

УДК-523.9

**У. М. Лейко**

Астрономическая обсерватория Киевского национального университета имени Тараса Шевченко  
04053 Киев, ул. Обсерваторная, 3

### **О вращении солнечных крупномасштабных магнитных полей противоположной полярности**

*Исследовано вращение крупномасштабных магнитных полей противоположной полярности 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 в области периодов вращения и по ним определены точные положения максимумов доминирующих пиков. Подтвержден известный факт различного вращения магнитных структур противоположных полярностей. Обнаружено, что характер этого различия противоположен для низких и высоких широт и, возможно, изменяется со временем.*

**ПРО ОБЕРТАННЯ СОНЯЧНИХ ВЕЛИКОМАСШТАБНИХ МАГНІТНИХ ПОЛІВ ПРОТИЛЕЖНОЇ ПОЛЯРНОСТІ**, Лейко У. М. — Досліджено обертання крупномасштабних магнітних полів протилежної полярності за рядами спостережень загального магнітного поля Сонця (ЗМПС), виконаних в Кримській, Маунт-Вілсонівській і Станфордській обсерваторіях (1968—2002 рр.). З цією метою були пораховані LS-спектри для рядів вимірів ЗМПС позитивної й негативної полярності в області періодів обертання і за ними визначені точні положення максимумів домінуючих піків. Підтверджено відомий факт різних швидкостей обертання магнітних структур протилежних полярностей. Виявлено, що характер цієї відмінності протилежний для високих і низьких широт і, можливо, змінюється з часом.

**ON THE ROTATION OF SOLAR LARGE-SCALE MAGNETIC FIELDS OF THE OPPOSITE POLARITY**, by Leiko U. M. — The rotation of large-scale magnetic fields of the opposite polarity is investigated on the basis of measurements of the solar mean magnetic field (SMMF) carried out at the Crimean, Mount Wilson and Stanford observatories (1968—2002). For this purpose we calculated LS-spectra of time series of the positive and negative polarity of the SMMF measurements on the range of the rotation periods and determined percussive positions of the dominated peaks. The results of our investigations confirm a well-known fact of different rotation of magnetic structures of the opposite polarity. It is also revealed that behaviour of the distinctive features is opposite for high and low latitudes and, possibly, varies in the course of time.

## 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 вращения наблюдаются моды жесткого вращения [2, 6, 11, 12, 19] и крутильные колебания [10, 22, 30]. Скорость вращения магнитных структур зависит от многих факторов — времени жизни, места локализации, величины магнитного поля, а также уровня солнечной активности [13, 27]. Кроме того, различного рода исследования указывают на неодинаковую скорость вращения магнитных полей противоположной полярности [7, 9, 17, 24, 28].

Различная скорость вращения магнитных полей противоположной полярности была обнаружена А. Б. Северным по расстояниям между экстремумами измерений общего магнитного поля Солнца (ОМПС) [28] противоположной полярности: разность периодов вращения магнитных структур отрицательной и положительной полярностей в 1968—1969 г. составляла 0.8 сут. Применяя отдельно для каждой полярности метод автокорреляции и центра масс для определения дифференциального профиля вращения магнитных полей противоположной полярности, С. Латушко [24] обнаружил, что на всех широтах ведущая полярность в обоих полушариях в течение 21 цикла вращалась на  $0.04^\circ$  быстрее, чем последующая.

Здесь мы приводим результаты исследования крупномасштабных магнитных полей противоположной полярности по трем независимым временным рядам измерений ОМПС, выполненных в Крымской, Маунт-Вилсоновской и Станфордской обсерваториях.

## ДААННЫЕ И МЕТОДИКА ИХ 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, которая коррелирует со структурой межпланетного и фотосферного магнитных полей и другими индексами солнечной активности.

Измерения ОМПС были начаты А. Б. Северным [28] 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 (табл. 1). Наименьшую погрешность измерений имеет магнитограф Станфордской обсерватории, регулярные наблюдения на котором были начаты в мае 1975 г. и продолжаются до сих пор. Измерения ОМПС, выполненные в КрАО и Станфорде, помещены в интернете по адресу [ftp://ftp.ngdc.noaa.gov/STP/SOLAR\\_DATA/](ftp://ftp.ngdc.noaa.gov/STP/SOLAR_DATA/) измерения ОМПС, выполненные

Таблица 1. Характеристика рядов измерений ОМПС

Обсерватория	Интервал наблюдений	Точность измерений, мкТл
КрАО	1968—1976 г., с 1991 г. — эпизодически	$\pm 17$
Маунт-Вилсон	1970—1982 г.	$\pm 17$
Станфорд	1975—2003 г.	$\pm 5$
Саянская обс. ИСЗФ	с 1982 г. — эпизодически	$\pm 10$

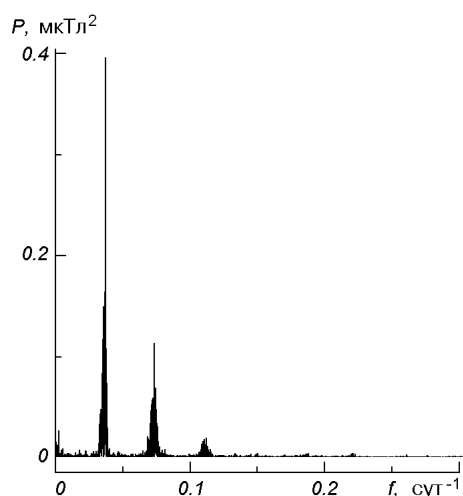


Рис. 1. Спектр мощности временного ряда измерений ОМПС, выполненных в Станфордской обсерватории в 1975—2002 гг.

ные в Маунт-Вилсоновской обсерватории, опубликованы в каталоге [23].

Магнитное поле в отдельных участках невозмущенной фотосферы может составлять несколько миллитесла. Однако ОМПС, представляющее собой средний по видимому диску Солнца разбаланс магнитных полей положительной и отрицательной полярности, редко превышает 150 мкТл, и в среднем составляет 50 мкТл. Поэтому измерения ОМПС представляют очень трудную инструментальную задачу. Подробности измерений ОМПС приводятся в работах [8, 20, 23, 26]. При наблюдении ОМПС ставится задача получить одно значение ОМПС в сутки. Несмотря на существенные погрешности измерений, временные ряды измерений ОМПС дают возможность получать важную информацию о солнечном магнетизме. Спектр временного ряда измерений ОМПС, выполненных в Станфордской обсерватории (1975—2002 гг.), приведен на рис. 1. Самая мощная группа пиков находится в частотном диапазоне, соответствующем периодам вращения (26—30 сут), две другие — в области периодов 13—15 сут и около 9 сут. Группа в низкочастотном диапазоне отражает долговременные вариации (от года до десятилетий). Достоверность пиков очень высокая вследствие большого количества измерений (для приведенного на рис. 1 спектра уровень значимости  $3\sigma$  нормального распределения составляет примерно  $8 \cdot 10^{-4}$  мкТл<sup>2</sup>).

Как известно, спектральное разрешение  $\delta\nu$  для процесса длительности  $T$  составляет  $T^{-1}$  [15]. Дискретный характер наблюдений мало влияет на спектральное разрешение. Конкретное распределение моментов наблюдения  $t_k$  по интервалу  $T$  оказывает воздействие на форму спектрального отклика. Поэтому, для суждения о форме спектрального отклика и для более точного определения положения максимумов при вычислении спектра рекомендуется принимать шаг по частоте равным  $\Delta\nu = 1/(nT)$  (или шаг по периоду  $\Delta P = P^2/(nT)$ ), где  $T$  — длина ряда,  $n$  — целое число, обычно  $n = 3 \dots 30$ .

Для осуществления поставленной задачи нами была использована формула Барнинга [15] для вычисления LS-спектров неравномерных временных рядов:

$$P_N = \frac{(2 - C_N)U_N^2 + C_N V_N^2 - 2S_N U_N V_N}{C_N(2 - C_N) - S_N^2},$$

где

$$U_N(\nu) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} \cos(2\pi\nu t_k) y_k,$$

$$V_N(\nu) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} \sin(2\pi\nu t_k) y_k,$$

$$C_N(\nu) = \frac{2}{N} \sum_{k=0}^{N-1} \cos^2(2\pi\nu t_k),$$

$$S_N(\nu) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} \sin(4\pi\nu t_k),$$

и  $t_k$  — моменты наблюдений (не обязательно равноотстоящие),  $N$  — количество измерений,  $\nu = m/N$  — частота исследуемого колебания,  $m$  — номер гармоники.

LS-спектры рассчитывались отдельно для измерений ОМПС, выполненных в Крымской, Маунт-Вилсоновской и Станфордской обсерваториях. Станфордский ряд, наиболее длинный и с наименьшим количеством пропусков, включает почти три цикла солнечной активности. Спектры вычислялись как для всего ряда, так и для отдельных циклов. В табл. 2 приведены: количество  $N$  всех измерений ОМПС, количества  $N^+$  и  $N^-$  измерений ОМПС положительной и отрицательной полярности, средние значения ОМПС  $B_{\text{ср}}$  и стандартные отклонения  $\sigma$ . Для точного определения положения максимума спектры вычислялись с шагом по гармонике  $\Delta m$  от 0.01 до 0.001 с тем 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. При обработке рядов положительных и отрицательных значений ОМПС шаг по гармонике составлял  $\Delta m^* = \Delta m \cdot N^*/N$ , где  $N^* = N^+$  или  $N^-$ . При этом шаг по периоду в районе исследуемого пика был одинаков для ряда всех значений ОМПС и рядов положительных и отрицательных значений.

Таблица 2. Основные статистические характеристики рядов измерений ОМПС

Выборка	$N$	$B_{\text{ср}},$ мкТл	$\sigma,$ мкТл	$N^+$	$B_{\text{ср}},$ мкТл	$\sigma,$ мкТл	$N^-$	$B_{\text{ср}},$ мкТл	$\sigma,$ мкТл
КрАО	1395	-0.5	67	663	48.4	40	732	-53.6	45
Маунт-Вилсон	2482	-0.6	67	1267	49.0	45	1215	-50.0	46
Станфорд	8152	0.3	41	4177	28.8	27	3975	-29.7	31
21 цикл	3576	0.7	40	1887	28.0	25	1689	-30.0	31
22 цикл	2833	-2.7	46	1362	31.0	31	1471	-34.0	34
23 цикл	1743	4.2	34	928	27.5	25	815	-21.9	22

#### ВРАЩЕНИЕ МАГНИТНЫХ СТРУКТУР ПРОТИВОПОЛОЖНОЙ ПОЛЯРНОСТИ

На рис. 2 приведены LS-спектры ОМПС станфордского ряда для частотного диапазона, соответствующего периодам вращения Солнца (21-й цикл). Как известно, доминирующие в диапазоне 25—30 сут пики спектра мощности ОМПС отражают квазижесткое вращение крупномасштабных магнитных (фоновых) полей небольшой напряженности в отдельных широтных зонах [16]. Наиболее мощный пик соответствует периоду около 27 сут (основной период вращения), он отражает вращение ОМПС в приэкваториальных областях.

Несовпадение профилей спектральных линий в спектрах рядов положительных и отрицательных значений ОМПС обусловлено как несовпадением

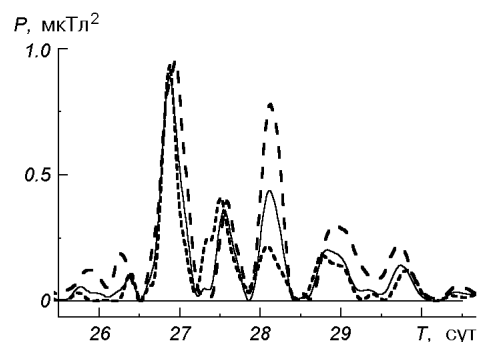


Рис. 2. LS-спектры рядов всех измерений (сплошная линия), положительных (штриховая) и отрицательных (пунктирная) значений ОМПС для 21-го цикла (1975—1986 г.)

Таблица 3. Значения полученных периодов вращения для различных интервалов времени

№	$P_0$ , сут	$P^-$ , сут	$P^+$ , сут	$\Delta P = P^- - P^+$ , сут	$\Delta\omega = \omega^- - \omega^+$ , град/сут
<b>СТАНФОРДСКИЙ РЯД (1975—2002)</b>					
1	26.89268±0.00045	26.89200	26.89467	-0.00267±0.00090	0.0013±0.0004
2	27.15864±0.00045	27.16092	27.15366	0.00726±0.00090	-0.0032±0.0004
3	27.35000±0.00046	27.33209	27.40924	-0.07701±0.00092	0.0370±0.0004
4	27.74905±0.00048	27.74932	27.75970	-0.01038±0.00096	0.0049±0.0004
5	28.02107±0.00048	28.01507	28.02907	-0.01400±0.00096	0.0064±0.0004
6	28.12476±0.00048	28.11715	28.13611	-0.01896±0.00096	0.0087±0.0004
7	28.31818±0.00049	28.32704	28.29087	0.03617±0.00098	-0.0162±0.0004
8	28.46752±0.00050	28.46254	28.47307	-0.01053±0.00100	0.0047±0.0004
9	28.75195±0.00052	28.75094	28.75542	-0.00448±0.00104	0.0019±0.0004
10	28.96081±0.00052	28.96853	29.05482	-0.08629±0.00104	0.0369±0.0004
11	29.18738±0.00053	29.15686	29.16619	-0.00930±0.00106	0.0039±0.0004
12	29.80249±0.00054	29.78617	29.81074	-0.02457±0.00108	0.0099±0.0004
<b>21-Й ЦИКЛ (1975—1986)</b>					
1	26.3797 ±0.00098	26.27007	26.38831	-0.11824±0.00196	0.0614±0.0010
2	26.87160±0.00101	26.94578	26.87362	0.07216±0.00202	-0.0358±0.0010
3	27.54794±0.00106	27.584035	27.50442	0.07961±0.00212	-0.0378±0.0010
4	28.11127±0.00111	28.11901	28.08254	0.03647±0.00222	-0.0166±0.0010
5	28.82978±0.00117	28.92074	28.76362	0.15712±0.00234	-0.0680±0.0010
6	29.7407 ±0.00124	29.71360	29.81765	-0.10141±0.00248	0.0425±0.0010
<b>22-Й ЦИКЛ (1987—1996)</b>					
1	26.30650±0.00098	26.25776	26.28457	-0.02681±0.00196	0.0140±0.0010
2	26.92102±0.00123	27.01404	26.90060	0.11344±0.00246	-0.0561±0.0012
3	27.68646±0.00135	27.70350	27.53661	0.16689±0.00270	-0.0788±0.0012
4	28.53546±0.00144	28.48670	28.55416	-0.067 ±0.00288	0.0298±0.0013
5	30.02855±0.00160	29.99526	30.10684	-0.11158±0.00320	0.0445±0.0013
<b>23-Й ЦИКЛ (1997—2003)</b>					
1	25.90268±0.00096	25.98062	25.81770	0.16292±0.00196	-0.0874±0.0010
2	26.47571±0.00101	26.49209	26.41648	0.07561±0.00202	-0.0389±0.0010
3	27.22086±0.00106	27.23870	27.19006	0.04864±0.00212	-0.0236±0.0010
4	28.02318±0.00118	28.02200	28.01750	0.0045 ±0.00236	-0.0021±0.0011
5	29.22139±0.00127	29.19690	29.24472	-0.00478±0.00202	0.0201±0.0011
<b>КРЫМСКИЙ РЯД (1968—1976)</b>					
1	27.044 ±0.00026	27.04479	27.005187	-0.00708±0.00052	0.0035±0.0003
2	27.48744±0.00027	27.45634	27.54456	-0.08822±0.00054	0.0420±0.0003
3	28.40459±0.00029	28.51215	28.35172	0.16043±0.00058	-0.0714±0.0003
4	28.83153±0.0003	28.82468	28.81279	0.01189±0.00060	-0.0051±0.0003
5	29.15257±0.0003	29.17939	29.13220	0.04719±0.00060	-0.0200±0.0003
6	29.89962±0.00032	29.63001	29.91754	-0.28753±0.00064	0.1168±0.0003
<b>МАУНТ-ВИЛСОНОВСКИЙ РЯД (1970—1982)</b>					
1	26.99577±0.00073	26.98767	27.01265	-0.02498±0.00146	0.1223±0.0007
2	27.4749 ±0.00076	27.50550	27.33398	0.17152±0.00152	-0.0821±0.0007
3	28.20755±0.00081	28.21234	28.18913	0.02321±0.00162	-0.0105±0.0007
4	28.47630±0.00082	28.48364	28.46895	0.01469±0.00164	-0.0065±0.0007
5	29.13149±0.00086	29.14939	29.13062	0.01877±0.00172	-0.0079±0.0007
6	30.04545±0.00090	30.04727	30.03546	0.016724±0.0018	-0.0051±0.0007

положений максимума линии (различием скорости вращения магнитных структур противоположной полярности), так и ее высоты (мощности).

Значения полученных периодов вращения для различных интервалов времени приведены в табл. 3. Во второй графе таблицы приведены значения положения максимума, полученные для рядов всех измерений ОМПС, в третьей и четвертой — для рядов отрицательной и положительной полярностей, в пятой — их разность  $\Delta P = P^- - P^+$ , в шестой — разность угловых скоростей вращения структур отрицательной и положительной полярности:  $\Delta\omega = \omega^- - \omega^+$ . Согласно закону дифференциального вращения период вращения поверхности Солнца изменяется с широтой, поэтому можно вычислить широту по закону дифференциального вращения [29]. Основным периодом вращения ОМПС в приэкваториальных областях выделен жирным курсивом.

Видно, что в четных циклах (в 20-м и 22-м) магнитное поле вращалось медленнее, чем в нечетных (в 21-м и части 23-го цикла). Основным периодом вращения ОМПС по всему интервалу станфордских измерений равен 26.89 сут, что близко к значению периода вращения 26.87 сут, полученному по станфордским магнитографическим измерениям фотосферного поля за этот же интервал времени [1].

На рис. 3 приведена кривая зависимости разности угловых скоростей вращения магнитных структур противоположной полярности от значения доминирующих пиков спектра (периодов вращения ОМПС).

Разность угловой скорости вращения структур противоположной полярности, полученная по всему станфордскому ряду (1975—2002 гг.), изменяется с широтой и почти всюду составляет несколько тысячных градуса за сутки. Исключение составляют широты, вращающиеся с периодами 27.35, 28.3 и 28.9 сут (17°, 30° и 35° согласно формуле Снодграса [29]), где разность угловых скоростей вращения равна нескольким сотым градуса за сутки (треугольники).

Разбиения 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

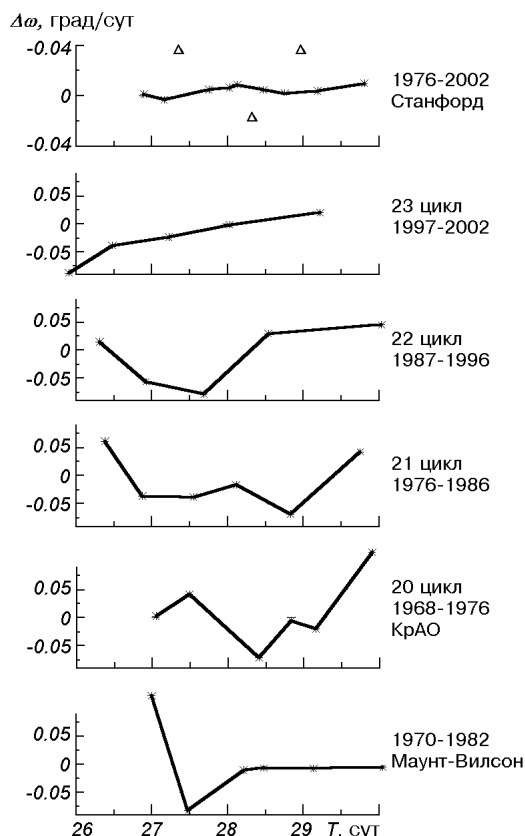


Рис. 3. Зависимость разности угловой скорости вращения магнитных полей противоположной полярности от значения доминирующих периодов вращения ОМПС

(соответствующих периодам 28—29 сут, что соответствует широтам 25—35°), быстрее вращались магнитные структуры отрицательной полярности ( $\Delta P < 0$ ). Разность угловой скорости вращения в 21-м цикле в приэкваториальных областях (для широт с периодом вращения 26.8—28.8 сут) составляет около  $-0.04^\circ/\text{сут}$ , для более высоких широт (период 29.7 сут) близка к  $+0.04^\circ/\text{сут}$ , что хорошо согласуется с оценками [24].

В 1968—1976 гг. (крымские измерения) 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 и на низких широтах (соответствующих периоду 27.4 сут или приблизительно 20°). Возможно, это следствие того, что маунт-вилсоновский ряд (1970—1982 гг.) частично перекрывается с крымским рядом (1970—1976 гг.), а частично — 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 г. на широтах быстрее вращались магнитные структуры положительной полярности (примерно на  $0.032\text{—}0.068^\circ/\text{сут}$ ), на средних широтах — отрицательной полярности ( $0.02\text{—}0.043^\circ/\text{сут}$ ). В 1968—1975 гг. на низких широтах скорость вращения отрицательных структур была на  $0.024^\circ/\text{сут}$  больше угловой скорости вращения магнитных структур положительной полярности, на высоких широтах — на  $0.023^\circ/\text{сут}$  медленнее.

#### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ И ВЫВОДЫ

Неодинаковые свойства магнитных структур противоположной полярности отмечались неоднократно [11, 14, 17, 18].

В ряде работ разрабатывалась идея сосуществования двух систем квазитвердотельного вращения крупномасштабных магнитных полей [2—4, 17, 18, 21, 25]. Одни исследователи считают, что одна из систем локализована на приэкваториальных широтах и вращается с периодом около 27 сут, вторая — на средних широтах и вращается с периодом 28—29 сут [2, 4, 21]. По мнению В. А. Котова [5], период около 27 сут отображает вращение поверхностного магнитного поля в приэкваториальных областях, а период 28 сут — вращение глубинного магнитного поля, находящегося в основании конвективной зоны.

В работе [17] показано, что в 21-м цикле с периодами около 27 и 28 сут вращались магнитные поля противоположной полярности, которые были локализованы в разных полусферах Солнца. В исследованиях [7] получено, что в северной и южной полусферах магнитные структуры отличаются как по скорости вращения, так и по напряженности магнитного поля (в каждой из полусфер преобладают магнитные структуры той полярности, которую имеет полярное магнитное поле). Различная скорость вращения магнитных полей противоположной полярности была получена также и в других исследованиях: по анализу измерений ОМПС [9, 28], а также по синоптическим магнитным картам [24].

Итак, наши исследования подтверждают факт неодинакового вращения крупномасштабных магнитных полей противоположной полярности. 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 в силу специфики ОМПС невозможно определить, являются ли эти системы низкоширотными и высокоширотными системами магнитных полей, либо они локализованы в северной и южной полусферах.

То, что в течение более чем двух циклов (1975—2002 гг.) характер различия вращения структур противоположной полярности был одинаков, говорит в пользу наличия низкоширотной и высокоширотной систем магнитных полей. Однако в 1968—1976 гг. характер различия вращения был противоположным. Если разность угловой скорости меняет знак от цикла к циклу, то это, по-видимому, говорит в пользу двух систем магнитных полей, локализованных в разных полусферах. Таким образом, станфордские результаты говорят в пользу одной гипотезы, крымские — другой, маунт-вилсоновские — занимают промежуточное положение, поскольку интервалы наблюдений частично перекрываются с крымскими и станфордскими. Возможно, анализ более длинных рядов ОМПС и синоптических  $H_{\alpha}$ -карт поможет проверить, является ли полученный результат свойством солнечного магнетизма, или же он — следствие различия наблюдений на разных инструментах.

Основные результаты данного исследования можно сформулировать следующим образом:

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

Автор благодарна сотрудникам Крымской, Маунт-Вилсоновской и Станфордской обсерваторий за содействие, В. А. Котову, В. И. Ханейчуку, Р. Ф. Ховард, П. Х. Шерер за предоставление каталога ОМПС в электронном виде. Автор также признательна Н. Н. Степанян и Р. И. Костику за полезные замечания.

1. Васильева В. В., Макаров В. И., Тлатов А. Г. Циклы вращения секторной структуры магнитного поля Солнца и его активности // Письма в Астрон. журн.—2002.—28, № 3.—С. 228—234.
2. Григорьев В. М., Пещеров В. С. О двух модах твердотельного вращения крупномасштабных солнечных магнитных полей // Исслед. по геомагнетизму, аэронауке и физ. Солнца.—1983.—Вып. 65.—С. 3—13.
3. Иванов Е. В. О связи межпланетного магнитного поля с крупномасштабным распределением солнечных магнитных полей // Солнеч. данные.—1987.—№ 1.—С. 56—66.
4. Иванов Е. В. Крупномасштабная структура фотосферных и корональных магнитных полей и ее изменения в течение 11-летнего цикла // Изв. Крым. астрофиз. обсерватории.—1995.—92.—С. 80—83.
5. Котов В. А. Вращение Солнца и вращение его общего магнитного поля // Изв. Крым. астрофиз. обсерватории.—1987.—77.—С. 39—50.
6. Котов В. А., Левицкий Л. С. Дискретность периодов вращения солнечного и межпланетного магнитных полей // Изв. Крым. астрофиз. обсерватории.—1983.—68.—С. 56—68.
7. Котов В. А., Степанян Н. Н. Некоторые характеристики крупномасштабных магнитных полей на Солнце // Изв. Крым. астрофиз. обсерватории.—1980.—62.—С. 118—124.



8. Котов В. А., Ханейчук В. И., Цап Т. Т. Новые измерения общего магнитного поля Солнца и его вращение // Астрон. журн.—1999.—87, Вып. 3.—С. 218—224.
9. Лейко У. М. Общее магнитное поле Солнца и магнитная асимметрия // Кинематика и физика небес. тел.—2001.—17, № 4.—С. 348—356.
10. Макаров В. И., Глатов А. Г. Крутильные колебания Солнца в период 1915—1990 гг. // Астрон. журн.—1997.—74, № 3.—С. 474—480.
11. Мордвинов А. В., Плюснина Л. А. Когерентные структуры в динамике крупномасштабного магнитного поля Солнца // Астрон. журн.—2001.—78, № 8.—С. 753—760.
12. Степанян Н. Н. Изменение дифференциального вращения фоновых магнитных полей на Солнце // Изв. Крым. астрофиз. обсерватории.—1983.—67.—С. 59—65.
13. Обридко В. Н., Шелтинг Б. Д. Дифференциальное вращение Солнца // Исслед. по геомагнетизму, аэрономии и физ. Солнца.—1988.—Вып. 83.—С. 3—24.
14. Плюснина Л. А. О периодических компонентах фотосферного и межпланетного магнитных полей // Исслед. по геомагнетизму, аэрономии и физ. Солнца.—1985.—Вып. 73.—С. 80—87.
15. Тербиж В. Ю. Анализ временных рядов в астрофизике. — М.: Наука.—1992.—399 с.
16. Ханейчук В. И. Вращение общего магнитного поля Солнца, 1968—1996 гг. // Астрон. журн.—1999.—76, № 5.—С. 385—395.
17. Ambroz P., Bumba V., Howard R., Sycora J. Opposite polarities in the development of some regularities in the distribution of large scale magnetic fields // Solar magnetic fields: Proc. IAU Symp. 43. — Dordrecht., 1971.—Part IV.—P. 696—709.
18. Antonucci E., Hoeksema J. T., Scherrer P. H. Rotation of the photospheric magnetic fields: a north-south asymmetry // Astrophys. J.—1990.—360, N 1.—P. 296—304.
19. Erofeev D. V. Rigidly rotating modes of the solar magnetic field // Solar Phys.—1996.—167, N 1.—P. 220—228.
20. Grigoryev V. M., Demidov M. L. Observation of the mean magnetic field at the Sayan Observatory during 1982—1984 // Solar Phys.—1988.—114, N 1.—P. 147—163.
21. Ivanov E. V., Obriдко V. N., Ananyev I. V. Sector structure, rotation, and cyclic evolution of large-scale solar magnetic fields // Solar Phys.—2001.—199, N 2.—P. 405—419.
22. Komm R. W., Howard R. F., Harvey J. W. Torsional oscillation patterns in photospheric magnetic features. // Solar Phys.—1993.—143, N 1.—P. 19—39.
23. Kotov V. A., Sherer P. H., Howard R. F., Haneychuk V. I. Magnetic field of the Sun as a star: the Mount Wilson Observatory catalog 1970—1982 // Astrophys. J. Suppl. Ser.—116, N 1.—P. 103—117.
24. Latushko S. Rotation of the large-scale solar magnetic fields in the equatorial region // Solar Phys.—1996.—166, N 1.—P. 261—266.
25. Mordvinov V. I., Tikhomolov E. M. On the rotation of large-scale background fields in the 21-st cycle of solar activity // Solar Phys.—1992.—138, N 1.—P. 23—33.
26. Scherrer P. H., Wilcox J. M., Svalgaard L., et al. The mean magnetic field of the Sun: observations at Stanford // Solar Phys.—1977.—54, N 1.—P. 353—361.
27. Schroter E. H. The solar differential rotation: present status of observations // Solar Phys.—1985.—100, N 1.—P. 141—169.
28. Severny A. B. The polar fields and time fluctuations of the general magnetic field of the Sun // Solar magnetic fields: Proc. IAU Symp. N 43. — Dordrecht, 1971.—P. 675—695.
29. Snodgrass H. B. Magnetic rotation of the solar photosphere // Astrophys. J.—1983.—270, N 1.—P. 288—289.
30. Snodgrass H. B. A torsional oscillation in the rotation of the solar magnetic field // Astrophys. J.—1991.—383, N 2.—P. L85—L87.

Поступила в редакцию 09.07.03.