

АНАЛИЗ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ВРАЩЕНИЯ АНТИ-ХЕЙЛОВСКИХ АКТИВНЫХ ОБЛАСТЕЙ

Литвишко Д.В., Куценко А.С., Абраменко В.И.

Крымская астрофизическая обсерватория РАН, Научный, Крым, Россия

ANALYSIS OF DIFFERENTIAL ROTATION OF ANTI-HALE ACTIVE REGIONS

Litvishko D.V., Kutsenko A.S., Abramenko V.I.

Crimean Astrophysical Observatory of RAS, Nauchny, Crimea, Russia

In this work, we analyzed the rotation of anti-Hale active regions across the solar disk. For this analysis, we utilized data on line-of-sight (LOS) magnetic field acquired by SDO/HMI. As a source of bipolar active region (ARs) with reverse polarity (anti-Hale regions) data, we used a catalog of bipolar active regions violating the Hale polarity law for 1989–2018. In total, the rotation rates of 44 ARs observed between 2010 and 2018 were measured. In order to compare the obtained results of the rotation rates of the anti-Hale regions with the rest of the ARs, we performed a statistical test of both distributions. The test showed that these distributions are statistically indistinguishable. These results give us a reason to suppose that, if the rooting hypothesis is correct, anti-Hale regions and other ARs are formed at the same depths in the convection zone and there is no separate mechanism for the formation of anti-Hale regions.

DOI: 10.31725/0552-5829-2022-193-196

Введение

Дифференциальное вращение Солнца – это неотъемлемый элемент, необходимый для работы глобального динамо. Из-за вмерзнутости силовых линий в плазменные потоки и увеличения скорости вращения Солнца к экватору, силовые линии полоидального магнитного поля вытягиваются и скручиваются, формируя магнитные жгуты в конвективной зоне. Магнитные жгуты при подъеме на поверхность порождают активные области (АО).

Согласно закону Хейла биполярные АО в пределах одного и того же гелиографического полушария должны иметь определенную ведущую магнитную полярность, но данному закону подчиняются не все АО Солнца. Существуют области, ориентация полярности которых противоположна ориентации большинства групп. Группы, нарушающие закон полярности Хейла, часто называют анти-Хейлами.

Касательно скорости вращения АО нельзя не отметить того, что она не совпадает со скоростью вращения плазмы на поверхности Солнца. Возможно, это объясняется гипотезой укоренения [1-2], согласно которой скорость вращения АО определяет глубина залегания «корней» магнитного жгута, из которого она образована.

Целью нашей работы было измерить скорости вращения анти-Хейлов, что может дать нам информацию о глубине формирования этих АО. Сравнение с результатами измерения скоростей вращения остальных АО поможет понять, одинаковы ли механизмы возникновения анти-Хейловских АО и остальных АО.

Данные и методы

Для данного анализа мы использовали магнитограммы полного диска продольного поля, полученные инструментом Helioseismic and Magnetic Imager (HMI) орбитальной обсерватории Solar Dynamics Observatory (SDO) [3], а в качестве источника биполярных групп обратной полярности (анти-Хейловских АО) был использован крымский каталог биполярных АО, нарушающих закон полярности Хейла за 1989–2018 годы [4].

На магнитограммах были выделены анти-Хейловские АО. Для каждой из них рассчитывался средневзвешенный по магнитному потоку центр для положительной и отрицательной полярностей. Геометрический центр между ними определялся как центр всей активной АО, подробности могут быть найдены в работе [5]. Угловая скорость вращения рассчитывалась как наклон прямой, аппроксимирующей зависимость долготы АО от времени за период максимального развития АО.

Результаты

В данной работе согласно каталогу биполярных активных областей, нарушающих закон полярности Хейла, были выбраны 44 АО, которые наблюдались на видимом диске Солнца за период с 2010 по 2018 годы.

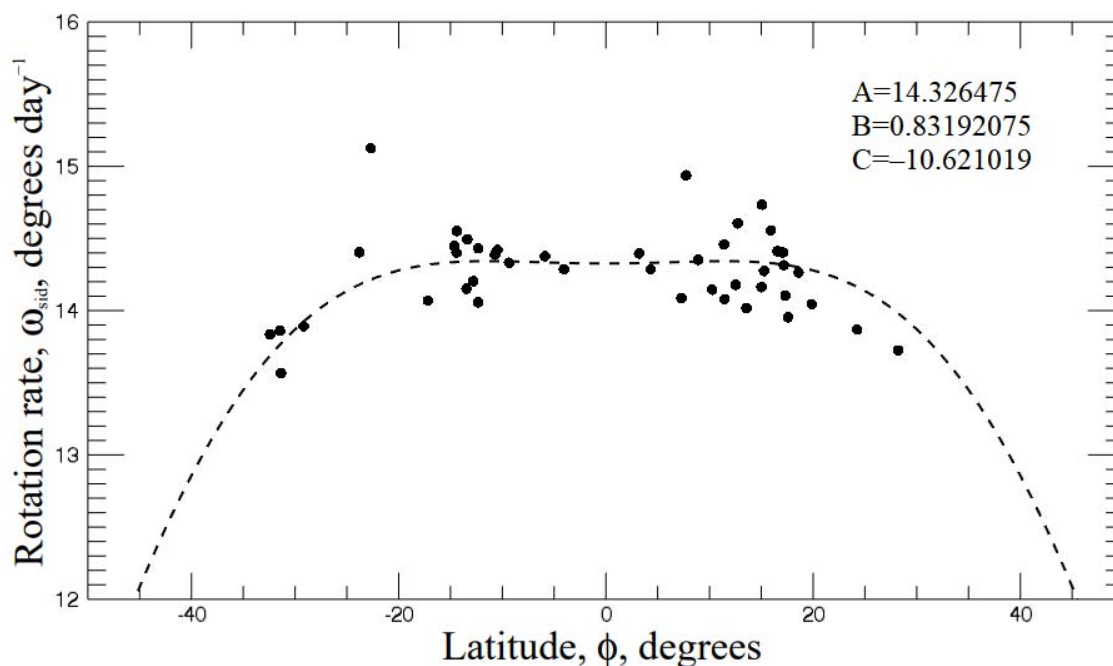


Рис. 1.

На рисунке 1 представлен график полученных скоростей вращения в зависимости от широты для анти-Хейловских АО. Пунктирная линия – аппроксимация данных точек выражением:

$$\omega(\varphi) = A + B \sin^2 \varphi + C \sin^4 \varphi, \quad (1)$$

которое представляет собой закон дифференциального вращения для всех АО. Коэффициент A – экваториальная скорость, B и C отвечают за дифференциальное вращение, φ – гелиографическая широта [6].

На приведенном графике выделяется область в диапазоне широт $[-20; 20]$, линия графика на этом участке приближённо представляет собой прямую, поэтому мы можем предположить, что анти-Хейловские АО на этих широтах вращаются твердотельно.

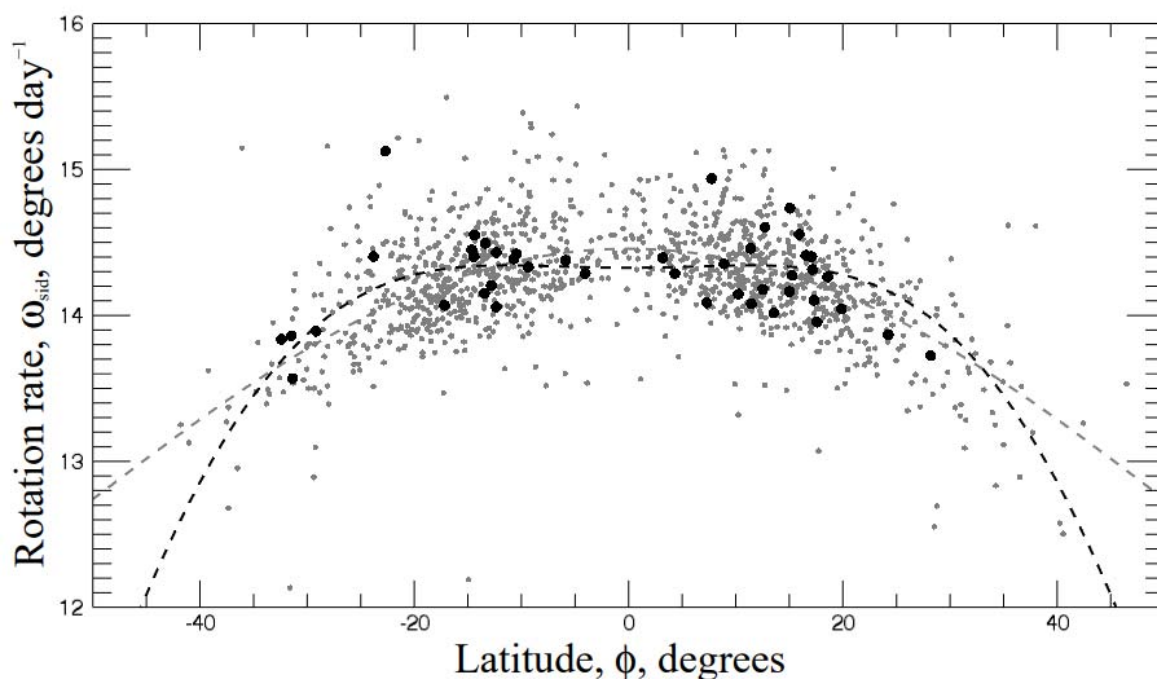


Рис. 2.

Сравнивая скорости вращения анти-Хейловских АО с остальными АО, что показано на рисунке 2, мы вычислили значение χ^2 , которое определяется как

$$\chi^2 = \sum_i \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}, \quad (2)$$

где O_i – рассчитанная скорость вращения анти-Хейловской АО, E_i – целевое значение скорости вращения.

Исходя из наших данных значение $\chi^2 = 0.20964711$ и показывает, что данные распределения статистически неразличимы, поэтому можно

считать скорости вращения анти-Хейлов неотличимыми от скоростей вращения других АО, а следовательно, все они подчиняются одному и тому же закону дифференциального вращения.

Выводы

Мы провели анализ скорости вращения 44 анти-Хейловских АО, наблюдавшихся с 2010 по 2018 годы. Скорости анти-Хейлов были сопоставлены с распределением скоростей остальных АО. Мы установили, что эти распределения статистически неразличимы. Результаты дают нам основание полагать, что в случае, если гипотеза укоренения верна, то анти-Хейловские АО и остальные формируются на одних глубинах в конвективной зоне, и для формирования анти-Хейлов нет отдельного механизма.

Литература

1. Javaraiah J., Gokhale M.H. // A&A, 1997, 327, 795.
2. Schüssler M., Rempel M. // A&A, 2005, 441, 337.
3. Schou J., et al. // Sol. Phys., 2012, 275, 229.
4. Zhukova A., et al. // Sol. Phys., 2020, 295, 165.
5. Kutsenko S. // MNRAS, 2021, 500, 5159.
6. Beck J.G. // SoPh, 2000, 191, 47.