ЗАВИСИМОСТЬ ЯРКОСТИ ТЕНИ СОЛНЕЧНОГО ПЯТНА ОТ НАПРЯЖЕННОСТИ ЕГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ

Живанович И.¹, Соловьев А.А.^{1,2}

¹Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН, Санкт-Петербург, Россия

²Калмыцкий государственный университет, Элиста, Россия

DEPENDENCE THE UMBRAL INTENSITY OF SUNSPOT ON ITS MAGNETIC FIELD STRENGTH

Zhivanovich I.¹, Solov'ev A.A.^{1,2}

¹Central Astronomical observatory of RAS at Pulkovo, St. Petersburg, Russia

²Kalmyk State University, Elista, Russia

As it is known, sunspots have strong magnetic field and intensity lower than at photosphere level. The low temperature of sunspot umbra is explained as result of inhibition of overturning convection by the strong vertical magnetic field. Firstly this idea was proposed by Bierman (1941). In this model the question arises about the saturation effect: what should be the strength of magnetic field to inhibit the convection completely? In the paper we found that at $B = 2300\text{G}$ the effect of saturation takes place: a further increase in the magnetic field does not lead to a decrease in the brightness of the dots of the sunspot umbra.

DOI: 10.31725/0552-5829-2019-169-172

1. Введение

Солнечные пятна известны человечеству издавна благодаря тому, что они на фоне диска выглядят темнее, из-за меньшей эффективной температуры. Солнечные пятна являются магнитными структурами, поэтому потемнение солнечного пятна (снижение температуры) связано с тем, что сильное магнитное поле в тени пятна подавляет конвекцию, оставляя в этой области только лучистый перенос тепла, который заметно слабее конвективного, и это ведет к охлаждению плазмы в тени до 3700–4000 К. Эту идею впервые высказал Бирман [1].

В связи с этим возникает вопрос: при каком значении напряженности магнитного поля в пятне конвекция в нем будет подавлена настолько, что дальнейший рост поля уже не приведет к уменьшению температуры тени?

Установить наличие такого эффекта насыщения очень важно, во-первых, для подтверждения справедливости самой идеи Бирмана, а, во-вторых, для оценки того, насколько давление магнитного поля должно превосходить динамическое давление турбулентных пульсаций, чтобы конвекцию можно было считать полностью подавленной?

2. Используемые данные

Для работы нам потребуется иметь два вида данных: измерения магнитного поля в тени пятна и одновременные измерения яркости (интенсивности) в тех же точках (площадках) тени. Для этой цели подходят магнитограммы и интенсивограммы, получаемые инструментом НМІ на борту космической обсерватории Solar Dynamic Observatory [2], обладающие, к тому же, высоким пространственным разрешением. Интенсивограммы нормировались по уровню интенсивности в континууме для спокойной фотосферы Солнца.

Для работы были отобраны 22 солнечных пятна.

3. Радиальные распределения напряженности магнитного поля и интенсивности в континууме для тени солнечного пятна

Для получения зависимости между напряженностью магнитного поля и интенсивностью тех же областей в континууме для тени солнечного пятна использовались усредненные радиальные распределения напряженности магнитного поля в пятне и интенсивности в континууме для того же пятна. Такие радиальные распределения получались путем подсчета потоков (магнитный поток и общий поток интенсивности) между изолиниями магнитного поля и интенсивности. Пример интенсивограммы с изолиниями интенсивности в континууме представлен на Рис. 1. По осям отложены размеры в пикселях, перемена цветов соответствует изменению уровня интенсивности относительно уровня интенсивности спокойного Солнца. Изолинии интенсивности даны с шагом 0.1.

Рис. 1.

Далее вычислялась площадь между изолиниями и среднее расстояние области между изолиниями до центра солнечного пятна (считаем центром пятна точку с экстремальным значением напряженности магнитного поля). Затем были получены соответствующие усредненные распределения напряженности (Рис. 2.) и интенсивности в континууме для солнечного пятна (Рис. 3.).

Рис. 2. Ход напряженности магнитного поля в тени пятна с расстоянием от магнитного центра.

Рис. 3. Ход интенсивности излучения тени пятна с расстоянием от магнитного центра.

Последним этапом в задаче получения зависимости распределения интенсивности в континууме для тени солнечного пятна от напряженности магнитного поля в солнечном пятне был подбор соответствующих точек из радиальных распределений напряженности магнитного поля и интенсивности. Подбирались такие пары значений напряженности магнитного поля и интенсивности в континууме, для которых расстояния от центра солнечного пятна совпадали с максимальной точностью.

4. Зависимость яркости точек тени от напряженности магнитного поля

В результате отбора 22 солнечных пятен и проведения описанной выше обработки данных было получено соответствующее распределение напряженности магнитного поля и интенсивности в солнечном пятне, показанное на Рис. 4. По вертикальной оси здесь отложены единицы интенсивности, нормированные на уровень спокойного Солнца, а по горизонтальной оси – значения напряженности магнитного поля в тех же точках, выраженные в Гс.

Полученное распределение четко показывает эффект насыщения воздействия магнитного поля на конвективный перенос при достижении магнитным полем значений напряженности около 2300 Гс. При дальнейшем росте поля интенсивность излучения в тени пятна практически не меняется.

Рис. 4.

Представленный результат прямо подтверждает справедливость концепции Бирмана о подавлении конвективного переноса в пятнах сильным вертикальным магнитным полем и позволяет установить значение критической для конвекции напряженности магнитного поля вблизи 2300 Гс.

Работа поддержана грантами РФФИ 18-32-00555 и 18-02-00168.

Литература

1. Bierman L.V. // Astr. Ges., т. 76, p. 194, 1941.
2. Schou J., Scherrer P.H., Bush R. I. et al. // Solar Physics, 275, 229-259.