

УДК 523-98

## НОВЫЕ МЕТОДЫ РАЗДЕЛЕНИЯ ЯРКОСТИ К- И F-КОРОНЫ: СРАВНЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ И ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СВОЙСТВ БЕЛОЙ КОРОНЫ

<sup>1</sup> В.Г. Файнштейн, <sup>1</sup> Л.К. Кашапова, <sup>2</sup> Д.М. Цивилева

## NEW METHODS OF K- AND F-CORONA BRIGHTNESS SEPARATION: COMPARISON OF POSSIBILITIES AND APPLICATION FOR RESEARCH INTO WHITE CORONA PROPERTIES

<sup>1</sup>V.G. Fainshtein, <sup>1</sup>L.K. Kashapova, <sup>2</sup>D.M. Tsivileva

С помощью новых методов разделения яркости К- и F-короны авторами впервые получены непрерывные по широте  $\theta$  распределения яркости К- и F-короны ( $B_K(\theta, R)$  и  $B_F(\theta, R)$ ) на различных расстояниях от центра Солнца  $R$ . Сопоставлены свойства распределений  $B_K(\theta, R)$  и  $B_F(\theta, R)$ , найденных двумя новыми методами разделения яркости К- и F-короны. Впервые получены радиальные зависимости ряда особенностей распределений по широте яркости F-короны.

Using new methods of K- and F-corona brightness separation, the authors first obtained K and F coronas ( $B_K(\theta, R)$  and  $B_F(\theta, R)$ ) continuous in their brightness distribution latitude, at different distances from the Sun center  $R$ . The properties of  $B_K(\theta, R)$  and  $B_F(\theta, R)$  found using new methods of K- and F-corona brightness separation were compared. Radial dependences of a few distribution peculiarities of F-corona's brightness latitude were obtained for the first time.

### Введение

Наиболее полно физические свойства короны можно выяснить, выделив из полной яркости белой короны яркость К-короны и F-короны и отдельно изучив каждую из этих составляющих свечения короны. Для разделения яркости К- и F-короны предложено несколько эмпирических методов, позволяющих решить эту задачу с той или иной точностью [1–5]. При этом методы [1–4] опираются на такие упрощающие предположения, как отсутствие поляризации излучения F-короны и/или сферическая (или осевая) симметрия К-короны. В то же время первое предположение справедливо лишь до относительно небольших расстояний в короне, а второе является очень грубым вследствие сильной неоднородности короны по всем координатам. Эти приближения могут заметно влиять на точность разделения К- и F-короны. Существенным недостатком методов [1–5] разделения яркости К- и F-короны является их относительно высокая «трудоемкость». Это затрудняет применение данных методов для оперативной обработки больших массивов изображений. В работе [6] предложен сравнительно простой по технологии метод разделения К- и F-короны по данным SOHO/LASCO, не опирающийся, как и метод [5], на указанные выше предположения, но, в отличие от метода [5], являющийся относительно «быстрым». Это позволяет с его помощью провести масштабные исследования свойств К- и F-короны на большом статистическом материале. Есть основания полагать, что метод [5] более точен, чем метод [6]. Поэтому важно сравнить результаты применения двух методов для анализа одних и тех же изображений белой короны и, при необходимости, откалибровать метод [6] по результатам метода [5].

Несмотря на существование разных методов разделения яркости К- и F-короны, до последнего времени не были получены сведения о многих важных свойствах К- и F-короны, и, прежде всего, о свойствах широтных распределений этих компонент белой короны. Недавно для двух изображений короны с использованием упрощенного варианта метода [5] и

метода [6] авторами впервые были получены непрерывные распределения яркости К- и F-короны по широте на различных расстояниях [7].

В настоящей работе реализована полная версия метода [5], а его трудоемкость сокращена за счет автоматизации ряда процедур. Методы [5] и [6] одновременно применены для разделения яркости К- и F-короны нескольких изображений белой короны, зарегистрированных коронографами SOHO/LASCO. Двумя методами получены и сопоставлены непрерывные широтные (в плоскости неба) распределения яркости К- и F-короны на расстояниях от 3 до 25 радиусов Солнца. Приведены первые результаты исследований изменения с расстоянием основных характеристик широтных распределений яркости F-короны.

### Данные и методы исследования

Для анализа использовались калиброванные данные (см. [7]) коронографов LASCO C2 и C3, в которых минимизированы влияния рассеянного света, виньетирования и других искажений изображений. В данной работе для разделения яркости К- и F-короны был реализован метод [5]. В этом методе яркость F-короны в каждом пикселе изображения белой короны находилась как минимальное значение яркости за промежуток времени, равный 56 суткам, умноженное на корректирующий множитель «К», меняющийся от 0.9 до 1 в зависимости от расстояния. Этот интервал времени центрируется на дату, для которой производится разделение К- и F-короны.

Более быстрый метод разделения яркости К- и F-короны на данном расстоянии  $R$  в фиксированный момент времени  $t$  состоит из 4 этапов [6]: 1 находится максимальное значение яркости F-короны; 2 определяются значения яркости F-короны на полюсах; 3 находится широтное (по  $\theta$ ) распределение яркости F-короны  $B_F(R, \theta, t)$  между северным и южным полюсами Солнца; и 4 рассчитывается яркость К-короны по формуле  $B_K(R, \theta, t) = B(R, \theta, t) - B_F(R, \theta, t)$ , где  $B(R, \theta, t)$  – полная яркость белой короны. Здесь  $R$  – рас-

стояние от центра Солнца до точки наблюдения в плоскости неба,  $B(R, \theta, t)$  – полная яркость белой короны.

### Результаты

1. Двумя методами были построены распределения по широте яркости К- и F-короны  $B_K(\theta)$ ,  $B_F(\theta)$  для пяти изображений как на восточном лимбе (E), так и на западном (W). Полученные результаты проиллюстрируем для изображений 14.03.1997 (E) и 12.04.2006 (W).

На рис. 1, а показано изображение короны (LASCO C2), полученное 14.03.1997 (15:35). Разделение яркости К- и F-короны было проведено для восточного лимба, где виден яркий луч вблизи экватора. Этот луч соответствует участку пояса стримеров, почти перпендикулярному плоскости неба (обоснование этого см. в [6]). На рис. 1, б–д показаны распределения по широте полной яркости белой короны, яркости К-короны и F-короны для 14.03.1997 г. на нескольких расстояниях. Для этого изображения распределения  $B_K(\theta)$  и  $B_F(\theta)$  получены двумя методами [5, 6] лишь до  $R = 6R_0$ . На расстояниях  $R > 6R_0$  использовался только метод [6]. Сравнение распределений  $B_K(\theta)$  и  $B_F(\theta)$ , полученных двумя методами, позволяет в данном случае сделать вывод о хорошем качественном согласии форм распределений  $B_K(\theta)$  и  $B_F(\theta)$  в обоих случаях и о существовании в основном относительно небольших количественных различий для  $B_F(\theta)$  и заметных (до 25 % по интенсивности) для  $B_K(\theta)$ .

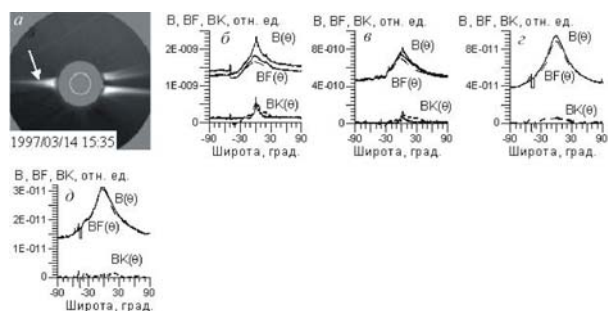


Рис. 1. Изображение белой короны 14.03.1997 (15:35) (а). Стрелкой показан яркий луч вблизи экватора, который отражается на распределениях яркости К-короны по широте; – распределения по широте полной яркости белой короны  $B(\theta)$ , яркости К-короны  $B_K(\theta)$  и F-короны  $B_F(\theta)$  для 14.03.1997 (15.35-C2, 15.44-C3): на расстояниях  $R=4R_0$  (б),  $R=6R_0$  (в),  $R=15R_0$  (г) и  $R=25R_0$  (д) (восточный лимб).

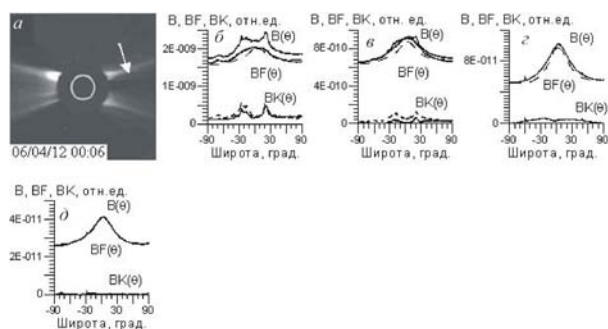


Рис. 2. То же, что на рис. 1, для 12.04.2006 (00.06-C2, 00.16-C3), западный лимб.

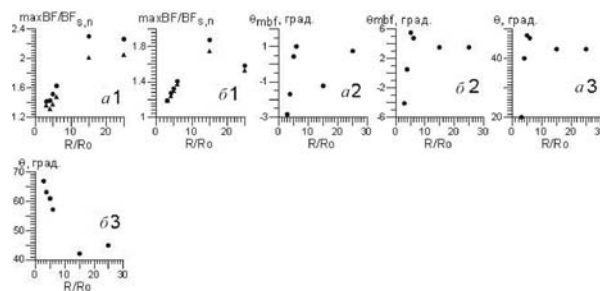


Рис. 3.  $a_1, b_1$  – радиальные изменения отношений максимального значения яркости F-короны  $\max B_F(R)$  к значениям яркости на южном ( $B_{Fsp}(R)$ ) и северном ( $B_{Fnp}(R)$ ) полюсах;  $a_2, b_2$  – зависимости от радиуса положения максимума яркости F-короны  $\theta_{mbf}$ ;  $a_3, b_3$  – изменения с расстоянием полуширины распределения по широте яркости F-короны  $\Delta\theta_F(R)$ . Здесь  $a_1, a_2, a_3$  относятся к 14.03.1997,  $b_1, b_2, b_3$  – к 12.04.2006 г.

Рисунок 2 иллюстрирует еще одну ситуацию, проявившуюся 12.04.2006. Для этого случая характерен яркий северо-западный луч на изображении короны (рис. 2, а). Этот луч отражает протяженный участок пояса стримеров, почти перпендикулярный плоскости неба, но расположенный на удалении от экватора к северу (обоснование этого см. в [6]). Различия для двух методов основных особенностей распределений яркости К- и F-короны сохраняют тенденции случая 14.03.1997 г. В то же время обращает на себя внимание существенное различие полуширины  $\Delta\theta_F$  распределений яркости F-короны, полученных двумя методами, и разный характер изменения  $\Delta\theta_F$  по мере уменьшения  $R$ . В первом случае  $\Delta\theta_F$  слегка уменьшается при переходе от  $R = 4R_0$  к  $R = 6R_0$ , во втором случае заметно возрастает. Есть основания считать, что  $\Delta\theta_F(R)$  может зависеть не только от времени, но и от других факторов. Роль этих факторов изучается, и результаты этого исследования будут представлены в следующей нашей работе.

2. Были исследованы изменения с расстоянием основных характеристик распределений по широте яркости F-короны. Все эти зависимости установлены впервые. Для расстояний  $R \leq 6R_0$  использовались результаты, полученные методом [5], а на расстояниях  $R > 6R_0$  – методом [6].

Рисунок 3,  $a_1, b_1$  иллюстрирует зависимости от расстояния отношений максимальных значений яркости F-короны к ее значениям на полюсах. Из этих зависимостей следует, что по мере уменьшения расстояния от центра Солнца распределение яркости F-короны по широте становится более однородным. На рис. 3,  $a_2, b_2$  приведены зависимости от радиуса положения максимума яркости F-короны, а на рис. 3,  $a_3, b_3$  показаны изменения с расстоянием полуширины распределения по широте яркости F-короны  $\Delta\theta_F(R)$ . Из рис. 3,  $a_1, b_1$  следует, что для обоих рассмотренных дат характерно смещение  $\theta_{mbf}$  к югу по мере уменьшения  $R$ . рис. 3,  $a_3, b_3$  свидетельствует о возможности принципиально различного характера изменения  $\Delta\theta_F(R)$ .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Blackwell D.E., Petford A.D. Observations of the 1963 July 20 solar eclipse // *Mon. Not. R. astr. Soc.* 1966. V. 131. P. 383–398.
2. Van de Hulst H.C. The electron density of the solar corona // *Bulletin of the Astronomical institutes of the Netherlands.* 1950. V. XI, N 410. P. 135–150.
3. Saito K., Poland A.I., Munro R.H. A study of the background corona near solar minimum // *Sol. Phys.* 1977. 55. P. 121–134.
4. Koutchmy S. Coronal physics from eclipse observations // *Adv. Space Res.* 1994. V. 14. N 4. P. 4(29)–4(39).
5. Hayes A.P., Vourlidas A., Howard R.A. Deriving the electron density of the solar corona from the inversion of total brightness measurements // *Astrophys. J.* 2001. V. 548, P. 1081–1086.
6. Файнштейн В.Г. Новый метод разделения яркости К- и F-короны по данным LASCO/SOHO // *Солнечно-земная физика.* 2007. Т. 10. С. 44–53.
7. Файнштейн В.Г. Некоторые свойства распределений яркости К- и F-короны по широте по данным SOHO/LASCO // *Астроном. журнал.* 2007. Т. 84. № 12 (в печати).

<sup>1</sup>Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск

<sup>2</sup>Иркутский государственный университет, Иркутск