

ОТЗЫВ

официального оппонента Зинченко Игоря Ивановича, заведующего отделом, отдел № 180 «Радиоприёмной аппаратуры и миллиметровой радиоастрономии» Отделения «Физики плазмы и электроники больших мощностей» Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр «Институт прикладной физики Российской академии наук», на диссертацию Фадеева Евгения Николаевича на тему «Распределение неоднородностей межзвездной плазмы в направлении пульсаров по данным наземно-космического интерферометра Радиоастрон», представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.02 – астрофизика и звёздная астрономия.

Исследования межзвёздной среды Галактики по наблюдениям пульсаров, которые являются источниками периодического импульсного радиоизлучения, имеют долгую историю. Первым важным результатом было определение электронной плотности в различных направлениях в Галактике по измерениям разности времени прихода импульсов на разных частотах из-за дисперсии радиоволн. По вращению плоскости поляризации (эффект Фарадея) получены оценки напряженности магнитного поля. Другим эффектом является рассеяние радиоволн на неоднородностях межзвёздной плазмы. Рассеяние проявляется в «размывании» изображения радиоисточника, в запаздывании сигнала, в вариациях интенсивности импульсов (мерцаниях) и в искажениях радиоспектра. Именно после открытия пульсаров, по которым были измерены перечисленные выше эффекты, была построена теория рассеяния радиоволн в Галактике и измерены параметры неоднородностей межзвёздной плазмы. Новые возможности в изучении рассеяния радиоизлучения пульсаров предоставил наземно-космический радиоинтерферометр «Радиоастрон», который обеспечил недостижимое ранее угловое разрешение, позволяющее измерять малые углы рассеяния, типичные значения которых в метровом диапазоне длин волн составляют несколько миллисекунд дуги. На наземных радиотелескопах такие измерения были бы невозможны. Анализ результатов радиоастрономических наблюдений рассеяния излучения пульсаров с использованием наземно-космического интерферометра «Радиоастрон», представленный в данной работе, безусловно актуален.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка публикаций автора и литературы. В первой главе описаны свойства пульсаров, определены основные понятия и используемые в работе наблюдаемые величины, такие как динамический спектр, функция видности, корреляционная функция, вторичный динамический спектр. Также представлены соотношения, описывающие связь между наблюдательными параметрами и свойствами среды, а также характеристиками инструмента, например зависимость амплитуды функции видности от величины проекции базы, или соотношение между временем рассеяния и углом рассеяния в зависимости от расстояния до рассеивающего экрана. Эти соотношения были известны ранее. Однако они приведены к удобному виду для дальнейшего использования. Отдельное внимание уделено вторичным динамическим спектрам, в которых наблюдаются регулярные параболические дуги, кривизна которых связана с расстоянием до рассеивающего экрана.

Во второй главе дается описание характеристик наземно-космического интерферометра и приведены сведения об используемых для обработки и анализа данных наблюдениях 10-и пульсаров, полученных с участием 15-и наземных радиотелескопов в 20 наблюдательных сессиях. Описана процедура проведения первичной обработки данных на корреляторе АКЦ ФИАН с использованием корреляции в выделенных долготных окнах и с компенсацией межзвёздной дисперсии. Посткорреляционная обработка данных проводи-

лась по оригинальным программам автора, составленным на языках C, Python и PHP. Эта обработка состояла в подготовке динамических спектров путем учета формы полосы пропускания приёмника и в вычищении помех. Все эти процедуры выполняются очень тщательно.

В третьей главе представлены результаты измерений характеристик рассеяния для всех исследованных пульсаров. Измерены значения полосы декорреляции, времени мерцаний и времени рассеяния. Полученные значения размеров кружка рассеяния всех десяти пульсаров лежат в диапазоне от долей миллисекунды дуги до 12 миллисекунд. Обнаружено анизотропное рассеяние в направлении на пульсар B0833-45 в созвездии Парусов. Предполагается, что эта анизотропия может быть обусловлена рассеянием на оболочке остатка вспышки сверхновой.

Четвертая глава посвящена определению расстояний до эффективных рассеивающих экранов. Оценки расстояния выполнены несколькими способами, а именно: 1) сравнением времени задержки картины мерцаний между двумя радиотелескопами с проекцией собственного движения пульсара; 2) по кривизне параболических дуг во вторичных динамических спектрах; 3) путем сравнения угловых размеров дисков рассеяния с временной задержкой, измеренной по ширине функции видности; 4) из сравнения пространственного размера пятна рассеяния и времени мерцания (что является близким к первому методу). В целом оценки, полученные разными методами, достаточно близки. Здесь же показано, что модель однородной рассеивающей среды не согласуется с наблюдениями ни для одного из исследованных пульсаров.

Стоит отметить скрупулёзный подход диссертанта к обработке и анализу данных, отмеченный выше. В сочетании с уникальными возможностями наземно-космического интерферометра, обеспечивающего рекордное угловое разрешение, это позволило получить целый ряд новых важных результатов в данной области исследований, достоверность которых не вызывает сомнений. Она подтверждается согласованностью результатов, полученных в разное время и разными методами, а также их публикацией в ведущих журналах. Из полученных результатов можно отметить следующие.

1. С помощью наземно-космического интерферометра «Радиоастрон» впервые измерены угловые размеры дисков рассеяния в направлении исследованных пульсаров. Измеренные значения заключены в интервале от 0.5 до 27 миллисекунд дуги.

2. Показано, что модель однородной рассеивающей среды не согласуется с наблюдательными данными, и рассеяние происходит на компактных слоях межзвёздной плазмы.

3. Определены расстояния до рассеивающих экранов. Положение экранов в основном совпадает с положением спиральных рукавов или с известными ионизованными туманностями в Галактике.

4. Обнаружено анизотропное рассеяние радиоизлучения пульсара в созвездии Парусов, которое приписывается свойствам турбулентной оболочки остатка сверхновой.

Диссертационная работа Е.Н. Фадеева выполнена и оформлена в целом очень качественно. К некоторым недочётам можно отнести следующее.

1. Некоторые результаты диссертации сформулированы слишком расплывчато. Например, в заключении (пункт 9) говорится, что наблюдаемые кардинальные изменения полосы декорреляции для пульсара B0834+06 «налагают серьёзные ограничения на параметры и свойства пространственной структуры турбулентных слоёв плазмы на луче зрения». Однако, в чём заключаются эти ограничения, остаётся неясным. При этом в тексте возможные причины изменений кратко обсуждаются.

2. В разделе 3 отмечается, что теоретически ожидаемая функция Лоренца плохо описывает полученные данные. Больше подходит экспоненциальная функция. Было бы интересно обсудить возможные причины такого несоответствия. Это скорее пожелание, а не замечание.

3. Как отмечено выше, диссертация в целом хорошо оформлена. Она почти не содержит опечаток. Тем не менее огрехи встречаются. Например, в разделе 4.2 в нескольких

случаях расстояния до пульсаров указаны без единиц измерения этого расстояния (здесь приводятся, очевидно, не относительные расстояния). В разделе 2.5 есть опечатка в единицах измерения меры дисперсии.

Эти замечания не снижают общей высокой оценки работы. В целом диссертационная работа Е.Н. Фадеева является законченным научно-исследовательским трудом и удовлетворяет всем требованиям положения о порядке присуждения учёных степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор, Е.Н. Фадеев, безусловно, заслуживает присвоения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.02 – астрофизика и звёздная астрономия.

Автореферат правильно отражает содержание диссертации.

Зав. отделом ИПФ РАН
доктор физ.-мат. наук
тел.: +7-831-4367253
Email: zin@ipfran.ru
Адрес: 603950 Нижний Новгород,
ул. Ульянова, 46, ИПФ РАН

И.И. Зинченко

Подпись И.И. Зинченко заверяю.

Ученый секретарь ИПФ РАН

И.В. Корюкин