

РОТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА КОРОНАЛЬНЫХ ПОЛЯРНЫХ ДЫР ПО ДАННЫМ SDO

Смирнова В.В., Королькова О.А., Соловьев А.А., Живанович И.
Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН, Санкт-Петербург, Россия

ROTATIONAL PROPERTIES OF POLAR CORONAL HOLES WITH SDO DATA

Smirnova V.V., Korolkova O.A., Solov'ev A.A., Zhivanovich I.
Central (Pulkovo) Astronomical Observatory RAS, St. Petersburg, Russia

According to solar observations at the Solar Dynamic Observatory, a new rotational effect was revealed in temporal variations of the area of polar coronal holes, with a period of 14 days. The rotational parameters of polar coronal holes were studied on the time-interval from 2010 to 2018 years. A simple theoretical explanation for the discovered rotational effect is proposed.

DOI: 10.31725/0552-5829-2019-353-356

Корональные дыры – долгоживущие крупномасштабные структуры с открытой конфигурацией магнитного поля – одно из важных проявлений солнечной активности. Несмотря на то, что наблюдения корональных дыр ведутся уже давно [1], их ротационные свойства (периодичность появления по мере вращения Солнца) остаются плохо исследованными.

В данной работе сообщается об обнаружении нового ротационного эффекта корональных дыр (КД) с периодом около 14 дней (полупериод вращения Солнца), который надежно выявлен в вариациях площадей полярных корональных дыр по данным Solar Dynamics Observatory (SDO).

Исследования КД в ультрафиолетовом диапазоне активно проводились с начала 1970-х годов, когда был запущен космический аппарат Skylab [1]. Интерес к КД обусловлен тем, что они являются источниками ускоренного солнечного ветра [2]. Согласно современным наблюдательным данным и теоретическим моделям, КД представляют собою области пониженной плотности плазмы [3], а их температура близка к температуре окружающей короны [4]. Наблюдаются как стационарные полярные КД, так и среднеширотные. По-видимому, крупномасштабное магнитное поле, корональная дыра и активная область в процессе эволюции образуют единый комплекс [5].

Несмотря на достаточно большой объем наблюдательных данных, пока не предложено адекватной физической модели КД, полностью соответствующей наблюдениям. Исследования же ротационных свойств КД направлены, в основном, на установление связи их вращения с развитием солнечных циклов [5].

Нами, наряду с хорошо известным и легко наблюдаемым 27–28-дневным периодом вращения КД [6], выявлены более короткие периоды, такие как полупериод в 14 дней и менее. Наличие относительно коротких периодов в колебательном спектре КД является новым результатом и нуждается в физической интерпретации.

Процесс обработки данных о вариациях площадей КД начинается с выбора методики определения площади КД по наблюдениям в ультрафиолете. Существует, по крайней мере, два метода определения площадей КД. Так, в методе "Coronal hole identification via multithermal emission recognition algorithm" (CHIMERA), задача решается на основе УФ данных SDO/AIA. Для идентификации границ КД используются три ультрафиолетовые линии 171Å, 193Å и 211Å. Метод позволяет очень детально исследовать структурные особенности КД.

Другой метод предложен Илларионовым и Тлатовым [7]. Он также основан на использовании УФ данных AIA в линии 193Å, которые обрабатываются с помощью компьютерной нейронной сети. Такой подход позволяет четко и аккуратно выделить границы КД без дополнительной обработки данных. Мы для анализа временных вариаций площадей КД использовали оба указанных метода.

На рис. 1 представлены результаты Фурье (а) и вейвлет (б) анализа тестовой выборки вариаций площадей полярных КД поданным CHIMERA, с 11.07.2010 по 12.07.2013. Каждая точка временного ряда соответствует максимальному значению площади самой крупной КД за наблюдательный день. В результате обнаружено три периода в вариациях площадей КД: 9, 14 и 26 дней.

Мы также проанализировали другую выборку временных вариаций площадей КД с 2010 по 2018 гг., определяемых методом, описанным в работе [7]. Были получены два временных ряда вариаций площадей КД, с разбивкой по полюсам. За полярные КД принимались те, геометрический центр которых лежал в пределах $\pm 50^\circ$ по широте.

На рис. 2 представлен пример этих рядов. Вейвлет анализ данных временных рядов показал наличие периодов 14 и 28 дней (рис. 3).

Появление полупериода 14 дней может быть связано с асимметрией формы полярной корональной дыры. Если полярная КД будет иметь асимметричную конфигурацию (например, вытянутую в форме эллипса), мы получим полупериод вращения КД, равный 14 дней. Рис. 4 наглядно иллюстрирует этот эффект асимметрии вращающейся КД.

Важно отметить, что период 14 дней проявляется не всегда. Это, возможно, связано с тем, что КД может иметь симметричную форму, или такую сложную структуру, которая при усреднении не дает заметной асимметрии.

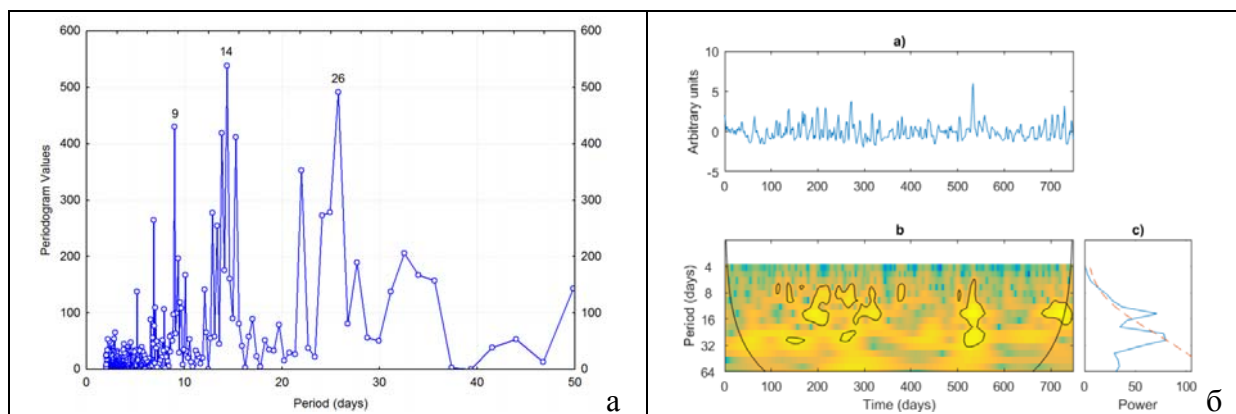


Рис. 1. Фурье-спектр временного ряда вариаций площадей КД (а). Отмечены пики 9, 14 и 26 дней. Вейвлет-спектр того же временного ряда показывает наличие периодов 8–9, 14–16 и 26–28 дней (б).

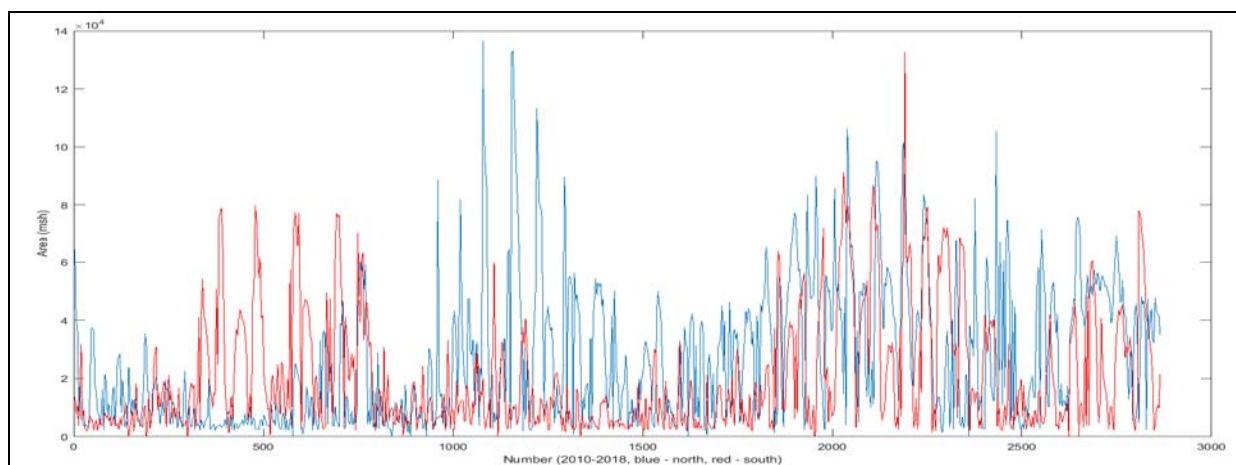


Рис. 2. Временные ряды вариаций площадей полярных корональных дыр с 2010 по 2018 гг. Северное полушарие – синий цвет, южное – красный.

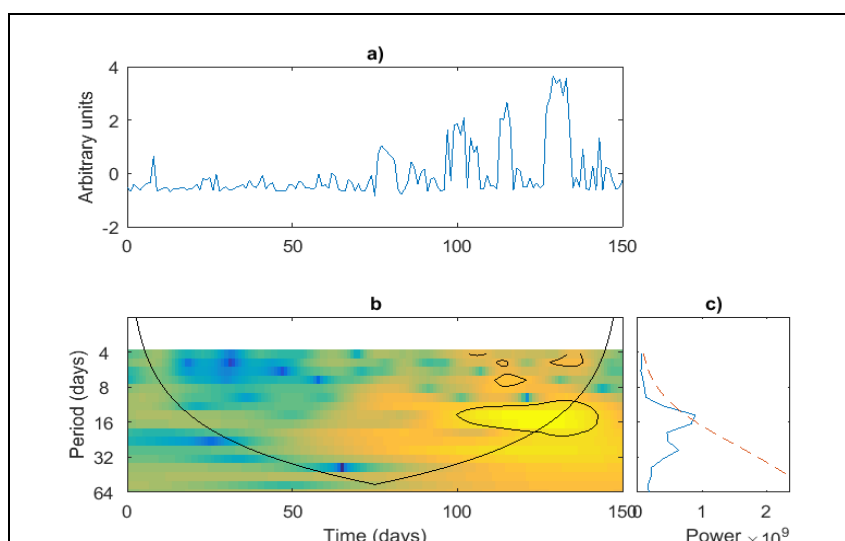


Рис. 3. Пример вейвлет-спектра части временного ряда вариаций площадей КД с периодами 14 и 28 дней.

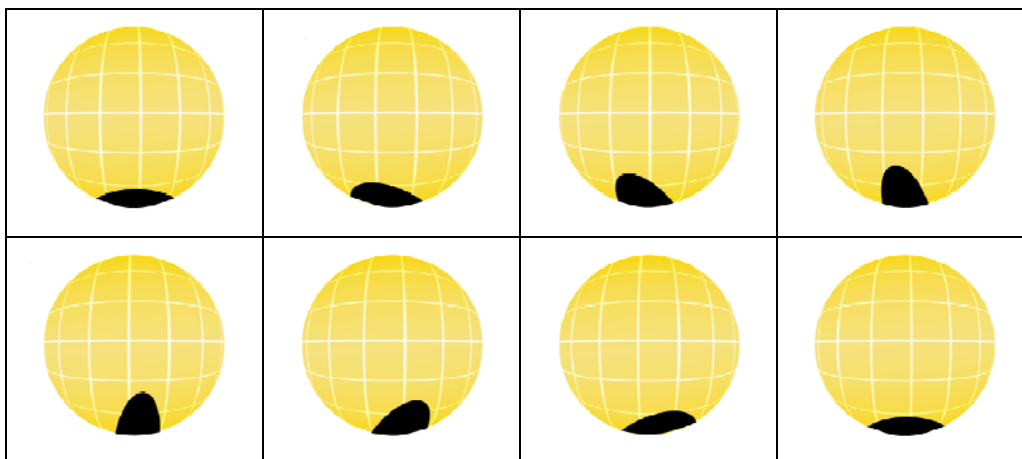


Рис. 4. Пример вращения асимметричной КД.
Период появления каждой фазы – 14 дней.

Работа поддержана РФФИ №№ 18-02-00168 и 18-32-00555 и программой КП 19-270.

Литература

1. *Munro, R.H.; Jackson, B.V. // ApJ. 1977. P1. V.213. p. 874, 875, 877–886.*
2. *Krieger, A.S.; Timothy, A.F.; Roelof, E.C. // Sol.Phys. 1973. V.292. pp. 505-525.*
3. *Obridko, V.N.; Solov'ev, A.A. // Astron. Reports. 2011. V. 55. pp.1144-1154.*
4. *Hara, H.; Tsuneta, S.; Acton, L.W.; et al. // Advances in Space Research. 1996. V. 17. Iss. 4–5. p. 231-234.*
5. *Обридко В.Н., Наговицын Ю.А. Солнечная активность, цикличность и методы прогноза. – СПб: Изд-во ВВМ. 2017. – 446 с.*
6. *Lei, Jiuhou; Thayer, Jeffrey P.; Forbes, Jeffrey M.; et al. // Geophysical Research Letters. 2008. V. 35. Iss.10, CiteID L10109.*
7. *Illarionov, E.A.; Tlatov, A.G. // MNRAS. 2018. V. 481. pp. 5014-5021.*