

ОБЪЕДИНЕННАЯ МОДЕЛЬ ДИНАМО И ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ВРАЩЕНИЯ

¹ А.А. Непомнящих, ^{1, 2} Л.Л. Кичатинов

¹ Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, Россия

^{1, 2} Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН,

Санкт-Петербург, Россия

Меридиональная циркуляция и дифференциальное вращение

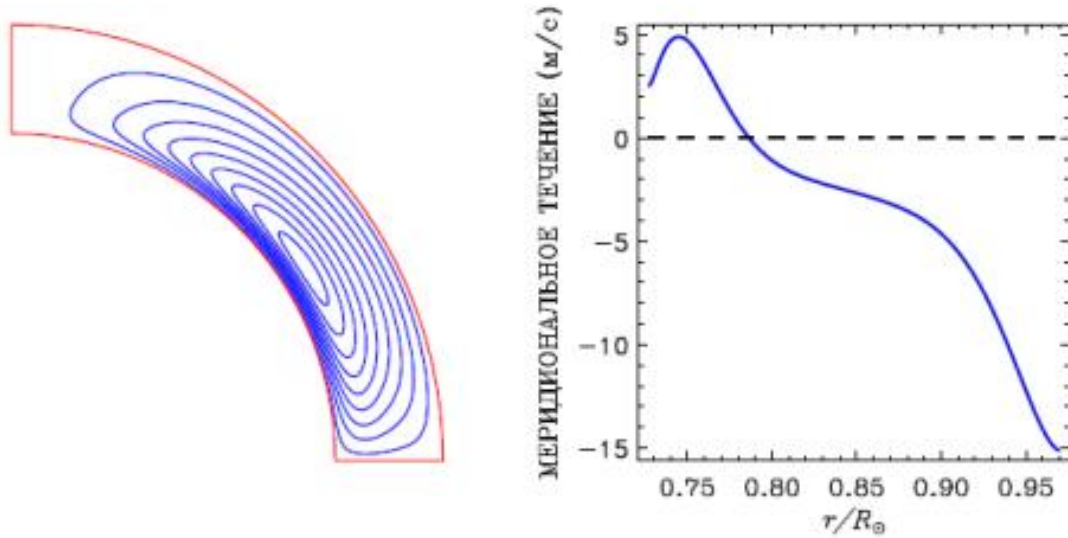


Рис. 1. Линии тока меридионального течения (слева) и зависимость меридиональной скорости от радиуса для широты 45° . Положительная величина скорости означает течение к экватору

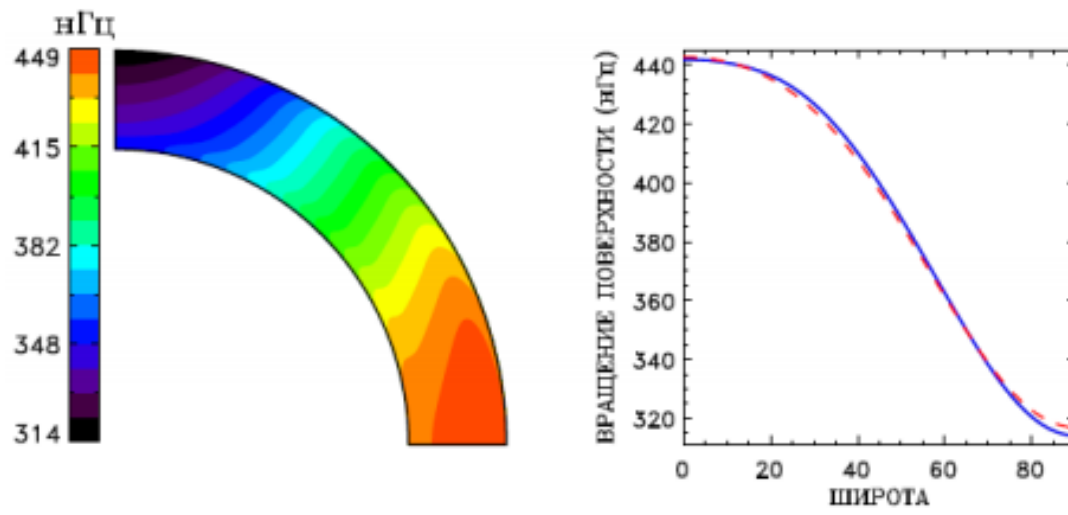


Рис. 2. Дифференциальное вращение по результатам модели: изолинии угловой скорости в конвективной зоне (слева) и зависимость частоты вращения от широты на поверхности. Штриховой линией показаны доплеровские измерения [Howard et al. 1983].

Модель динамо

$$\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} = \nabla \times (\mathbf{V} \times \mathbf{B} + \boldsymbol{\mathcal{E}}) \quad (1)$$

$$\frac{\partial A}{\partial t} = \frac{1}{\rho r^2 \sin \theta} \left(\frac{\partial \psi}{\partial r} \frac{\partial A}{\partial \theta} - \frac{\partial \psi}{\partial \theta} \frac{\partial A}{\partial r} \right) + r \sin \theta \mathcal{E}_\phi \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial B}{\partial t} = & \frac{1}{r^2 \rho} \frac{\partial \psi}{\partial r} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\frac{B}{\sin \theta} \right) - \frac{1}{r \sin \theta} \frac{\partial \psi}{\partial \theta} \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{B}{\rho r} \right) \\ & + \frac{1}{r} \left(\frac{\partial \Omega}{\partial r} \frac{\partial A}{\partial \theta} - \frac{\partial \Omega}{\partial \theta} \frac{\partial A}{\partial r} \right) + \frac{1}{r} \left(\frac{\partial (r \mathcal{E}_\theta)}{\partial r} - \frac{\partial \mathcal{E}_r}{\partial \theta} \right) \end{aligned} \quad (3)$$

Неопределенные параметры модели

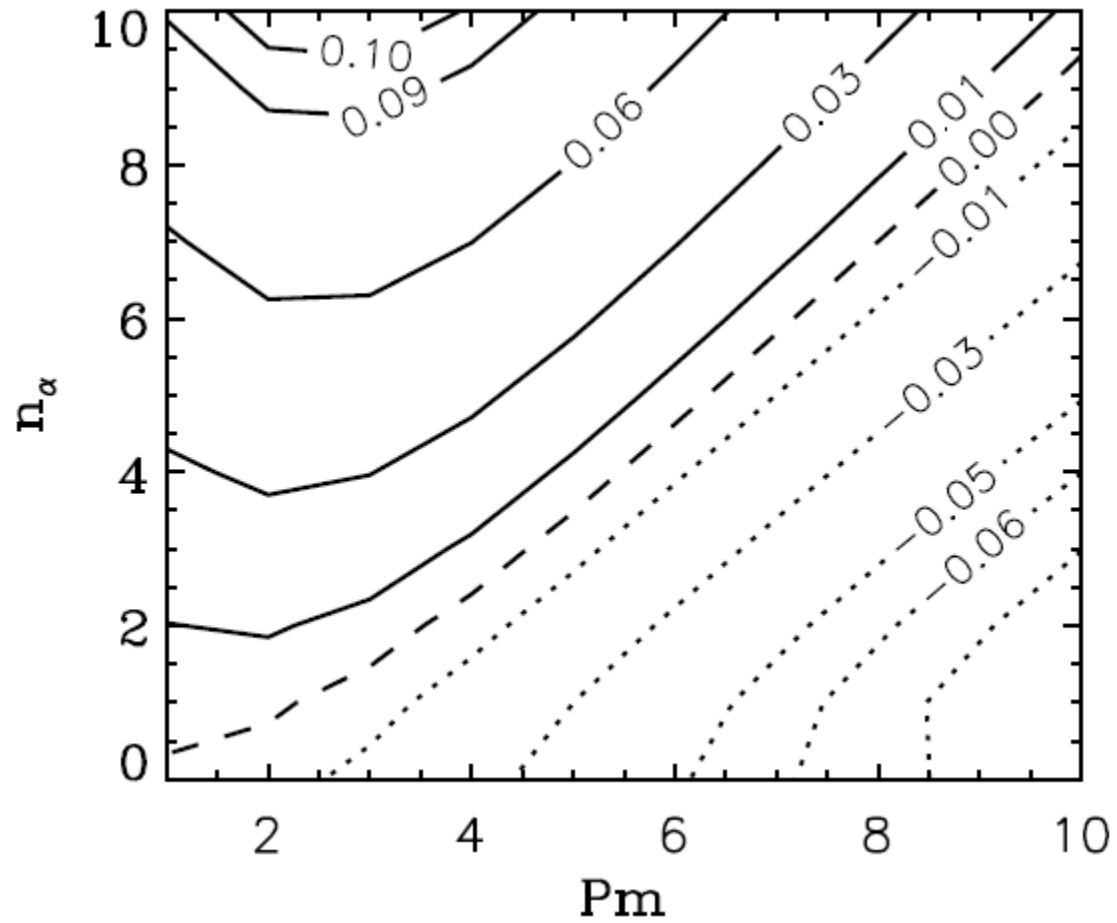


Рис. 3. Изолинии величины $s = \alpha_c^a / \alpha_c^d - 1$

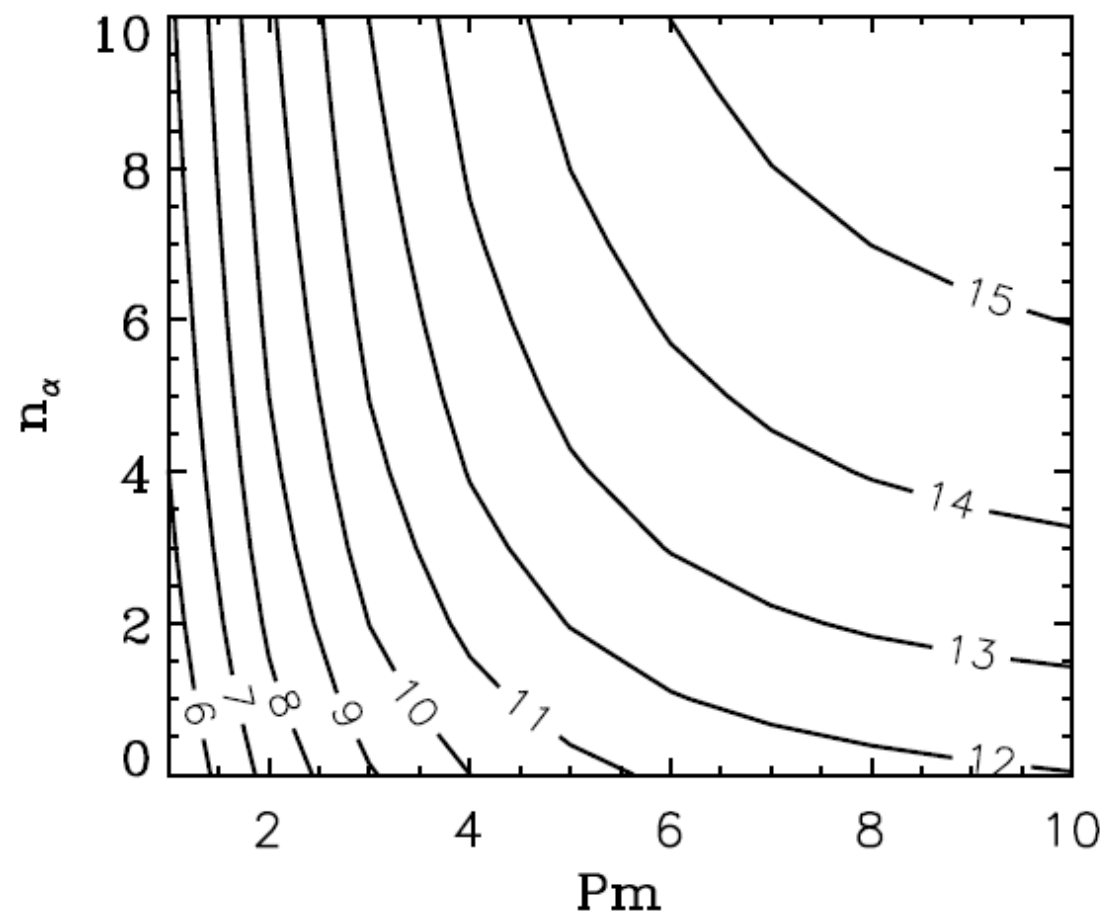
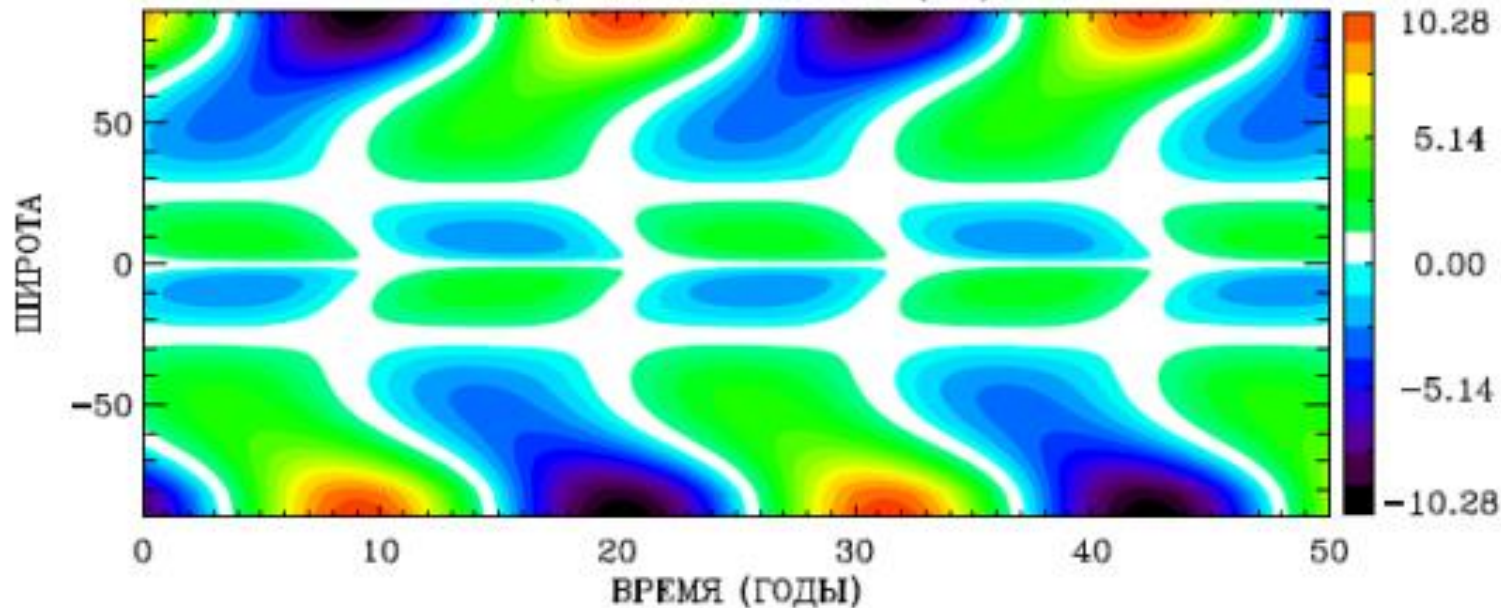


Рис. 4. Изолинии периодов активности в модели динамо

РАДИАЛЬНОЕ ПОЛЕ (Гс)



ТОРОИДАЛЬНОЕ ПОЛЕ (кГс)

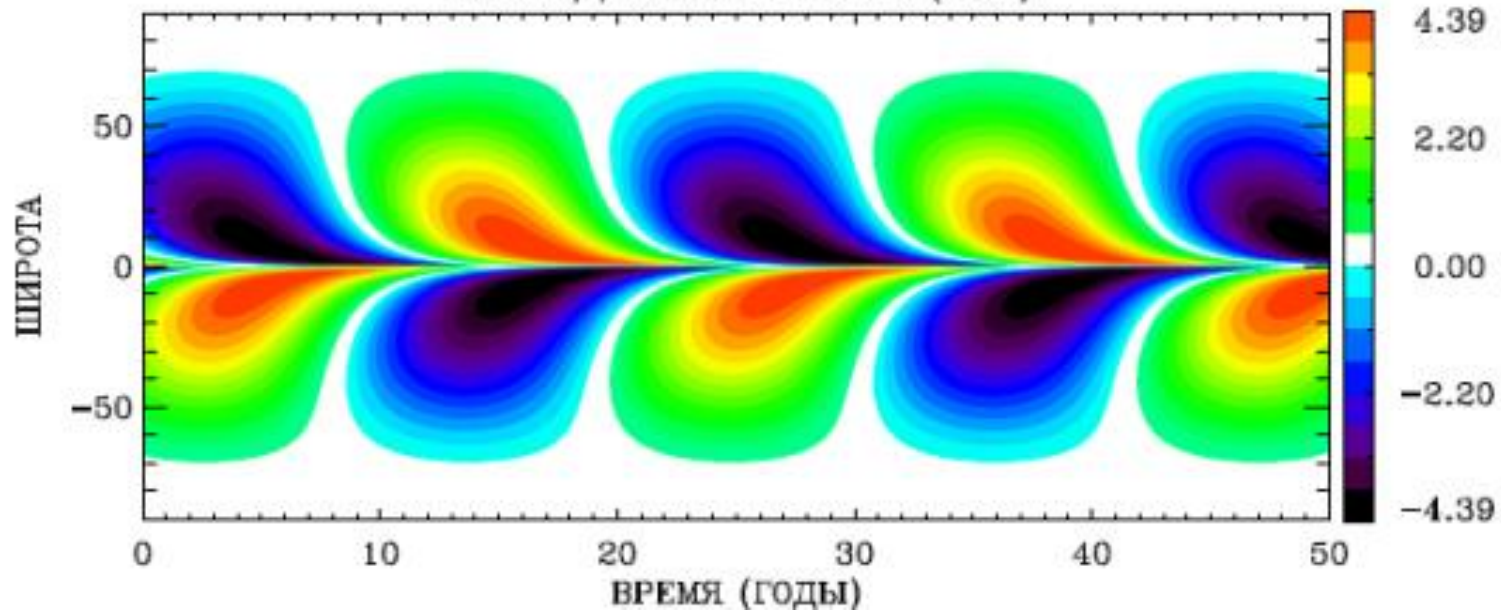


Рис. 5. Широтно-временные диаграммы радиального поля на солнечной поверхности (вверху) и тороидального поля у основания конвективной зоны по расчетам модели динамо с параметрами $Rm=3$, $n_\alpha=7$. Динамо число выбрано на 12% превышающим критическое для этих параметров.

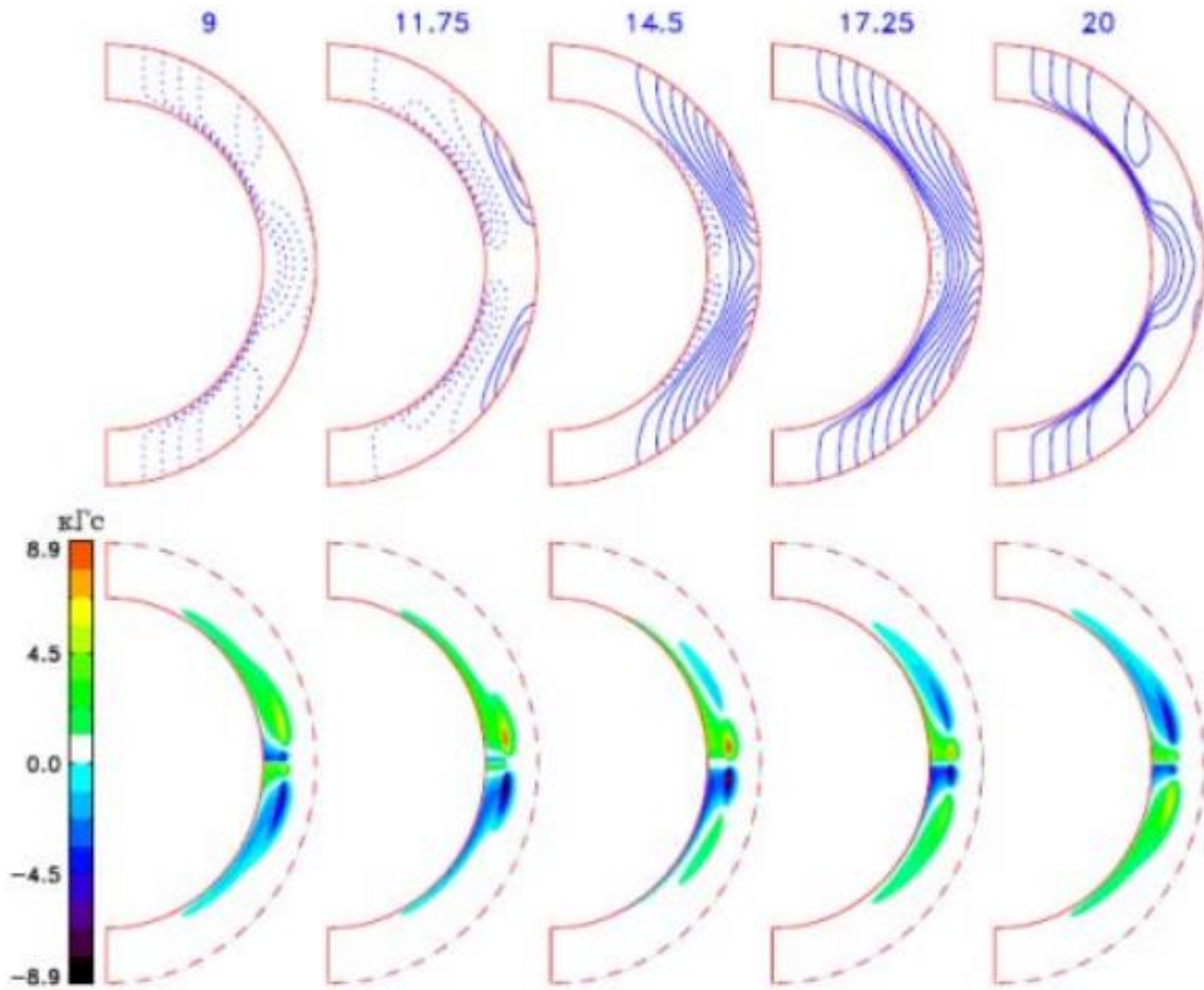


Рис. 6. Линии полоидального поля для той же модели, что и рис. 5 (вверху). Сплошные и пунктирные линии соответствуют циркуляции по часовой стрелке и против.

Внизу: распределения тороидального поля. Штриховая линия показывает относительный радиус $r/R_{\text{sun}} = 0.85$, ниже которого концентрируется тороидальное поле

Заключение

- ❑ Определение двух параметров модели из требований соответствия наблюдаемому периоду солнечного цикла и экваториальной симметрии крупномасштабных полей приводит к соответствию модели и другим наблюдаемым характеристикам крупномасштабной организации солнечной активности.
- ❑ Согласование моделей динамо и дифференциального вращения подготовило их применение к подобным Солнцу звездам.

Спасибо за
внимание!