АСИММЕТРИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ФОТОСФЕРНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ В 21–24 СОЛНЕЧНЫХ ЦИКЛАХ

Вернова Е.С.¹, Тясто М.И.¹, Баранов Д.Г.²

¹*Санкт-Петербургский филиал ИЗМИРАН, Санкт-Петербург, Россия*
e-mail: helena@EV13934.spb.edu

²*Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, Россия*

ASYMMETRY OF THE PHOTOSPHERIC MAGNETIC FIELD DISTRIBUTION IN SOLAR CYCLES 21–24

Vernova E.S.¹, Tyasto M.I.¹, Baranov D.G.²

¹*IZMIRAN, St. Petersburg Filial, St. Petersburg, Russia*
e-mail: helena@EV13934.spb.edu

²*A.F. Ioffe Physical-Technical Institute, St. Petersburg, Russia*

Longitudinal asymmetry of the photospheric magnetic field distribution was studied on the base of NSO Kitt Peak synoptic maps (1976–2003, KPVT, and 2003–2016, SOLIS/VSM). The notion of longitudinal asymmetry vector was introduced in order to suppress the stochastic component of magnetic field. By applying this parameter the regular non-axisymmetric part of the longitudinal distribution was emphasized. It was shown that longitudinal asymmetry both for the strong ($B > 50$ G) and weak ($B < 5$ G) fields develop in phase with the 11-year cycle of solar activity. The fluxes of strong magnetic fields follow the solar cycle too. On the contrary, the fluxes of weak magnetic fields change in antiphase with the solar activity and therefore in antiphase with the asymmetry of weak fields. Longitudinal distribution of the strong magnetic fields shows maximum at longitudes $\sim 180^\circ$ for the ascent-maximum phases whereas for the descent-minimum phases the maximum is shifted to the longitudes $\sim 0^\circ/360^\circ$. The shift by 180° is characteristic for the weak magnetic fields too yet the weak and the strong fields are concentrated at the opposite longitudes. The localization of the active longitude changes during polar field inversion and around the solar minimum when the polar magnetic field or the leading sunspots change their polarities.

DOI: 10.31725/0552-5829-2018-95-98

Асимметрия распределения магнитных полей по поверхности Солнца, в частности явление активных долгот, являются экспериментальными данными, которые должны учитываться при создании моделей неосесимметричного динамо [1]. В данной работе исследуется долготная асимметрия распределения магнитных полей. Для этого используются синоптические карты фотосферного магнитного поля обсерватории Китт Пик. Ранее [2] мы рассматривали долготную асимметрию магнитных полей по данным прибора KPVT (1976–2003 гг.). В настоящей работе использованы также данные прибора SOLIS/VSM, что позволило распространить исследование вплоть до 2017 г., т.е. на целый цикл солнечной активности (СА). Долготная асимметрия определялась для каждого солнечного оборота как вектор, модуль которого соответствовал величине асимметрии, а фаза указывала на активную долготу.

Рис. 1. Фотосферные магнитные поля в 1976–2016 гг.: а) магнитные потоки сильных (тонкая линия) и слабых (жирная линия) полей; б) долготная асимметрия распределения сильных и слабых магнитных полей.

Определение вектора долготной асимметрии было дано в работах [3, 4]. Для вычисления вектора долготной асимметрии магнитного поля по синоптическим картам применялась следующая методика. Синоптическая карта усреднялась по широте, что позволяло получить значение магнитного поля B_i , соответствующее i -ому долготному интервалу ($i = 1:360$). Долготному интервалу i можно сопоставить полярный вектор $\vec{B}_i$ с модулем B_i и фазой i . В результате векторного сложения по всем долготам получаем результирующий вектор долготной асимметрии $\vec{B}$ для каждого кэррингтоновского оборота:

$$\vec{B} = \sum_{i=1}^{360} \vec{B}_i$$

Основной вклад в вектор долготной асимметрии дают сильные магнитные поля. Вклад стохастической компоненты магнитного поля, равномерно распределенной по долготе, значительно ослабляется при векторном суммировании. В результате долготная асимметрия выделяет упорядоченную часть магнитного поля. Равномерно распределенные по долготе магнитные поля не дают вклада в долготную асимметрию. Таким образом, вектор долготной асимметрии является характеристикой неосесимметричной компоненты магнитного поля Солнца. Направление вектора соответствует долготе, которая наиболее активна в данном кэррингтоновском обороте, модуль вектора характеризует величину долготной асимметрии.

Рис. 2. Сильные поля ($B > 50$ Гс): долготное распределение фотосферного магнитного поля в 1976–2016 гг. для интервала широт $\pm 40^\circ$; а) фазы подъема и максимума СА; б) фазы спада и минимума; в) суммарное распределение для всех фаз солнечного цикла (суммирование гистограммы АМ со сдвинутой на 180° гистограммой DM). Огибающие – аппроксимация полиномом второй степени.

Рис. 3. То же, что на рис. 2 для слабых полей ($B < 5$ Гс). Интервал широт $\pm 90^\circ$.

Представляет интерес сравнить временные изменения магнитного потока и долготной асимметрии для магнитных полей различной напряженности B (рис. 1a,b). На рис. 1a показаны временные изменения для потоков сильных ($B > 50$ Гс) и слабых ($B < 5$ Гс) магнитных полей. На обоих рисунках тонкие линии соответствуют сильным полям, жирные линии – слабым. Сильные магнитные поля изменяются в фазе с циклом СА, достигая максимума в годы второго максимума Гневисева. Напротив, магнитный поток слабых магнитных полей изменяется в противофазе с циклом СА и с потоком сильных полей ($R = -0.91$). Изменение долготной асимметрии на рис. 1b также показано для сильных полей ($B > 50$ Гс) и для слабых полей ($B < 5$ Гс). В отличие от магнитных потоков (рис. 1a) долготные асимметрии для сильных и для слабых полей изменяются синхронно. Долготная асимметрия сильных и слабых полей, и поток сильных полей изменяются с 11-летним циклом СА. Неожиданным результатом оказалось то, что изменения долготной асимметрии слабых полей не следуют за изменениями потока слабых полей.

Ранее было показано для трех солнечных циклов, что локализация активной долготы зависит от фазы солнечного цикла [2]. В долготном распределении сильных фотосферных магнитных полей проявляются два характерных периода: (а) фазы подъем-максимум (АМ) и (б) фазы спад-

минимум (DM). В данной работе анализ долготного распределения был распространен на период 2003–2016 гг. Полученные результаты подтвердили правильность полученных ранее выводов.

Для периодов AM и DM максимумы распределений располагаются около двух противоположных кэррингтоновских долгот: 180° (AM, рис. 2а) и $0^\circ/360^\circ$ (DM, рис. 2b). Путем смещения гистограммы DM (рис. 2b) на 180° и суммирования с гистограммой AM (рис. 2а) получено общее для обеих фаз распределение магнитных полей за 1976–2016 гг. (рис. 2с). Отчетливо выделяющийся максимум на рис. 2с подтверждает смещение активной долготы на 180° и устойчивость расположения активных долгот, что свидетельствует в пользу их жесткого вращения.

Аналогичная картина наблюдается для долготного распределения слабых полей (рис. 3). Так же, как для сильных полей, происходит сдвиг максимума распределения на 180° при переходе от фазы AM (рис. 3а) к фазе DM (рис. 3b). Однако, в этом случае максимумы расположены на диаметрально противоположных долготах по сравнению с сильными полями: (а) на долготе $0^\circ/360^\circ$ для фаз подъем-максимум (AM) и (b) на долготе 180° для фаз спад-минимум (DM).

Два характерных периода – AM и DM соответствуют различным ситуациям, встречающимся в 22-летнем магнитном цикле Солнца, в ходе которого знаки полярного магнитного поля и ведущих пятен могут быть одинаковыми (в данной полусфере) или противоположными. В период от минимума до инверсии знак полярного магнитного поля и знак магнитного поля лидирующих пятен совпадают, в то время как для периода от инверсии до минимума знаки этих полей противоположны.

Полученные результаты говорят о том, что долготная асимметрия является неотъемлемой чертой распределения магнитного поля Солнца. Максимальная концентрация полей наблюдается поочередно на одной из двух противоположных долгот ($0^\circ/360^\circ$ и 180°). Максимумы сильных и слабых полей расположены на противоположных гелиодолготах. Смена активных долгот связана с перестройкой локальных и глобальных магнитных полей в ходе 22-летнего цикла.

Литература

1. Pipin V.V., Kosovichev A.G. // *ApJ*, 2015, 813, 134.
2. Vernova E.S., Tyasto M.I., Baranov D.G. // *Solar Phys.*, 2007, 245, 177,.
3. Базилевская Г.А., Вернова Е.С., Вернов С.Н., Крымский Г.Ф., Тясто М.И., Чарахчян Т.Н. // *Солнечные данные*, 1978, 97.
4. Vernova E.S., Mursula K., Tyasto M.I., Baranov D.G. // *Solar Phys.*, 2002, 205, 371.