

УДК 523.94

Протяженные и кольцевые волокна и подстилающие их поверхности по наблюдениям в хромосферных и корональных линиях

Э.А. Барановский, Н.Н. Степанян, В.П. Таращук, Н.И. Штерцер

ФГБУН “Крымская астрофизическая обсерватория РАН”, Научный, Крым, 298409
edward@crao.crimea.ru

Поступила в редакцию 1 октября 2016 г.

Аннотация. Исследованы физические условия в протяженных и кольцевых волокнах и в их подложках. Между протяженными и кольцевыми волокнами существуют заметные различия в устойчивости их внешнего вида и в средних характеристиках физических условий в них. Протяженные волокна более устойчивы и за время прохождения по диску мало меняют свою структуру не только в хромосфере, но и в короне. То же относится к подложкам протяженных волокон. Из наблюдений волокон в хромосферных и корональных линиях видно, что протяженные волокна часто достигают больших высот, чем кольцевые. Так, все просмотренные протяженные волокна длиной более 40 градусов по долготе или широте (не только приведенные в этой статье) наблюдались в хромосферных и корональных линиях вместе со своими подложками. Часть кольцевых волокон обычно наблюдается в хромосфере, в короне видны только их подложки.

EXTENDED AND CIRCLED FILAMENTS AND UNDERLYING SURFACES OBSERVED IN CHROMOSPHERIC AND CORONAL LINES, *by E.A. Baranovsky, N.N. Stepanian, V.P. Taraschuk, N.I. Shtertser.* The physical conditions in the extended and circled filaments and underlying surfaces are investigated. There are noticeable differences between the extended and circled filaments in their appearances and average physical conditions. The extended filaments are more stable and over the time of moving across the disk their appearance changes slightly both in the chromosphere and corona. The same relates to underlying surfaces of the extended filaments. The observations of filaments in chromospheric and coronal lines show that the extended filaments often reach greater heights than the circled filaments. All the considered extended filaments longer than 40 degrees by longitude or latitude (not only used in this paper) were observed in chromospheric and coronal lines with their underlying surfaces. A part of the circled filaments is observed only in the chromosphere. In corona only their underlying surfaces are seen.

Ключевые слова: хромосфера, корона, волокна

1 Введение

На солнечном диске всегда наблюдаются в линии H_{α} и других линиях темные волокна и яркие полосы вдоль волокон. Изучение физических условий в волокнах проводится обычно по наблюдениям за лимбом, когда они видны как яркие протуберанцы. Хесли, Михалас (1976),

Хесли, Милкей (1976), Уик и др. (1992), Гуттеброс и др. (1993) в своих работах рассчитали профили линии H_{α} для разных параметров моделей протуберанцев. Сравнивая расчетные профили с наблюдаемыми, авторы получили значения некоторых параметров моделей протуберанцев (температуру, плотность). В то же время расчеты показали, что полученные модели не объясняют некоторые наблюдательные данные, например, соотношение между линиями H_{α} и H_{β} и между H_{α} и линией К Ca II.

Яркие полосы вдоль волокон описывались в литературе неоднократно, но определение физических условий в них было сделано только в нашей предыдущей работе (Барановский и др., 2016) по наблюдениям в линиях HeI 1083 нм и H_{α} . Были получены модели хромосферы, объясняющие основные свойства полосок.

Мы продолжаем эти исследования по новым наблюдениям волокон в хромосферных и корональных линиях. Рассматриваются протяженные и кольцевые волокна с целью определения различий физических условий в них.

2 Наблюдательный материал

Были использованы наблюдения Солнца в линиях: H_{α} (BBSO, Концельхое, КрАО), HeI 1083 нм (КрАО), Fe XII 19.3 нм, 17.4 нм и 30.4 нм (SDO/AIA).

Анализ проводился для 6 волокон. Дни наблюдений и характеристики изменений волокон приведены в таблице 1.

Таблица 1. Анализируемые волокна

№ п/п	Даты наблюдений	Тип волокна	Характер изменений
1	24.08.2015–1.09.2015	протяженное вдоль меридиана	За время прохождения по диску почти не меняло форму и яркость.
2	24.04.2015–5.05.2015	протяженное вдоль долготы	За время прохождения по диску мало меняло форму и яркость.
3	19.01.2015–28.01.2015	кольцевое	Северная часть кольца менялась по яркости, временами исчезала. Два дня внутри кольца имелись флоккулы.
4	10.11.2015–18.11.2015	кольцевое	Большое кольцо $20^{\circ} \times 20^{\circ}$ с флоккулом и АО внутри. АО слабеет и пропадает. Разрывы волокна в разных местах.
5	16.06.2016–25.06.2016	кольцевое	Небольшое волокно, слабое в H_{α} , расположено в корональной дыре. В линии 19.3 нм внутри волокна яркая спиральная структура. В H_{α} яркость часто меняется.
6	28.06.2016–7.07.2016	кольцевое	Большое волокно (40° по широте и 20° по долготе) с флоккулами внутри. Яркость волокна сильно меняется ото дня ко дню.

Все изучаемые волокна вышли из-за восточного края диска и зашли за западный край, т. е. их время жизни больше, чем 13.5 суток. Наши наблюдения охватывают меньший интервал. Они не включают наблюдения вблизи края диска.

Рассмотрение волокон показало, что протяженные волокна устойчивы. Все время прохождения по диску они практически не меняли форму и размеры. Это справедливо для наблюдений в хромосфере и короне.

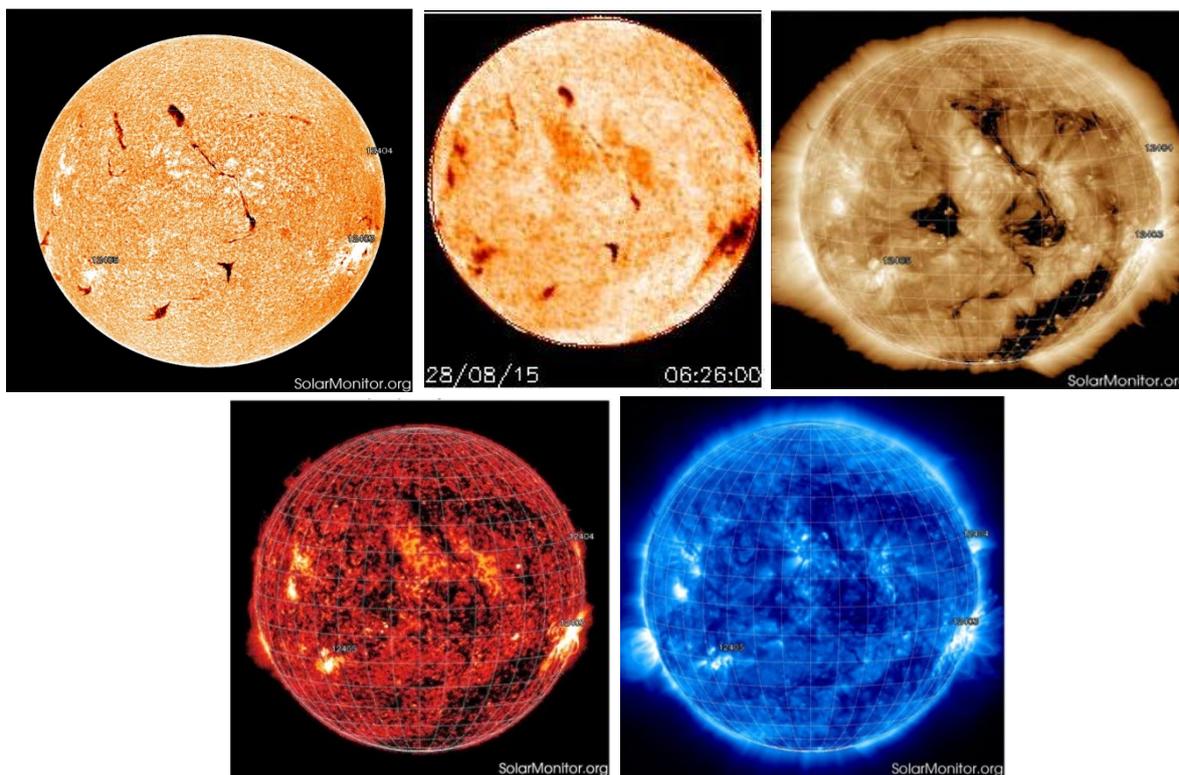


Рис. 1. Волокно № 1 28.08.2015 г. в линиях: H_{α} , HeI 1083 нм, 19.3 нм (верхний ряд слева направо), в линиях 30.4 нм, 17.4 нм (нижний ряд слева направо)

Кольцевые волокна за время прохождения по диску несколько раз меняли яркость отдельных узлов. Наблюдалось их исчезновение и восстановление через некоторое время.

Внутри кольцевых волокон временами возникают флоккулы и даже небольшие активные области. Подложка кольцевых волокон более устойчива.

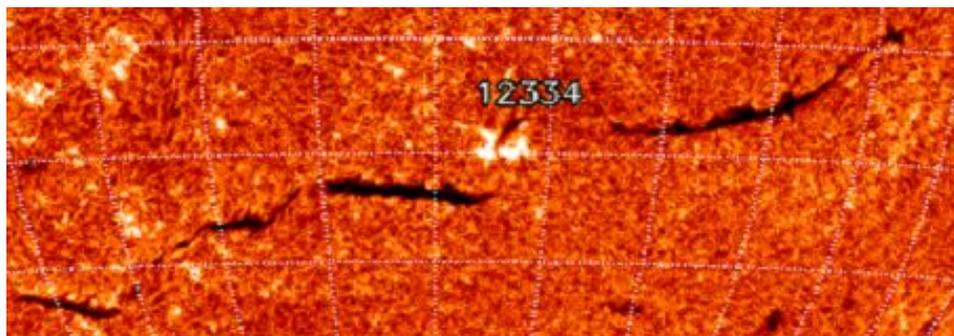
На рис. 1 представлены изображения протяженного волокна № 1 28 августа 2015 г. во всех рассмотренных спектральных линиях.

Для остальных волокон на рис. 2 даны изображения волокон вблизи центрального меридиана в линии H_{α} .

3 Обработка наблюдений

Обработка наблюдений состояла в определении интенсивности отдельных ядер волокон и близких к ним мест подложки в единицах интенсивности невозмущенного диска для каждой из рассмотренных линий.

Интенсивность невозмущенного диска определялась как максимум гистограммы распределения интенсивности по числу пикселей на всем диске. Весь массив данных делился на максимум гистограммы. Волокна наблюдались по несколько дней. Для каждого волокна и подложки определялись интенсивности в 8–10 точках для 5 линий. Затем проводилось усреднение интенсивностей по дням в каждой линии для каждого волокна. В таблице 2 даны средние интенсивности в волокнах (Волок.) и подложках (Подлож.) отдельных протяженных и кольцевых волокон в каждой из наблюдаемых линий. Ошибки определения среднего значения для протяженных волокон равны 0.01–0.015, для кольцевых волокон равны 0.02.



Волокно № 2, 2 мая 2015 г.

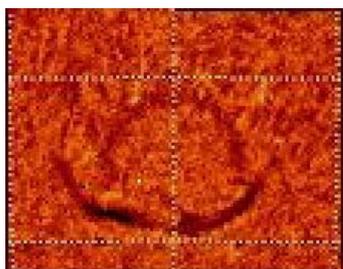
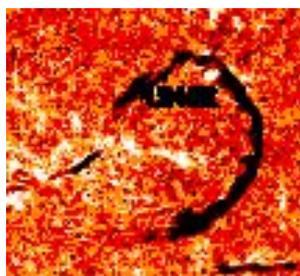
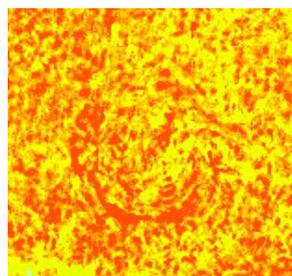
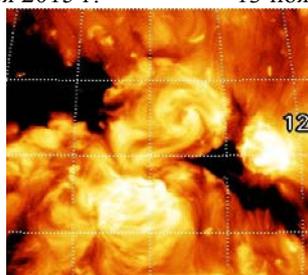
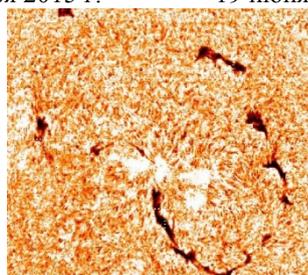
Волокно № 3,
24 января 2015 г.Волокно № 4,
13 ноября 2015 г.Волокно № 5,
19 июня 2016 г., H_α Волокно № 5,
19 июня 2016 г., 19.3 нмВолокно № 6,
2 июля 2016 г.

Рис. 2. Вид волокон в линии H_α . Для волокна № 5 19 июня 2016 г. представлены изображения в линиях H_α и 19.3 нм

Таблица 2. Средние наблюдаемые интенсивности волокон и подложек

Тип волокна	H_α		1083 нм		19.3 нм		30.4 нм		17.4 нм	
	Волок.	Подлож.	Волок.	Подлож.	Волок.	Подлож.	Волок.	Подлож.	Волок.	Подлож.
протяженное	0.77	1.07	0.94	1.015	0.52	3.95	0.60	4.4	0.66	1
кольцевое	0.89	1.55	0.95	1.02	0.63	4.0	0.56	3.4	0.42	1

Из таблицы 2 видно, что во всех случаях средняя наблюдаемая интенсивность подложки больше интенсивности волокна и больше интенсивности невозмущенного диска (кроме наблюдений в линии 17.4 нм).

4 Расчеты интенсивностей и сравнение с наблюдениями в H_α и HeI 1083 нм

Для объяснения наблюдаемых интенсивностей волокон и подложки сделаны вычисления яркости для различных моделей хромосферы и переходного слоя.

Протяженные и кольцевые волокна...

Построение моделей по наблюдениям в H_{α} и HeI 108.3 нм проводилось по не-ЛТР программе. По моделям рассчитывались контуры всех линий. Интенсивность излучения в центре линий затем сравнивалась с наблюдаемым распределением интенсивности в исследуемых объектах.

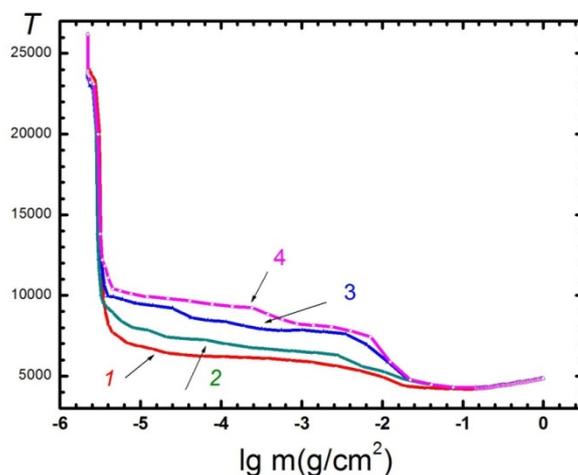


Рис. 3. Модели подложек протяженного и кольцевого волокон. 1 – невозмущенное Солнце, 2, 3 – подложка протяженного волокна, 4 – подложка кольцевого волокна

Таблица 3. Средние температура и плотность в волокнах

Спектральная линия	Температура, К			
	Протяженное волокно		Кольцевое волокно	
	волокно	подложка	волокно	подложка
H_{α}	8500	8000	7000	9000
HeI	22000	23200	22200	23000
Спектральная линия, нм	Плотность в единицах невозмущенной плотности			
	Протяженное волокно		Кольцевое волокно	
	волокно	подложка	волокно	подложка
19.3	0.67	1.7	0.77	1.96
17.4	1.3	1	2.4	1
30.4	1.4	2.1	2.0	1.9

Для подложки использована обычная схема полубесконечной среды, а волокна рассматривались как объекты конечных размеров, освещаемые солнечным излучением.

По оценкам (Уик и др., 1992) температура вещества в волокнах равна 7000–12000 К, а плотность 10^{10} – 10^{12} г/см³. Мы начали подбор моделей волокон с параметрами, лежащими в этих пределах. При расчетах моделей волокон необходимо учитывать наличие переходной области между волокном и короной (Хесли, Милкей, 1976). Эта область аналогична переходной области между хромосферой и короной, и здесь присутствует вещество с температурой 10000–40000 К и плотностью 10^9 – 10^{12} г/см³.

При расчетах вычисляется собственное излучение волокна и излучение от подложки, лежащей под волокном. Обе величины сравнимы, так как оптическая толщина волокна в линиях HeI и H_{α} порядка единицы.

По данным для H_{α} мы определили температуру волокна. От температуры зависит оптическая толща волокна в линии H_{α} и, соответственно, степень ослабления волокном идущего снизу излучения. Сравнивая вычисленные интенсивности волокна с наблюдаемыми интенсивностями, мы определили величину температуры.

Такие же расчеты сделаны для линии HeI 1083 нм и определена температура в переходной области между волокном и короной.

На рис. 3 приведены модели подложки, полученные по наблюдениям подложек волокон.

Численные значения температуры и плотности даны в таблице 3. Следует иметь в виду, что определение плотности относится к корональной области над волокнами и подложкой.

Перечислим полученные различия в физических условиях в протяженных и кольцевых волокнах по наблюдениям в волокнах и их подложках.

- Кольцевое волокно в линии H_{α} холоднее в самом волокне и горячее в подложке. Для протяженного волокна картина обратная.
- В линии HeI в протяженном и кольцевом волокнах подложка всегда горячее волокна.
- Модели подложки волокна в H_{α} дают для подложки кольцевого волокна всегда более высокую температуру, чем в протяженном волокне. Для линии HeI для обоих типов волокон температура примерно одинакова.
- Расчеты плотности в волокне и подложке по корональным линиям 19.3 нм и 30.4 нм показывают более высокую плотность в подложке, чем в волокне.
- Кольцевые волокна видны в корональных линиях не всегда. Иногда над хромосферными кольцевыми волокнами в короне видна только их яркая подложка.
- Наблюдения в течение нескольких дней одного кольцевого волокна, в хромосфере и короне, показали постепенный рост плотности подложки по сравнению с плотностью волокна. Из этого может следовать, что корональное вещество над кольцевым волокном переходит в подложку. В случае, если в корональных линиях кольцевое волокно не видно, можно заключить, что корональное вещество над кольцевым волокном не перетекает в область подложки.

5 Выводы

Между протяженными и кольцевыми волокнами существуют заметные различия в устойчивости их внешнего вида и в средних характеристиках физических условий в них.

Протяженные волокна более устойчивы и за время прохождения по диску мало меняют свою структуру не только в хромосфере, но и в короне. То же относится к подложкам протяженных волокон.

Из наблюдений волокон в хромосферных и корональных линиях видно, что протяженные волокна часто достигают больших высот, чем кольцевые. Все просмотренные протяженные волокна длиной более 40 градусов по долготе или широте (не только приведенные в этой статье) наблюдались в хромосферных и корональных линиях вместе со своими подложками. Часть кольцевых волокон наблюдалась в хромосфере, в короне видны только их подложки.

Литература

- Барановский Э.А., Степанян Н.Н., Тарашук В.П., Штерцер Н.И. // *Astron. Rep.* 2016. № 8. С. 24.
 Гуттеброз и др. (Gouttebroze P., Heinzel P., Vial J.C.) // *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.* 1993. V. 99. P. 513.
 Хесли, Михалас (Heasley J.N., Mihalas D.) // *Astrophys. J.* 1976. V. 205. P. 273.
 Хесли, Милкей (Heasley J.N., Milkey R.W.) // *Astrophys. J.* 1976. V. 210. P. 827.
 Уик и др. (Wiik J.E., Heinzel P., Schmieder B.) // *Astron. Astrophys.* 1992. V. 260. P. 419.