МАГНИТНОЕ ПОЛЕ КОРОНАЛЬНЫХ ДЫР В ПЕРИОД ПЕРЕПОЛЮСОВКИ

Абраменко В.И., Биктимирова Р.А.

Крымская Астрофизическая Обсерватория РАН, Научный, Крым, Россия

MAGNETIC FIELD IN CORONAL HOLES DURING THE FLUX REVERSAL

Abramenko V.I., Biktimirova R.A.

Crimean Astrophysical Observatory of RAS, Nauchny, Crimea, Russia

Polar coronal holes are large-scale configurations with open magnetic fields on the solar surface. They are most pronounced during minima of solar cycles and almost disappear during maxima. We consider the evolution of two coronal holes observed in a period of magnetic flux reversal in the 23rd cycle. The data from SOHO/MDI/fd and SOHO/EIT/284Å were used. These coronal holes possessed the polarity of the next solar cycle. Instead of been localized on the corresponding pole, the coronal holes expanded toward the equator and beyond, i.e., in latitudes of high activity. Thus, the open magnetic field seems to interact actively with the toroidal magnetic field of active regions at a period of the flux reversal. In turn, active interaction between the open field and toroidal field in layers above the photosphere leads to the enhancement of complexity of open fields under the photosphere.

DOI: 10.31725/0552-5829-2021-11-14

Считается общепринятым, что в периоды минимумов солнечного цикла дипольная составляющая магнитного поля Солнца сосредоточена в открытом поле полярных корональных дыр (КД), см., например, [1, 2]. Эта составляющая является одним из ключевых компонентов процесса солнечного динамо и поэтому представляет особый интерес. В частности, численное моделирование динамо-процесса [3] показывает, что поток открытого поля в текущем цикле хорошо коррелирует с потоком тороидального поля в последующем цикле. Этот результат широко используется для прогноза уровня активности цикла [4]. Присутствие и локализация открытого поля четко прослеживаются в минимумах циклов. В периоды максимумов происходит переполюсовка открытого поля, когда полярные КД почти полностью исчезают. Где в это время локализуется открытый поток и как он перемещается по поверхности Солнца? Мы рассмотрели этот вопрос на примерах двух долгоживущих КД в период переполюсовки 23-го цикла. Переполюсовка происходила примерно с середины 2000 по конец 2001 года [5]. Использованы данные SOHO/MDI/fd и SOHO/EIT/284 Å.

На рисунке 1 представлена эволюция КД, зародившейся в июне 2000 вблизи северного полюса (рис. 1, панели а–б; на всех панелях белый контур очерчивает корональную дыру). Полярность дыры отрицательная (отмечена черным на картах MDI); это та полярность, которая и должна быть

на северном полюсе после переполюсовки. Согласно теоретическим представлениям, она должна и впредь локализоваться на полюсе и собирать вокруг себя открытые поля отрицательной полярности. Однако наблюдения показывают совсем другую динамику: КД упорно распространяется к югу, доходит до экватора и спускается в южное полушарие вплоть до широт порядка 50 градусов. При этом продвижении вокруг нее случаются активные области (АО), иногда она «протискивается» между двумя АО (например, панели e–f). Часто вблизи границы КД, снаружи, случается поле той же полярности, но это зоны не входят в КД, они покрыты замкнутыми петлями (как показывает карта EIT, см., например, панели c–d). Таким образом, открытое поле КД стиснуто высокими петлями закрытых полей и соприкасается с поверхностями разделения магнитных потоков.

Рис. 1.

На рисунке 2 представлен пример КД в южном полушарии. Этот случай подробно рассматривался в статье [6]. КД южной полярности впервые появилось на южном полюсе 12 ноября 2001 года (панель а). Полярность КД соответствовала полярности новой (после переполюсовки) полярности на южном полюсе. Также, как и в предыдущем случае, КД не осталось локализованной вблизи южного полюса, а начала быстрое распространение к экватору (панели а–b), а затем в северное полушарие (панель c–e). У этой

КД связь с южным полюсом сохранялась на протяжении 5 оборотов (панели а–е), и лишь на последнем обороте такой связи уже не наблюдалось (панель f). Как и в предыдущем случае, вокруг корональной дыры наблюдались АО, а также вытянутые ленты полей противоположных полярностей, соединенные петлями, видимыми в ЕИТ (панели d–f). Таким образом, открытое поле КД стремилось в наиболее активные области в приэкваториальной зоне в период максимума активности.

Рис. 2.

Рассмотрение только этих двух примеров показывает, что в период максимума активности, а точнее, в период переполюсовки открытый магнитный поток принимает непосредственное участие в процессах активности на низких широтах, там, где всплывает тороидальное поле АО. А это означает, что взаимодействие между открытым и тороидальными полями неизбежно. В надфотосферных слоях это взаимодействие осуществляется за счет interchange reconnection [7], что неизбежно приводит к усложнению (перепутыванию) открытых полей в подфотосферных слоях. Если открытое поле формируется в глубоких слоях конвективной зоны, то оно вполне способно организовывать и держать под контролем крупномасштабные комплексы активности [8, 9].

Литература

1. Cranmer S.R. Coronal Holes // LRSP, 2009. v. **6**, 3-66.
2. Wang, Y.M. Coronal Holes and Open Magnetic Flux // 2009, Space Sci. Rev., v. **144**, 383–399.
3. Yeates, A.R., Nandy, D., and Mackay, D.H. Exploring the physical basis of solar cycle predictions: flux transport dynamics and persistence of memory in advection versus diffusion-dominated solar convection zones // The Astrophys. J., 2008, v. **673**, 544-556.
4. Makarov, V., Tlatov, A., Callebaut, D. et al. Large-Scale Magnetic Field and Sunspot Cycles // Sol. Phys., 2001, v. **198**, 409–421.
5. de Toma, G. Evolution of Coronal Holes and Implications for High-Speed Solar Wind During the Minimum Between Cycles 23 and 24 // Sol. Phys., 2011, v. **274**, 195-217.
6. Pevtsov, A., Abramenko, V. Transport of open magnetic flux between solar polar regions / Proceedings of the International Astronomical Union, 2009, v. **264**, 210-212
7. Wang Y.-M., Sheeley N.R. Footpoint Switching and the Evolution of Coronal Holes // The Astrophys. J., 2004, v. **612**, 1196-1205.
8. Обридко В.Н., Наговицын Ю.А. Солнечная активность, цикличность и методы прогноза. – СПб: изд-во ВВМ, 2017. – 466с.
9. Малащук В.М., Руденко Г.В., Степанян Н.Н., Файнштейн В.Г. Связь корональных дыр с границами структур крупномасштабных магнитных полей // Известия Крымской Астрофизической Обсерватории, 2011, т. **107**, 89-98.