Когерентные состояния в солнечной МГД турбулентности

Т. Ю. Антонов[1], С.А. Ложкин[1], Д.Д. Соколов[2], П.Г. Фрик

[1] Институт механики сплошных сред УРО РАН, Пермь
[2] Московский Государственный университет, Москва, Россия

Турбулентные потоки проводящей жидкости могут генерировать хаотическое мелкомасштабное магнитное поле при условии, что достаточно велико магнитное число Рейнольдса. Этот процесс известен как мелкомасштабное динамо и его связывают с образованием мелкомасштабных магнитных полей Солнца. Магнитное поле, генерируемое механизмом мелкомасштабного динамо, достигает равнораспределения за время порядка времени оборота турбулентного вихря l/v, где l – основной масштаб турбулентности, v – турбулентная скорость. Далее магнитное поле остается в состоянии статистического равновесия с турбулентностью на временных масштабах, много больших l/v.

Это равновесное состояние можно характеризовать с помощью кинетического и магнитного спектра, спектрального потока и других статистических характеристик. Невязкие интегралы движения позволяют построить целый ряд возможных скейлингов для МГД турбулентности. Например, предположение о постоянстве спектрального потока ведет к колмогоровскому спектральному индексу $-5/3$, а представление о турбулентности альвеновских волн приводит к спектру Крейчнана-Ирошникова $-3/2$. Еще одна возможность была предложена в начале 80- х французскими специалистами по теории турбулентности. Этот сценарий предполагает образование своеобразного когерентного состояния с высокой корреляцией магнитного поля и поля скорости, что в свою очередь ведет к запиранию турбулентного каскада.

Формирование концепции такого когерентного состояния во многом была связана с наблюдением высокой корреляции между полем скорости и магнитным полем в солнечном ветре. Появление этой корреляции до определенной степени прослеживается в прямом численном моделировании МГД турбулентности. Однако, возможности прямого численного моделирования в подобных задачах очень ограничены.

Мы предлагаем изучать возникновение когерентного состояния с помощью каскадных моделей турбулентности. Каскадная модель мелкомасштабного динамо правильно описывает все известные свойства этого процесса генерации магнитного поля. Мы демонстрируем, что на больших временах в каскадной модели динамо действительно происходит образование когерентного состояния, изучаем процесс перехода к такому состоянию и его свойства.