МЕЛКОМАСШТАБНОЕ ДИНАМО В СПЕКТРАЛЬНОМ ПРЕДСТАВЛЕНИИ И НЕЛИНЕЙНАЯ СТАБИЛИЗАЦИЯ СОЛНЕЧНОГО ДИНАМО

Соколов Д.Д.^{1,2}, Юшков Е.В.¹, Фрик П.Г.³, Лукин А.С.⁴

¹Московский Государственный университет, Москва, Россия

²ИЗМИРАН, Троицк, Москва, Россия

³Институт механики сплошных сред УрО РАН, Пермь, Россия

⁴Высшая школа экономики, Москва, Россия

SMALL-SCALE DYNAMO IN SPECTRAL REPRESENTATION AND NONLINEAR STABILIZATION OF SOLAR DYNAMO

Sokoloff D.D.^{1,2}, Yushkov E.V.¹, Frick P.G.³, Lukin A.S.⁴

¹Moscow State University, Moscow, Russia

²IZMIRAN, Troitsk, Moscow, Russia

³Institut of Continuous Media Mechanics, Perm, Russia

⁴High School of Economics, Moscow, Russia

Nonlinear saturation of solar dynamo is usually associated with the fact that mean-field dynamo action in a mirror asymmetric convection leads to a redistribution of magnetic helicity between large and small scales. Magnetic helicity accumulated in small scales suppresses so-called alpha-effect. This scenario supposes that small-scale dynamo or does not act in the Sun or the small-scale dynamo action do not contribute in the magnetic helicity redistribution. A detailed investigation of small-scale dynamo learns however a limited applicability of the above concept. In particular, small-scale dynamo action results in a magnetic helicity redistribution as well, however this process occurs in scales much smaller rather it happens for the large-scale dynamo. Here we present new data concerning nonlinear saturation of mean-field dynamo. In particular, we clarify how nonlinear saturation of small-scale dynamo occurs. The basic difference between small-scale and large-scale dynamo is that the last one contains a small parameter? Namely alpha-effect, which can be easily suppressed by the growing dynamo driven magnetic field without basic changes in other quantities responsible for dynamo action. In contrast, the only quantity which controls the small-scale dynamo is magnetic Reynolds number. Observations tell that magnetic Reynolds number remains high even at nonlinear stage of the small-scale stages of dynamo action. We demonstrate however that a suitable reorganization of hydrodynamic spectrum of magnetic convection can suppress small-scale dynamo action without basic suppression of magnetic Reynolds number.

DOI: 10.31725/0552-5829-2019-361-362

Нелинейное подавление солнечного динамо часто связывается с тем, что при работе динамо среднего поля в зеркально асимметричной конвекции происходит перераспределение магнитной спиральности между крупными и мелкими масштабами, причем магнитная спиральность, накапливающаяся в мелких масштабах, подавляет альфа-эффект. Этот сценарий молчаливо предполагает, что на Солнце либо вообще не работает мелко-масштабное динамо, а если оно и работает, то его работа не вносит вклада

в перераспределение магнитной спиральности. Однако по мере более детального изучения мелкомасштабного динамо все больше выясняется ограниченность этого представления. Выясняется, что в ходе работы мелкомасштабного динамо также, но в гораздо более мелких масштабах, чем для основного динамо, происходит перераспределение магнитной спиральности. В докладе представлены новые данные по этому еще недостаточно разработанному вопросу.

Существенное отличие между крупномасштабным и мелкомасштабным динамо состоит в том, что среди источников крупномасштабного динамо есть малая величина, а именно, т.н. альфа-эффект, характеризующий степень зеркальной асимметрии конвекции. Его можно существенно изменить, не меняя заметно других характеристик динамо. Напротив, в описании мелкомасштабного динамо явно присутствует лишь один параметр, характеризующий его работу, а именно, магнитное число Рейнольдса. В то же время наблюдения говорят, что в тех небесных телах, в которых предполагается или обнаруживается наблюдениями работа мелкомасштабного динамо (к их числу относятся и Солнце), магнитное число Рейнольдса явно больше сравнительно умеренного значения, достаточного для работы мелкомасштабного динамо.

В нашем докладе мы представляем сценарий нелинейной стабилизации мелкомасштабного динамо, обнаруживающий слабое место в этом, на первый взгляд убедительном рассуждении. Предлагаемый сценарий основан на представлении, что обратное влияние растущего магнитного поля на движения не сводится к простому подавлению амплитуды конвекции в силу перехода части кинетической энергии в энергию магнитного поля. Он приводит к перераспределению кинетической энергии по масштабам конвективного спектра без существенного уменьшения полной кинетической энергии, то возникает возможность подавления работы мелкомасштабного динамо и при высоких магнитных числах Рейнольдса.

Мы представляем результаты примеров подобной нелинейной стабилизации работы мелкомасштабного динамо в рамках известной модели короткокоррелированного случайного течения, предложенной А.П. Казанцевым. Эта модель дополнена подходящим рецептом того, как растущее магнитное поле перераспределяет спектральный состав корреляционного тензора мелкомасштабного магнитного поля. Продемонстрировано, что детали этого перераспределения существенно влияют на амплитуду равновесного квазистационарного случайного магнитного поля. Предлагаемый сценарий разработан для мелкомасштабного динамо, работающего в зеркально-симметричной конвекции, его перенос на реальную зеркально-асимметричную солнечную конвекцию требует еще дополнительной работы, которая, видимо, не представляет непреодолимых трудностей.

Работа поддержана проектами РФФИ 18-02-00085 и фонда Базис 18-1-1-77-1.