

УДК 523.987

Волокна и высотная стратификация крупномасштабного магнитного поля Солнца

Н.И. Штерцер¹, Н.Н. Степанян¹, Г.В. Руденко², В.Г. Файнштейн²

¹НИИ «Крымская астрофизическая обсерватория», 98409, Украина, АР Крым, Научный
nataly@crao.crimea.ua

²ИСЗФ СО РАН, 664033, Иркутск, Россия
vfain@iszf.irkutsk.ru

Поступила в редакцию 25 ноября 2011 г.

Аннотация. По наблюдениям волокон в линии HeI $\lambda 1083$ нм получено, что количество волокон, параллельных нулевым линиям радиальной компоненты фотосферного магнитного поля (тип 1), примерно равно количеству волокон, пересекающих нулевую линию (тип 2). Долготные распределения волокон типов 1 и 2 за весь рассматриваемый интервал времени (с августа 2000 по март 2003 гг.) заметно различались между собой. Сравнение долготных распределений волокон двух типов и границ секторов радиальной компоненты крупномасштабного магнитного поля на разных высотах показало их существенное различие.

FILAMENTS AND THE HIGH-ALTITUDE STRATIFICATION OF THE LARGE-SCALE MAGNETIC FIELD OF THE SUN, by *N.I. Shtertser, N.N. Stepanian, G.V. Rudenko, V.G. Fainshtein*. According to observations of filaments in the HeI 1083 nm line it is obtained that the quantity of filaments, parallel to the zero lines of the radial component of the photosphere magnetic field (type 1), is approximately equal to the quantity of filaments, which intersect the zero line (type 2). The longitudinal distributions of the filaments of types 1 and 2 in the entire interval of time (from August 2000 to March 2003) differ noticeably from each other. The comparison of longitudinal distributions of the filaments of two types and boundaries of the sectors of the radial component of the large-scale magnetic field at different heights showed their essential difference.

Ключевые слова: Солнце, волокна

1 Введение

Наиболее распространено утверждение, что по наблюдениям в линии H_{α} волокна лежат на нулевых линиях крупномасштабного магнитного поля. На этом основании Мак Интош (1976) разработал метод определения структуры крупномасштабного магнитного поля. В дальнейшем этот метод широко использовался многими авторами, в частности Макаровым (1984), Тлатовым (2006), Котовым и др. (1977), Котовым и Степанян (1980), Степанян (1985). Но известно также, что существуют и другие виды волокон. В работе Жигалкин и др. (2008) по наблюдениям в линии HeI 1083 нм выделено 3 класса волокон:

1. Волокна, разделяющие структуры крупномасштабного магнитного поля противоположных знаков.

2. Волокна, связанные с активными областями (соединяющими области поля противоположных знаков, кольцевые, сигмоидные и др.).
3. Волокна, связанные с корональными дырами.

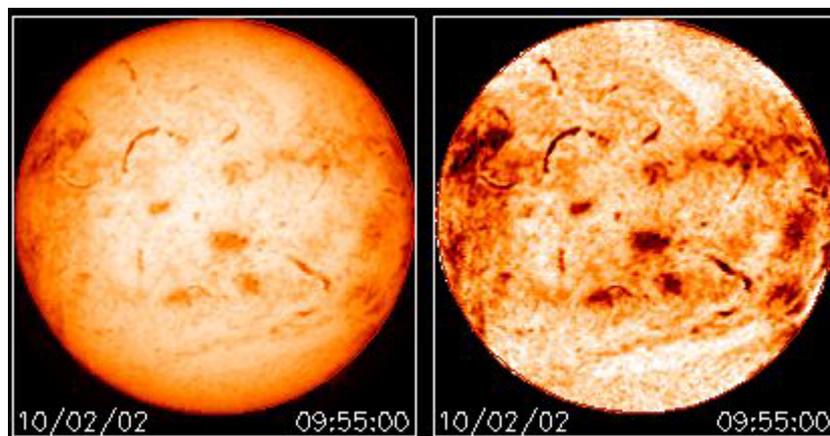


Рис. 1. Изображение Солнца в линии HeI 1083 нм 10 февраля 2002 г. Слева – необработанное изображение, справа – изображение, исправленное за потемнение к краю диска. Белые области – корональные дыры, темные неправильной формы – активные области, темные вытянутые образования – волокна

Большинство волокон относятся к первым двум классам. Следует отметить, что такое деление строится на представлении, что волокно – сплошное протяженное образование. Но во многих работах показано, что волокно в большинстве случаев состоит из отдельных узлов или петельных структур, являющихся биполярными образованиями (Жигалкин и др., 2008).

Настоящая работа выполнена в рамках цикла работ группы авторов, посвященного изучению связи эволюции активных образований с местом их возникновения. В этот цикл входят работы, выполненные в 2010 и 2011 гг. (Файнштейн и др., 2011; Малащук и др., 2011; Перебейнос и др., 2011). В первой из них (Файнштейн и др., 2011) показано, что существует два типа границ униполярных структур крупномасштабного магнитного поля. Они различаются временем жизни, скоростью обращения и высотной стратификацией.

В данной статье все наблюдаемые волокна были разделены на два типа:

- параллельные нулевой линии крупномасштабного магнитного поля;
- пересекающие ее или упирающиеся в нулевую линию под углом более 30° .

Исследуется пространственное распределение этих волокон и связь с двумя типами нулевых линий крупномасштабного магнитного поля.

2 Исходный материал

В работе использовано 3 вида данных.

1. Изображения Солнца в линии HeI 1083 нм, полученные с помощью универсального спектрофотометра на телескопе БСТ-2 НИИ «КраО» (Степанян и др., 2000).

Из наблюдений с августа 2000 года по март 2003 года (кэррингтоновские обороты CR1965–CR2000) были отобраны изображения Солнца с волокнами, расположенными в широтной зоне $\pm 40^\circ$. Пример этих наблюдений дан на рис. 1.

2. Синоптические карты радиальной компоненты магнитного поля Солнца на разных высотах.

Карты получены из ежедневных наблюдений фотосферного магнитного поля обсерватории Китт-Пик. Методика расчета поля на разных высотах описана в (Файнштейн и др., 2011). Синоптические карты строились для следующих высот:

H 0–1 R_{\odot} (фотосфера), H 1–1.25 R_{\odot} , H 2–1.5 R_{\odot} , H 3–1.75 R_{\odot} , H 4–2 R_{\odot} , H 5–2.25 R_{\odot} , H 6–2.5 R_{\odot} (поверхность источника). Здесь R_{\odot} – радиус Солнца.

Пример полученных синоптических карт на двух высотах с нанесенными нулевыми линиями магнитного поля дан на рис. 2.

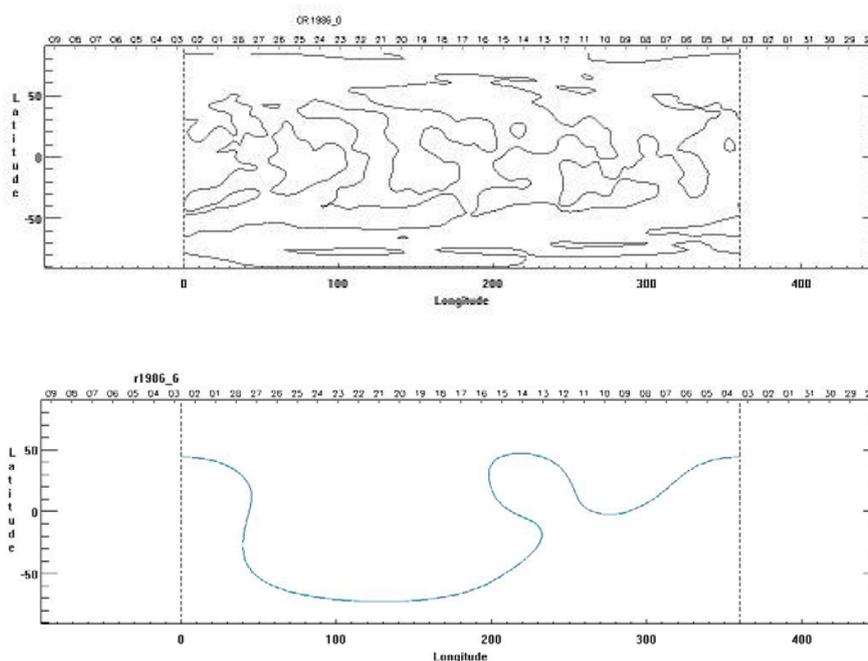


Рис. 2. Синоптические карты кэррингтоновского оборота CR1986 для высот H0 и H9

3. Долготное распределение секторных границ крупномасштабного магнитного поля на разных высотах.

Для определения секторной структуры Солнца в рассматриваемом широтном интервале была проведена следующая операция. На всех синоптических картах отдельно для каждого полушария и каждой высоты находились долготные распределения средних полей, полученных при осреднении карт по широте в интервале 0° – 40° . Область вдоль долготы, занятую средним полем одного знака, назовем сектором. Точки, в которых поле равно нулю, – границами секторов. Во всех случаях отдельно фиксировались точки перехода поля при росте долготы от «+» к «-» (граница +/-) и от «-» к «+» (граница -/+).

Подробно методика построения секторов и их изменение в 23-м цикле изложены в работе (Файнштейн и др., 2011). Расположение границ секторов двух типов (+/- и -/+) на высоте 1.1 R_{\odot} в N-полушарии для рассматриваемого временного интервала представлено на рис. 3.

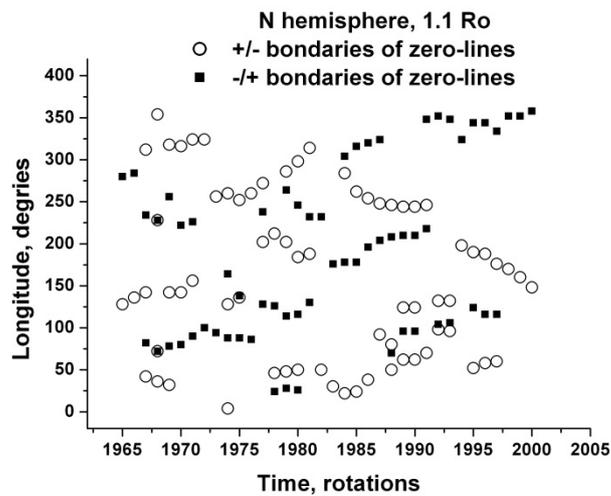


Рис. 3. Долготное распределение границ секторов двух типов +/- (полые кружки) и -/+ (черные квадраты) на высоте 1.1 Ro в N-полушере

3 Обработка и анализ наблюдений

Все отобранные наблюдения (191 солнечный диск) были нормированы, переведены в гелиографические координаты и нанесены на синоптические карты магнитного поля на разных высотах. Пример полученной карты для оборота CR1986 на уровне фотосферы (H0) дан на рис. 4. Для каждой высоты получено 32 карты.

По картам для высоты H0 (фотосфера) все волокна были разделены на два вышеназванные класса: параллельные нулевым линиям и расположенные под углом $\geq 30^\circ$ к ним. Для краткости назовем их перпендикулярными нулевым линиям. Каждое волокно входило в полученную базу данных столько раз, сколько суточных наблюдений для него имелось.

Из всего массива данных (722 волокна) 333 были параллельны нулевым линиям и 389 перпендикулярны им.

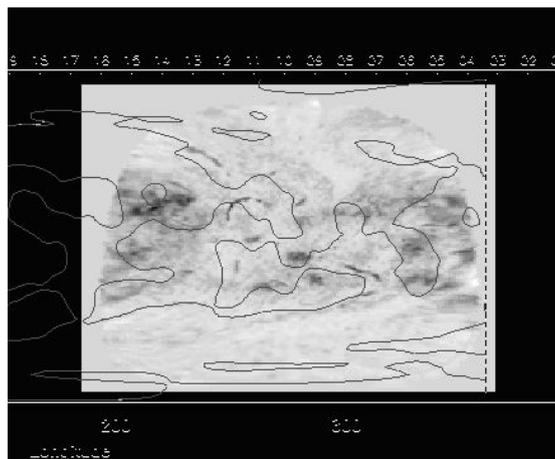


Рис. 4. Участок синоптической карты с нанесенными наблюдениями Солнца в линии HeI λ 1083 нм 10.02.2002 (кэррингтоновский оборот CR1986). Черные линии – нулевые линии радиальной компоненты магнитного поля на высоте H0

Были определены координаты L , ϕ всех волокон. Построены изменения со временем долготных распределений волокон отдельно для двух полушфер для каждого типа волокон. В качестве примера на рис. 5 показано долготное распределение волокон в S-полушфере.

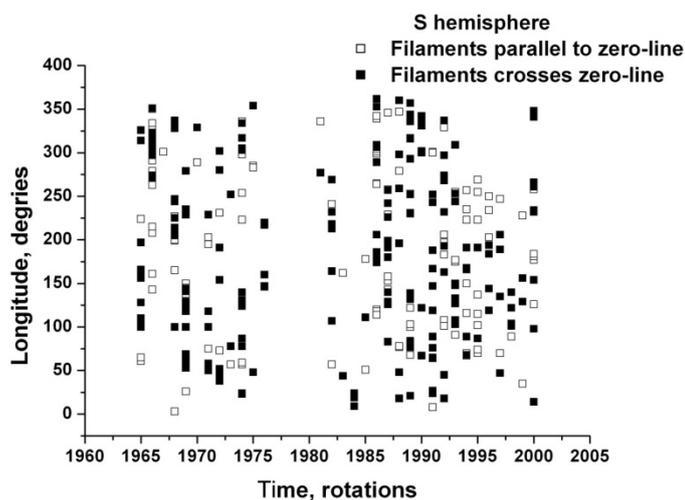


Рис. 5. Долготное распределение волокон в S-полушфере. Полые квадраты – волокна, параллельные нулевым линиям, сплошные квадраты – волокна, перпендикулярные нулевым линиям. Для оборотов CR1977 – CR1980 нет данных

3.1 Сравнение долготных распределений волокон и нулевых линий крупномасштабного магнитного поля на разных высотах

На синоптические карты магнитного поля, построенные для нескольких высот, были наложены изображения Солнца в линии HeI 1083 нм. На каждой карте подсчитывалось число волокон, перпендикулярных нулевым линиям и параллельных им. Конечно, с ростом высоты уменьшалось число нулевых линий, а следовательно, и совпадений с ними волокон. Нас интересовало изменение с высотой соотношения числа совпадений двух типов волокон с нулевыми линиями. На уровне фотосферы число перпендикулярных и параллельных нулевым линиям волокон, как было сказано выше, по нашему материалу составило 389 и 333 соответственно. На рис. 6 представлено изменение с высотой числа волокон этих двух типов в % от их числа на уровне R_0 .

Для параллельных нулевым линиям волокон с высотой связь с нулевыми линиями теряется быстрее, чем для перпендикулярных волокон. На высоте $1.5 R_0$ она достигает 20 %. Выше $2 R_0$ связь волокон с нулевыми линиями можно считать случайной.

3.2 Долготное распределение волокон и секторные границы крупномасштабного магнитного поля

Долготные распределения волокон двух видов за все время наблюдений были представлены в виде гистограмм. Для N-полушферы они показаны на рис. 7. По гистограммам можно говорить о долготных зонах шириной около 40° , в которых число волокон превышает среднее значение на $\geq 40\%$. Назовем их условно активными долготами волокон. Можно также выделить

интервалы долгот, в которых в два раза меньше волокон, чем в среднем (пассивные долготы). Результаты подсчетов представлены в таблице 1.

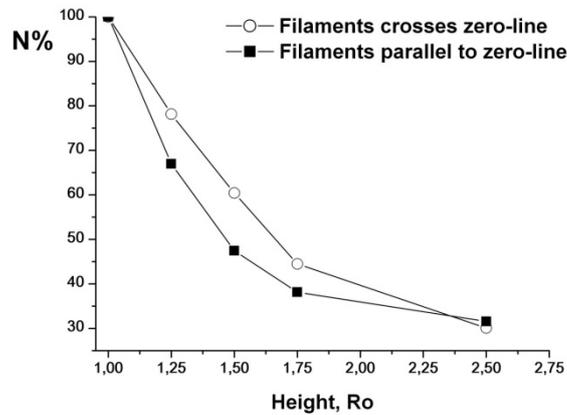


Рис. 6. Изменение числа волокон, перпендикулярных (полые кружки) и параллельных (черные квадраты) нулевым линиям, на высотах от R_o до $2.5 R_o$

Таблица 1. Активные и пассивные долготы волокон в интервале оборотов CR1965 – CR2000

Полусфера и класс волокон (параллельны 0-линии, перпендикулярны 0-линии)	Среднее число волокон в интервале долгот 20°	Активные долготы		Пассивные долготы	
		Интервалы долгот, градусы	Количество волокон, % от среднего значения	Интервалы долгот, градусы	Количество волокон, % от среднего значения
N, параллельны	10.1	90 – 130	188	310 – 360	50
N, перпендикулярны	8.8	40 – 80	140	360 – 20	53
N, перпендикулярны	8.8	180 – 260	146		
S, параллельны	6.8	120 – 220	140	360 – 20	26
S, перпендикулярны	10.8	160 – 190	148	360 – 30	46

Долготные распределения секторных границ крупномасштабного магнитного поля были также представлены в виде гистограмм. Для высоты R_o в N-полусфере они даны на рис. 8 отдельно для границ $-/+$ и $+/-$.

Проведенное исследование связей между долготными распределениями волокон двух классов и секторными границами крупномасштабного магнитного поля показало, что эти распределения значительно различаются в целом по всему рассмотренному материалу. В частности, на рис. 8 максимальное число границ $-/+$ приходится на долготы 80° , 220° и 320° . Максимумы числа $+/-$ границ расположены на долготах 40° , 180° и 300° . Примерно на тех же долготах расположены максимумы на больших высотах. Это не совпадает ни с одной активной долготой волокон в N-полусфере (см. табл. 1 и рис. 7).

Подсчет конкретных совпадений долгот волокон каждого типа с $+/-$ и $-/+$ границами секторов выявило лишь менее частое совпадение волокон, параллельных нулевым линиям, с хейловскими границами, чем с границами противоположного знака. Различие составляет около 20 % общего числа совпадений. Для волокон, пересекающих секторные границы, подобных

Волокна и высотная стратификация

различий не наблюдается. Напомним, что хейловскими называются границы, разделяющие хвостовую и головную части большинства активных областей в данной полусфере и данном 11-летнем цикле. Для рассматриваемого 23-го цикла активности в N-полусфере хейловская граница $-/+$.

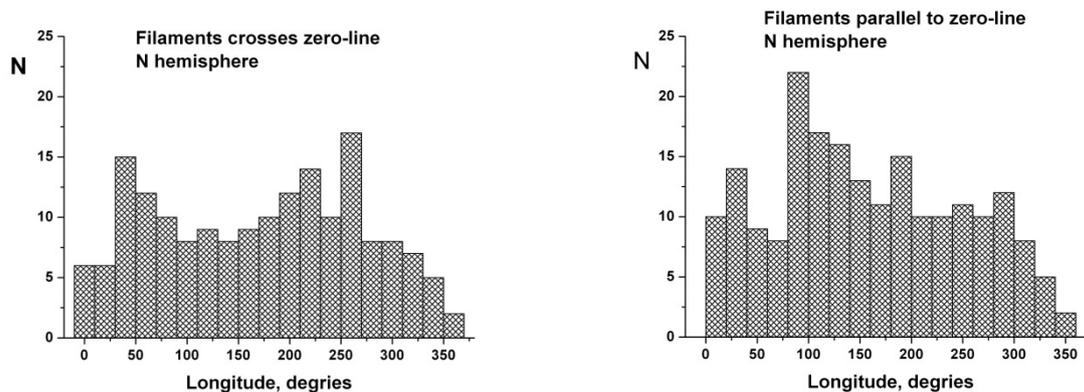


Рис. 7. Гистограммы долготных распределений волокон двух видов в N-полусфере. Слева – волокна, пересекающие нулевую линию, справа – параллельные ей

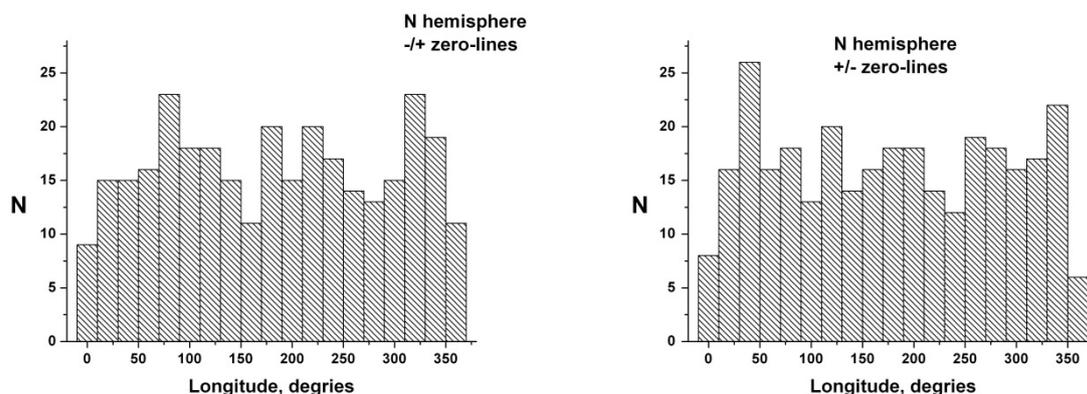


Рис. 8. Распределения $-/+$ (левый рисунок) и $+/-$ (правый рисунок) границ секторов крупномасштабного магнитного поля в N-полусфере на высоте R_0

4 Результаты

Сформулируем кратко полученные результаты.

- По наблюдениям в линии HeI $\lambda 1083$ нм количество волокон, параллельных нулевым линиям радиальной компоненты фотосферного магнитного поля (тип 1), примерно равно количеству волокон, пересекающих нулевую линию (тип 2).
- Долготные распределения волокон типов 1 и 2 за весь рассматриваемый интервал времени (с августа 2000 года по март 2003 года) заметно различались между собой. В N-полусфере можно выделить одну активную долготу для волокон типа 1 и 2. В S-

полусфере по одной активной долготе у обоих типов волокон. Сравнение долготных распределений волокон и границ секторов радиальной компоненты крупномасштабного магнитного поля на разных высотах показало их существенное различие.

- Сопоставление совпадений долгот отдельных волокон двух типов с $-/+$ и $+/-$ границами секторов выявило понижение на 20 % концентрации волокон типа 1 у хейловских границ. Волокна второго типа не показывают таких различий.
- Сравнение долготных распределений волокон и нулевых линий крупномасштабного магнитного поля на разных высотах показало, что для волокон типа 1 с высотой связь с нулевыми линиями теряется быстрее, чем для волокон типа 2. Выше $2 R_0$ связь волокон с нулевыми линиями можно считать случайной.

Литература

- Жигалкин Р.К., Руденко Г.В., Степанян Н.Н., Файнштейн В.Г., Штерцер Н.И. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 2008. Т. 104. № 1. С. 93.
- Котов В.А., Степанян Н.Н. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 1980. Т. 62. С. 117.
- Котов В.А., Степанян Н.Н., Щербакова З.А. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 1977. Т. 56. С. 75.
- Макаров В.И. // Солнечные данные. 1984. № 9. С. 52.
- Мак-Интош П. // Наблюдения и прогноз солнечной активности. М.: Мир. 1976. С. 43.
- Малашук и др. (Malashchuk V.M., Rudenko G.V., Stepanian N.N., Fainshtein V.G.) // Bull. Crimean Astrophys. Observ. 2011. V. 107. P. 60.
- Перебейнос и др. (Perebeynos V.A., Stepanian N.N., Fainshtein V.G., Rudenko G.V.) // Bull. Crimean Astrophys. Observ. 2011. V. 107. P. 43.
- Степанян Н.Н. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 1985. Т. 71. С. 62.
- Степанян Н.Н., Долгополова Е.В., Елизаров А.И., Маланушенко Е.В., Парчевский К.В., Суница Г.А. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 2000. Т. 96. С. 194.
- Тлатов А.Г. // Долговременные вариации вращения и распределения крупномасштабных магнитных полей Солнца. Диссертация. Санкт-Петербург. 2006.
- Файнштейн и др. (Fainshtein V.G., Stepanian N.N., Akhtemov Z.S., Rudenko G.V., Silakova E.V.) // Bull. Crimean Astrophys. Observ. 2011. V. 107. P. 51.