

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д002.023.01,  
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ "ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ИМ.  
П.Н. ЛЕБЕДЕВА РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК" (ФИАН) ПО  
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА  
НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_  
решение диссертационного совета от 25 мая 2022 года № 2

О присуждении Фадееву Евгению Николаевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико – математических наук

Диссертация “Распределение неоднородностей межзвездной плазмы в направлении пульсаров по данным наземно-космического интерферометра «Радиоастрон»” по специальности 01.03.02 “астрофизика и звездная астрономия” принята к защите 10 марта 2022 г., протокол №2252, диссертационным советом Д002.023.01, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки “Физический институт имени П.Н. Лебедева Российской академии наук”, 119991, Москва, Ленинский проспект, дом 53, ФИАН, приказ № 105/нк от 11.04.2012 Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Соискатель Фадеев Евгений Николаевич, 1979 года рождения, в 2002 году окончил Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова с присвоением квалификации “Астроном” по специальности “астрономия”, а в период с 1 апреля 2002 г. по 1 апреля 2005 г. обучался в очной аспирантуре Физического института им. П.Н. Лебедева РАН по специальности 01.03.02 (астрофизика и звездная астрономия). Справка о сдаче кандидатских экзаменов выдана 25.06.2019 в ФГБУН “Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН”. В настоящее время соискатель работает младшим научным сотрудником в Физическом институте им. П.Н.Лебедева РАН.

Диссертация выполнена в Физическом институте им. П.Н.Лебедева РАН. Научный руководитель – д.ф.-м.н. Попов Михаил Васильевич, главный научный сотрудник АКЦ ФИАН.

Официальные оппоненты:

Байкова Аниса Талгатовна, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник Главной (Пулковской) астрономической обсерватории РАН (ГАО РАН), г. Санкт-Петербург;

Зинченко Игорь Иванович, доктор физико-математических наук, заведующий отделом радиоприемной аппаратуры и миллиметровой радиоастрономии Федерального исследовательского центра “Институт прикладной физики РАН (ИПФ РАН)”,

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова (Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга МГУ), Университетский проспект, 13, г. Москва, в своем положительном отзыве, подготовленном доктором физико-математических наук, заведующим отделом радиоастрономии ГАИШ МГУ Максимом Сергеевичем Пширковым, подписанным председателем Координационного совета по астрофизике ГАИШ МГУ д.ф.-м.н. А.С. Гусевым, директором ГАИШ МГУ д.ф.-м.н. К.А. Постновым и утвержденным проректором МГУ им. М.В.Ломоносова д.ф.-м.н., проф. А.А. Федяниным, указала, что диссертация представляет собой законченную научную квалификационную работу, отвечающую всем требованиям “Положения о порядке присуждения ученых степеней”, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор, Фадеев Евгений Николаевич, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.02 “астрофизика и звездная астрономия”.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается темой исследований, высокой компетентностью, профессиональными должностными обязанностями и наличием публикаций оппонентов и сотрудников ведущей организации по вопросам диссертационной работы.

Результаты диссертационной работы Е.Н. Фадеева изложены в 5 научных публикациях в рецензируемых изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией. Содержание диссертационной работы Е.Н. Фадеева изложено доступно, корректно и полно. В работах представлены основные положения диссертации. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах. В главных работах вклад соискателя является основным или равным вкладу соавторов.

Наиболее значительные работы соискателя по теме диссертации, опубликованные в рецензируемых изданиях:

Попов М.В., Андрианов А.С., Бартель Н., Гвинн К., Джоши Б.Ч., Джонси Д., Кардашев Н.С., Рудницкий А.Г., Смирнова Т.В., Согласнов В.А., Фадеев Е.Н., Шишов В.И. Распределение неоднородностей межзвездной плазмы в направлении трех удаленных пульсаров по результатам наблюдений с наземно-космическим интерферометром «Радиоастрон» // Астрономический журнал. — 2016. — Т. 93, №9. — С. 788–794.

Popov M.V., Andrianov A., Fadeev E., Kardashev N., Kovalev Y.Y., Rudnitskiy A., Soglasnov V.A., Bartel N., Gwinn C.R., Johnson M.D., Joshi B.C., Karuppusamy R., Kramer M., Anton Zensus J., Shishov V., Smirnova T. PSR B0329+54: Substructure in the scatter-broadened image discovered with RadioAstron on baselines up to 330 000 km // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. — 2017. — V. 465, I.1. — pp. 978–985.

Fadeev E.N., Andrianov A.S., Burgin M.S., Popov M.V., Rudnitskiy A.G., Zuga V.A., Shishov V.I., Smirnova T.V. Revealing compact structures of interstellar plasma in the Galaxy with RadioAstron // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. — 2018. — V. 480, I.3. — pp. 4199–4210.

Fadeev E.N. Uncertainty in measurements of the distances of scattering screens in pulsar observations // Research in Astronomy and Astrophysics. — 2018. — V. 18, I.8. — pp. 103–106.

Попов М.В., Андрианов А.С., Бургин М.С., Зуга В.А., Рудницкий А.Г., Смирнова Т.В., Сogласнов В.А., Фадеев Е.Н. Анизотропное рассеяние радиоизлучения пульсара В0833–45 в остатке сверхновой в созвездии Парусов // *Астрономический журнал*. — 2019. — Т. 96, №.5. — С. 393–406.

На диссертацию поступили положительные отзывы официальных оппонентов и ведущей организации:

В отзыве **оппонента д.ф.-м.н. Байковой А.Т.** говорится о том, что диссертация Фадеева Е.Н. посвящена актуальной теме исследований рассеяния излучения пульсаров на неоднородностях межзвездной среды. Сравнительно недавнее открытие параболических дуг во вторичных спектрах пульсаров привело к необходимости создания новых моделей рассеивающей среды, что в свою очередь, требует наблюдательных подтверждений. Актуальность работы определяется также возможностью анализа мерцаний пульсаров по данным имеющихся наблюдений наземно-космического радиоинтерферометра «Радиоастрон», полученным с рекордным на сегодняшний день угловым разрешением, позволяющим измерять непосредственно угловые размеры структурных составляющих диска рассеяния пульсаров. В отзыве подробно анализируется содержание работы и полученные выводы, делается заключение об их новизне и практической значимости. Отмечены новые надежные результаты измерения угловых размеров дисков рассеяния пульсаров, а также определение расстояний до компактных слоев плазмы в направлении каждого пульсара, обнаружение во вторичных спектрах некоторых пульсаров параболических арок. Особо отмечается интересный и показательный результат с изображением найденных положений рассеивающих экранов в проекции на плоскость Галактики, фактически совпадающих с положением средних линий спиральных рукавов, в которых наиболее вероятно существование областей турбулентной плазмы. Подчеркивается научная значимость диссертации, в которой представлен ценный материал для дальнейшего развития теории

мерцаний пульсаров, усовершенствования существующих и построения новых моделей рассеяния радиоизлучения неоднородностями межзвездной плазмы. В отзыве отмечено, что диссертация написана хорошим научным языком, обстоятельно, с подробным изложением всех необходимых технических деталей исследований, снабжена достаточным количеством иллюстраций, а также таблиц, в которых отражены результаты обработки, содержит минимальное количество опечаток. Высказано несколько замечаний. Основным замечанием является то, что в диссертации отсутствует обоснование списка избранных пульсаров. Остальные замечания имеют редакционный характер.

В отзыве **оппонента д.ф.-м.н. Зинченко И.И.** говорится о том, что наземно-космический радиоинтерферометр «Радиоастрон» предоставил новые возможности в изучении рассеяния радиоизлучения пульсаров, недоступные на наземных радиотелескопах, что несомненно свидетельствует о новизне и актуальности диссертационной работы. Недостижимое ранее угловое разрешение позволило измерять малые углы рассеяния, типичные значения которых в метровом диапазоне длин волн составляют несколько миллисекунд дуги. В отзыве дается краткий анализ содержания работы, отмечается скрупулёзный подход диссертанта к обработке и анализу данных. В сочетании с согласованностью результатов, полученных в разное время и разными методами, а также их публикацией в ведущих журналах, это подтверждает достоверность полученных результатов и выводов работы. Наиболее значимыми результатами, по мнению оппонента, являются 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.

В отзыве отмечено, что диссертационная работа Е.Н. Фадеева выполнена и оформлена в целом очень качественно, однако есть некоторые недочеты. Так, некоторые результаты диссертации сформулированы слишком расплывчато. Например, в пункте 9 заключения говорится, что наблюдаемые кардинальные изменения полосы декорреляции для пульсара В0834+06 «налагают серьёзные ограничения на параметры и свойства пространственной структуры турбулентных слоёв плазмы на луче зрения». Однако, в чём заключаются эти ограничения, остаётся неясным. Остальные замечания носят редакционный характер.

В отзыве **ведущей организации ГАИШ МГУ** анализируется содержание работы, дается обоснование актуальности выбранной темы исследования. Отмечено, что все результаты, выносимые автором на защиту, являются новыми и оригинальными, вносят заметный вклад в понимание процессов в межзвездной среде Галактики. Достоверность результатов обеспечена тщательным контролем качества исходных данных, адекватным выбором оптимальных методов обработки и анализа, несколькими независимыми методами определения исследуемых параметров разными способами, сопоставлением с результатами других авторов. В отзыве даны рекомендации по дальнейшему практическому использованию результатов работы в обсерваториях и институтах, где проводятся наблюдения пульсаров и РСДБ: САО РАН, ИПА РАН, ПРАО АКЦ ФИАН, КРАО РАН. Отмечено, что работа безусловно представляет большой интерес для всех астрономических учреждений (ИНАСАН, ГАИШ МГУ и др.), институтов, где ведутся исследования астрофизической плазмы (ИКИ РАН, ИЗМИРАН, теор.отдел ФИАН и др.). Работа стимулирует дальнейшие исследования в этом направлении. В отзыве говорится, что к оформлению работы замечаний нет, работа написана хорошим языком, изложение ясное и четкое. Есть несколько замечаний. Так, в пояснении к формуле 1.2 следовало указать, что мера дисперсии пульсаров измеряется в специфических единицах  $\text{см}^{-3}$  парсек, а не в обратных квадратных сантиметрах, как принято в физике. Также устарели данные о самом известном тяжёлом пульсаре – сейчас известная рекордно высокая масса составляет 2.1 солнечных (PSR J0740+6620), а не 1.9, как указано в работе. Некоторые понятия, такие как «колмогоровский спектр», не являются общеизвестными и должны вводиться с пояснениями.

Во всех отзывах оппонентов и ведущей организации отмечается, что высказанные замечания никак не влияют на значимость и высокую оценку диссертационной работы Фадеева Е.Н., а соискатель, безусловно, заслуживает присуждения ему степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.02 «астрофизика и звездная астрономия».

Соискатель представил полные ответы на все высказанные в отзывах замечания.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

С помощью наземно-космического интерферометра «Радиоастрон» **измерены** размеры дисков рассеяния ряда пульсаров.

**Получены** основные параметры мерцаний, такие как полоса декорреляции, время мерцаний, уширение импульсов за счет рассеяния, с помощью данных, полученных наземно-космическим интерферометром «Радиоастрон».

**Определено** распределение турбулентной плазмы в направлении на пульсар, мера анизотропии рассеяния, положение рассеивающих экранов.

Впервые **измерено** расстояние до рассеивающих экранов в направлении ряда пульсаров.

**Реализована** идея межзвездного интерферометра, заключающаяся в том, что изучение вторичных спектров позволяет исследовать межзвездную среду с угловым разрешением, превосходящим разрешение отдельных телескопов.

**Разработано** новое программное обеспечение для анализа данных, которые выдает коррелятор Астрокосмического центра ФИАН.

**Значение** полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

Измерения, проведенные на сверхбольших космических базах, дают возможность строить более детальные модели межзвездного рассеяния радиоизлучения далеких источников на малых пространственных масштабах.

Определение положений рассеивающих экранов проливает свет на структуру распределения неоднородностей электронной плотности на луче зрения в частности и на условия в межзвездной среде в целом.

Определение размеров и формы кружков рассеяния важно для описания пространственного распределения мелкомасштабных флуктуаций ионизированной межзвездной среды.

Результаты диссертации могут быть использованы для улучшения теории рассеяния радиоизлучения межзвездной плазмой.

Измеренные размеры кружков рассеяния накладывают ограничения на максимально возможное угловое разрешение наблюдаемых объектов на частотах 324 МГц и 1.7 ГГц, что необходимо учитывать при анализе их изображений.

**Оценка достоверности** результатов исследования:

Достоверность результатов, полученных в настоящей работе, обеспечивается использованием данных наземно-космического интерферометра «Радиоастрон», обладающего достаточным пространственным и временным разрешением для выполнения поставленных задач. Результаты измерений, проведенных в разное время, хорошо согласуются между собой, а также соответствуют данным, известным из литературы. Расстояния до рассеивающих экранов для восьми из десяти пульсаров определены несколькими методами. Достоверность представленных результатов подтверждается апробацией на российских и зарубежных конференциях, а также их публикацией в ведущих научных изданиях по исследуемой тематике.

**Личный вклад** соискателя состоит в непосредственном участии в обработке и анализе данных, разработке методов, интерпретации полученных результатов, обсуждении результатов, формулировке выводов и подготовке публикаций.

На заседании 25 мая 2022 года диссертационный совет принял решение присудить Фадееву Евгению Николаевичу ученую степень кандидата физико-математических наук. При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 16 человек, из них 15 докторов наук и 1 кандидат наук по

специальности 01.03.02, участвовавших в заседании, из 22 человек, входящих в состав совета, проголосовали:

за – 16,  
против – 0,  
недействительных бюллетеней – 0.

Зам. председателя  
диссертационного совета, член-корр. РАН

Ковалев Ю.Ю.

Ученый секретарь  
диссертационного совета, к.ф.-м.н.

Шахворостова Н.Н.

25 мая 2022 г.