

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.212.01 НА БАЗЕ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ
СПЕЦИАЛЬНОЙ АСТРОФИЗИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ
НАУК ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЁНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 2 декабря 2024 г. № 10

О присуждении Галазутдинову Газинуру Анваровичу, Российская Федерация, учёной степени доктора физико-математических наук.

Диссертация «Спектроскопические исследования Галактической межзвездной среды в оптическом диапазоне» по специальности 1.3.1 – Физика космоса, астрономия принята к защите 22 августа 2024 г., протокол № 5, диссертационным советом 24.1.212.01, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Специальной астрофизической обсерватории Российской академии наук, Российская академия наук, 369167, КЧР, Зеленчукский район, п. Нижний Архыз.

Соискатель, Галазутдинов Газинур Анварович, 1966 года рождения, в 1990 году окончил Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет", с 01.09.1990 г. по 31.08.1994 г. проходил обучение в очной аспирантуре Федерального государственного бюджетного учреждения науки Специальной астрофизической обсерватории Российской академии наук, на данный момент работает в должности ведущего научного сотрудника в отделе «Физика звезд» Федерального государственного бюджетного учреждения науки Крымской астрофизической обсерватории Российской академии наук.

Диссертация выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки «Крымская астрофизическая обсерватория Российской академии наук».

Официальные оппоненты:

1. Вибе Дмитрий Зигфридович, доктор физико-математических наук, профессор Российской академии наук, заведующий отделом Физики звезд Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт астрономии Российской академии наук».

2. Ильин Владимир Борисович, доктор физико-математических наук, профессор математико-механического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет»;

3. Левшаков Сергей Анатольевич, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук»;

дали положительные отзывы о диссертации.

Ведущая организация Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет", г. Казань, в своём положительном заключении, подготовленном доктором физико-математических наук, профессором-консультантом кафедры астрономии и космической геодезии Института физики Казанского (Приволжского) федерального университета Сахибуллиным Н.А., одобренном на Астрофизическом Семинаре кафедры астрономии и космической геодезии 30 октября 2024 года, утверждённом Проректором по образовательной деятельности Казанского (Приволжского) федерального университета доктором физико-математических наук Е.А. Туриловой 15 ноября 2024 года, указала, что диссертация является завершённым научным исследованием, удовлетворяет всем требованиям ВАК, предъявляемым к докторским диссертациям, а её автор Галазутдинов Г.А. заслуживает присуждения ему учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.1 – Физика космоса, астрономия.

Соискатель имеет 94 опубликованных работ по теме диссертации (общим объёмом 871 страниц), напечатанных в рецензируемых журналах, включённых в перечень ВАК. Наиболее значимые научные результаты по теме диссертации опубликованы в работах:

- Galazutdinov, G. A., Santander, T. A., Babina, E., & Krełowski, J., "The Interstellar Ti II Distance Scale" // 2023. — *Astrophysical Bulletin*. — V.78, №4. — p.550-556.
- Galazutdinov, G. A., "DECH: A Software Package for Astronomical Spectral Data Processing and Analysis" // 2022. — *Astrophysical Bulletin*. — V.77, №4. — p.519-529.
- Galazutdinov, G. A., Valyavin, G., Ikhsanov, N. R., & Krełowski, J., "Diffuse Bands 9577 and 9633: Relations to Other Interstellar Features" // 2021. — *The Astronomical Journal*. — V.161, №3. — p.127. — arXiv:2102.10674

- Galazutdinov, G., Bondar, A., Lee, B.-C., Hakalla, R., Szajna, W., & Krełowski, J., "Survey of Very Broad Diffuse Interstellar Bands" // 2020. — The Astronomical Journal. — V.159, №3. — p.113. — arXiv:2003.02328
- Galazutdinov, G. A., Lee, J.-J., Han, I., Lee, B.-C., Valyavin, G., & Krełowski, J., "Infrared diffuse interstellar bands" // 2017. — Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. — V.467, №3. — p.3099-3104. —
- Galazutdinov, G. A., Shimansky, V. V., Bondar, A., Valyavin, G., & Krełowski, J., " C_{60}^+ - looking for the bucky-ball in interstellar space" // 2017. — Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. — V.465, №4. — p.3956-3964. — arXiv:1612.08898
- Galazutdinov, G., Krełowski, J., Beletsky, Y., & Valyavin, G., "Position Displacement of Diffuse Interstellar Bands" // 2015. — Publications of the Astronomical Society of the Pacific. — V.127, №950. — p.356. — arXiv:2409.04781
- Galazutdinov, G., Strobel, A., Musaev, F. A., Bondar, A., & Krełowski, J., "The Structure and Kinematics of the Galaxy Thin Gaseous Disk Outside the Solar Orbit" // 2015. — Publications of the Astronomical Society of the Pacific. — V.127, №948. — p.126. — arXiv:1501.01187
- Galazutdinov, G. A. & Krełowski, J., "Metastable helium in absorption towards ζ Ophiuchi" // 2012. — Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. — V.422, №4. — p.3457-3459. —
- Galazutdinov, G., Lee, B.-C., Song, I.-O., Kazmierczak, M., & Krełowski, J., "A search for interstellar naphthalene and anthracene cations" // 2011. — Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. — V.412, №2. — p.1259-1264.
- Galazutdinov, G. A., Lo Curto, G., & Krełowski, J., "Fine structure in the profiles of strong diffuse interstellar bands" // 2008. — Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. — V.386, №4. — p.2003-2008.
- Galazutdinov, G. A., Gnaciński, P., Han, I., Lee, B.-C., Kim, K.-M., & Krełowski, J., "On the diffuse bands related to the C_2 interstellar molecule" // 2006. — Astronomy and Astrophysics. — V.447, №2. — p.589-595.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается темой исследования, компетентностью в вопросах, рассматриваемых в диссертационной работе.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- 1) Получен уникальный спектральный материал для более 500 горячих покрасневших звезд, в т.ч. с очень высоким соотношением сигнал/шум ($S/N > 1000$) в сочетании с высоким спектральным разрешением ($R \equiv \lambda/\Delta\lambda$ от 30000 до 300000) в широком диапазоне длин волн. Создан наиболее полный, на настоящий момент, список объектов, рекомендованных для изучения межзвёздных линий в оптическом диапазоне спектра.
- 2) Впервые предложены методы определения расстояний в Галактическом диске по линиям межзвёздных линий ионизованного кальция и титана. Межзвёздная шкала позволяет оценивать расстояние до пекулярных объектов с неточными параллаксами и/или неопределённым спектральным классом.
- 3) Построена кривая вращения межзвёздных облаков в Галактике по линиям ионизованного кальция и показан ее кеплеровский характер.
- 4) Обнаружен ряд объектов с т.н. «серым» поглощением, обусловленным наличием на луче зрения пылинок большого размера (сотни микрон).
- 5) Выявлена вытянутая структура рассеянного скопления Плеяды.
- 6) Впервые обнаружены облака типа CaFe, свободные от межзвёздной пыли и эффекта обеднения металлов (depletion).
- 7) Впервые обнаружены запрещенные линии поглощения межзвёздного гелия.
- 8) Впервые обнаружены линии ряда межзвёздных молекул в оптическом диапазоне спектра (SH, OH⁺, NH) и новые, неизвестные ранее линии и полосы известных молекул (C₃, NH, CH, CH⁺), уточнены или определены силы осцилляторов ряда известных молекул и вычислена лучевая концентрация. Для ряда молекул доказано низкое содержание (ниже предела обнаружения) в межзвёздной среде, оценен верхний предел содержания.
- 9) Впервые обнаружена переменность интенсивности и положения ряда межзвёздных линий, в т.ч. ДМП.
- 10) Впервые обнаружено более 100 новых ДМП в оптическом и ближнем инфракрасном диапазонах.
- 11) Впервые получены детальные профили ряда т.н. широких ДМП, у которых FWHM (ширина на половине интенсивности) более 10 Å.
- 12) Получены самые детальные и точные, на данный момент, профили ряда диффузных полос, на основе которых выполнены модельные расчеты. Предложены возможные кандидаты в носители ДМП.

- 13) Обнаружена связь между шириной профиля ряда ДМП и вращательной температурой ряда простых межзвездных молекул.
- 14) Измерены точные длины волн диффузных межзвездных полос, предложен метод объективной оценки длин волн ДМП и метод измерения изменения сложных профилей ДМП.

Теоретическая значимость диссертационной работы обоснована тем, что результаты, изложенные в диссертации, могут быть использованы для дальнейших исследований диффузных межзвездных полос, а также для исследования физических процессов в Галактической межзвездной среде. Особую ценность представляет уникальная коллекция профилей диффузных межзвездных полос высокого разрешения (до 300000) и очень высокого отношения сигнал/шум (до 4000), которые необходимы для окончательного отождествления их носителей, путем сопоставления с лабораторными спектрами молекул в газовой фазе. Значимость результатов, полученных соискателем подтверждается высокой цитируемостью его публикаций: по состоянию на 2024 год имеется около 2000 цитирований на 94 рецензируемых публикаций соискателя по теме диссертации. Наиболее востребованы обзоры диффузных полос, исследования тонкой структуры и профили сверхвысокого разрешения ДМП, результаты сравнения астрономических данных с лабораторными спектрами, метод оценки расстояний в Галактическом диске по межзвездным линиям и исследования взаимосвязи различных компонент межзвездной среды.

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

1. Результатами спектральных наблюдений более 500 горячих покрасневших звезд, с высоким спектральным разрешением (R до $\sim 3 \times 10^5$) и соотношением сигнал/шум (до ~ 4000). Создан каталог объектов, рекомендованных для изучения межзвездной среды.
2. Результатами исследования распределения межзвездного ионизованного кальция и титана и определение связи между интенсивностью линий этих элементов и расстоянием до фоновой звезды в Галактическом диске. Межзвездная «линейка» является простым дополнительным инструментом для определения расстояний в Галактическом диске.

3. Результатами измерений лучевой скорости межзвездных облаков для более 250 объектов: показан кеплеровский характер кривой вращения Галактики, определяемой по межзвездным облакам ионизованного кальция.
4. Обнаружением объектов с т.н. «серым» поглощением, обусловленным наличием на луче зрения пылинок большого размера (сотни микрон). Видимый блеск таких объектов не соответствует их спектральному классу, что приводит к ошибочной оценке спектрального параллакса.
5. Выявлением вытянутой структуры рассеянного скопления Плеяды. Скопление состоит из двух частей с разным содержанием и кинематикой межзвёздного вещества. Вероятно, Плеяды являются результатом слияния двух разных скоплений.
6. Обнаружением необычных, очень редких межзвездных облаков типа CaFe, с солнечным содержанием кальция и железа, без молекул и межзвездной пыли.
7. Обнаружением запрещенных линии поглощения межзвездного гелия, наблюдаемых только в спектрах очень горячих звезд с мощным УФ излучением. Показано, что эти линии образуются вне диффузных, полупрозрачных облаков, вероятно на фронте ударной волны, расширяющейся H II оболочки.
8. Обнаружением линий межзвездных молекул SH, OH⁺, NH и «новых», неизвестные ранее линий и полос известных молекул C₃, NH, OH, CH, CH⁺ и т.д., уточнение или определение силы осцилляторов для многих линий. Оценка содержания ряда молекул в межзвездной среде и соотношения их обилия. В частности, $N(\text{OH}/\text{H}_2) = 1.05 \pm 0.14 \times 10^{-7}$.
9. Обнаружением более 100 новых ДМП в оптическом и ближнем инфракрасном диапазонах. Оценка их длин волн и интенсивности в различных объектах.
10. Результатами наблюдений детальных профилей широких ДМП 4430, 4882, 5450, 5779 и 6175 Å с высоким и очень высоким спектральным разрешением. Показано, что эти ДМП показывают хорошую корреляцию как с молекулой CH, так и с межзвездным калием.
11. Результатами наблюдений детальных профилей узких и средних диффузных полос, например, 6614, 6196 и др. Определение возможных параметров носителей некоторых

ДМП. Предложены возможные кандидаты в носители ДМП, например, ароматический углеводород кораннулен $C_{20}H_{10}$.

12. Результатами сравнения профилей ДМП с лабораторными спектрами молекул в газовой фазе и оценка верхнего предела содержания ряда молекул типа линейных углеводородов и ароматических углеводородов, например, нафталина, пирена, диацетилен и др.
13. Обнаружением связи между шириной профиля ряда ДМП и вращательной температурой ряда простых межзвездных молекул, таких как C_2 , C_3 .
14. Результатами изучения взаимной корреляции различных компонент межзвездной среды. Некоторые примеры: обнаружено, что содержания молекул H_2 и CN тесно связаны, что позволяет использовать молекулу CN в качестве индикатора H_2 – это важный вывод, поскольку линия CN 4300 Å легко доступна для измерений; показано, что молекулярная фракция водорода коррелирует с соотношением интенсивностей ДМП 5797 и 5780 Å, т.е. образование носителей узких ДМП происходит в более плотных областях межзвездных облаков, защищенных от УФ-излучения, где преобладает молекулярная фракция водорода.
15. Результатами исследования переменности положения и интенсивности некоторых межзвездных линий. Указано на инструментальное происхождение некоторых случаев смещения длин волн межзвездных линий. Измерены точные длины волн диффузных межзвездных полос, предложен метод объективной оценки длин волн ДМП и метод численной оценки изменений сложных профилей ДМП.

Оценка достоверности результатов исследования:

Достоверность опубликованных результатов обусловлена публикациями в рецензируемых журналах: 30 работ в Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 21 работа в “Astronomy and Astrophysics”, 12 работ в “Astrophysical Journal”, 5 работ в “Astrophysical Journal Letters”, 10 работ в “Acta Astronomica”, 6 работ в “Publications of the Astronomical Society of the Pacific”, 3 работы в “Astronomische Nachrichten”, 3 работы в журнале «Астрофизический бюллетень», 2 работы в “Astronomical Journal”, 1 работа в журнале “Письма в Астрономический Журнал”, 1 работа в “Journal of Korean Astronomical Society”. Кроме того, Результаты представлялись соискателем в виде докладов и постеров на семинарах ГАО РАН, САО РАН, КрАО РАН, Центра астрономии университета Николая

Коперника (CfA UNC, г. Торунь, Польша), Центра астрономии Николая Коперника (САМК, г. Торунь, Польша), Института астрономии и космических исследований (KASI, г. Тэджон, Южная Корея), Сеульского национального университета (SNU, г. Сеул, Южная Корея), Института астрономии Католического университета Севера (UCN, г. Антофагаста, Чили), Южной Европейской Обсерватории (ESO, г. Сантьяго, Чили), конференциях чилийского астрономического общества SOCHIAS а также на различных всероссийских и международных конференциях:

Личный вклад. Более 70% наблюдательного материала было получено с участием соискателя в течение 1996-2018 годов. Более 90% спектральных изображений были обработаны лично соискателем с помощью программных средств собственной разработки. Все результаты, приведенные в пяти главах диссертации, опубликованы в 94 статьях в рецензируемых журналах, в том числе 39 с первым авторством. Вклад соискателя во всех публикациях был не меньшим, чем других соавторов.

На заседании 02 декабря 2024 г. диссертационный совет принял решение присудить Галазутдинову Газинуру Анваровичу учёную степень доктора физико-математических наук.

При проведении тайного голосования, диссертационный совет в количестве 12 человек, из них 11 докторов наук по специальности 01.03.02, участвовавших в заседании, из 12 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за - 12 , против - 0 , недействительных бюллетеней - 0 .

Председатель

диссертационного совета



 Балага Ю.Ю.

Учёный секретарь

диссертационного совета

 Шолухова О.Н.

02 декабря 2024 г.