

ТОРОИДАЛЬНО-U-ТОРОИДАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ СОЛНЕЧНОГО ДИНАМО

Тлатов А.Г.

Горная астрономическая станция ГАО РАН, Кисловодск, Россия

TOROIDAL-U-TOROIDAL MODEL OF SOLAR DYNAMO

Tlatov A.G.

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

<https://doi.org/10.31725/0552-5829-2023-313-316>

Variations of the azimuthal magnetic fields of the Sun in the 24–25 activity cycles of the activity cycles according to the SDO/HMI telescopes are considered. To identify azimuthal magnetic fields, the analysis of daily observations of LOS magnetic fields from the regions near the solar limb was performed. It is shown that with a sufficiently large averaging of the data, large-scale structures are distinguished that can be interpreted by horizontal magnetic fields directed along the East-West line. Azimuthal magnetic fields are visible both in the low-latitude zone and at high latitudes. Azimuthal fields at the same latitudes have opposite directions in the northern and southern hemispheres, and also change sign in even and odd cycles of activity.

The mechanism of formation of global azimuthal magnetic fields and their role in the cycle of solar activity is discussed. The near-surface azimuthal magnetic field is closely related to the activity cycle. Apparently, the azimuthal field is formed from U-shaped flux tubes of active regions (AR). Due to the presence of the tilt angle AR during differential rotation, the subsurface magnetic fields are pulled in the azimuthal direction. The role of azimuthal magnetic fields in solar activity cycles is considered. A scheme for generating a magnetic field according to a scheme different from Babcock-Leighton dynamo models is proposed.

Введение

Солнечная цикличность проявляется как упорядоченный процесс возбуждения и диссипации магнитного поля и является следствием индуктивного действия потоков жидкости на крупномасштабные магнитные поля. Солнечный фотосферный магнитный поток формируется при всплытии тороидальных магнитных полей из недр Солнца в виде активных областей (АО), преимущественно в виде биполярных структур.

В данной работе выполнен анализ наблюдений магнитных полей вдоль луча зрения, но основное внимание уделено выделению горизонтальных крупномасштабных магнитных полей.

На основе наблюдательных данных предложен механизм формирования приповерхностного магнитного поля и формирования источников для генерации следующего цикла активности.

Выделение азимутальных магнитных полей

Прямые измерения горизонтальных магнитных полей могут быть выполнены при наблюдениях полного вектора магнитного поля на фотосфере. Вместе с тем существуют сложности регистрации и интерпретации сигнала поперечной компоненты поля. Поскольку наблюдения горизонтальных магнитных полей затруднены, воспользуемся данным наблюдений продольной компоненты магнитного поля. Будем рассматривать области вблизи солнечного лимба, где азимутальная компонента магнитного поля может быть видна под небольшим углом. Для лучшего определения азимутальной компоненты можно рассматривать разность интенсивности магнитных полей вблизи восточного (E) и западного лимбов (W). Основными данными в данной работе являлись данные наблюдения магнитных полей HMI/SDO.

На рис. 1 представлена диаграмма разности магнитных полей ($B_E - B_W$). Для уменьшения шума ежедневные значения на каждом интервале широт сглаживались скользящим окном 27 дней.

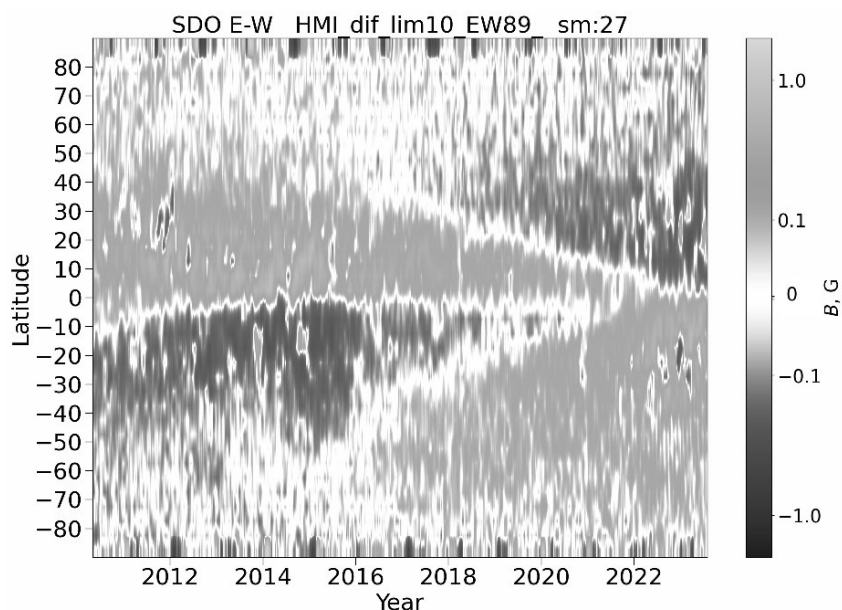


Рис. 1. Разность измерений магнитного поля на восточном и западном лимбе ($B_E - B_W$) по данным SDO/ HMI.

В зоне образования солнечных пятен мы видим униполярные области. Наблюдается широтный дрейф областей одного знака в течение цикла активности от средних широт к экватору. Подобный метод и картина распределения магнитных полей наблюдались в [1, 2].

Формирования приповерхностного азимутального магнитного поля

Из анализа ежедневных данных наблюдений продольных магнитных полей полного диска Солнца мы обнаружили разницу направлений магнитных полей у восточного и западного лимбов Солнца. На широтно-

временной диаграммах (рис. 1) видно, что области параметр разности интенсивности магнитных полей формируют долгоживущие крупномасштабные структуры, как в низкоширотной, так и высокоширотных областях Солнца. Возможно, это свидетельствует о существовании крупномасштабного азимутального магнитного поля. Крупномасштабные азимутальные магнитные поля могут дополнить модели генерации солнечных циклов.

Мы можем предположить, что для солнечной цикличности важно множественное всплытие AR в каждом полушарии, а также смещение средней широты AR к экватору, называемое бабочками Маундера и закон Джоя. Рассмотрим эволюцию двух соседних AR1 и AR2 (рис. 2). А вследствие закона Маундера и Джоя широтное расстояние между ведущим пятном первой AR1 (L1) и хвостовым пятном второй AR2 (T2), меньше чем между хвостовым пятном первой AR1 (T1) и ведущим пятном второй AR2 (L2). Это приводит к преимущественному пересоединению магнитных полей L1 и T2 и формированию силовой трубки между T1 и L2. Таким механизмом под фотосферой формируется азимутальное магнитное поле (пунктирная коричневая линия).

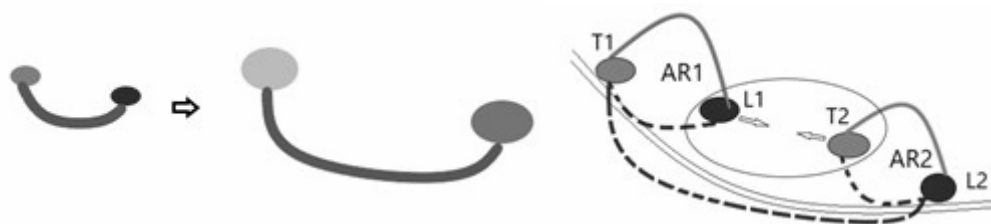


Рис. 2. Схема формирования азимутального магнитного поля под фотосферой. а) вытягивание силовой трубки магнитного поля AR в азимутальном направлении вследствие дифференциального вращения. б) взаимодействие ведущих и хвостовых частей двух AR и формирование нового азимутального поля под фотосферой.

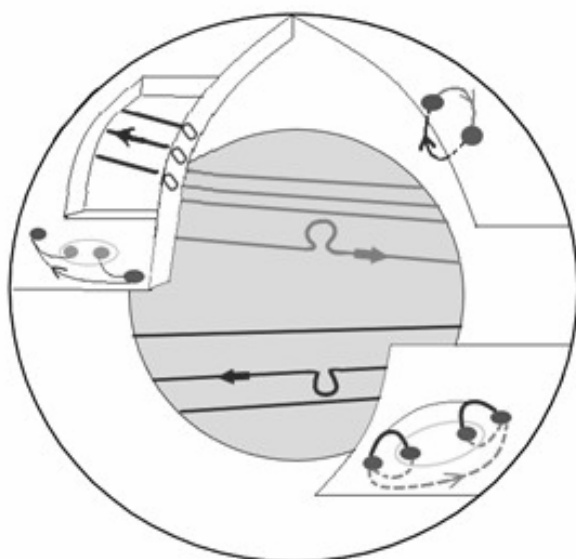


Рис. 3. Схема существования азимутальных магнитных полей в конвективной зоне Солнца. Существуют две области. Одна около основания конвективной зоны и вторая под фотосферой около поверхности.

На рис. 3 представлена схема распределения азимутальных магнитных полей в солнечной конвективной зоне. При всплытии и взаимодействии многих AR в каждом полушарии под фотосферой формируются азимутальные магнитные поля. Направление этого азимутального поля под фотосферой противоположно тороидальному магнитному полю в зоне генерации у основания конвективной зоны.

Выводы

Наш анализ позволил идентифицировать долгоживущие структуры, что можно объяснить существованием крупномасштабного азимутального магнитного поля. Предложена схема формирования приповерхностного азимутального поля B_T^P . Такое магнитное поле формируется при вытягивании U-образных трубок всплывших активных областей. Множество всплывших АО формируют единое осесимметричное магнитное поле, имеющее как азимутальную, так и полоидальную компоненту.

Работа выполнена при поддержке проекта РНФ N 23-22-00165.

Литература

1. *Liu Allison L. Scherrer Philip H.* // The Astrophysical Journal Letters, 2022, 927:L2 (5pp), <https://doi.org/10.3847/2041-8213/ac52ae>
2. *Duvall, T.L.J., Scherrer, P.H., Svalgaard, L., & Wilcox, J.M.* // SoPh, 1979, 61, 233