

УДК 523.9 – 327

Общее магнитное поле Солнца: вращение магнитных структур противоположной полярности

У.М. Лейко

Астрономическая обсерватория Киевского национального университета, 04053, Украина, Киев

Поступила в редакцию 29 мая 2003 г.

Аннотация. Исследовано вращение крупномасштабных (секторных) магнитных полей противоположной полярности и их границ по рядам измерений общего магнитного поля Солнца (ОМПС), выполненных в Крымской, Маунт-Вилсоновской и Станфордской обсерваториях (1968 – 2002 гг.). С этой целью были вычислены LS-спектры для рядов измерений ОМПС положительной и отрицательной полярности. Результаты представленных исследований подтверждают известный ранее факт более быстрого вращения магнитных структур одной полярности и более медленного – противоположной полярности. Также обнаружено, что характер этого различия противоположен для низких и высоких широт и, возможно, изменяется со временем.

THE SOLAR MEAN MAGNETIC FIELD: THE ROTATION OF THE MAGNETIC STRUCTURES OF THE OPPOSITE POLARITY, *by U.M. Leiko*. The rotation of the largescale (sector) magnetic fields of the opposite polarity and their bounders were investigated using measured values of the solar mean magnetic field (SMMF) prepared at Crimean, Mount Wilson and Stanford observatories (1968 – 2002). For this purpose we calculated the LS-spectra of the time series of the positive and negative polarity measurements of the SMMF. The results of the represented investigations confirm earlier wellknown fact of the faster rotation of the magnetic structures of the same polarity and slower rotation of the another polarity. It was also revealed that behavior of this distinctive features is opposite for high and low latitude and possibly varies in the course of time.

Ключевые слова: Солнце, магнитное поле, вращение.

1 Введение

Вращение Солнца продолжает оставаться актуальной проблемой, несмотря на значительные успехи, достигнутые в этой области за последние годы. Картина внешних проявлений вращения Солнца сложна, иногда противоречива. На фоне дифференциального профиля наблюдаются моды жесткого вращения (Котов, Левицкий, 1983), (Мордвинов, Плюсина, 2001), (Степанян, 1983) и крутильные колебания (Сноддрас, 1991). Как известно, скорость вращения магнитных структур зависит от многих факторов – времени жизни, места локализации, величины магнитного поля, а также уровня солнечной активности. Кроме того, различного рода исследования указывают на неодинаковую скорость вращения магнитных полей противоположной полярности.

Различная скорость вращения магнитных полей противоположной полярности была обнаружена Северным в результате анализа измерений общего магнитного поля Солнца (ОМПС) (Северный,

1971): разность периодов вращения магнитных структур отрицательной и положительной полярностей в 1968 – 1969 гг. становила 0.8 сут.

В представляемой работе приведены результаты исследования крупномасштабных (секторных) магнитных полей противоположной полярности, а также их границ по трем независимым временным рядам измерений ОМПС, выполненных в Крымской, Маунт-Вилсоновской и Станфордской обсерваториях. Результаты представленных исследований подтверждают факт неодинакового вращения магнитных структур противоположной полярности. Также обнаружено, что характер этого различия противоположен для низких и высоких широт и, возможно, изменяется со временем.

2 Данные и методика обработки

Общее магнитное поле Солнца, характеризующее Солнце как звезду, представляет собой интегрированное по видимому диску значение продольного компонента поверхностного магнитного поля. По сути, это разбаланс магнитного потока (преобладание потока одной из полярностей) от видимого диска Солнца. ОМПС является глобальной характеристикой солнечной активности, коррелирует со структурой межпланетного и фотосферного магнитных полей и другими индексами солнечной активности.

Измерения ОМПС были начаты Северным (Северный, 1971) в 1967 г в КраО, для чего был применен весьма эффективный метод – магнитографические наблюдения Солнца в параллельном пучке. Позже измерения ОМПС в разное время и с различной точностью выполнялись еще в трех обсерваториях. Наименьшую погрешность измерений имеет магнитограф Станфордской обсерватории, регулярные наблюдения на котором были начаты в мае 1975 года и продолжаются в наше время. Измерения ОМПС, выполненные в КраО и Станфорде, помещены в Интернете, измерения ОМПС, выполненные в Маунт-Вилсоновской обсерватории, в виде каталога опубликованы в 1998 г. (Котов, 1998).

Магнитное поле в отдельных участках невозмущенной фотосферы может составлять десятки гаусс. Однако, ОМПС, представляющее собой средний по видимому диску Солнца разбаланс магнитных полей положительной и отрицательной полярности, редко превышает 1.5 Гс и в среднем становится 0.5 Гс. Поэтому измерения ОМПС представляют очень трудную инструментальную задачу. Подробности измерений ОМПС приводятся, например, в (Котов, 1998). Несмотря на существенные погрешности измерений, временные ряды измерений ОМПС дают важную информацию о солнечном магнетизме.

Для осуществления поставленной задачи нами была использована формула Барнинга (Теребиж, 1992) для вычисления LS_m -спектров P_N неравномерных временных рядов, по которой были рассчитаны спектры для рядов положительной и отрицательной полярности ОМПС отдельно для измерений ОМПС, выполненных в Крымской, Маунт-Вилсоновской и Станфордской обсерваториях. Станфордский ряд, наиболее длинный и с наименьшим количеством пропущенных наблюдений, включает почти три цикла солнечной активности. Спектры вычислялись как для всего ряда, так и для отдельных циклов. Для точного определения положения максимума спектры вычислялись с шагом по гармонике Δm от 0.01 до 0.001. Выбор шага по гармонике при вычислении спектров отдельных рядов определялся условием, чтобы шаг по периоду в районе доминирующих пиков не превышал 0.004 сут. для станфордских данных, 0.0007 сут. для крымских измерений и 0.002 сут. для маунт-вилсоновских измерений. Выбор различных шагов по гармонике обусловлен различным количеством измерений обрабатываемых рядов (т.е. их скважностью).

При обработке рядов положительных и отрицательных значений ОМПС, количество значений, ОМПС в которых равно N^* , шаг по гармонике становил $\Delta m^* = \Delta m * N^*/N$. При этом шаг по периоду в окрестности данного доминирующего пика был одинаков для ряда всех значений ОМПС и рядов положительных и отрицательных значений ОМПС.

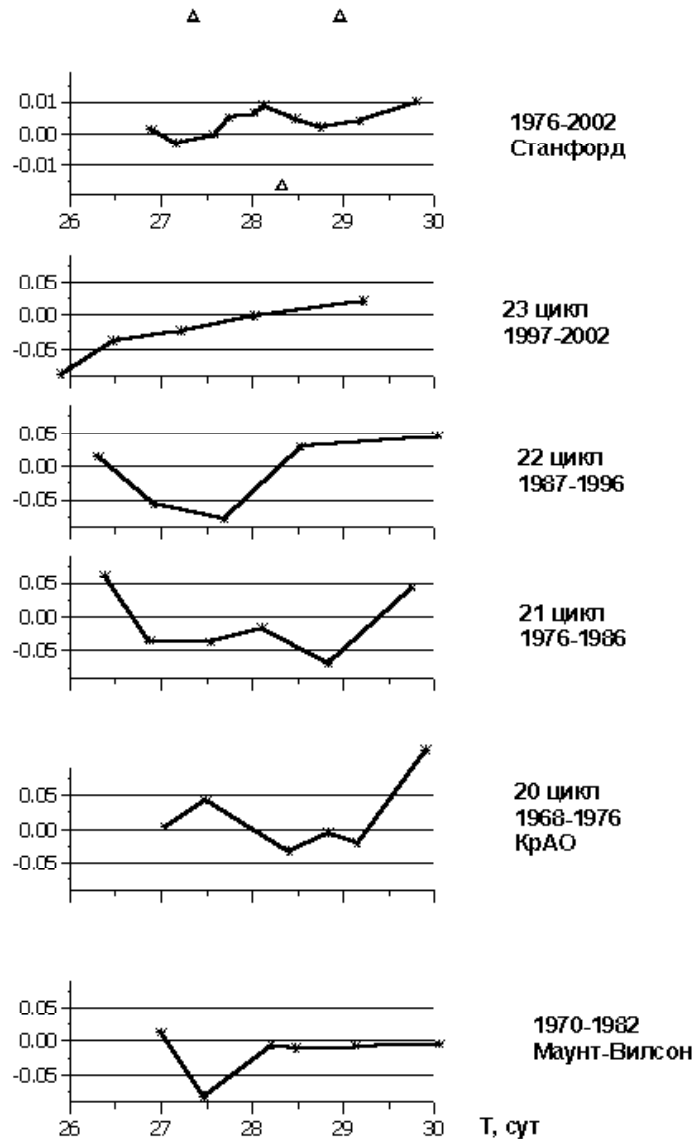


Рис. 1. Зависимость разности угловой скорости вращения магнитных полей противоположной полярности от значения доминирующих периодов вращения ОМПС

3 Вращение магнитных структур противоположной полярности

На рис. 1 приведена кривая зависимости разности угловых скоростей вращения магнитных структур противоположной полярности от значения доминирующих периодов вращения ОМПС. Как известно, доминирующие пики спектра мощности ОМПС отражают квазижесткое вращение крупномасштабных магнитных (фоновых) полей небольшой напряженности в отдельных широтных зонах (Ханейчук, 1999).

Разность угловой скорости вращения структур противоположной полярности, полученная по всему станфордскому ряду, т.е. для интервала 1975 – 2002 гг. (верхний график рис. 1), составляет в основном несколько тысячных градуса за сутки. Исключение составляют периоды 27.35, 28.3 и 28.9 сут., где разность угловых скоростей вращения составляет несколько сотых градуса за сутки (треугольники на графике). Если принимать во внимание только знак разности периодов ΔP и

угловой скорости $\Delta\omega$, то из таблицы 4 видно, что ΔP и $\Delta\omega$ имеют чередующиеся положительные и отрицательные значения для периодов 26.8 – 28 суток, для периодов больше 28 суток эти значения положительны (за исключением периода 28.3 суток). Логично предположить, что в приэкваториальной области существовали четыре чередующиеся полосы, в которых скорость вращения то одной, то другой полярности была выше (разности угловой скорости $\Delta\omega$ или положительные или отрицательные). В более высоких широтах скорость вращения магнитных структур отрицательной полярности превышала скорость вращения магнитных структур положительной полярности. Исключение составляет полоса, которая вращалась с периодом 28.32 суток (что соответствует широте 30°).

Разбиение интервала 1975 – 2002 гг. на отдельные циклы дает следующие результаты: в 1976 – 2002 гг. в приэкваториальной области скорость вращения структур положительной полярности превышала скорость вращения структур отрицательной полярности, на высоких широтах (соответствующих периодам $\approx 28 - 29$ сут., что соответствует, согласно формуле Снодграса [28], широтам $25^\circ - 30^\circ$) быстрее вращались магнитные структуры отрицательной полярности (разность ΔP отрицательна). Разность угловой скорости вращения в 21 цикле в приэкваториальных областях составляет около $0^\circ 04$. В 1968 – 1976 гг. (крымские измерения ОМПС) картина противоположная – на низких широтах быстрее вращались структуры отрицательной полярности, на высоких – структуры положительной полярности. Такая же картина следует из маунт-вилсоновского ряда измерений ОМПС, однако более быстрое вращение структур положительной полярности наблюдается не только на высоких широтах, но также и на более низких. В 1968 – 1976 гг. (крымские измерения ОМПС) картина противоположная – на низких широтах быстрее вращались структуры отрицательной полярности, на высоких – структуры положительной полярности. Такая же картина следует из маунт-вилсоновского ряда измерений ОМПС, однако, более быстрое вращение структур положительной полярности наблюдается не только на высоких широтах, но также и на более низких широтах (соответствующих периоду ≈ 27.4 сут. или приблизительно 20°). Возможно, это следствие того, что маунт-вилсоновский ряд (1970 – 1982 гг.) частью совпадает с крымским рядом (1970 – 1976 гг.), частью – со станфордским рядом, анализ которых дает противоположные результаты.

Таким образом, скорость вращения магнитных структур противоположной полярности в исследуемый период времени была различной, причем, если на низких широтах больше скорость вращения магнитных структур одной полярности, то на высоких широтах – другой. В 1975 – 2002 гг. на приэкваториальных широтах быстрее вращались магнитные структуры положительной полярности (на $\approx 0.032 \div 0.068$ $^\circ$ /сут), на средних широтах – отрицательной полярности (на $\approx 0.02 \div 0.043$ $^\circ$ /сут). В 1968 – 1975 гг. на низких широтах скорость вращения отрицательных структур была на ≈ 0.024 $^\circ$ /сут. больше угловой скорости вращения магнитных структур положительной полярности, на высоких широтах – на ≈ 0.023 $^\circ$ /сут. медленнее.

4 Вращение границ магнитных структур

При изучении дифференциального вращения фоновых магнитных полей Степанян было отмечено, что изменение размеров структур фонового поля может происходить вследствие движения одной из ее границ (Степанян, 1983). Известно также, что различные явления солнечной активности имеют зависимый от типа границ характер распределения.

Нами была предпринята попытка исследовать особенности вращения границ крупномасштабных магнитных структур обоих типов. За границу принимался последний день последовательности значений ОМПС одного знака. Соответственно, последнее значение в последовательности положительных значений ОМПС соответствует плюс-минус (PM) границе, последнее значение в последовательности отрицательных значений ОМПС соответствует минус-плюс (MP) границе. Учитывались только те границы, где последовательность значений ОМПС по обе стороны границы составляла не меньше трех суток. Неуверенные границы, в окрестностях которых имелись пропуски наблюдений, не учитывались. Поэтому, из-за большого количества пропусков наблюдений достаточное количество границ в крымском и маунт-вилсоновском рядах выделить не удалось. Вращение границ исследовалось по станфордскому ряду.

В таблице 4 отдельно для 21, 22 и части 23 циклов приводится количество N_{MP} и N_{PM} границ, значения доминирующих периодов вращения для каждого типа границ и разница периодов. Как видно из таблицы 5, в 21 и 22 циклах границы \mp вращались медленнее, чем границы \pm в приэкваториальных широтах, на высоких широтах – наоборот. На протяжении части 23 цикла меньшая угловая скорость вращения \mp -границ была характерна для всех широт.

5 Обсуждение результатов и выводы

Неодинаковые свойства магнитных структур противоположной полярности отмечались в литературе неоднократно. Известен ряд работ, авторы которых разрабатывали идею сосуществования двух систем квазитвердотельного вращения крупномасштабных магнитных полей. Одни авторы считают, что одна из систем локализована на приэкваториальных широтах и вращается с периодом около 27 суток, вторая – на средних широтах и вращается с периодом $\approx 28 - 29$ суток. По мнению Котова (Котов, 1998), период 27 суток отображает вращение поверхностного магнитного поля в приэкваториальных областях, а период около 28 суток отображает вращение глубинного магнитного поля, находящегося в основании конвективной зоны.

Результаты представленных в данной статье исследований подтверждают факт неодинакового вращения крупномасштабных магнитных полей противоположной полярности. Также обнаружено, что характер этого различия неодинаков на различных широтах (противоположен для низких и высоких широт) и изменяется со временем. Поскольку ОМПС является разбалансом магнитного потока от всей видимой полусферы, то его измерения не дают возможности определить пространственное распределение скорости вращения магнитных структур. Более быстрое вращение магнитных полей одной полярности на меньших периодах (более низкие широты) и противоположной полярности на средних широтах (с большими периодами) также указывает на сосуществование двух систем квазижесткого вращения. Однако являются ли эти системы низкоширотными и высокоширотными системами магнитных полей, или системами полей, локализованными в северной и южной полусферах, сказать, в силу специфики ОМПС, невозможно.

То, что в течении более чем двух циклов (1975 – 2002 гг.) характер различия вращения структур противоположной полярности был одинаков, говорит в пользу существования низкоширотной и высокоширотной систем магнитных полей. Однако, в 1968 – 1976 гг. характер различия вращения был противоположен. Если разность угловой скорости меняет знак от цикла к циклу, то это, по-видимому, говорит в пользу существования двух систем магнитных полей, локализованных в разных полусферах. Таким образом, результаты, полученные по станфордскому ряду ОМПС, говорят в пользу одной гипотезы, по крымскому – другой, по маунт-вилсоновскому – как и положено, занимают промежуточное положение, поскольку интервал наблюдений частью совпадает с крымским, частью – со станфордским. Проверить, является ли полученный результат свойством солнечного магнетизма или следствием различия наблюдений на разных инструментах, может быть можно по подобному анализу более длинных рядов измерений межпланетного магнитного поля и синоптическим H_α -картам.

Основные результаты данного исследования можно сформулировать следующим образом:

1. Магнитные структуры противоположной полярности и границы различных типов имеют неодинаковую скорость вращения.
2. Характер различия вращения магнитных структур противоположной полярности границ различных типов противоположен для приэкваториальных и высоких широт.
3. Очевидно, имеет место изменения со временем характера различия вращения структур противоположной полярности.

Автор выражает благодарность сотрудникам Крымской, Маунт-Вилсоновской и Станфордской обсерваторий за возможность работать с данными по ОМПС

Литература

Котов В.А., Левицкий Л.С. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 1983. Т. 68. С. 56.

- Котов (Kotov V.A., Sherer P.H., Howard R.F., Haneychuk V.I.) // *Astrophys. J. Suppl.* 1998. 116. N. 1. P. 103.
- Мордвинов А.В., Плюснина Л.А. // *Астрон. журн.* 2001. 78. N. 8. С. 753.
- Степанян Н.Н. // *Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв.* 1983. Т. 67. С. 59.
- Северный (Severny A.B.) // *Solar magneticfields: Proc. IAU Symp. N. 43 Dordrecht.* 1971. P. 675.
- Снодграс (Snodgrass H.B.) // *Astrophys. J.* 1991. V. 383. P. L85.
- Теребиж В.Ю. // *Анализ временных рядов в астрофизике.* М.: Наука. 1992. С. 399.
- Ханейчук В.И. // *Астрон. журн.* 1999. V. 76. N. 5. С. 385.