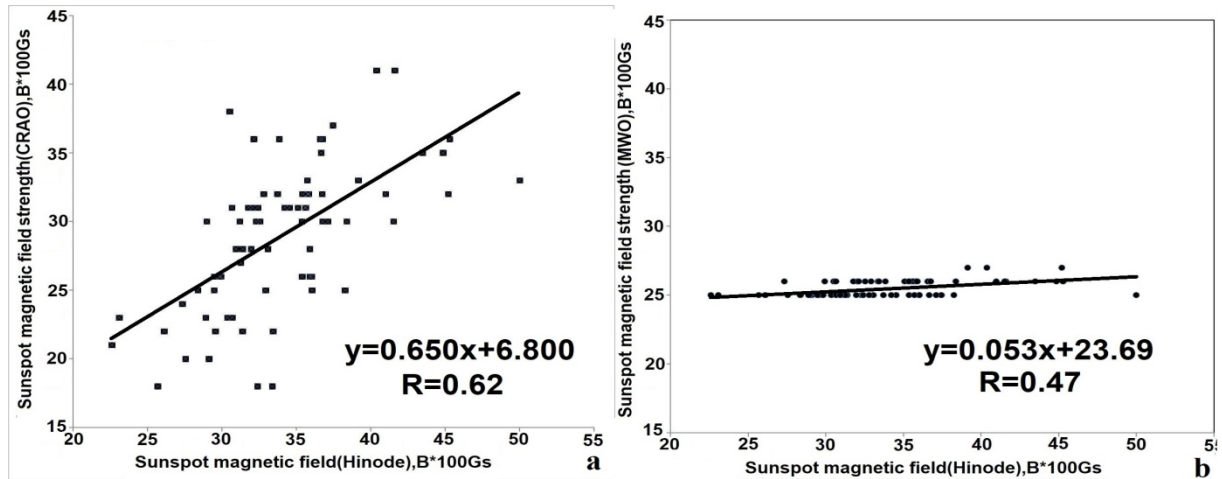


Рис. 2. На вертикальной оси отложены значения магнитного поля по данным КрАО (слева) и Маунт-Вилсон (справа) за период с 2009 по 2019 гг. На горизонтальной оси – соответствующие значения по измерениям на Hinode. Коэффициенты корреляции Пирсона $R = 0.62 \pm 0.07$ (слева) и 0.47 ± 0.09 (справа).

Результаты и выводы

Как следует из сравнительного анализа максимальных напряженностей сильных (≥ 2500 Гс) магнитных полей солнечных пятен B_{MWO} , B_{CrAO} и B_{Hinode} за период с 2009 по 2019 гг., несмотря на сравнительно хорошую корреляцию в результатах измерений напряженностей, имеются и существенные различия.

1. Максимум гистограммы для разности измеренных значений магнитных полей одних и тех же пятен для КрАО и Hinode $|B_{Hinode} - B_{CrAO}| = 0 - 600$ Гс, а для MWO и Hinode $|B_{Hinode} - B_{MWO}| = 500 - 1000$ Гс.

2. Коэффициенты корреляции данных по измерению магнитных полей пятен, полученных в КрАО РАН (B_{CrAO}), MWO (B_{MWO}) и на спутнике Hinode за период с 2009 по 2019 гг. при $B_{MWO} \geq 2500$ Гс соответственно равны: 0.62 ± 0.07 и 0.47 ± 0.09

3. Заниженные значения максимальных магнитных полей пятен по данным КрАО и MWO можно объяснить более низким разрешением инструментов по сравнению с Hinode, связанным, в первую очередь, с влиянием атмосферы Земли.

Перечисленные выше результаты предполагают, что измерения максимальных напряженностей магнитного поля пятен в КрАО надежнее, чем в MWO.

Работа выполнена в рамках ГЗ № 122022400224-7.

Литература

1. Pevtsov A. et al. // A&A, 2019, V. 628, A103, pp. 1–14.
2. Tsap Yu.T., Perebeynos V.A., Borisenko A.V., et al. // Astron. Astrophys. Trans., 2019, Vol. 31, Issue 3, pp. 363—368.
3. Akhtemov Z.S., Tsap Yu.T., Malaschuk V.M. // Geomagn. Aeronom., 2023, V. 63, no. 8, pp. 1144–1148.
4. Ахтемов З.С., Цап Ю.Т., Малащук В.М. // Изв. Крым. астрофиз. обс., 2024, Т. 120, № 1, С.5–11.