

ИССЛЕДОВАНИЕ ВРАЩЕНИЯ СОЛНЦА С ПОМОЩЬЮ КОРОНАЛЬНЫХ ДЫР

Д.Р.ДЖАПАРИДЗЕ, С.Р.БАГАШВИЛИ, Б.Б.ЧАРГЕЙШВИЛИ

Поступила 27 июля 2015

Принята к печати 16 сентября 2015

Изучено вращение корональных дыр Солнца. С этой целью были использованы данные обсерватории Кит Пик в линии 10830 Å He I для 2003-2012гг. Было изучено вращение 434 корональных дыр в интервале широт $\pm 40^\circ$. Полученные результаты показывают, что максимальная угловая скорость вращения наблюдается на широтах $\pm 15^\circ$. Корональные дыры имеют меньшую угловую скорость (13.39 град/сут.) и вращаются менее дифференциально, чем фотосфера Солнца.

Ключевые слова: *Вращение Солнца: корональные дыры*

1. *Введение.* Исследования дифференциального вращения солнечных атмосферных слоев дают информацию о солнечной активности. Поэтому изучение солнечного вращения вызывает живой интерес среди ученых.

Для изучения солнечного вращения используются разные образования солнечной атмосферы: пятна, факелы, протуберанцы и волокна [1-9], а также магнитные образования общего магнитного поля Солнца [10-15].

Несмотря на исследования многих ученых, солнечное дифференциальное вращение все еще остается необъясненным явлением. Результаты, представленные различными авторами, сильно отличаются друг от друга.

Особенно противоречивые результаты получены при изучении вращения солнечной короны. При использовании корональных дыр, как трассеров, часть ученых получили, что корональные дыры показывают твердотельное вращение [16-18], хотя исследования других ученых указывают, что корона вращается дифференциально [19-27].

Badalyan и Sykora [28], изучив вращение короны в зеленой корональной линии (Fe XIV 530.3 nm), получили, что синодический период вращения короны на экваторе составляет 27 дней, в пределах $\pm 40^\circ$ возрастает до 29 дней, а за пределами $\pm 45^\circ$ - дифференциальное вращение резко уменьшается и вращение короны около полюсов становится твердотельным.

2. *Используемые данные и метод их обработки.* Для исследования вращения солнечной короны трассерами были использованы корональные дыры. Для вычисления угловых скоростей были использованы синоптические карты, составленные в обсерватории Кит Пик на основе

данных, полученных в линии 10830 Å He I. Были использованы данные за 2003-2012 гг. (отсутствовали данные 2004 г.).

Измерения проводились с использованием специально созданной компьютерной программы. Программа полуавтоматическая и требует отождествления точек корональных дыр на двух последовательных синоптических картах. Так как корональные дыры являются динамичными образованиями и быстро меняют форму, измерения проводились только для хорошо отождествленных фрагментов корональных дыр, которые не меняли форму. С помощью этой программы скорости вращения были вычислены для каждой пары последовательных дней. Измерялись уверенно отождествляемые отдельные фрагменты корональных дыр. Для 434 корональных дыр было проведено приблизительно 1550 измерений (рис.1).

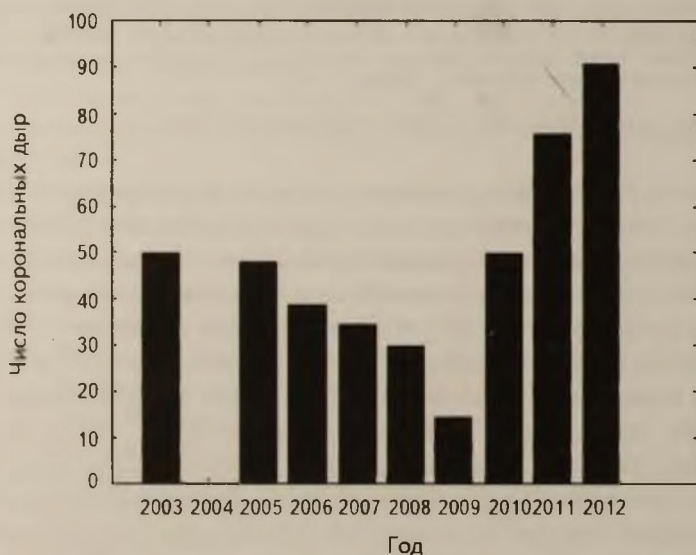


Рис.1. Количество измеренных корональных дыр (2003-2012 гг.).

Получены угловые скорости вращения корональных дыр с отрицательной и положительной полярностями для последовательных 10° -х интервалов в пределах $\pm 40^\circ$ широты и долготы. Была построена кривая скоростей вращения корональных дыр с отрицательной и положительной полярностями для обоих полушарий Солнца (рис.2).

Из рис.2 видно, что угловая скорость вращения корональных дыр с отрицательной и положительной полярностями ниже скорости вращения фотосферы Солнца. Разница в скоростях вращения корональных дыр с отрицательной и положительной полярностями не обнаружена. Средняя скорость вращения на экваторе для корональных дыр с отрицательной

полярностью составляет $13.42 (\pm 0.1)$ град/сут., а с положительной полярностью - $13.36 (\pm 0.07)$ град/сут. Для корональных дыр с положительными полярностями явно выражены максимумы на широтах $\pm 15^\circ$.

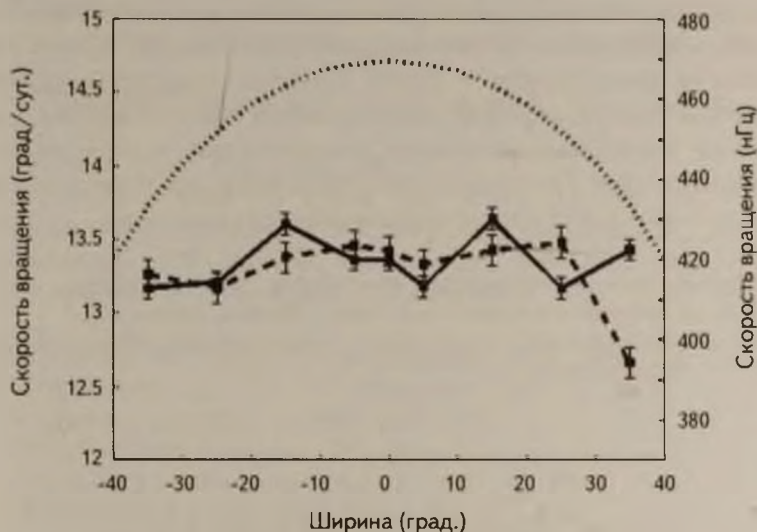


Рис.2. Скорости вращения корональных дыр с отрицательной (пунктирная линия) и положительной (сплошная линия) полярностями (2003-2012гг.). Точками обозначены скорости вращения фотосферы Солнца.

3. Обсуждение и заключения. Для исследования вращения угловой солнечной короны использование корональных дыр в качестве трассеров, выявило общие тенденции движения корональных дыр. За период 2003-2012гг. получено, что эти объекты имеют меньшую угловую скорость и вращаются менее дифференциально, чем фотосфера Солнца. Максимальная угловая скорость вращения в обоих полушариях наблюдается около 15° широты.

Используя данные SOHO 2002-2008гг. Hiremath и Hegde [29] получили, что вращение корональных дыр более твердотельное, чем вращение других образований солнечной атмосферы. Скорость вращения корональных дыр (438 нГц) соответствует скорости вращения внутренней области Солнца под тахоклином.

Полученная нами средняя скорость вращения для корональных дыр обеих полярностей на экваторе составляет $13.39 (\pm 0.064)$ град/сут. (430.48 (± 4.62) нГц). Эта величина скорости вращения корональных дыр соответствует полученной гелиосейсмологическими методами величине скорости вращения внутреннего слоя Солнца на расстоянии 0.7 солнечного радиуса [30]. Полученные результаты дают основание думать, что корональные дыры связаны непосредственно с внутренним регионом Солнца около

тахоклина. Разница же в скоростях корональных дыр с разными полярностями, по нашему мнению, обусловлена тем, что монополярная корональная дыра, которую мы измеряем в действительности, является составным ответвлением огромной биполярной петли, узел которой вращается на определенной широте под тахоклином, а ее ветви с разными полярностями вступают на разных широтах в корону, и на этих разных широтах имеют одинаковые скорости, повторяя скорость общего узла. А значит на одной и той же широте могут оказаться положительные и отрицательные корональные дыры с несколько сдвинутыми якорными узлами, которые из-за этого вращаются с несколько различными скоростями.

Абастуманская астрофизическая обсерватория им. Е.К.Харадзе,
Государственный университет им. Ильи, Тбилиси, Грузия,
e-mail: darejan.japaridze@iliauni.edu.ge; salome.bagashvili.1@iliauni.edu.ge,
bidzina@aidio.net

STUDY OF SOLAR ROTATION USING CORONAL HOLES

D.R.JAPARIDZE, S.R.BAGASHVILI, B.B.CHARGEISHVILI

The rotation rates of coronal holes are explored. For this purpose we used data from Kitt Peak observatory in 10830 Å He I line in 2003-2012. The rotation rates of 434 coronal holes between $\pm 40^\circ$ latitudes are studied. The maximum angular rotation rates are observed near the latitudes of $\pm 15^\circ$. On average, the coronal holes move slower (13.39 deg/day) than solar photosphere and their differential rotation is much more weakly expressed than that of photosphere.

Key words: *solar rotation: coronal holes*

ЛИТЕРАТУРА

1. A.M.Newbegin, H.W.Newton, The Observer, **54**, 20, 1931.
2. M.D'Azambuja, L.D'Azambuja, Ann. Obs. Paris, **6**, 1, 1948.
3. D.R.Japaridze, M.S.Gigolashvili, Solar Phys., **141**, 267, 1992.
4. M.S.Gigolashvili, D.R.Japaridze, T.G.Mdzinarishvili et al., Adv. Space Res.,

- 40, 976, 2007.
5. *M.S.Gigolashvili, D.R.Japaridze, V.J.Kukhianidze*, *Solar Phys.*, **231**, 23, 2005.
 6. *M.S.Gigolashvili, D.R.Japaridze, V.J.Kukhianidze*, *Astrophysics*, **54**, 593, 2011.
 7. *M.S.Gigolashvili, D.R.Japaridze, V.J.Kukhianidze*, *Solar Phys.*, **282**, 51, 2013.
 8. *M.S.Gigolashvili, D.R.Japaridze, T.G.Mdzinarishvili*, *Adv. Space Res.*, **52**, 2122, 2013.
 9. *J.Javaraiah*, *Solar Phys.*, **287**, 197, 2013.
 10. *C.J.Durrant, J.Turner, P.R.Wilson*, *Solar Phys.*, **211**, 103, 2002.
 11. *M.S.Gigolashvili, D.R.Japaridze, B.B.Chargeishvili*, *Astrophysics*, **57**, 296, 2014.
 12. *D.R.Japaridze, M.S.Gigolashvili, V.J.Kukhianidze*, *Solar Phys.*, **282**, 51, 2013.
 13. *D.R.Japaridze, M.S.Gigolashvili, V.J.Kukhianidze*, *Adv. Space Res.*, **40**, 1912, 2007.
 14. *D.R.Japaridze, M.S.Gigolashvili, V.J.Kukhianidze*, *Solar Phys.*, **255**, 203, 2009.
 15. *Z.Chu, J.Zhang, Q.X.Nie, T.Li*, *Solar Phys.*, **264**, 1, 2010.
 16. *W.J.Wagner*, *Astrophys. J.*, **198**, L141, 1975.
 17. *J.D.Bohlin*, *Solar Phys.*, **51**, 377, 1977.
 18. *S.Mancuso, S.Giordano*, *Astrophys. J.*, **729**, 79, 2009.
 19. *R.N.Shelke, M.C.Pande*, *Solar Phys.*, **95**, 193, 1985.
 20. *V.N.Obridko, B.D.Shelting*, *Solar Phys.*, **124**, 73, 1989.
 21. *A.Sanchez-Ibarra, P.Navarro-Peralta*, *Solar Phys.*, **153**, 169, 1994.
 22. *J.E.Insley, V.Moore, R.A.Harrison*, *Solar Phys.*, **160**, 1, 1995.
 23. *R.Brajsa, H.Wöhl, B.Vršnak*, *Astron. Astrophys.*, **414**, 707, 2004.
 24. *N.V.Karachik, A.A.Pevtsov, I.Sattarov*, *Astrophys. J.*, **642**, 562, 2006.
 25. *H.Hara*, *Astrophys. J.*, **697**, 980, 2009.
 26. *S.Chandra, H.O.Vats, K.N.Iyer*, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.*, **407**, 1108, 2010.
 27. *H.Wöhl, R.Brajsa, A.Hanslmeier, S.F.Gissot*, *Astron. Astrophys.*, **520**, 29, 2010.
 28. *O.G.Badalyan, J.Sykora*, *Contrib. Astron. Obs. Skalnaté Pleso*, **35**, 3, 180, 2005.
 29. *K.M.Hiremath, M.Hegde*, *Astrophys. J.*, **763**, 137, 2013.
 30. *H.Rachel*, *Living Rev. Solar Phys.*, **6**, 1-75, 2009.

