

УРОВНИ СТАБИЛИЗАЦИИ КИНЕТИЧЕСКОЙ И МАГНИТНОЙ ЭНЕРГИИ В КОНВЕКТИВНОЙ ЗОНЕ

Старченко С.В.

ИЗМИРАН

sstarchenko@mail.ru

Для получения уравнения эволюции суммарной кинетической энергии $K(t)$, проинтегрируем по всему объему конвективной зоны (КЗ) Солнца скалярное произведение вектора скорости на уравнение импульса. Получим, что временная производная dK/dt равна интегральной мощности силы плавучести Архимеда A (которая близка к величине солнечной светимости из-за доминирующего конвективного переноса тепла в КЗ) за вычетом мощностей сил вязкости $2K/\tau$ и Лоренца $2uE/L$. Здесь интегралы представлены через их составляющие, которым они прямо пропорциональны, а среднеквадратичная скорость $u = (2K/M)^{1/2}$, где M – масса конвективной зоны. Время τ – для соответствующей вязкости, E – суммарная магнитная энергия, L – характерный гидромагнитный масштаб, деленный на типичный синус угла между векторами скорости и магнитного поля. Аналогичным образом проинтегрируем по объему скалярное произведение вектора магнитного поля на уравнение индукции. Окончательно получим следующую систему для магнитной E и кинетической K энергии.

$$E^{-1/2}dE^{1/2}/dt = (2K/M)^{1/2}/L - 1/T, \quad dK/dt = A - 2(2K/M)^{1/2}E/L - 2K/\tau. \quad (1, 2)$$

Устойчивая стационарная (индекс S) точка или уровень стабилизации этой системы:

$$K_S = M(L/T)^2/2, \quad E_S = TA/2 - ML^2/(2T\tau). \quad (3, 4)$$

При общеизвестном $u = 100$ м/с и практически совпадающим с длительностью солнечного цикла $T = 300$ Мс получаем $L = 30$ Гм, что на два порядка превышает толщину конвективной зоны, свидетельствуя о соответствующем (и, скорее всего, даже большем) превышении критического или порогового уровня динамо Солнца. При A совпадающим с солнечной светимостью ($4 \cdot 10^{26}$ Вт) получим, что для генерации магнитного поля необходимо, следующее из (4) и приведенных выше оценок, выполнение порогового условия

$$\tau > 1 \text{ Мс}. \quad (5)$$

Последняя величина близка к типичному или среднему времени жизни солнечных пятен. Если условие (5) выполняется с хорошим запасом – то устойчивое поле $b_S = (2\mu_0\rho E_S/M)^{1/2}$, см. (4), порядка 10 Тл (10^5 Гс) в недрах КЗ. При этом магнитная и кинетическая энергии обе около $6 \cdot 10^{34}$ Дж. При $\tau \sim 1$ Мс возможно существенное уменьшение величины магнитного поля и, скорее всего, кратковременный поход в окрестность неустойчивых (индекс N) уровней стабилизации системы (1-2):

$$M_N = 0, \quad K_N = \tau A/2. \quad (6)$$

При этом возможны вспышки с энергиями на порядки больше тех, что наблюдались.