

**Заявка на конкурс научных работ ИКИ РАН  
(номинация "лучшая научная работа или цикл работ")**

**1. Авторы:**

Рязанцева М.О., Будаев В.П., Застенкер Г.Н., Рахманова Л.С., Ермолаев Ю.И.

**2. Название:**

цикл "Особенности формы спектров флуктуаций потока ионов на стыке инерционного и диссипативного интервалов в солнечном ветре и магнитослое "

**3. Ссылки на публикации:**

- Riazantseva M., Budaev V., Rakhmanova L., Zastenker G., Yermolaev Yu., Safrankova J., Nemecek Z., Prech L., . Variety shapes of solar wind ion flux spectra by using high resolution Spektr-R measurements, J. Plasma Phys., 2017, V. 83(4), 705830401, doi:10.1017/S0022377817000502
- М. О. Рязанцева, Л. С. Рахманова, Г. Н. Застенкер, Ю. И. Ермолаев, Типы спектров флуктуаций потока ионов в солнечном ветре и магнитослое на стыке инерционного и диссипативного интервалов, Геомагнетизм и Аэрономия, Т. 57 , №1, СС. 3-7 , 2017.

**4. Общая формулировка научной проблемы и ее актуальность**

Основная задача исследования состоит в экспериментальном анализе особенностей турбулентного каскада флуктуаций плазмы околоземного космического пространства в области перехода от магнитогидродинамического к кинетическому масштабу. Актуальность задачи связана с не решенной до сих пор проблемой нагрева и ускорения ионов в солнечном ветре. Согласно современным представлениям предполагается, что нагрев и ускорение ионов происходят в результате диссипации турбулентной энергии. Однако, каким образом происходит энергетический обмен в процессе нелинейного взаимодействия структур различных временных и пространственных масштабов в турбулентном каскаде, пока остается не достаточно ясным. Измерения плазменных параметров с высоким временным разрешением (вплоть до 0.03 с) на КА СПЕКТР-Р позволяют провести экспериментальное исследование спектра турбулентности плазмы в интересующих масштабах и выявить различные отклонения от модельных представлений.

**5. конкретная решаемая в работе задача и ее значение**

Цикл работ посвящен изучению разнообразия форм спектров флуктуаций потока ионов в солнечном ветре (СВ) и магнитослое (МСЛ) в области перехода от инерционных к диссипативным масштабам турбулентного каскада. Данное исследование нацелено на выявление возможных различий в механизмах передачи энергии по турбулентному каскаду при разнообразных условиях в плазме околоземного космического пространства, и имеет ключевое значение для понимания процессов приводящих к диссипации и как следствию нагреву плазмы.

**6. используемый подход, его новизна и оригинальность**

Работа проведена на базе экспериментальных прямых измерений потока ионов околоземной космической плазмы с помощью прибора БМСВ (эксперимент ПЛАЗМА-Ф на КА СПЕКТР-Р), позволяющего проводить уникальные измерения с высоким временным разрешением вплоть до 32 мс. В работе использованы современные методы обработки временных рядов измерений. Для исследования спектров флуктуаций используется быстрое преобразование Фурье с частотной фильтрацией окном Хамминга. Для анализа статистических свойства используется построение функций распределения вероятности флуктуаций, вычисление структурных функций и их моментов. Для определения экспериментальных скейлингов структурных функций используется современный подход WTMM (Wavelet Transform Modulus Maxima Method) позволяющий

повысить точность определения нелинейных скейлингов для широкого диапазона значений моментов функции распределения. Для описания скейлингов структурных функций применялись оригинальные алгоритмы параметризации на основе Лог-Пуассоновских моделей, учитывающих высокий уровень перемежаемости в околоземном космическом пространстве.

## **7. Полученные результаты и их значимость**

Проведен систематический анализ особенностей форм спектров флуктуаций потока ионов солнечного ветра (СВ) и магнитослоя (МСЛ) на масштабах 0.01-10 Гц по данным эксперимента ПЛАЗМА-Ф на спутнике СПЕКТР-Р (прибор БМСВ) и выявлено 5 характерных типов спектров: (1) спектры с двумя характеристическими наклонами и одной точкой перегиба, (2) спектры с нелинейным укрупнением на кинетических масштабах, (3) спектры с уплощением вблизи точки перегиба, (4) спектры с пиком вблизи точки перегиба, (5) спектры без укрупнения на кинетических масштабах. Наиболее популярным является форма спектра с двумя наклонами и одной точкой перегиба - она наблюдается примерно в 50% случаев в СВ и в 47% случаев в МСЛ. Вторыми по популярности являются спектры с уплощением в области перегиба, они наблюдаются в 32% случаев в СВ и в 18% случаев в МСЛ. Спектры с пиком в области перегиба достаточно часто наблюдаются в МСЛ (19% случаев), однако в СВ они встречаются сравнительно редко (3% случаев). Два оставшихся типа спектров встречаются значительно реже: спектры с нелинейным укрупнением на кинетических масштабах - в 6% случаев в СВ и в 11% случаев в МСЛ, а спектры имеющие единый наклон спектра на всем исследуемом диапазоне частот (без укрупнения на кинетических масштабах) - в 6% случаев в СВ, и почти не встречаются в МСЛ (1-2% случаев).

Определены типичные условия в СВ характерные для всех рассмотренных выше видов спектров. Показано, что наиболее сильно отличаются параметры плазмы для спектров флуктуаций с нелинейным укрупнением на высоких частотах, такие спектры как правило наблюдаются в потоках СВ, с высокими значениями скорости, плотности, температуры протонов и модуля межпланетного магнитного поля, а также потоки с повышенным содержанием ионов гелия. Отмечено также, что спектры флуктуаций с пиком в области перегиба и спектры флуктуаций без укрупнения на высоких частотах как правило наблюдаются при низких значениях всех параметров СВ. Выявлено, что для двух наиболее популярных типов спектров флуктуаций (спектров флуктуаций с двумя наклонами и одним изломом, а также спектров флуктуаций с уплощением в области излома) наблюдаются параметры соответствующие среднестатистическим параметрам солнечного ветра.

В цикле работ также представлен анализ статистических свойств флуктуаций потока ионов для исследуемых интервалов и проведено их сравнение с предсказаниями нескольких статистических моделей турбулентности. Показано, что для СВ характерны универсальные статистические свойства (перемежаемость, мультифрактальность и самоподобие), не зависящие от формы частотных спектров флуктуаций. Определено, что для всех типов форм спектров статистические свойства флуктуаций могут быть успешно описаны с помощью модели Лог-Пуассона с доминирующим вкладом одномерных диссипативных структур.

Проведенный в данной работе детальный анализ спектральных и статистических свойств высокочастотных флуктуаций плазмы околоземного космического пространства в области перехода от магнитогидродинамических к кинетическим масштабам позволил выявить различные отклонения турбулентных характеристик плазменных флуктуаций наблюдаемых в космическом эксперименте от модельных характеристик соответствующих классической стационарной турбулентности и продемонстрировал нестационарный характер турбулентного потока, что позволяет расширить современные представления о процессах диссипации энергии на турбулентном каскаде.