БИПОЛИ, НАРУШАЮЩИЕ ЗАКОНЫ ДЖОЯ И ХЕЙЛА В 15–24-х ЦИКЛАХ АКТИВНОСТИ

Тлатова К.А.¹, Тлатов А.Г.^{1,2}

¹*Кисловодская Горная астрономическая станция ГАО РАН, Кисловодск, Россия*

²*Калмыцкий государственный университет, Элиста, Россия*

BIPOLES THAT VIOLATE THE LAWS OF JOY AND HALE IN THE 15–24TH ACTIVITY CYCLES

Tlatova K.A.¹, Tlatov A.G.^{1,2}

¹*Kislovodsk mountain astronomical station of the Pulkovo observatory, Kislovodsk, Russia*

²*Kalmyk State University, Elista, Russia*

Using the digitization data of the sunspots magnetic fields for the period 1917–2018 active region bipoles were allocated. We performed an analysis of the bipoles inclination angle in the 15–24th activity cycles. Particular attention was paid to bipoles violating Joy's law (AntiJoy), namely the tail parts bipoles, which are deflected to the equator, and not to the poles. As well as bipoles that violate Hale's Law on Lead and Tail Polarity (AntiHale). The relative number of bipoles having the "AntiJoy" polarity for different cycles varies slightly and amounts to ~ 30%. The relative number of "AntiHale" bipoles varies from cycle to cycle ~ 12–20% of the total. There is a significant correlation between the amplitude of the activity cycle and the percentage of "AntiHale" bipoles.

We also performed an analysis of the bipoles inclination angles depending on their size. It has been confirmed that groups of sunspots with an area of 100–200 mhs are most consistent with Joy's law. For groups of small area $S < 10$ mhs and large area $S > 1000$ mhs, the angles decrease.

DOI: 10.31725/0552-5829-2019-395-398

Введение

Известно, что положение магнитной оси солнечных биполей, соединяющей ведущие и хвостовые части, имеет угол с направлением линий восток-запад. Как правило, хвостовые части групп пятен лежат ближе к полюсам и угол наклона увеличивается с широтой. Эта закономерность, найденная Джоем [1], вместе с законом Хейла [2] о смене полярности ведущих и хвостовых пятен в 22-летнем цикле является, возможно, одними из основных причин существования солнечного магнитного цикла [3, 4]. Позже закон Джоя был подтвержден во многих работах [5, 6]. В настоящее время считается, что закон Джоя вызван действием силы Кориолиса, которая разворачивает всплывающие магнитные поля, образующие солнечные пятна [7].

Среди солнечных групп особое внимание уделяется группам, нарушающим закономерности Джоя и Хейла. В работе [8] на основе анализа магнитограмм MDI/SOHO и HMI/SDO было найдено, что около 8% маг-

нитных активных образований нарушают правило Хейла полярности ведущих и хвостовых групп. В работах [4, 5] при анализе каталога обсерватории Mount Wilson Catalog за период 1988–2004 гг. было найдено, что процент групп с направлением магнитной оси, нарушающих правило Hale составляет ~4.9%. В работе [4] при анализе магнитограмм HMI/SDO показано, что магнитный поток от областей, имеющих анти-хэйловскую полярность составляет от 5 до 9% в зависимости от фазы цикла активности.

В данной работе мы хотим проверить зависимость относительного числа групп, нарушающих законы Хэйла и Джоя на основе оцифровки наблюдений магнитных полей солнечных пятен за период 1917–2019 гг. обсерватории Mount Wilson.

Данные

Мы выполнили оцифровку изображений зарисовок ежедневных наблюдений магнитных полей солнечных пятен. Детали оцифровки и первые результаты анализа ряда данных были описаны в работе [6]. Для каждого пятна мы измеряли гелиографические координаты, площадь в пикселях, площадь в физических единицах, исправленную за гелиографическую проекцию, конфигурацию ядер в векторном формате, время наблюдений и напряженность магнитного поля. Общее число дней (из числа обработанных нами наблюдений), в которых были проведены измерения магнитных полей, в период 1917 по октябрь 2016 составило 20318. Число измерений магнитного поля отдельных ядер и пор составило около $5 \cdot 10^5$, число выделенных биполей $\sim 5 \cdot 10^4$. Процедура выделения формирования биполей в наборе измерений описана в [6].

Результаты

В данной работе основное внимание было уделено распределению углов магнитной оси биполей τ . Для этого мы привели направление биполей в различных циклах и полярности ведущих пятен к одной системе. При этом биполи, у которых ведущие части расположены ближе к экватору, чем ведомые, имеют положительный знак угла наклона магнитной оси, а если наоборот – то угол отрицательный. В полярной системе координат мы построили диаграммы, на которых расстояние от единичной окружности соответствует относительному числу биполей для данного угла направления магнитной оси. Подсчет проводился в диапазоне углов $-180^\circ \leq \tau < 180^\circ$ с шагом 1 градус.

Использовалась весовая функция по площади каждой бипольной пары S_i : $\langle \tau \rangle = \sum \tau_i \cdot S_i / \sum S_i$. Всего в период 1917–2016 гг. нами были исследованы 51 368 биполей. Введем следующие обозначения. Обозначим углы в диапазоне $0^\circ \div 90^\circ$ соответствующие квадранту Q1; Q2: $90^\circ \div -180^\circ$; Q3: $-90^\circ \div -180^\circ$; Q4: $0^\circ \div -90^\circ$ соответственно.

Для этих параметров мы реконструировали диаграммы распределения углов магнитных осей биполей для различных выборок четных и нечетных циклов в северном и южном полушариях. В основном биполи распределены в квадрантах Q1 и Q4. Для распределения биполей в эти квадранты мы вписывали нормальное (гауссово) распределение. Преобладают биполи Хейловской полярности.

Для разных вариантов выборки существует связь между максимумами распределения τ -угла и относительным числом биполей анти Джоевской и анти Хэйловской полярности рис. 1. Корреляция между $\tau_{\max}$ и относительным числом биполей AntiHale очень велика $R \sim 0.99$. Корреляция между τ -углом и долей биполей AntiJoy тоже существенная $R \sim 0.73$.

Рис. 1. Связь между максимумами распределения τ -угла и процентом биполей AntiJoy (a) и AntiHale (b) для разных вариантов выборки по полушариям северное (N) и южное (S), четных (Even) и нечетных (Odd) циклов.

Также мы подсчитали число биполей в каждом из квадрантов в циклах активности $N \ 15 \div 24$, а также процент биполей AntiJoy и AntiHale. Между амплитудой циклов активности пятен W и относительным числом биполей направления AntiHale, существует высокая корреляция (рис. 2a). Можно предположить, что такой высокий коэффициент корреляции связан с переналожением циклов активности в эпоху, близкую к минимумам солнечной активности, и как следствие ошибочное определение знака ведущей полярности. Для этого применим выборку для биполей, лежащих вблизи эпохи максимума $T_{n \pm 2}^{\max}$ (рис. 2b).

Обсуждение

В данной работе мы выполнили анализ относительного числа биполей, нарушающих законы Джоя (Joy) и Хейла (Hale). Было установлено, что относительное количество биполей с направлением AntiJoy составляет $\sim 39\%$, а биполей, с ориентацией магнитной оси обратно Хэйловской полярной AntiHale $\sim 16 \div 21\%$.

Рис. 2. а) Связь между амплитудой цикла активности пятен и процентом биполей AntiHale в циклах активности. б) Связь между шириной Гауссова распределения τ -угла и относительным количеством биполей AntiHale.

Также выполненный анализ показал, что процент биполей AntiJoy растет с увеличением преимущественного τ -угла. Это является странным, поскольку увеличение τ -угла могло бы объясняться поворотом всего распределения по часовой стрелке, и должно приводить к уменьшению относительной доли биполей AntiJoy. На самом деле рост τ -угла сопровождается ростом ширины распределения $Width$ с коэффициентом корреляции $R = 0.91$. Это и приводит к относительному росту биполей AntiJoy. Также существует связь между амплитудой цикла активности пятен W и шириной распределений τ -угла $Width$ $R = 0.61$ и между шириной распределений $Width$ и относительным числом биполей AntiHale $R = 0.9$.

Работа выполнена при поддержке проекта РФФИ 18-02-00098 –а и проекта РНФ N 15-12-20001.

Литература

1. Hale, G.E., Ellerman, F., Nicholson, S.B., Joy, A.H. The Magnetic Polarity of Sun-Spots // *Astrophys. J.*, 1919, 49, 153.
2. Hale, G.E., Nicholson, S.B. // *ApJ*, 1925, 62, 270.
3. Abramenko V.I., A.V. Zhukova, and A.S. Kutsenko // *Geomagnetism and Aeronomy*, 2018, Vol. 58, No. 8, pp. 1159–1169.
4. Sokoloff, D.D., Khlystova, A., Abramenko, V. // *MNRAS*, 2015, 451, 1522.
5. Tlatova K., Tlatov, A., Pevtsov A. et al. // *Sol. Ph.*, 2018, V. 293, P.118.
6. Howard, R.F. // *Sol. Ph.*, 1991, V. 136, 251.
7. Fisher, G.H.; Fan, Y.; Howard, R.F. // *ApJ.*, 1995, 438, 463.
8. Li J. // *ApJ*, 2018, 867, 89.