

“ УТВЕРЖДАЮ ”

Проректор по образовательной деятельности

Казанского (Приволжского)

Федерального университета

д.ф.м.н. Тушилова Е.А.

“ 15 ” ноября 2024 г.



Отзыв Ведущей организации

на диссертацию Галазутдинова Газинура Анваровича

СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГАЛАКТИЧЕСКОЙ

МЕЖЗВЕЗДНОЙ СРЕДЫ В ОПТИЧЕСКОМ ДИАПАЗОНЕ,

представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.1 - Физика космоса, астрономия

Межзвездная среда является одной из важнейших структурных компонент Галактики, в свойствах которой отражаются фундаментальные особенности химической, динамической, пространственной эволюции нашей звездной системы. В силу физических свойств этой компоненты (холодный газ и пыль) в оптическом диапазоне спектра межзвездная среда проявляет себя через наличие слабых и чрезвычайно слабых абсорбционных линий и полос, регистрируемых “на просвет” в спектрах звезд. Наиболее удобными “фоновыми” источниками для регистрации межзвездных линий являются быстровращающиеся горячие звезды спектральных классов O, B, A, в спектрах которых нет собственных узких и глубоких звездных линий, и к тому звезды данных спектральных классов являются наиболее светимыми в оптическом диапазоне. Это позволяет исследовать свойства различных компонент межзвездной среды на расстояниях в несколько килопарсек от Солнца и использовать эти данные, в том числе для анализа фундаментальных свойств Галактики. В этом состоит **актуальность** данной работы.

Диссертация Галазутдинова Г.А. представляет из себя широкомасштабное исследование физических свойств представительной группы атомов и молекул, а также пыли, в межзвездной среде Галактики (в характерном размере пространства

в несколько килопарсек от Солнца), в котором, с одной стороны, использованы наиболее точные современные спектроскопические наблюдения на лучших спектрометрах крупнейших оптических телескопов мира (полученные во многих случаях при непосредственном участии диссертанта), а с другой стороны, в диссертации впервые в России, развиты методы обработки и анализа оптических спектров сверхвысокого разрешения ($R \sim 100000-900000$) и сверхвысокого отношения сигнал/шум (до 10000) для прецизионного исследования спектров компонент межзвездной среды. В диссертации показано, что анализ наблюдений с ультравысокими разрешениями и отношением сигнал/шум позволяет выявить тонкую структуру пространственного распределения и физического состояния межзвездной среды. В ходе выполнения работы Галазутдиновым Г.А. предложены и реализованы высокоточные методики разделения спектров межзвездной среды, звезд и земной атмосферы. Эти обстоятельства во многом обусловили **новизну** полученных в диссертации результатов.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и приложения, содержит 185 рисунков и 75 таблиц, список цитируемой литературы включает 565 ссылок. Общий объем диссертации составляет 355 страниц.

Во **введении** обоснована актуальность работы, показаны цели и задачи исследования, отмечены новизна, практическая и научная значимость результатов исследования, степень достоверности и апробации результатов, сформулированы положения, выносимые на защиту.

Первая Глава является методической, в ней приведены детали и особенности методики наблюдений, а также обработки и анализа спектральных данных, полученных с высоким и сверхвысокими разрешениями и отношением сигнал/шум. Отдельно обсуждается специфика анализа межзвездных спектров и диффузных межзвездных полос.

Вторая Глава посвящена результатам анализа **атомарного газа** в диске Галактики. Исходя из полученного вывода о равномерном заполнении галактического диска ионизованными кальцием и титаном, диссертантом реализован **независимый** метод измерения расстояний в Галактике на основе измеренных эквивалентных ширин линий указанных ионов. Используя линии ионизованного кальция в межзвездных облаках, выполнено **оригинальное** определение кривой вращения Галактики, которая указывает на кеплеровский

характер движения облаков. Отдельная часть данной Главы посвящена обнаружению **уникальных** и чрезвычайно слабых линий метастабильного гелия в спектрах звезды ζ Oph, а также обнаружению экзотических облаков, состоящих только из нейтрального кальция и железа, без присутствия пылевой компоненты. Кроме того, в данной Главе сообщается об обнаружении сложной пространственной звездной структуры молодого рассеянного скопления Плеяды, в центральной части которого, возможно также наличие дополнительной пылевой компоненты.

Третья Глава посвящена исследованию **межзвездных молекул**. В ней приводятся результаты обнаружения слабых (глубина линий **менее 1-го процента**) колебательных полос молекулы углерода C3 в полупрозрачном облаке в направлении на звезду HD169454, а также результаты исследования молекул OH, CH, CH⁺, CN, для которых были уточнены их атомные параметры – силы осцилляторов и длины волн. Сообщается о первых обнаружениях линий молекул NH и SH, а также о поиске линий линейной межзвездной молекулы C5. Результаты данных исследований **имеет большую научную ценность**.

Четвертая Глава посвящена исследованию серой экстинкции, связанной с **межзвездной пылью**. В ней приведены результаты поиска объектов, подверженных влиянию серой экстинкции.

Пятая Глава диссертации является самой объемной и она посвящена решению одной из старейших проблем астрономической спектроскопии – исследованию диффузных межзвездных полос. В ней приведены результаты поиска и анализа диффузных полос, связи диффузных полос с другими компонентами межзвездной среды. Интереснейшим результатом является обнаружение диссертантом переменности межзвездных линий и диффузных межзвездных полос. Важной частью этой главы является обсуждение поиска носителей диффузных межзвездных полос среди линейных молекул, полициклических углеводородов и фуллеренов, а также взаимосвязи между диффузными полосами.

В **заключении** перечислены основные результаты диссертации.

Оценивая диссертацию в целом, можно сделать вывод, что она представляет собой **масштабное фундаментальное астрофизическое исследование с**

многочисленными методическими разработками автора. Галазутдиновым Г.А. сделан существенный вклад в быстроразвивающееся астрофизическое направление в мире – прецизионную оптическую спектроскопию высокого разрешения межзвездной среды. Текст диссертации написан очень ясным и грамотным языком, позволяющим понять все детали проделанного автором многолетнего исследования.

К числу основных достоинств диссертации можно отнести следующие:

- 1) в работе интерпретируется обширный **собственный** наблюдательный материал, полученный в течение более 20 лет с использованием крупных телескопов мира с лучшими спектроскопическими возможностями,
- 2) исследования охватывают широкий класс межзвездных облаков с акцентом на объекты, в спектрах которых обнаружены диффузные межзвездные полосы (ДМП), интерпретация которых составляет давнюю нерешенную проблему. Результаты диссертанта являются очень существенным шагом в решение этой задачи,
- 3) ряд результатов был получен **впервые**, например,
 - диссертантом впервые обнаружено более 100 новых (и слабых) ДМП в оптическом и ближнем инфракрасном диапазонах,
 - впервые предложены методы определения расстояний в Галактическом диске по линиям межзвездных линий ионизованного кальция и титана,
 - впервые был представлен обширный каталог профилей ДМП, который позволяет произвести надежное отождествление носителей, производящих их спектральные характеристики,
- 4) результаты диссертанта являются **актуальными** и известными мировому научному сообществу благодаря большому числу опубликованных статей в журналах с высоким импакт-фактором.

Следует отметить, что диссертант является создателем программного пакета DECH обработки спектральных данных (“Software Package for Astronomical Spectral Data Processing and Analysis”), широко используемого отечественными (и **зарубежными**) астрофизиками в своих исследованиях.

Достоверность полученных диссертантом результатов подтверждается их опубликованием в 94 статьях, большей частью, в ведущих международных

журналах с высокими индексами цитирования и экспертизы научных результатов статей. Апробация диссертационной работы была выполнена представлением результатов на десятках международных и российских конференций.

Результаты, полученные в диссертации Галазутдинова Г.А., могут быть использованы в ГАИШ МГУ, САО РАН, ИНАСАН, КФУ, КрАО, ГАО РАН и в других отечественных и зарубежных организациях, занимающихся исследованиями межзвездной среды и ее взаимосвязей с эволюцией звезд в Галактике.

Автореферат **соответствует** структуре и содержанию диссертации.

Необходимо отметить, что представленная к защите диссертация не лишена и некоторых недостатков. Например,

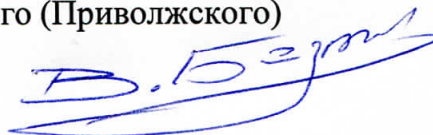
- 1) стр. 38, на рис. 1.7 не указано в каких единицах дана величина FWHM по оси ординат.
- 2) стр. 42, на рис. 1.14 отсутствует обозначение шкалы измерений по оси ординат
- 3) стр. 89, на Рис. 2.32 по оси ординат показаны расстояния в парсеках, а в подписи к рисунку речь идет о параллаксах.
- 4) на стр. 99 в начале Главы 3 делается утверждение, что “ По состоянию на середину 2024 года обнаружено более 310 молекул в межзвездном и околозвездном пространстве Галактики. Вне Галактики обнаружено 74 молекулы”, при этом не даны ссылки на какие-либо обзорные статьи – с указаниями об авторах и методах обнаружения таких молекул.
- 5) В разделе 2.2, на наш взгляд, есть некоторое противоречие в интерпретации кинематики тонкого газового диска Галактики, а именно – в подписи к рис.2.16 (стр. 68) поясняется, что “лучевые скорости в направлении антицентра Галактики, должны быть близки к нулю, если кривая вращения плоская, а орбиты круговые” (то есть и для кеплеровского и некеплеровского движения), а на стр. 75 в пояснении к рис. 2.22 (стр. 73) однозначно утверждается – “как видно на рисунке (2.22), предположение о **круговых орбитах** облаков Са II подтверждаются наблюдениями”

Надо признать, однако, что основная часть претензий к тексту диссертации носит технический и терминологический характер. Все эти недостатки имеют технический характер и не умаляют научных достоинств диссертации.

Считаем, что диссертация **“Спектроскопические исследования Галактической межзвездной среды в оптическом диапазоне”** является **завершенным научным исследованием и удовлетворяет всем требованиям ВАК, предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор Галазутдинов Газинур Анварович заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.1 – Физика космоса, астрономия.**

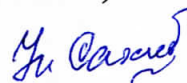
Отзыв подготовлен доктором физ.-мат. наук, профессором-консультантом кафедры астрономии и космической геодезии Института физики КФУ Сахибуллиным Наилем Абдулловичем, обсужден и утвержден на Астрофизическом Семинаре кафедры астрономии и космической геодезии Института физики Казанского (Приволжского) федерального университета 30-го октября 2024 года.

Заведующий кафедрой астрономии и космической геодезии Института физики Казанского (Приволжского) федерального университета, к.т.н.



Безменов В.М.

Профессор-консультант кафедры астрономии и космической геодезии Института физики Казанского (Приволжского) федерального университета, д.ф.-м.н.



Сахибуллин Н.А.

Адрес: 420008, г.Казань, ул. Кремлевская, д. 18
телефон (843)-292-77-97
электронный адрес: Nail.Sakhibullin@kpfu.ru