НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ТРАНСПОРТИРОВКИ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ МАГНИТОКОНВЕКЦИЕЙ ГИГАНТСКОГО МАСШТАБА

Мерзляков В.Л., Старкова Л.И.

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

SOME PROPERTIES OF MAGNETIC FIELD TRANSPORTATION BY THE CONVECTION OF GIGANTIC SCALE

Merzlyakov V.L., Starkova L.I.

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

The magnetic properties of the source of a solar active region are examined. The source as suggested is created by convective gigantic rolls. Two active regions at solar minimum 2007 are investigated using Kitt Peak synoptic maps. It is established that a magnetic moment of the source these active regions has a perpendicular orientation to the solar radius. The difference is no more 5 %. Also the orientation relative solar east-west direction was found. This orientation varies in wide intervals during active region evolution.

DOI: 10.31725/0552-5829-2021-203-206

Введение

Авторы ранее показали, что появление активных областей на фотосфере Солнца связано с подъёмом магнитоактивной плазмы конвекцией гигантского масштаба [1]. Магнитная конфигурация этой плазмы не является чисто дипольной, а имеет значимую октупольную гармонику, которая оказывается определяющей вблизи фотосферы. Чтобы разобраться со свойствами транспортируемой плазмы помимо магнитной конфигурации необходимо знать ориентацию магнитных гармоник. Решению этой задачи посвящено настоящее исследование.

Методика

Ориентация магнитных моментов транспортируемой магнитоактивной плазмы проявляется в наблюдаемом расположении разнополярных зон активной области. Наклон магнитного момента к солнечному радиусу отражается в различии напряжённостей разнополярных зон. И эти особенности использовались для изучения ориентации магнитных моментов магнитоактивной плазмы. Для решаемой задачи анализировались зоны максимальной напряжённости разной полярности.

В качестве наблюдательных данных использовались магнитные синоптические карты обсерватории Kitt Peak за 2007 год [2]. Исследовались две активные области NOAA 960 и NOAA 978, которые ранее изучались в

работе [1]. Эти активные области существовали в период очень низкой солнечной активности, но были при этом достаточно мощные. Окружающие их активные области имели малые магнитные потоки и, очевидно, не могли оказывать существенное влияние на изучаемые нами области. И в этом плане NOAA 960 и NOAA 978 можно считать «эталонными».

Результаты

Зоны максимальной напряжённости активных областей NOAA 960 и NOAA 978 брали как средние величины по площадке $0.6'' \times 0.6''$, чтобы сгладить флуктуации магнитного поля. Ориентация магнитного момента в картинной плоскости определяется как линия, проходящая через середину зон максимальной напряжённости разного знака. Изменение угла наклона этой линии к широте, в течение эволюции изучаемых активных областей, приведён на рис. 1. Данные по области NOAA 960 отмечены сплошной линией, а данные NOAA 978 изображены в виде пунктирной линии. Временные отсчёты даются в кэррингтоновских оборотах относительно начального $CR_0 = CR2055$ и $CR_0 = CR2061$ для первой и второй активной области соответственно. Как видно на рис. 1, ориентация магнитного момента не проявляет какой-либо закономерности и схожести поведения со временем. При том, что обе активные области находились на одной широте $\approx 10^\circ$ и имели близкие магнитные потоки в максимуме своего развития.

Рис. 1.

Рис. 2.

Отношение максимальных напряжённостей ведущей полярности к последующей (B_p/B_f) приведено на рис. 2. Временные отсчёты даются в кэррингтоновских оборотах относительно начального $CR_0 = CR2055$ и $CR_0 = CR2061$ для первой и второй активной области соответственно. Как видно на рис. 2, есть три участка схожего поведения двух областей. Уменьшение B_p/B_f до 1.5 кэррингтоновского оборота, а после 3-х кэррингтоновских оборотов происходит приближение этого отношения к 1. Между 2 и 3 кэррингтоновскими оборотами определяющей гармоникой является октупольная [1], и наблюдаемый характер искомого отношения (рис. 2) показывает, что эта гармоника может быть по-разному ориентирована к дипольной.

Модельные расчеты

Рассмотрим начальный этап транспортировки магнитоактивной плазмы до 1.5 кэррингтоновского оборота (рис. 2). На этом этапе определяющей гармоникой на фотосфере является дипольная. Рассчитаем отношение максимальных напряжённостей разнополярных зон, которые создаёт диполь в зависимости от отклонения к солнечному радиусу и расстоянию до фотосферы. На рис. 3 приведены эти зависимости (B_p/B_f), dU – величина отклонения от радиуса, L – положение диполя от начального уровня подъема магнитоактивной плазмы $L = 0.90 R_s$ до уровня, где дипольная гармоника является определяющей на фотосфере $L = 0.96 R_s$ [1]. Наблюдательные данные на начальном уровне показывают отношение 2.0 ± 0.2 , согласно расчётам (рис. 3) это отношение соответствует наклону к солнечному радиусу 85° . Дальнейший подъем магнитоактивной плазмы приводит к уменьшению отношения B_p/B_f до 1.3 (рис. 2), что указывает на увеличении угла до 88.5° . Это означает, что магнитный диполь при приближении к фотосфере становится более горизонтальным.

Рис. 3.

Около фотосферы преобладающей является октупольная гармоника, в течение временного интервала 2–3 кэррингтоновских оборота относительно начального. В этот период отношение B_p/B_f имеет максимум с величинами 2.2 (первая активная область) и 0.75 (вторая активная область) (рис. 2). Такое отношение напряжённостей означает, что октупольная гармоника имеет отклонение от плоскости, перпендикулярной солнечному радиусу, $\leq 4^\circ$ и $\leq 2^\circ$ соответственно.

На заключительном этапе эволюции активных областей отношение B_p/B_f стремится к 1 (рис. 2). Этот этап характерен тем, что происходит разделение магнитоактивной плазмы между двумя конвективными ячейками [1]. И малое различие между максимальными значениями напряжённостей разной полярности указывает на то, что вещество плазмы распределяется между двумя ячейками конвекции практически равными порциями.

Выводы

Проведены оценки ориентации магнитных моментов магнитоактивной плазмы, которая транспортируется ячейками гигантской конвекции. Оказалось, что дипольный момент этой плазмы имеет небольшое отклонение к плоскости, перпендикулярной солнечному радиусу. На этапе подъёма это отклонение составило 5° и уменьшалось практически до нуля. Октупольная гармоника также имела малое отклонение, которое составляло $\approx 3^\circ$ в период минимального расстояния магнитоактивной плазмы до фотосферы.

Ориентация магнитных моментов в плоскости, перпендикулярной солнечному радиусу, не выявила каких-либо закономерностей от широты активной области и времени. Эта ситуация согласуется с результатами работы [3], где обнаружено случайное распределение ориентации оси, проходящей через зоны максимальных напряжённости. Такой случайный характер не зависел ни от широты, ни от величины магнитного потока активной области, а закон Джоя проявляется только статистически на фазе затухания магнитного потока активной области.

This work utilizes SOLIS data obtained by the NSO Integrated Synoptic Program (NISP), managed by the National Solar Observatory, which is operated by the Association of Universities for Research in Astronomy (AURA), Inc. under a cooperative agreement with the National Science Foundation.

Литература

1. Мерзляков В.Л., Старкова Л.И. // Труды Всероссийской конф. “Солнечная и солнечно-земная физика – 2020”, СПб, ГАО РАН, 2020, с. 213-216.
2. https://solis.nso.edu/0/vsm/crmmaps/63021_cr2046-2065.html
3. Kosovichev A.G., Stenflo J.O. // *Astrophys. J.*, 2008, v. 688, pp. L115–L118.