

Возникновение магнитного поля в циклонической модели солнечного пятна

Откидычев Павел Анатольевич

аспирант

Ставропольский государственный университет, Физико-математический факультет,

Ставрополь, Россия

otkid@list.ru

Наиболее активно циклоническая модель солнечных пятен разрабатывалась в 1920-х годах. Её приверженцами были многие выдающиеся учёные того времени, в том числе первооткрыватель магнитных полей на Солнце Дж. Э. Хейл, создатель диаграммы светимости звёзд Г. Н. Рассел, основатель метеорологии В. Бьёркнес, и другие [1]. Однако в то время учёные так и не смогли объяснить, почему же в пятнах возникает столь сильное магнитное поле, и впоследствии от циклонической теории солнечных пятен отказались. Образование пятен стали объяснять всплыванием магнитных трубок, формирующихся в конвективной зоне механизмом динамо, а охлаждение солнечных пятен – подавлением конвекции магнитным полем.

Теория трубок магнитного потока, хотя и объясняет многие свойства солнечных пятен (например, преимущественное появление пятен в виде биполярных пар, ориентированных по линии восток – запад), имеет и недостатки. Главный из них состоит в том, что для работы механизма динамо необходимо изначально существующее (затравочное) магнитное поле.

По нашим представлениям, возникновение некоторых солнечных пятен может быть целиком связано с циклонической деятельностью на некоторой глубине под поверхностью фотосферы, где температура достаточно высока, чтобы плазма была полностью ионизированной и обладала достаточной проводимостью. Под циклонической деятельностью мы понимаем процесс вихрестока [2] – циркуляцию вязкой жидкости при одновременном её стекании в центральную область. При этом теория динамо [3] вообще не принимается во внимание, поскольку величина поля, вычисленная нами согласно нашей модели путём решения полной системы уравнений Навье – Стокса [4], хорошо согласуется с наблюдательными данными, причём поле в плазме возникает из состояния, где оно изначально отсутствовало. В любом случае, предлагаемая модель предоставляет теории динамо затравочное поле, без которого механизм динамо не работает.

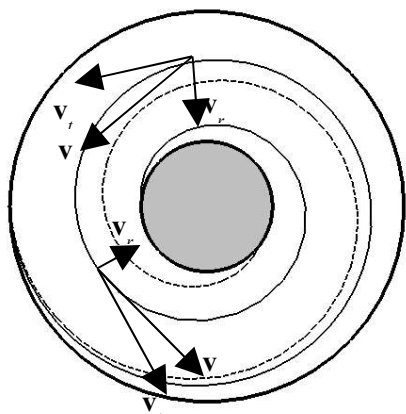


Рис. 1. Схематическое изображение движения протонного (сплошная линия) и электронного (пунктир) газов при стационарном вихрестоке в солнечной плазме.

По нашему мнению, основной причиной формирования магнитного поля при вихрестоке является тот факт, что кинематическая вязкость электронного газа плазмы в 42,8 раза превышает вязкость протонного газа [5] (это соотношение вязкостей одинаково как в ламинарном, так и в турбулентном случае). Это приводит к разному характеру движения этих газов при вихрестоке: протонный газ имеет большую тангенциальную и меньшую радиальную скорость (рис. 1). Разница в скоростях электронного и протонного газов приводит к образованию тока и, как следствие, магнитного поля. То, что в солнечном пятне происходят вихревые процессы, следует из экспериментальных фактов, в частности, эффекта Эвершеда – постоянного истечения газа на поверхности солнечного пятна от центра к периферии [1, 3, 6]. Далее, на многих фотографиях пятна чётко видно вихревую структуру волокон полутени [1, 6]. При этом направление вихря у солнечных пятен (если таковой вихрь вообще фиксируется визуально) аналогично направлению вихря у циклонов на Земле (Солнце, как и Земля, вращается с запада на восток). Так, примерно 75 % пятен в северном полушарии Солнца закручены против часовой, а такое же количество пятен в южном полушарии – по часовой стрелке. Кроме того, ни одно

солнечное пятно за время своего существования не пересекло солнечный экватор, что является дополнительным свидетельством в пользу его вихревой структуры.

Коротко предложенную нами модель пятна можно сформулировать следующим образом. На некотором уровне происходит вток плазмы в солнечное пятно из окружающей среды (рис. 2). На этом уровне течение плазмы мы считаем практически горизонтальным (рис. 3), что позволяет перейти к двумерной модели вихрестока и существенно упростить математические выкладки. Далее плазма поднимается вверх и, поднявшись до верхнего уровня фотосферы, растекается по поверхности Солнца, что и проявляется в виде эффекта Эвершеда. Наша модель применима к отдельному солнечному пятну и не касается того, почему пятна появляются, как правило, группами и в средних солнечных широтах. Также мы не рассматриваем

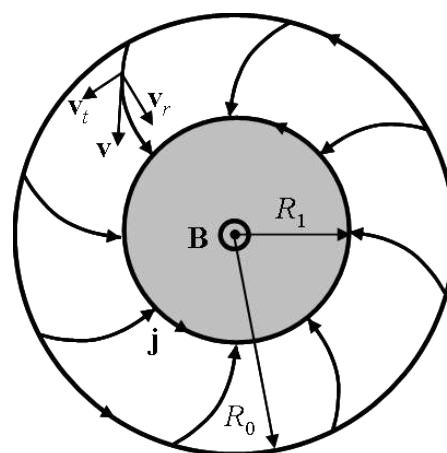


Рис. 2. Вихресток в солнечном пятне на глубине под поверхностью фотосферы.

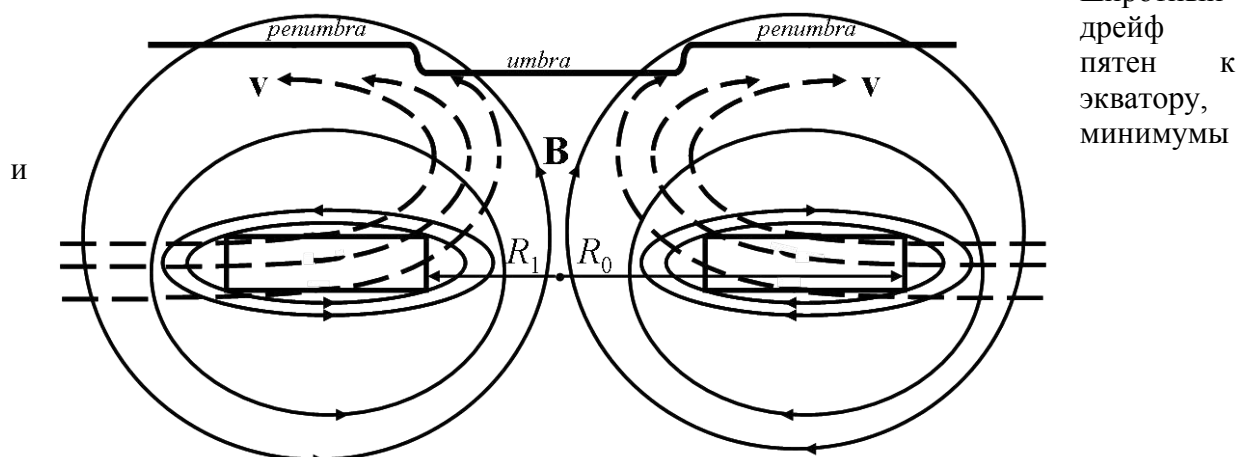


Рис. 3. Поперечное сечение вихрестока в солнечном пятне.

максимумы солнечной активности, 22-летний цикл и т.д.

В [7] нами получена оценочная зависимость от температуры величины магнитной индукции на границе области втока R_1 : $B_{R_1}(T) = 5.5 \cdot 10^{-11} T^{5/2}$ Гс. Согласно этой формуле, при температуре 200 тыс. К (соответствующей глубине 20 тыс. км под поверхностью Солнца) величина B_{R_1} равна 1000 Гс, что является характерным магнитным полем солнечного пятна.

Литература

1. J.H. Thomas, N.O. Weiss. The Theory of Sunspots. – Sunspots: Theory and Observations. Proc. of the NATO Advanced Research Workshop on the Theory of Sunspots. Cambridge, UK, 1992.
2. Лойцянский Л. Г. Механика жидкости и газа. – М., Дрофа, 2003.
3. Прист Э. Солнечная магнитогидродинамика. – М.: Мир, 1985.
4. Kaplan L.G., Otkidychev P.A. The Mechanism of Magnetic Field Origin at Vortical Processes in Stellar Plasma. Бюллетень САО РАН, Нижний Архыз, 2006 – в печати.
5. Лифшиц Е.М., Питаевский Л.П. Физическая кинетика. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002.
6. Молоденский М.М., Филиппов Б.П. Магнитные поля активных областей Солнца. АН СССР. – М.: Наука, 1992.
7. The Magnetic Field Origin Provided by Vortex-Inflowing Processes in Sunspots. Бюллетень САО РАН, Нижний Архыз, 2006 – в печати.