

Отзыв

официального оппонента на диссертационную работу Петрухиной (Глубоковой) Светланы Константиновны «Параметры мелкомасштабной турбулентности солнечного ветра по наблюдениям межпланетных мерцаний сильных источников на радиотелескопе БСА ФИАН», представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.02 – астрофизика и звёздная астрономия.

Солнечный ветер - это принципиально нестационарное и турбулентное явление с самого начала его зарождения у Солнца, где преобладают довольно неупорядоченные движения в виде струй и потоков, скорость которых превосходит среднюю скорость радиального расширения плазмы. Радиоволны, приходящие от удалённого радиоисточника, при распространении в солнечном ветре испытывают рефракцию и дифракцию на неоднородностях электронной концентрации плазмы солнечного ветра в широком диапазоне масштабов турбулентного спектра. Радиоастрономические измерения флуктуационных характеристик (фазы, амплитуды, частоты, фарадеевского вращения плоскости поляризации) радиоволн позволяют делать обоснованные заключения о характере турбулентности плазмы солнечного ветра – среды, в которой эти радиоволны распространяются. В свете выше изложенного, тема диссертационной работы С.К. Петрухиной (Глубоковой) актуальна и представляет несомненный научный интерес.

Одной из характеристик мерцаний является спектр мощности, который характеризует турбулентные флуктуации и содержит информацию о распределении турбулентной энергии по временным и пространственным масштабам. Степенной вид пространственного спектра турбулентности в инерционном интервале, ограниченном внешним и внутренним масштабами, формируется при спектральной перекачке энергии от внешнего масштаба турбулентности (масштаб структур, порождаемых источником турбулентности) к внутреннему (масштаб структур, разрушаемых диссипацией) масштабу. Спектр мощности мерцаний может быть с удовлетворительной точностью вычислен лишь для достаточно сильных источников, у которых флуктуации сигнала, вызванные мерцаниями, существенно превосходят шумы радиотелескопа. В первом приближении спектр можно описать прямыми. На низких частотах близкий к плоскому участок спектра характеризует уровень сигнала (мерцаний), а плоский участок на высоких частотах – уровень шумов. Точка излома даёт информацию о скорости солнечного ветра. Модель спектра, которую использовала диссертант, имеет четыре свободных параметра: абсолютный уровень турбулентности (константа, определяющая абсолютную величину спектра мощности), скорость солнечного ветра (изменение скорости солнечного ветра сдвигает спектр мощности вдоль оси частот: форма спектра при этом не изменяется, но удлиняется плоский участок спектра на низких частотах), спектральный индекс турбулентности, угловой размер радиоисточника. Форма спектра на степенном участке после излома зависит как от угловых размеров источника, так и от спектрального индекса турбулентности. Диссертант приняла модель среды распространения радиоволн со спектральным индексом турбулентности равным 3.6 и определяла угловой размер источника, не фиксируя при этом скорость солнечного ветра. По существу,

модельный спектр с помощью двух свободных параметров диссертант подгоняла под экспериментально наблюдаемый. На первом шаге достигалось наилучшее согласие с экспериментом по угловому размеру источника. На втором шаге с помощью свободных параметров скорости и спектрального индекса турбулентности солнечного ветра подгонка уточнялась. Фактически при этом ищется длина плоского участка спектра (скорость солнечного ветра) и определяется его наклон (спектральный индекс турбулентности).

В результате анализа спектра мощности мерцаний на частоте 111 МГц получена оценка углового размера радиоисточника 3С 298 составляющая $0.25''$, которая согласуется с оценками, полученными из интерферометрических наблюдений этого источника на более высоких частотах 327 МГц, 608 МГц, 1.7 ГГц, 5 ГГц. Таким образом, автор диссертации разработала методику одновременной оценки углового размера источника и спектрального индекса турбулентности плазмы при известной скорости солнечного ветра. Методика основана на построении достаточно плотного семейства теоретических спектров при заданной скорости солнечного ветра и разных значениях углового размера источника и спектрального индекса турбулентности. Из этого семейства выбирается кривая, оптимально описывающая наблюдаемый спектр. Методика применима для режима слабых мерцаний сильных источников (достаточное отношение сигнал/шум).

Поскольку в области сформировавшегося течения фазовые скорости мГд-волн по крайней мере на порядок меньше скоростей солнечного ветра, то можно принять, что скорости рассеивающих радиоизлучение неоднородностей совпадают со скоростью солнечного ветра. По известному спектру мерцаний скорость солнечного ветра можно оценить, зная характерную частоту излома спектра, длину волны радиоизлучения, элонгацию источника. С другой стороны, если проводить одновременные наблюдения на трёх и более радиотелескопах, разнесённых на расстояние порядка масштаба неоднородностей дифракционной картины, то можно измерить величину и направление скорости движения дифракционной картины на Земле и определить скорость солнечного ветра (метод разнесённого приёма). Диссертант показала, что скорости солнечного ветра, определённые по временным спектрам мерцаний, в спокойных условиях хорошо согласуется с оценками, полученными методом разнесённого приёма. Однако, в случае крупномасштабных возмущений (например, корональных выбросов массы), распространяющихся в солнечном ветре, оценка скорости солнечного ветра, полученная по излому спектра мощности мерцаний, не является надёжной. При прохождении коронального выброса массы временной спектр мощности мерцаний может значительно изменяться, что диссертант связывает с сильным отличием распределения плазмы на луче зрения от сферически симметричного.

На наблюдательном материале 23-24 циклов солнечной активности диссертант установила, что пропорциональность скорости солнечного ветра и спектрального индекса турбулентности наблюдается как вблизи минимума, так и вблизи максимума солнечной активности.

Все вышеперечисленные результаты диссертанта являются новыми и получены впервые.

Представленные в диссертации результаты получены с использованием апробированных методов регистрации межпланетных мерцаний радиотелескопом БСА ФИАН. При обработке данных наблюдений использовался комплекс стандартных методов статистической обработки, включая фильтрацию и спектральный анализ. Оценки угловых размеров источников, полученные диссертантом, близки к независимым оценкам других авторов, а зависимость спектрального индекса турбулентности от скорости солнечного ветра подтверждена независимыми данными, полученными на других частотах и в других циклах солнечной активности. Всё это свидетельствует в пользу достоверности результатов диссертации.

Практическая значимость результатов диссертации заключается в том, что они будут использованы при разработке радиоастрономических методов мониторинга крупномасштабных возмущений солнечного ветра в межпланетном пространстве между орбитами Меркурия и Венеры, что внесёт вклад в разработку новых методов диагноза и прогноза космической погоды.

Отметим некоторые недостатки работы.

Результаты раздела 3.2, посвященного наблюдениям мерцаний при прохождении выброса корональной массы, выглядят несколько оторванными от основного направления диссертации, результаты которой относятся в основном к свойствам солнечного ветра в спокойных условиях. В частности, данные по источнику 3С 20 нигде, кроме этого раздела не фигурируют.

Есть и замечания редакционного характера. Например, на стр.16 диссертации написано: «В достаточно удалённых от Солнца областях ($r > r_{ac}$, где r_{ac} – внешняя граница зоны ускорения) солнечный ветер становится сформировавшимся потоком и не зависит от гелиоцентрического расстояния». По-видимому, автор имела в виду, что не зависит от гелиоцентрического расстояния скорость солнечного, но помимо скорости солнечный ветер характеризуется плотностью, температурой, магнитным полем и т.д., которые, конечно, зависят от гелиоцентрического расстояния. На стр.17 диссертации в подписи к рисунку читаем: «Видно, что электрически заряженный корональный газ дует в сторону от Солнца...». Правильнее было бы «электрически заряженные частицы коронального газа движутся в сторону от Солнца».

Перечисленные недостатки не снижают общего положительного впечатления от диссертации, в которой решена актуальная задача радиоастрономического исследования спектрального индекса турбулентности и определения скорости солнечного ветра по данным наблюдений на радиотелескопе БСА ФИАН. Новые научные результаты, полученные автором, вносят вклад в развитие представлений о турбулентности в солнечном ветре. Разработанную в диссертации методику можно рекомендовать для опробования в ПРАО АКЦ ФИАН и в ИПГ при диагностике состояния межпланетной среды между орбитами Меркурия и Венеры.

Результаты диссертации автор опубликовала в 8 печатных работах (4 публикации в журналах, рекомендованных ВАК) и докладывала на всероссийских и международных научных конференциях.

Автореферат и опубликованные работы полностью отражают содержание диссертации.

Диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, отвечающую требованиям положения ВАК о порядке присуждения научным работникам учёных степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор Петрухина (Глубокова) Светлана Константиновна заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.02 – астрофизика и звёздная астрономия.

Заведующий лабораторией магнитосферы
ФГБУ «ИПГ»
д.ф.-м.н.

Ю.В. Писанко

Подпись Ю.В. Писанко заверяю

Учёный секретарь ФГБУ «ИПГ»
к.ф.-м.н.

Е.Н. Хотенко