

ИЗМЕНЕНИЕ ОРИЕНТАЦИИ ДИПОЛЬНОГО МОМЕНТА АКТИВНОЙ ОБЛАСТИ СОЛНЦА

Мерзляков В.Л., Старкова Л.И.

*Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн
им. Н.В. Пушкова, РАН, г. Москва, г. Троицк, Россия*

VARIATION OF DIPOL ORIENTATION OF SOLAR ACTIVE REGION

Merzlyakov V.L., Starkova L.I.

*Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation, RAS,
Moscow, Troitsk, Russia*

A study of the temporary change in the east-west orientation of the magnetic dipole moment of the active region of the Sun is carried out. Based on the analysis of daily magnetograms of the Kitt Peak Observatory, patterns of changes in this orientation were established. It is founded that the change of orientation occurs due to the appearance of new zones of maximum magnetic field strength. And such a change can happen more than once. Based on these features, a model of the source of the active region is proposed as a system of solenoids that change their inclination to the surface of the photosphere. In order to study the temporal variation of this inclination, the active region recorded in three Carrington rotations CR2049 – CR2051 was studied. The magnetic dipole of this active region changes orientation in the east-west direction at least 4 times. The inclination of the axis of the solenoids of the source of the studied active region to the surface of the photosphere does not exceed 60 degrees. During the attenuation phase of this active region, only one solenoid has an effect on the dipole moment. The axis of this solenoid fluctuates of about 40 degrees.

<https://doi.org/10.31725/0552-5829-2024-221-224>

Введение

Активные области Солнца имеют преимущественную дипольную ориентацию в восточно-западном направлении. И это ориентация меняется от одного солнечного цикла к другому. Между тем появляются активные области с противоположной ориентацией той, которая является характерной для текущего цикла. В этой связи возникает вопрос о причинах появления таких областей.

Анализ данных

С целью изучить указанную выше проблему были использованы магнитографические наблюдения обсерватории Kitt Peak. Анализировались ежедневные карты магнитного поля за период 2003–2017 гг. [1].

Проведенный анализ показал, что анти-Хейловские области за период своего существования меняют дипольную ориентацию в восточно-западном направлении. И такая смена может происходить более одного раза. Смена изучаемой ориентации происходит из-за появления новых зон локального усиленного магнитного поля.

Модель

Из анализа магнитографических данных следует, что источник активной области является сложным образованием. Поскольку дипольный момент зависит от зон локально усиленного магнитного поля, то структуру источника можно представить набором соленоидов. Магнитное поле соленоида можно аппроксимировать действием двух «магнитных зарядов», удаленных друг от друга на расстояние L . «Заряды» находятся под фотосферой на глубине H и ориентированы под углом θ к фотосфере. На рис. 1 показана описанная выше схема соленоида.

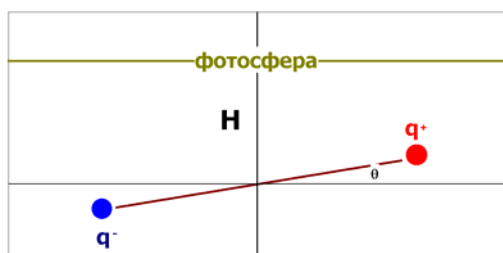


Рис. 1.

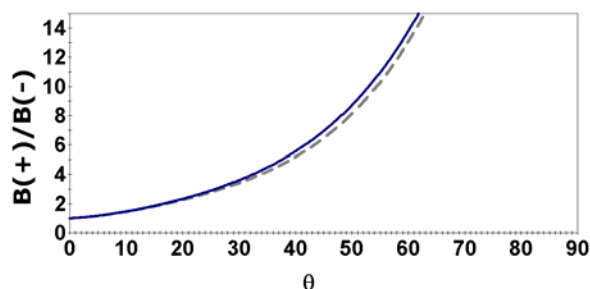


Рис. 2.

На фотосфере «магнитные заряды», создающие магнитное поле $B = q/r^2$ (рис. 1), формируют зоны локально усиленного поля разной полярности. Максимумы напряженности от таких зон зависят от параметров q , L , H , θ . Отношение абсолютных величин этих максимумов $B(+)/B(-)$ зависит главным образом от угла наклона оси соленоида (рис. 1). На рис. 2 показана такая зависимость с учетом отношения L/H . Сплошная линия относится к случаю $L/H = 0.5$, а пунктирная соответствует ситуации $L/H = 0.01$. Следует отметить, что при отношениях меньших 0.01 положение пунктирной кривой рис. 2 практически не меняется. Случай $L/H = 0.5$, вероятно, является предельным, поскольку $H = 0.02 - 0.1 R_{\text{sun}}$ [2]. А возможный размер соленоида $L > 0.01 R_{\text{sun}}$. В представленной на рис. 2 ситуации различие менее 2° по углу θ при одинаковом отношении $B(+)/B(-)$ в пределах $L/H = 0.01 - 0.5$.

Данные

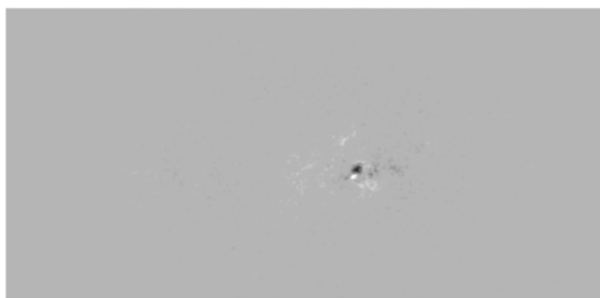


Рис. 3

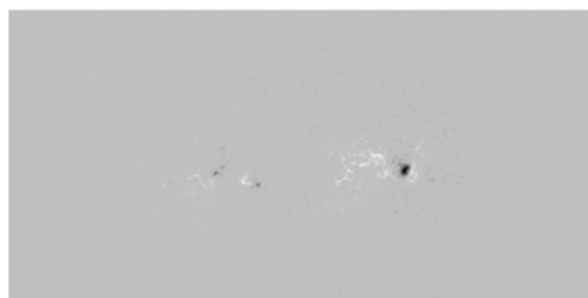


Рис. 4

Изучим долгоживущую активную область, которая появилась в кэррингтоновском обороте CR2049 в южной полусфере. За время своего существования произошла смена магнитного дипольного момента в восточно-западном направлении не менее 4-х раз. На рис. 3 и рис. 4 эта область в оборотах CR2049 и CR2050, находится правее центрального меридиана.

Вариации параметров источника

В оборотах CR2049 и CR2050 зона с экстремальной напряженностью имела отрицательный знак (рис. 3, рис. 4). В обороте CR2051 этот знак менялся. На рис. 5 – рис. 7 приведены отношения максимумов зон магнитного поля соответственно для оборотов CR2049 – CR2051. Сплошные линии относятся к зонам западнее зоны экстремальной напряженности, а пунктирные линии расположены восточнее этой зоны. Временные отсчеты даны в часах относительно момента первой регистрации изучаемой активной области. Вертикальные линии обозначают смену восточно-западной ориентации дипольного момента активной области. В верхней части рис. 5 – рис. 7 показано направление дипольного момента. За период движения активной области в оборотах CR2049 (рис. 5) и CR2050 (рис. 6) произошла такая смена. Также смена ориентации произошла и между оборотами, что демонстрируют рис. 5 – рис. 7, исходя из ориентации в конце и начале оборотов. Ситуация с ориентацией дипольного момента в периоды движения активной области на обратной стороне Солнца является неопределенной. В таком случае, можно утверждать, что дипольный момент изучаемой активности за время ее существования сменился не менее 4-х раз.

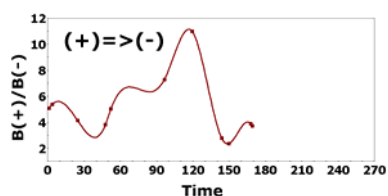


Рис. 5.

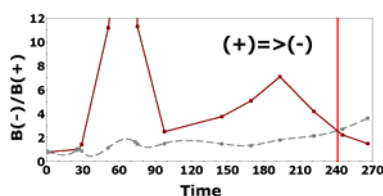


Рис. 6.

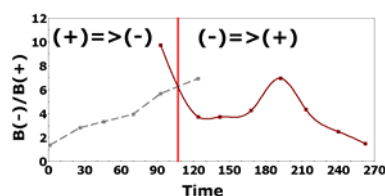


Рис. 7.

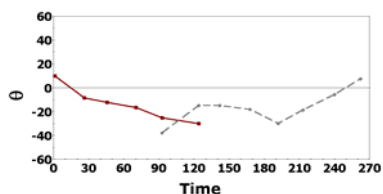


Рис. 8.

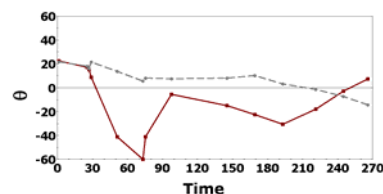


Рис. 9.

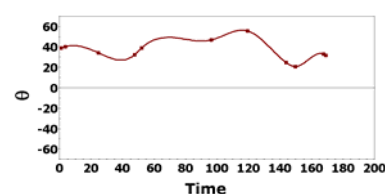


Рис. 10.

На основе наблюдаемых отношений максимальных напряженностей рис. 5 – рис. 7 можно определить вариацию наклона оси соленоида (рис. 1). Из теоретической зависимости рис. 2 получаем величины изменения наклона θ в течение наблюдаемых оборотов CR2049 – CR2051, которые

приведены на рис. 8 – рис. 10. Положительный знак θ соответствует условию расположения положительного «заряда» ближе к фотосфере (рис. 1).

Как видно из рис. 8, рис. 9, вариация наклона θ проявляет некоторую тенденцию. На фазе «затухания» активной области такая вариация имеет явно выраженный колебательный характер с периодом около 50 часов вблизи наклона 40° (рис. 10). Наклон оси соленоида имеет разный знак к фотосфере и величина этого наклона не превышает 60° (рис. 8 – рис. 10).

Выводы

Проведен анализ временного изменения магнитного дипольного момента активной области в восточно-западном направлении. Установлено, что такое изменение происходит вследствие появления новых зон максимальной напряженности магнитного поля. И такое появление приводит к неоднократной смене восточно-западной ориентации дипольного момента.

На основе наблюдаемых эффектов предложена модель источника активной области как системы соленоидальных токов. И в процессе эволюции активной области ориентация этих соленоидов меняет угол к фотосфере. С целью изучения вариации этого угла исследовалась долгоживущая активная область в течение оборотов CR2049 – CR2051. Установлено, что изучаемый угол не превышает 60° к фотосфере, а в течение большего времени существования активной области этот угол менее 40° . На фазе «затухания» активной области угол отклонения оси соленоида источника испытывает колебания с периодом ≈ 50 часов около величины 40° .

Литература

1. <https://solis.nso.edu/pubkeep/v7g/>
2. Merzlyakov V.L., Starkova L.I. // *Geomagnetism and Aeronomy*, 2021, v. 61, n. 8, pp. 1178 – 1182.