

## Эволюция энергетического спектра солнечного ветра в рамках каскадного приближения

Солнечный ветер - ключевое связующее звено в системе Солнце-Земля, однако ни физика его формирования, ни физика эволюции еще до конца не ясны. Это факт являлся основной причиной запуска в 2018 году специальной спутниковой миссии Parker Solar Probe (PSP), по большей части сконцентрированной на вопросе исследования солнечного ветра. За первые пять лет работы эта миссия обеспечила специалистам огромный приток новых данных с высоким временным разрешением и большой вариацией гелиоцентрических расстояний. В частности, она позволила в деталях изучить спектры флуктуаций полей солнечного ветра: поля скорости и магнитного поля, и по-новому взглянуть на турбулентный каскад, формирующийся в межпланетной плазме.

Данные PSP подтвердили ранее обнаруженное наличие в картине спектральной плотности флуктуаций энергии магнитного поля двух изломов, первый из которых расположен вблизи субионного масштаба, другой - на левом конце инерционного интервала, то есть в области вихрей большого масштаба. Единого мнения на счет эволюции этих маркеров пока не сложилось, поэтому на данный момент изучение динамики этих изломов, ограничивающих инерционный интервал и определяющих турбулентный каскад, является ключевым. И если для описания околодиссипативного излома необходимым кажется привлечение кинетического подхода, то эволюцию крупномасштабного излома, видимо, можно описать, оставаясь в рамках магнитогидродинамической парадигмы. В настоящей работе, используя в качестве основы данные миссии PSP, мы описываем свободное вырождение турбулентного каскада с помощью оболочечной изотропной МГД-модели и стараемся повторить реально наблюдаемую эволюцию излома спектра.

Для описания турбулентного каскада мы используем оболочечную (от англ. shell model) или, по-другому, каскадную модель, разработанную Ф. Плунианом и П.Г. Фриком. Класс оболочечных моделей для систем гидродинамического типа представляет из себя Фурье-образы системы МГД-уравнений, в которых образы нелинейных слагаемых приближены суммой квадратичных нелинейностей таким образом, чтобы в бездиссипативном случае выполнялись законы сохранения трехмерной МГД: сохранения полной энергии, магнитной и перекрестной спиральности. При этом непрерывная спектральная шкала заменяется набором дискретных спектральных оболочек, а в нелинейных слагаемых учитывается обмен энергией только между соседними оболочками. В таком подходе мы используем данные PSP вблизи Солнца как входные и изучаем в процессе свободного вырождения турбулентного каскада возможную эволюцию спектров и динамику движения крупномасштабного излома. Полученные результаты каскадного моделирования сравниваются с данными PSP на оси Солнце-Земля и на основании сравнения делается вывод о применимости оболочечного анализа и гипотезы свободного вырождения.

Авторы хотели бы выразить искреннюю благодарность П. Г. Фрику за полезные советы и предоставленную модель, а также команде Parker Solar Probe и CDAWEB за предоставленные спутниковые данные. Работа поддержана грантом фонда БАЗИС N 21-1-3-63-1.

### Секция

Межпланетная среда: солнечный ветер и межпланетное магнитное поле

**Primary authors:** DUKANOV, Илья (Lomonosov Moscow State University, Faculty of Physics); ЮШКОВ, Ероп Владиславович (ИКИ РАН, Физический факультет МГУ); СОКОЛОВ, Дмитрий Дмитриевич (Физический факультет МГУ)

**Presenter:** DUKANOV, Илья (Lomonosov Moscow State University, Faculty of Physics)