

ОТЗЫВ

официального оппонента о диссертации Андрианова Андрея Сергеевича «Исследование структуры локальной межзвездной плазмы наземно-космическим интерферометром “Радиоастрон”», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.02 — астрофизика и звездная астрономия

Диссертационная работа Андрианова А. С. посвящена исследованию межзвездной среды в околосолнечной окрестности по наблюдениям межзвездных мерцаний близких пульсаров на наземно-космическом интерферометре Радиоастрон. Исследование структуры и динамики межзвездной среды является важнейшей самостоятельной астрофизической задачей. Кроме того, надо иметь в виду, что рассеяние излучения на неоднородностях межзвездной плазмы приводит к искажению наблюдений галактических и внегалактических источников. Так, например, во многих случаях регистрируемая быстрая (*intra-day variability*) переменность излучения в направлении компактных радиоисточников (квazarов) бывает вызвана именно межзвездной средой, а не собственно переменностью наблюдаемого источника. Так что изучение многих радиоисточников требует изучения распределения неоднородностей в межзвездной среде. Актуальной научной задачей является построение моделей распределения межзвездной плазмы в околосолнечной окрестности. Эффективным способом решения этой задачи является использование близких галактических пульсаров, являющихся компактными источниками радиоизлучения, в качестве зондов межзвездной среды. Поэтому тема диссертационной работы является чрезвычайно **актуальной**. Актуальность настоящей работы определяется также возможностью проведения наблюдений мерцаний пульсаров на наземно-космическом радиоинтерферометре Радиоастрон с рекордным на сегодняшний день угловым разрешением, позволяющим измерять непосредственно угловые размеры структурных составляющих диска рассеяния пульсаров. Для осуществления такой возможности диссертантом в первую очередь проделана большая техническая работа, которая заключалась в создании дополнительных модулей программного коррелятора АКЦ, реализующих алгоритмы первичной обработки данных РСДБ наблюдений пульсаров. Следующие этапы диссертации посвящены непосредственно проведению наблюдений трех близких пульсаров В0950+08, В1919+21 и В0525+21 на радиоинтерферометре Радиоастрон, корреляционной обработке и анализу данных наблюдений с целью исследования структуры и свойств локальной межзвездной плазмы.

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, приложения и списка литературы. Она изложена на 134 страницах, включает 5 таблиц и 37 рисунков, список литературы содержит 86 наименований.

В **первой**, вводной главе даются определение межзвездной среды, краткое описание ее структуры в Галактике, описание пульсаров как зондов для исследования межзвездной плазмы, эффектов межзвездного рассеяния, а также краткое описание принципов РСДБ- картографирования и наземно-космического интерферометра Радиоастрон. К сожалению, ничего не говорится о проблемах картографирования с предельно высоким угловым разрешением с использованием космической станции Радиоастрон, заключающихся в крайне бедном заполнении UV-плоскости и вырождении уравнений замыкания фаз. В интерферометрии проблема восстановления изображений заключается не только в выполнении операции деконволюции, но и восстановлении фазы функции видности. Обычно эти две операции выполняются одновременно благодаря использованию метода самокалибровки. Ничего не говорится и о том, насколько названные проблемы влияют или совсем не влияют на решение задач, поставленных в диссертации. Представляет интерес анализ степени заполняемости UV-плоскости за счет эволюции орбиты космического радиотелескопа под гравитационным влиянием Солнца и Луны. К сожалению, в диссертации не приводится ни одного примера реального заполнения UV-плоскости. Поскольку тема диссертации связана непосредственно с наблюдениями на интерферометре Радиоастрон, можно было бы этому инструменту уделить гораздо больше внимания, особенно с точки зрения специфики его использования (по сравнению с задачей картографирования квазаров) и планирования эксперимента в задаче наблюдения пульсаров с целью исследования межзвездной среды.

Вторая глава посвящена описанию программного коррелятора АКЦ, разработке специализированных модулей в его составе, необходимых для обработки данных наблюдений пульсаров. Рассматривается модель задержки и способы ее уточнения. Приводятся алгоритмы корреляционной и части посткорреляционной обработки. Эта глава отражает несомненную практическую значимость диссертационной работы. Имеется ряд мелких **замечаний**. 1) Теорема выборки (стр. 30) носит название теоремы Котельникова (нелишне было бы привести ссылку). 2) Нет пояснения, что такое DiFX коррелятор. 3) На стр. 35 вместо слова “семплирование” более адекватно использование слова “дискретизация”. 4) На рис. 2.5 график производной задержки не соответствует графику задержки. Функция задержки от времени имеет выпуклую форму, значит, ее производная должна иметь положительную и отрицательную части и пересекать ось абсцисс в точке максимума функции задержки. Мы же на графике видим чисто положительную зависимость производной функции задержки от времени. 5) Из рис. 2.8, где приводится сравнение амплитуды функции видности на выходе коррелятора АКЦ и DiFX, относительная разница на первый взгляд составляет порядка 33%, а не 1.5%, как утверждает диссертант. Требуется пояснение. 6) Странно, что на рис. 2.5, 2.9 приводятся данные эксперимента

по наблюдению источника 0716+714, не имеющего отношения к диссертации, а не пульсаров, которым посвящена работа. 7) В параграфе 2.8, вопреки названию, не дается никакого описания программного пакета ASL. Поскольку обработка данных производится этим пакетом, было бы интересно знать о его структуре, о задействованных программах и последовательности их выполнения в рассматриваемых в диссертации экспериментах.

В **третьей**, основной главе дается необходимое введение в теорию рассеяния радиоизлучения от пульсаров неоднородностями межзвездной среды, приводятся все необходимые математические соотношения для анализа данных наблюдений (преимущественно структурных функций), описываются наблюдения трех избранных пульсаров, результаты корреляционной обработки и их анализа. Имеются следующие мелкие **замечания**. 1) Нет пояснения, по какому принципу произведен отбор наблюдаемых пульсаров. Нелишним был бы краткий обзор исследований этих объектов другими авторами. 2) Нет пояснения, почему на космическом и наземных телескопах используется квантование с различным числом битов. 3) Пропущено обозначение флуктуаций функции видности в выражении (3.7). 4) В ссылке под номером 65 из списка литературы отсутствует год издания.

Несмотря на перечисленные замечания, диссертация в целом производит благоприятное впечатление. Она хорошо структурирована, написана последовательно, ясным языком (хотя встречаются опечатки и даже грамматические ошибки, а также не хватает знаков препинания), каждая глава сопровождается обстоятельными выводами, приводится много иллюстраций.

Сущность полученных научных результатов заключается в том, что для изучения межзвездной среды методом мерцаний впервые произведены наблюдения трех избранных близких пульсаров (B0950+08, B1919+21 и B0525+21) со сверхвысоким угловым разрешением на наземно-космическом радиоинтерферометре Радиоастрон. При этом получены следующие результаты. Исследование формы структурной функции на базах интерферометра, сильно различающихся по длине, позволило диссертанту сделать вывод о наличии двух рассеивающих слоев плазмы в направлении на пульсары B0950+08 и определить диапазон расстояний до них и сделать предположения об их физической природе. Анализ спектра флуктуаций плотности для обоих слоев позволил определить его степенной характер и оценить показатель степени, равный 3, отличный от колмогоровского. Наличие асимметрии структурной функции позволило сделать вывод о существовании “космической призмы”. Наличие двух рассеивающих слоев плазмы и “космической призмы” обнаружено также в направлении на пульсар B1919+21. Показатель спектра неоднородностей среды в этом случае составил 3.73. Впервые определен угол рефракции и расстояние до

призмы в направлении пульсара В1919+21. Близкий по значению показатель степени спектра неоднородностей получен и для пульсара В0525+21. Высокое угловое разрешение радиоинтерферометра позволило разрешить субструктуры в диске рассеяния пульсаров. Все полученные результаты являются новыми.

Научная новизна представленных в диссертации результатов обеспечивается тем, что все они базируются на новых данных наблюдений, произведенных на одном из самых современных инструментов – наземно-космическом интерферометре с самым высоким на сегодняшний день угловым разрешением.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций. Все результаты диссертации, выносимые на защиту, обоснованы.

Достоверность полученных результатов обеспечивается надежностью работы всего наблюдательского радио интерферометрического комплекса, использованием хорошо апробированных методик и программного обеспечения при обработке данных наблюдений, а также апробацией на авторитетных российских и международных конференциях и публикациями в высокорейтинговых изданиях.

Практическая значимость работы определяется разработанным программным обеспечением для обработки данных наблюдений наземно-космического радиоинтерферометра Радиоастрон для решения множества задач. Полученные результаты анализа структуры и динамики локальной межзвездной среды определяют несомненную **научную значимость** диссертации, поскольку являются ценнейшим материалом для дальнейшего развития теории мерцаний пульсаров, усовершенствования существующих и построения новых моделей рассеяния радиоизлучения неоднородностями локальной межзвездной плазмы.

Полнота представления результатов. Все результаты, полученные в диссертации, нашли отражение в 5 научных статьях, опубликованных в журналах, рекомендованных ВАК. В двух статьях диссертант является первым автором. Две работы опубликованы в таких солидных международных изданиях как *Astrophysical Journal* и *MNRAS*. Результаты диссертации неоднократно докладывались на международных симпозиумах, посвященных Европейской VLBI-сети, и других международных и всероссийских конференциях. Все статьи написаны в соавторстве, что объясняется большой сложностью проведенных работ, связанных с наблюдениями, обработкой и теоретической интерпретацией результатов, что, в свою очередь, потребовало вовлечения большого количества специалистов. Во всех работах личный вклад соискателя четко обозначен.

Автореферат правильно отражает содержание диссертации.

Заключение. Все вышеизложенное позволяет заключить, что диссертация Андрианова Андрея Сергеевича «Исследование структуры локальной межзвездной плазмы наземно-космическим интерферометром Радиоастрон» является законченным самостоятельным исследованием, выполненным на высоком научном и техническом уровне. Диссертация удовлетворяет всем критериям, установленным Положением ВАК РФ о порядке присуждения степени кандидата наук, а ее автор Андрианов Андрей Сергеевич, безусловно, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.02 — астрофизика и звездная астрономия.

Официальный оппонент

Байкова Аниса Талгатовна

доктор физико-математических наук, с.н.с.

01.03.02 – Астрофизика и звездная астрономия

Главный научный сотрудник Лаборатории
динамики Галактики

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория

Российской академии наук

196140, г. Санкт-Петербург, Пулковское шоссе, д.65, кор.1.

Тел. (812) 363 72 07, электронная почта bajkova@gao.spb.ru,
anisabajkova@rambler.ru.

11 октября 2017 г.