

ИНТЕГРАЛЬНЫЕ ВРЕМЕНА И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ БАЛАНС МАГНИТОКОНВЕКЦИИ СОЛНЦА

Старченко С.В.
ИЗМИРАН
sstarchenko@mail.ru

Для получения уравнения эволюции среднеквадратичной скорости $u(t)$, проинтегрируем по всему объему конвективной зоны (КЗ) Солнца скалярное произведение вектора скорости на уравнение импульса. Получим, что $u du/dt$ равна удельной интегральной мощности силы плавучести Архимеда a (которая, из-за доминирующего конвективного переноса тепла, близка к величине солнечной светимости деленной на вес КЗ, что в результате дает $a \approx 8$ мВт/кг) за вычетом удельных интегральных мощностей сил вязкости u^2/τ и Лоренца ub^2/L . Здесь среднеквадратичное магнитное поле $B=b(\rho\mu)^{1/2}$, где ρ – средняя плотность, μ – фундаментальная постоянная. Удобным образом и скорость u , и нормированное магнитное поле b оба измеряются в м/с. Все соответствующие интегралы представлены через их составляющие, которым они прямо пропорциональны. Турбулентное время τ – для единой кинематической и магнитной вязкости, L – характерный магнитный 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:

$$u du/dt = a - ub^2/L - u^2/\tau, \quad b db/dt = ub^2/L - b^2/\tau. \quad (1, 2)$$

Устойчивые стационарные (индекс s) точки или уровни стабилизации этой системы:

$$u_s = L/\tau, \quad b_s = \pm(a\tau - L^2/\tau^2)^{1/2}. \quad (3, 4)$$

Генерация магнитного поля возможна только, когда мощность a достаточно велика

$$a > L^2/\tau^3. \quad (5)$$

При $(\tau_c)^3 a = (L_c)^2$, используя (4) и (3), выразим критические L_c и τ_c через u_s и a как

$$L_c = (u_s)^3/a, \quad \tau_c = (u_s)^2/a. \quad (6, 7)$$

При $u_s = 100$ м/с получаем $L_c = 125$ Мм, что почти совпадает (!) с полутолщиной конвективной зоны, а $\tau_c = 1.25$ Мс удивительно близко к половине длительности среднего периода вращения Солнца и к среднему времени жизни солнечных пятен! Такие «совпадения» свидетельствуют о соответствующем почти критическом уровне динамо Солнца, когда два вышеупомянутых параметра лишь слегка отклоняются от своих критических значений. При этом динамо практически линейно, что способствует успешному продвижению общеизвестных динамо-моделей среднего поля.

Кинетическая энергия всей КЗ, очевидным образом, равна $(u_s)^2 M/2 = 2.5 \cdot 10^{32}$ Дж, где $M = 5 \cdot 10^{28}$ кг – известная масса КЗ. Магнитная энергия $M(a\tau - L^2/\tau^2)/2$ обнуляется при критических параметрах. При отклонении от критической ситуации в сторону роста этой энергии она проходит все промежуточные значения вплоть до чуть меньше чем $Mat/2$, которое приблизительно равно те же $2.5 \cdot 10^{32}$ Дж для рассматриваемого небольшого превышения порогового уровня почти критического динамо. Среднее магнитное поле при этом изменяется от нуля и вплоть до максимально возможного значения, которое равно примерно $b = (a\tau)^{1/2} = 90$ м/с, что эквивалентно $B = 0.2$ Тл или 2000 Гс.