

ОТЗЫВ официального оппонента о диссертации
на соискание ученой степени доктора физико-математических наук
Галазутдинова Газинура Анваровича
на тему «Спектроскопические исследования Галактической межзвездной среды в
оптическом диапазоне»
по специальности 1.3.1 – Физика космоса, астрономия

Актуальность выбранной темы

Исследование спектров астрономических объектов, полученных в оптическом диапазоне с высоким спектральным разрешением и высоким отношением сигнал/шум, оказалось возможным лишь в последние три десятилетия, когда появилось достаточно много крупных телескопов и необходимых спектрографов. Эти возможности стали активно использоваться, поскольку подобные наблюдения делали модели объектов все более детальными, а это, соответственно, увеличивало запрос на новые данные. В частности, изучение галактической межзвездной среды теперь стало тесно связано с рассмотрением эволюции ее химического состава. Параллельно наблюдения выявили линии большого числа молекул в межзвездных облаках. С другой стороны, недавние крупные астрометрические и спектроскопические обзоры звезд в Галактике существенно прояснили структуру окружающей облачной межзвездной среды. Несмотря на выдающийся прогресс в данной области, многие вопросы остаются пока нерешенным, например, проблема происхождения многочисленных наблюдаемых в оптической области межзвездных диффузных полос. Отождествление их носителя, вероятно, приведет к существенному пересмотру нескольких базовых представлений о межзвездной среде галактик. В связи с вышесказанным тема данной диссертационной работы является несомненно актуальной и важной.

Содержание работы

Диссертация состоит из Введения, 5 глав, Заключения и Приложений. За стандартным по структуре Введением следует Глава 1, описывающая особенности получения и обработки данных наблюдений межзвездных линий и полос с высоким спектральным разрешением. Приводится краткое описание 15 инструментов, использованных автором (2-8-м телескопы со спектрографами с разрешением $R = 40000-200000$). Даны полезные рекомендации, основанные на многолетнем опыте работы и касающиеся методики наблюдений, калибровки результатов, решения проблемы теллурических линий, наклонных спектров и т.п.

Глава 2 представляет результаты, полученные автором диссертации при изучении линий межзвездных атомов. Большое внимание уделено описанию и исследованию разработанных автором с коллегами методов оценки расстояний до объектов по межзвездным линиям Ca II H и K, а также Ti II, что может быть полезно в ряде случаев. Предложен новый метод определения кривой вращения Галактики по положению и ширине линий Ca II. Полученные автором спектры нескольких десятков звезд, имеющих галактическую долготу $l = 135$ или 180° и расположенных на разных расстояниях в плоскости Галактики, позволили впервые построить ее кривую вращения по данным для межзвездных облаков. Анализируя 150 спектров Zeta Oph из архива 8-м телескопа VLT, была впервые обнаружена и исследована линия поглощения He I на 3889 Å. Изучение архивных спектров 20 звезд в Плеядах, полученных с разрешением $R = 115000$, позволило сделать ряд важных выводов о расстояниях до звезд этого скопления и распределении газопылевого вещества в его окрестностях. В направлении нескольких из 300 изученных звезд обнаружены уникальные облака с необычно сильными линиями Ca I и Fe I (в сравнении с линиями K I и Na I) и изучены свойства этих необычных CaFe-облаков.

Глава 3 посвящена изложению результатов, полученных при наблюдении полос межзвездных молекул в оптической области, для чего требовалось использование высокого спектрального разрешения и большого отношения сигнал/шум. Обнаружено несколько новых колебательных полос молекулы C_3 в спектрах 3-х звезд и обсужден механизм возбуждения этой молекулы. Впервые идентифицированы 6 полос молекулы OH^+ , что важно для развития теории образования молекул воды в диффузной межзвездной среде. По наблюдениям подобных полос оценена степень ионизации космическими лучами в полупрозрачных межзвездных облаках. Проанализированы корреляции лучевых концентраций различных молекул, полученных из наблюдений. Отмечена сильная корреляция для одних молекул (например, OH и CH) и практическое отсутствие корреляции для многих других молекул (например, CH^+ и CH). Эмпирически определены длины волн и силы осцилляторов полосы В-Х (1,0) молекулы CH и подчеркнуто, что из-за отмеченной корреляции молекула CH может быть удобным индикатором гидроксила и молекулярного водорода. Описан также ряд других полученных результатов: обнаружение линии SH, оценка лучевой концентрации C_5 , корреляция NH, CN и H_2 в CaFe-облаках и т.д.

Небольшая по объему Глава 4 посвящена результатам, полученным при рассмотрении неселективного (серого) межзвездного поглощения. Последнее было впервые определено сопоставлением расстояний, найденных по межзвездным линиям для значительного числа OB-звезд, с расстояниями, полученными по наблюдаемому модулю расстояния и селективному межзвездному поглощению. Среди исследованных 3-х звезд

Трапеции Ориона у одной обнаружено серое межзвездное поглощение, что подтверждает вывод работы о важности учета этого явления.

Глава 5, излагающая результаты проведенного исследования диффузных межзвездных полос (ДМП), является фундаментальной как по объему (около 100 стр.), так и по содержанию. В ней сформулированы критерии причисления спектральной особенностей к классу ДМП. Следуя критериям, создан уникальный список ДМП (271 полоса в видимой области и 14 в ближней ИК) с аккуратно определенными длинами волн. Обсуждаются профили ДМП разного типа, полученные с высоким разрешением и высоким отношением сигнал/шум, и выявлены характерные детали профилей. Отмечено, что эквивалентная ширина практически всех ДМП при усреднении спектров коррелирует с межзвездным поглощением, однако в случаях одного облака на луче зрения корреляция заметно ухудшается. Рассмотрена связь ДМП с линиями межзвездных атомов и молекул. Сделан вывод, что корреляция ДМП с линиями К I и Са II может дать сведения о потенциале ионизации/диссоциации неизвестных носителей ДМП. Найдена корреляция ДМП (более тесная для "узких" полос) с линиями молекул СН и Н₂ (и СО) и отсутствие корреляции с линиями СN и СН⁺. Подтверждена корреляция с линиями С₂ для одних ДМП и опровергнута такая корреляция для других. Обнаружена связь ширины некоторых ДМП с температурой возбуждения вращательных уровней С₂. В направлении 13 звезд по линиям Mg I и II оценена электронная концентрация, и найдено, что ее изменения на 1.5 порядка не влияют на ширину ДМП. Интересные результаты были получены при изучении переменности ДМП. Наблюдалось около 50 спектров O9.5 сверхгиганта с переменной потерей массы, и впервые найдена и обсуждается быстрая переменность (в 2 раза за 2 дня) интенсивности ряда узких ДМП. Предпринят поиск переменности ДМП в спектрах 6 Ae/Be-звезд Хербига, в которых обнаружены, по-видимому, окологзвездные ДМП. В спектрах быстро движущихся звезд найдены существенные изменения линий СН, СН⁺ и Са I, Fe I. Изучены вариации профилей ДМП в спектрах 46 звезд, вероятно, с одним облаком на луче зрения, и сделаны выводы из обнаруженных закономерностей асимметричного уширения и красного смещения профилей. Для звезд ассоциации Ori OB1 отмечена связь красного смещения некоторых ДМП с видом кривых межзвездного поглощения в УФ области; для звезд в Sco OB2 обнаружено расщепление ДМП 6196. Проведен ряд исследований, важных для идентификации носителей ДМП. В частности, лабораторные спектры нескольких линейных углеродных молекул впервые сопоставлены с астрономическими. Опровергнуто отождествление пары ДМП с полосами I-C₃H₂. Выполнено сравнение лабораторных спектров нескольких полициклических ароматических углеводородных (ПАУ) молекул со спектрами, наблюдавшимися для 10 покрасневших звезд. Не подтверждены

отождествления носителей некоторых ДМП с ПАУ молекулам (включая $C_{10}H_8^+$ и $C_{14}H_{10}^+$). Выполнен детальный анализ поведения компонентов ДМП на 6614 и 6196 А в спектрах разных звезд, и на основе этого высказаны предположения об их возможных носителях. Используя спектры, полученные с UVES в области ожидаемых линий C_{60}^+ для 19 покрасневших звезд, после тщательного анализа сделан вывод о преждевременности объявления этого фуллерена носителем некоторых ДМП.

Научная новизна

В работе получен уникальный по объему и качеству наблюдательный материал -- спектры с высоким разрешением ($R = 40000--220000$) и часто высоким отношением сигнал/шум ($S/N > 1000$) в широком диапазоне длин волн для примерно 500 звезд ранних спектральных классов. Предложены новые методы исследований, например, подход к определению расстояний до объектов по межзвездным линиям Са и Тi. Обнаружен ряд новых линий и полос межзвездных молекул: SH, OH⁺, C₃, CH и др. Наблюдалось более 100 новых диффузных межзвездных полос (ДМП) и впервые получены детальные профили некоторых широких ДМП. Проведено уникальное разностороннее исследование поведения различных ДМП с межзвездной среде, и сделан ряд важных выводов, в частности, обнаружены новые связи между параметрами таких полос и характеристиками состояния молекулярного газа, опровергнуты предположения о носителях некоторых ДМП и т.д.

Достоверность результатов и выводов

Достоверность полученных в данной работе результатов и сделанных на их основе выводов подтверждается прежде всего тем, что материалы диссертации были опубликованы в виде более чем 75 научных статей, которые прошли рецензирование в ведущих астрономических журналах первого квартиля (Mon. Not. Roy. Astron. Soc., Astron. Astrophys., Astrophys. J., Publ. Astron. Soc. Pacif.). Кроме этого, полученные результаты представлялись и обсуждались на семинарах различных научных институтов и на международных астрономических конференциях. Качество использованного оборудования, продуманная методика наблюдений и хорошее обоснование выводов сводят сомнения в достоверности результатов данной работы практически к нулю.

Научная и практическая значимость

В данной работе представлен наблюдательный материал, имеющий большую научную значимость, -- полученные качественные спектры большого числа массивных звезд могут

быть использованы для дальнейших исследований межзвездной среды Галактики. Изложенные в диссертации новые подходы имеют методическую ценность. Полученные результаты весьма значимы для современного понимания состава и структуры межзвездной среды, особенно это касается выводов, связанных с различными аспектами наблюдаемого проявления носителей ДМП. В работе сделаны важные шаги в отождествлении таких носителей, что имеет фундаментальную научную и потенциально практическую значимость.

Замечания и комментарии к работе

К диссертации нет замечаний принципиального характера, которые повлияли бы на ее общую высокую оценку. Тем не менее, при прочтении возникло несколько приведенных ниже комментариев:

1) В нескольких местах в диссертации упоминается разработанный автором комплекс программ DECH, предназначенный для обработки и анализа спектров, полученных с высоким разрешением. Возможно, методически правильнее было бы описать этот комплекс в отдельном (под)разделе диссертации.

2) Не малую роль в диссертации играет разработанный метод определения расстояний до объектов по эквивалентной ширине межзвездных линий Ca или Ti, наблюдаемых в спектрах массивных звезд и образующихся в диффузных облаках, лишь относительно равномерно распределенных в Галактике. Предпринимались ли попытки оценить ошибки, вносимые неравномерным крупномасштабным распределением вещества, связанным, например, со спиральными рукавами и т.п. (на стр. 58 утверждается, что метод может быть применим для расстояний до нескольких килопарсек)?

3) При анализе серого межзвездного поглощения использовались стандартные абсолютные звездные величины. Можно ли как-то учесть возраст и химический состав звезд и, таким образом, определить абсолютные звездные величины точнее? В какой степени такие уточнения могут повлиять на оценки величины серого поглощения?

4) При рассмотрении линий CN брался параметр $b = 1$ км/с. Это соответствует скорости турбулентности в полупрозрачных облаках, много меньшей 1 км/с. Есть ли какие-то еще указания на столь слабую турбулентность в подобных облаках?

Хотя диссертация написана ясным языком и ее текст очень хорошо проиллюстрирован, есть пара замечаний к оформлению. Во-первых, слишком много опечаток, связанных со знаками препинания. Во-вторых, в нескольких местах делаются небрежные комментарии.

Например, на стр. 146 пылинки размером 10^{-8} м называются “крупными”, а на стр. 148 написано “...пылинки, даже такие маленькие, как 0.1 микрона” (но $0.1 \mu\text{m} = 10^{-7}$ м).

Несмотря на сделанные замечания, данная диссертация представляет собой фундаментальный научный труд, который резюмирует результаты уникальных исследований, выполненных автором в течение более чем 20 лет.

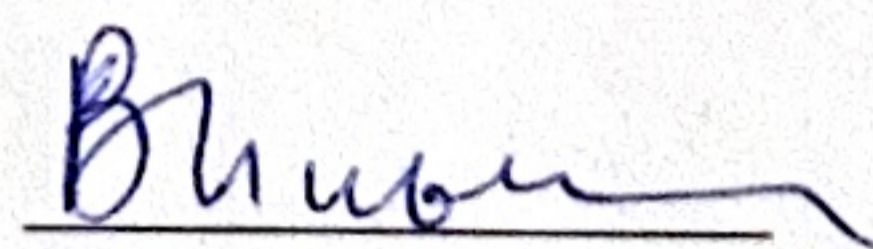
Заключение

Принимая во внимание вышеизложенное, считаю, что диссертация «Спектроскопические исследования Галактической межзвездной среды в оптическом диапазоне» на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.1 – Физика космоса, астрономия является завершенной исследовательской работой, которая выполнена на высоком научном уровне и в полной мере соответствует паспорту специальности 1.3.1 – Физика космоса, астрономия.

Диссертация удовлетворяет критериям, изложенным в п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации N842 от 24 сентября 2013 г. (с изменениями, внесенными Постановлением Правительства Российской Федерации N335 от 21 апреля 2016 г.), а автор работы, Галазутдинов Газинур Анварович, заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.1 – Физика космоса, астрономия.

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук, профессор,
профессор кафедры астрофизики математико-механического факультета
Санкт-Петербургского государственного университета
Ильин Владимир Борисович



Контактные данные:

тел.: +7 (911) 7733772, e-mail: v.b.ilin@spbu.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом
защищена диссертация: 01.03.02 Астрофизика и радиоастрономия

