

СТЕНОГРАММА

заседания диссертационного совета 24.1.212.01 протокол

№ 10 от 02 декабря 2024 г.

Видеозапись хранится по месту защиты.

Председатель:

д.ф.-м.н., академик РАН,

Балега Юрий Юрьевич

Учёный секретарь:

к.ф.-м.н., Шолухова Ольга Николаевна

Состав совета – 13 человек, присутствуют – 12:

д.ф.-м.н., Балега Ю.Ю. 01.03.02

д.ф.-м.н., Клочкова В.Г. 01.03.02

к.ф.-м.н., Шолухова О.Н. 01.03.02

д.ф.-м.н., Васильев Е.О. 01.03.02

д.ф.-м.н., Глаголевский Ю.В. 01.03.02

д.ф.-м.н., Караченцев И.Д. 01.03.02

д.ф.-м.н., Макаров Д.И. 01.03.02

д.ф.-м.н., Моисеев А.В. 01.03.02

д.ф.-м.н., Панчук В.Е. 01.03.02

д.ф.-м.н., Романюк И.И. 01.03.02

д.ф.-м.н., Трушкин С.А. 01.03.02

д.ф.-м.н., Сачков М.Е. 01.03.02

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Запись пошла. Сегодня мы рассмотрим диссертацию Галазутдинова Газинура Анваровича «Спектроскопические исследования Галактической межзвездной среды в оптическом диапазоне». Диссертация на соискание ученой степени доктора физ.-мат. наук. Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки «Крымская астрофизическая обсерватория РАН». Официальные оппоненты: д. ф.-м.н., профессор РАН, зав. Отделом физики звезд, ИНАСАН Вибе Дмитрий Зигфридович, д. ф.-м.н., профессор мат.-мех. факультета СПбГУ Ильин Владимир Борисович, д. ф.-м.н., в.н.с. ФТИ им. Иоффе РАН Левшаков Сергей Анатольевич, ведущая организация - Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет". Прошу, Ольга Николаевна, расскажите о состоянии документов.

СЕКРЕТАРЬ: Все документы, необходимые для защиты в наличии.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Пожалуйста, вам 40 минут для доклада.

ГАЛАЗУТДИНОВ Г.А. к.ф.-м.н. Цель диссертации, как здесь написано – анализ спектральных и кинематических свойств значимой выборки галактических межзвездных облаков. Добавлю, что, конечно, настоящей целью диссертации являлись исследование диффузных межзвездных полос (DIB).

Работа была начата в 96-м году. За 30 лет исследований выяснилось, что кроме DIBов интересно еще изучить и атомные, и молекулярные линии, и поэтому диссертация состоит из 5 частей. Т.е. включены 3 части, то есть, все перечисленные компоненты международной среды. Но, тем не менее, все -таки диффузные полосы это главное. За почти 30 лет было сделано 94 публикации по теме диссертации.

Итак, предмет исследования. Предметом исследования являются межзвездные облака, как понятно из системы диссертации. Здесь на простой схеме показано, как мы их изучаем. Используется звезда подсветки, свет звезды проходит через облако, в спектре звезды впечатываются линии, образованные вследствие взаимодействия света с компонентами международной среды. То есть, появляются новые спектральные линии, свет немножко краснеет из-за наличия пыли. Но это такая благостная картина, она наблюдается крайне редко, только для ближайших звезд, можно сказать. На самом деле ситуация гораздо сложнее. Вот здесь показаны случаи так называемого одно-облачного спектра и двух-облачного спектра. Тут еще добавлены стрелочки лучевой скорости, чтобы было понятно, что шкала лучевой скорости межзвездная отличается от шкалы лучевой скорости звезды. Важный момент. Для звезд подсветки лучше всего, конечно, использовать горячие звезды, потому что у них широкие и редкие линии, и тогда легко отделить межзвездные линии от звездных. Дальше едем. На первый взгляд, в оптической области спектра не так уж и много межзвездных линий, здесь (на слайде) почти все, что есть, перечислено. В красной рамочке показаны самые сильные линии, которые видны в любом случае, если хоть что-нибудь межзвездное там есть. Их не очень много. Из молекул вот две линии на самом деле. Все остальное очень слабое. Но, главное богатство межзвездных спектров — это, конечно, диффузные межзвездные полосы. В настоящее время их известно более 500. Все что я перечислил накладывает ограничения на метод исследований. Нужны очень высокие соотношения сигнал/шум, потому что большая часть (межзвездных линий) это очень слабые структуры, то есть речь идет о сигнал-шум достигающих до 4000. Кроме этого, из-за того, что структуры как межзвездных линий молекул, так и профилей диффузных полос состоят из мелких деталей, также требуется высокое спектральное разрешение. В нашем случае разрешение никогда не было ниже 30 000, и достигало 300 000. Здесь показана для примера полоса молекулы C3. Обратите внимание на вертикальную шкалу. Здесь сигнал/шум превышает 2000. А здесь тоже около 1000. Видны мелкие структуры в профиле диффузных полос.

Наблюдения были получены на очень большом количестве спектрографов. Подчеркнутым я показал те спектрографы, которые служили основой, то есть большее количество спектров были получены на подчеркнутых. На самом первом месте стоит МАЭСТРО, это пик Терскол. Исторически так сложилось, что я все спектры обрабатывал в своей собственной системе обработки, которая тоже уже 30 лет практически существует. Больше уже, наверное. И почему? Во-первых, pipeline, так называемые, не обеспечивают необходимое для нас качество обработки. Например, спектры MIKE показывают наклон щели. Здесь вот показаны экстракции с учетом наклона щели и без учета – что получается. В стандартных системах обработки этого нет. Далее. Мы столкнулись с тем, что стандартный pipeline, например, для UVES, не всегда корректно осуществляет экстракцию. Это в случае очень высоких соотношений сигнал -шум. Здесь вот есть пример. Это спектр, полученный с помощью pipeline, а это с помощью нашей программы. Дальше. Также в нашу систему обработки входит учет теллурических линий. Это тоже, как правило, отсутствует в других системах: процедура учета сдвижки и коррекции за

интенсивность. Здесь спектр до вычитания теллурического спектра. Здесь после. Как видите, он становится чистеньким. И, наконец, собственно, измерения. Профили D1Вов, как правило, имеют иррегулярную форму. Стандартными способами их измерить очень трудно. Поэтому в DECH представлен метод проведения псевдопрофиля для четкого измерения профилей и получения разных параметров этих полос.

Переходим, собственно, к научной части. По атомарному газу были получены следующие интересные результаты. Выяснилось, что межзвездный ионизованный кальций, кальций II, хорошо коррелирует с расстоянием. Здесь, у нас расстояние. Здесь эквивалентная ширина линии H межзвездного кальция. Корреляция с покраснением и с межзвездным калием хуже – показано. И была получена вот такая формула для определения расстояний по межзвездному кальцию. Формула работает только в диске Галактики, естественно. Есть ограничения также на эффект насыщения. Метод стал популярным. Он представлен даже в SIMBAD. Вот он для одной из звезд. Здесь расстояние, определенное нашим методом. Дальше, свежая работа наша по межзвездному титану. Титан даже еще лучше, чем кальций для этих целей. У него одно неудобство, что линия находится в ультрафиолете. Поэтому для северного неба нет данных. На северном небе невозможно работать с этой длиной волны. Поэтому у нас все звезды южные. Здесь показана корреляция. Здесь показана точность. Большая часть показывает точность не хуже 30%. Вот. Ну и формула очень простая. Это 30 умноженное на эквивалентную ширину в миллиангстремах вы получаете расстояние. Дальше едем. Тут могут некоторые сказать, что есть же GAIA. Вот для примера я вам показываю. GAIA периодически выпускают даты релизы. Дата релиз 3, дата релиз 2. Это сравнение GAIA, сама с собой. Вот какой у них разброс. Что будет с GAIA в дате релиз 4, это вопрос.

Атомарный газ. Это у нас самый скандальный результат. Я сомневался вставлять ли его. Все же решил вставить, потому что он важный. Итак, кривая вращения в Галактике. Принято считать, что она плоская в нашей Галактике. Например, в Википедии нарисована такая картинка, а должна быть вот такая, если бы был кеплер. На самом деле вот эта благостная прямая линия выглядит вот так. Это компиляция Sofue, который собирает все данные по кривой вращения Галактики. Разброс, как видите, колоссальный. Мы предложили метод получения кривой вращения Галактики по межзвездным облакам. Близкий объект, соответственно видим одно облако. Далекий объект – (много облаков). Суть здесь изложена геометрически. Выбрано два направления, где контраст наиболее сильный, смещение облаков происходит с расстоянием, из-за того, что падает скорость вращения. Соответственно эти компоненты в направлении 135 градусов галактической долготы. Самое далекое облако будет самое левое. Мы измеряем эквивалентную ширину, получаем расстояние, измеряем лучевую скорость, получаем кривую вращения. Что здесь видно? Это плоская кривая, а это кеплеровская. Вот куда легли наши данные. Добавлю, что мы также добавили из литературы рассеянные скопления. Вот они, ромбиками. Они тоже кеплеровские.

Молекулярный газ. По молекулярному газу ключевой момент – это колоссальный сигнал/шум. Например, по молекуле C3 нам удалось получить новые полосы, которые никто раньше не наблюдал. Здесь сигнал/шум, как вы видите, достигает почти 3000. Новые полосы позволили уточнить некоторые параметры этой молекулы, уточнить содержание с хорошей точностью и так далее. Кроме этого, были получены данные по CN+, CN, NH и т.д. и еще новые молекулы, которые в оптике до нас не наблюдались. Тоже здесь важно отметить соотношение сигнал/шум несколько тысяч. Были сделаны оценки их содержания и так далее. Значит, важные молекулы CN, CN+. Как я уже говорил, они наиболее видимые в оптике. Их почти всегда можно наблюдать, даже с умеренным соотношением сигнал/шум. Здесь показано, что они абсолютно не коррелируют друг с другом. То есть у

них разный процесс образования. Более того, они скорее всего находятся в разных областях облаков.

Пыль. По пыли мы не очень много работали, но тем не менее получили очень интересный результат. Обнаружили так называемую серую экстинкцию. Это означает, что в некоторых облаках есть крупные зерна пыли, которые блокируют свет. Блокируют свет независимо от длины волны. Ну, конечно, они тупо большие. Вот, например, в трапеции Ориона звезда 37020 показывает очень большое расстояние по спектральному параллаксу. Вот здесь 905, видите? Хотя все звезды Трапеции находятся примерно на 400. Позже мы такой же эффект обнаружили в других объектах. Это довольно редкий эффект, но он есть. Дальше. Одна из свежих работ 2020 года. Мы делали большой обзор звезд и нашли объекты с существенным серым поглощением. Вот здесь насколько звездных величин поглощают вот эти пылинки.

Теперь главная тема пошла. Диффузные межзвездные полосы. Почему они называются диффузными? Потому что они намного шире, чем атомные или молекулярные линии межзвездного происхождения. Здесь показан, например, для сравнения профиль полосы: самая узкая известная полоса 6196. Вот ее профиль. И для сравнения молекулярные и атомные линии. Они намного уже, чем даже самый узкий DIB. DIBы делятся условно на три группы. Узкие, средние и широкие. Узкие это DIBы с шириной на половине интенсивности примерно 1 ангстрем. Средние в районе 4 - 6. И более 10 ангстрем самые широкие. Их наиболее трудно изучать. Кроме того, межзвездные облака делятся на типы зета и сигма. Почему? Дело в том, что есть два так называемых главных DIBа. 5780 и 5797. Соотношение их интенсивности переменное. Почему сигма и зета назвали? По звездам, в которых это наблюдается. Сигма Sco и зета Oph. В зета Oph DIB 5797 значительно глубже, чем DIB 5780. А здесь наоборот. Это не просто морфология. Дело в том, что в зета облаках сильные линии молекул, сильные линии атомов. И узкие DIBы достаточно сильны. В сигма облаках линий атомов и молекул может не быть вообще. Узкие DIBы слабые. И, кроме того, сигма облака обычно связаны с очень горячими звездами. То есть идея такая, что ультрафиолет все разрушает, а широкие DIBы при этом выживают. Ну, очень условно.

Здесь показан зоопарк DIBов. Они очень разные. Есть очень узкие, вот как я уже сказал, вот широкий DIB. Узкие DIBы, так называемые, средние DIBы. Причем, если звезда покрасневшая, и есть покраснение хотя бы 0.6 звездной величины и выше, там всегда будет так называемый DIB forest. То есть лес DIBов как это здесь показано. Поэтому те, кто работают со звездами, должны быть осторожны.

Идентификация DIBов. DIBы впервые были обнаружены в 1922 году. До сих пор надежного отождествления нет. Этой проблеме уже больше ста лет. И были предложены разные молекулы на предмет идентификации DIBов. Чтобы их идентифицировать, DIBы делятся на группы. То есть нужно обнаружить «фамилии», так называемые. Дело в том, что у каждой молекулы, как правило, есть несколько сильных линий. Если мы обнаружим корреляцию каких-то DIBов, значит они образованы одной молекулой. Это один способ. Далее, мы можем определить физические условия, способствующие образованию и разрушению DIBов, исследуя молекулы, которые мы знаем. По которым мы можем определить физические параметры облаков. Профили детальные дают нам информацию о переменности DIBов в зависимости от изменений физических условий. Кроме того, финальное отождествление, это, конечно, сравнение с лабораторными спектрами молекул. Лабораторный спектр молекул должен быть получен в газовой фазе. Это очень трудно. Таких спектров очень мало. Но, тем не менее, они есть. Дальше. Одна из первых, как сказать, подсказок, почему DIBы наиболее вероятно образованы молекулами. Простейший пример здесь привел. Это теллурическая полоса, O₂. Если ее свернуть с низким разрешением, вы получите профиль W-образный. Это довольно типичный

профиль DIBa. Если молекула сложная, у вас ее полоса будет гораздо уже. Из-за того, что ротационные константы там маленькие, расстояние между переходами ничтожно малое. Отдельные переходы сливаются и, вы получите вот такой профиль. Ну, это упрощенное понимание.

Когда мы начинали работу, практически ничего не было известно, кроме того, что DIBы есть. Наш первый обзор: мы сразу открыли в 2000 году более 100 новых DIBов. Обзор был сделан на основе спектров с Терскола. Здесь показан фрагмент этого обзора. Стрелочками темными показаны новые DIBы, прерывистыми – старые. До нас был сделан обзор Jenniskens & Desert. У них было много ошибок из-за того, что они не учли звездные линии. Ну и до сих пор, так, кстати. Кроме нас, никто этого не делает. Нужна тщательная работа со звездными спектрами, чтобы убирать звездные линии. Не всегда наблюдают очень горячие, быстро вращающиеся звезды. Иногда бывают ошибки. Вот, например, HD183143. Эта звезда очень популярна. На самом деле, это очень плохой объект для исследования DIBов. Из-за того, что эта звезда медленно вращается, довольно позднего класса. И там происходит перепутывание DIBов с звездными линиями. Кроме того, там два облака, как вы помните, на одном из первых слайдов. Дальше. Вот здесь список того, что нужно делать, чтобы убедиться, что новая структура действительно диффузная полоса.

Это наш обзор в инфракрасной области, один раз нам удалось понаблюдать. Мы получили шесть новых полос. Всего исследовали четырнадцать. Закрыли несколько старых DIBов ошибочно определенных. И очень интересный DIB 15206. У него почти идеальная форма. И он может служить реперной точкой для построения межзвездной шкалы длин волн. В этой области (это полтора микрона) уже как мало что известно.

Единственный обзор нами сделан был по широким DIBам. Широкие DIBы самые трудные для изучения. Они могут покрывать несколько эшелле порядков. Поэтому для их исследования годятся только фиберные спектрографы. Здесь я перечислил те спектрографы, которые мы использовали. Из-за того, что у фиберных спектрографов хорошая повторяемость оптического тракта, после учета плоского поля, которое должно быть тоже идеально сделано, и учета теллурических линий, получается совершенно плоский спектр. И тогда вы можете довольно-таки корректно складывать эшелле порядки и вытаскивать оттуда широкие профили, покрывающие большое количество порядков. Вот во всей красе широкие DIBы из нашего обзора. Вот как они выглядят. Как видите, сложная у них форма. То, что мы все это сделали корректно, подтверждается на этом графике, где мы показали, что эти, так называемые, широкие DIBы ведут себя точно так же, как и узкие. То есть у них корреляции примерно таких же величин. И кроме того, у них, значит, отсутствуют корреляции с CH^+ . Вот с CH – хорошая корреляция. И с калием тоже хорошая. Это признаки стандартного DIBa. Корреляции с CH и K . Дело в том, что линии калия используются, как правило, для построения шкалы длин волн. Но об этом я тоже еще скажу.

Очень важно, как я уже говорил, работать с одно-облачными объектами. Их мало. Мы сделали обзор. В каком году? В 2020-м. Большой обзор. Из 186 звезд 65 одно-облачных объектов было выделено. Ну, на самом деле, они, конечно, условно одно-облачные. Но суть в том, что там нет такого страшного расщепления DIBов. Опять же, еще один камень в огород pipeline. Вот сверху показано, как UVES pipeline работает и, как и наша программа. Насчет одно-облачности. Здесь показан профиль HD2380. Этот объект мы не сочли одно-облачным. Почему? Хотя, на первый взгляд, вроде бы более-менее ничего. Дело в том, что профиль калия, который хорошо коррелирует с DIBами показывает, что у него здесь вторая компонента. Она там действительно есть. А вот этот объект 24263 показывает идеальный профиль калия. Кальций к DIBам отношения никого не имеет. Как я уже говорил, он довольно равномерно покрывает Галактический диск.

Связь с пылью. Тут нужно упомянуть, что есть спутник GAIA, и там исследуется так называемый GAIA DIB 8620. Его используют для определения покраснений. Популярный инструмент. Мы показали, что на самом деле любой DIB можно использовать, не только 8620. Дело в том, что при достаточно больших покраснениях имеем много облаков, все замыкается, корреляция становится хорошей. И поэтому, в принципе, любой DIB при значительных покраснениях может служить. Но, нужно помнить, что нет абсолютной связи между пылью и DIBами. Там вообще между ничем нет абсолютной связи. Вот отличный пример. Две звезды 23180 и 24534. У них покраснение отличается в два раза. Профили DIBов абсолютно одинаковые. Но это видно только для случаев с не очень большим покраснением.

Еще раз повторяю. Облака делятся на сигма и зета. В зета облаках относительно велико содержание молекул H_2 , CN , CO . Кстати, очень важный результат. CN можно использовать в качестве оценки количества водорода. Молекулярного водорода. CN хорошо коррелирует с молекулярным водородом. В отличие от CO , CN легко наблюдать. В любом покрасневшем спектре он виден. Также молекулярная фракция водорода коррелирует с соотношением интенсивности 5797/5780 – это опять же из этой сигма/зета парадигмы. То есть образование носителей узких DIBов происходит в более плотных облаках, защищенных от ультрафиолетового излучения. Это очень важный вывод. Молекула CN тоже довольно-таки пекулярная. В том плане, что она никаким образом не коррелирует с DIBами. Так же как CN^+ .

В 2003 году Thornburn опубликовала интересную работу о связи 16 DIBов с молекулой C_2 . Это важно, потому что одним из главнейших кандидатов на образование DIBов служат углеродные молекулы. Это была первая попытка связать простейшую углеродную молекулу с DIBами. Мы показали, что работу они сделали очень некорректно. Ну, измеряли плохо. Поэтому мы выкинули почти все, кроме четырех. Четыре DIBа подтвердили, действительно как C_2 . Но мы потом нашли еще дополнительные DIBы, которые тоже являются связанными с C_2 . Это важно. Дальше едем. Мы показали также, что ширина некоторых DIBов коррелирует с вращательной температурой молекулы C_2 . Вот здесь показано. Ну, не для всех DIBов. Некоторые DIBы не показывают. Например, вот для сравнения, показано, что, например, CN никакой связи с вращательной температурой C_2 не имеет.

Связь DIBов с другими компонентами звездной среды. Ну, я уже сказал, что DIBы хорошо коррелируют с нейтральным калием. И в гораздо меньшей степени с нейтральным кальцием. Ну, кальций, понятно. Он размазан по всей галактике. Образование DIBов происходит в компактных областях облаков. Степень облучения ультрафиолетовыми фотонами очень важную играет роль. Она и формирует разделение облаков на Сигма и Зета. Насчет кальция уже говорили. Связь с CN есть, связи с CN^+ - нет. Об этом я уже тоже сказал.

Так, вот, когда мы говорим о всех корреляциях, нужно понимать их не абсолютный характер. Вот очень хороший пример. Вообще интересно работать с пекулярными случаями. Тогда ты точно знаешь, что ты наблюдаешь действительно какое-то одно облако, в котором нет замазывания результатов с другим облаком. Вот здесь интересный слайд, смотрите. В чем здесь интерес? Во-первых, покраснение. Оно здесь растет, вот, красным показано. Но DIBы плюс-минус одинаковые. Вот в этой звезде мощнейшие молекулы. А в этой звезде покраснение, ну, примерно одного ранга и вообще нет никаких молекул. И вот в этих звездах их просто нет. Вот пример того, что, когда мы говорим в том числе о CN , который, в принципе, хорошо с DIBами коррелирует. То есть, все эти корреляции не абсолютны.

Теперь, переменность. Переменностью кроме нас вообще, на самом деле, никто не занимался. И до сих пор, по-моему, особо и не занимается. Вот список работ, которые мы посвятили переменности. Первое обнаружение переменности было сделано еще в прошлом веке. Это, пожалуй, один из самых интереснейших результатов. Нам удалось обнаружить переменность DIBов на шкале 3 дня. И здесь видно, что DIB 5797 изменяет эквивалентную ширину в 2 раза. 5780 вообще не изменен. Здесь вот палочка нарисована. Это для облегчения понимания. Переменность подтверждается и в других DIBах. Часть DIBов переменна, часть нет. То есть, вероятно, мы здесь можем говорить о том, что даже в таких условиях, а это O9 звезда, достаточно горячая, т.е. в условиях мощнейшего ультрафиолетового излучения, рядом со звездой, в облаке могут динамически образовываться какие-то DIBы. Наверняка они тоже разрушаются. Этот результат нам повторить не удалось. Звезда имеет иррегулярную переменность.

Переменность в звезде HD73822. Это уже со временем происходит. Гораздо больший период. Здесь, надо обратить внимание только вот на это. Слева это не переменность, это следствие разного спектрального разрешения. На самом деле, эквивалентные ширины здесь одинаковые. Но линии кальция и железа отличаются в 2 раза. Я убрал из раздела атомарного газа обнаружение облаков CaFe. Здесь я могу их упомянуть. Мы обнаружили странные облака CaFe. Они полностью прозрачные. Там есть только кальций и железо. Ну, естественно, есть там Ca II и Na I. Он везде есть. Но кроме вот этих двух атомов больше ничего нет. Нет ни DIBов, ни пыли. Очень странные и очень необычные облака. Редкие.

Мы также обнаружили переменность интенсивности. Переменность позиционная. Например, в звездах Ориона многие DIBы, но не все, смещаются. И они смещены в красную сторону. Феномен пока изучается. Дальше. Очень интересная звезда-пуля AE Aur. Это убегающая звезда, который летит с огромной скоростью и пронзает межзвездные облака. И вот здесь показано, как меняется интенсивность молекул CN и CN⁺ с временем. Это годы. Вот тут от 1997 до 2015 измерения. Затем, позже мы видим, как начался рост интенсивности этих молекул. Все остальные компоненты не показывают переменность. Только CN и CN⁺. Это к вопросу о клочковатости облаков и переменности межзвездной среды. Дальше. Вариации профиля межзвездных полос. На этом рисунке видно, что эти полосы имеют разную форму в разных облаках. В частности, меняется их ширина. Кроме того, на этом графике показана центральная волна диффузной полосы и ее ширина. И в некоторых случаях мы видим вот это голубое смещение. То есть, весь профиль уходит влево, якобы. Позже эта мы показали, что вот это смещение на самом деле не связано с физическими процессами. Я объясню чуть позже. И показали мы также, что ширина диффузных полос зависит от вращательной температуры молекулы водорода, в частности, и C2. Вот здесь вот показано, как меняется ширина DIBов. Еще важно показать, почему на этом графике для 6196 ничего не происходит. Дело в том, что здесь изменение профиля происходит в верхней части. То есть, меняется правое крыло. А на полуширине нет никаких изменений. Поэтому мы предложили другой способ оценки переменности профиля. Это фундаментальная работа этого года. И тогда эта вся картинка становится гораздо более отчетливой. Тут показана вращательная температура водорода и как это связано с шириной DIBа.

Расщепление. В Scorpio OB2 мы видим расщепление. Это тоже связано с температурой. Расщепление происходит не во всех DIBах. То есть, вот самый узкий DIB 6196 показывает расщепление. Более широкий 6614 – нет. Хотя эти DIBы между собой связаны. Об этом я сейчас скажу.

Варианты носителей диффузных полос. Один из вариантов, это полициклические углеводороды. Здесь примеры даны. Простейшие это нафталин, антрацен и так далее. Наши обзоры вообще главные по теме, они до сих пор актуальны. Мы исследовали кучу

этих углеводородов, показали, что их нет. К сожалению. Но зато обнаружили кучу новых DIBов. Вот они тут обозначены. Вот показали, что в принципе что-то похожее на расщепление есть. Но тут борьба происходит вот с этими сдвигами. Я сейчас об этом тоже скажу. Значит, мы закрыли результат по нафталину, по антрацену, который Iglesias-Groth опубликовала. Они очень некорректно работали со спектрами.

Линейные молекулы. Это, пожалуй, самый интересный вариант. Наш обзор, он тоже является до сих пор одним из важнейших по теме. Вот профиль DIBа 5959 и молекула NC4N+. Как видите, очень похожий профиль. Но есть сдвижечка. И поэтому мы не считаем это отождествлением. Почему? Вот на эту картинку, если посмотреть, вы видите, как меняется профиль молекулы с изменением температуры. Сдвижка происходит в ту сторону, в которую нам не надо. Потому что, чтобы сдвинуть этот DIB сюда, температура должна быть ниже абсолютного нуля. Это невозможно. Поэтому вот такая проблема.

Теперь, возможное отождествление. Это катион диацетилен. Был получен спектр в газовой фазе. Мы сравнили с DIBом. Возможно это отождествление. Позже Майер сказал, что нет. В общем, дискуссия продолжается.

Теперь профили. Они несут важнейшую информацию, когда мы сравниваем с профилями молекул в газовой фазе. Народ, опять-таки, некорректно работает с профилями. Они не учитывают звездные линии. Вот в нашем одном раннем еще 2001 года обзор мы показали, что в некоторых случаях для почти всего ранга температур OB звезд присутствует звездная линия. Нужно быть аккуратным. А в этих случаях можно спокойно работать – нет звездных линий.

Очень высокое разрешение. Это отдельная проблема. Могу с гордостью сказать, что на Терсколе нам удалось получить профили с разрешением 300000. Формально там должно быть 500000 по техническим параметрам. Вот решетка, которую нам Креловский купил. Но мы не смогли мозаику до конца съюстировать. Нужна специальная техника. У нас этого не было. Мозаика из трех решеток. Но 300000 мы достигли. Вот результаты этих профилей. Это великое достижение, считаю. Потом мы работали с разными другими спектрографами. Был получен большой обзор так называемых слабых DIBов. Благодаря высокому соотношению сигнал/шум мы получили детальные профили. Как видите, большая часть диффузных полос имеет так называемый W-образный профиль. Подавляющее большинство известных ДМП представляет собой узкие линии, у которых параметр отношения эквивалентной ширины к интенсивности меньше 10. Это важный результат. Об этом я еще скажу чуть позже. И широкий ДМП демонстрирует тенденцию к красному смещению с увеличением значения EW. Это важный результат. Он говорит, скорее всего, о том, что когда мы имеем мощные DIBы, скорее всего развиваются дополнительные переходы полосы P. То есть в красном крыле появляются новые переходы, и тогда у нас профиль становится шире.

Лучшая корреляция. Есть два DIBа. Это 6196 и 6614. Между ними идеальная корреляция 99-98. Но есть вот такие отскоки. И это не ошибки измерений. Мы пришли к выводу изначально, что, наверное, это все-таки не одна молекула. Вот этот спектр 220 тысяч, сигнал/шум около тысячи, вот эти очень точные результаты измерений нас смутили. Почему-то возникает такое отклонение от идеальной корреляции. Позже, в работе с Бернштейном, мы пришли к выводу, что скорее всего это несовершенство возникает в связи с тем, что в правом крыле DIB 6614 есть дополнительный DIB 6614.2. Если его учесть, корреляция становится идеальной, потому что второй DIB то есть, то нет. Это нормально. DIBы образуются по разному, в разных облаках. Тогда корреляция становится идеальной. И мы даже предложили варианты отождествления этого DIBа. Это может быть коранулен или фуллеран C20H.

Длина волны диффузных полос. У нас в той работе, когда мы изучали связь между шириной DIBов и центральной длиной волны, шкала длин волн DIBов строилась по межзвездному калию или СН. И у меня возникли сомнения, что с ассоциацией Скорпион OB1 что-то не так. И если поставить в качестве нуля пункта не атомную или молекулярную линию, а DIB6196, который самый узкий, тогда вот эта вся картинка съезжает сюда и, корреляция становится идеальной. Вывод – в качестве нуля-пункта шкалы длин волн DIBов нужно использовать 6196. Да, есть хорошая корреляция с калием и СН, но все равно, они занимают разные области в облаках. В целом они почти совпадают, но, как видите, есть пример, когда нет.

Как уже было показано, для DIB 6196 не работает FWHM. Поэтому мы предложили использовать в качестве ширины DIBов универсальный параметр. Это эквивалентная ширина, поделенная на интенсивность. Параметр работает независимо от формы DIBа и всегда показывает насколько DIB широкий. Это очень хорошая вещь. Мы еще в 2008 году предложили, но народ почему-то не отреагировал. Мы опять наткнулись на проблему, убедились, что действительно вот так надо работать. Вот это пример Скорпион OB1, где есть смещение между DIBами и калием.

Касательно длины волны DIBов. Профиль DIBа, как правило, имеет иррегулярную форму. Поэтому, где ставить точку, как измерять длину волны DIBа? Это нужно для того, чтобы контролировать его переменность. Обычно это чистый волонтеризм. Каждый решает сам. Например, DIB 5797 один из главных, и что вот здесь мы будем ставить центр. Вот. Но это зависит от того, как кто работает. Поэтому мы предложили использовать более универсальный параметр – гравитационный центр профиля. В DECH мы это все встроили, теперь будем работать вот в этой парадигме. Тогда эта картинка некрасивая (с корреляциями) становится вот такой красивой. Мы теперь можем четко контролировать переменность DIBов и смотреть, как они меняются со временем. Или там в зависимости от одного друг к другому. Ну это касается длины волны.

Для изучения переменности диффузных полос использовать как нуль-пункт мы должны. DIB6196. Использовать центр масс как меру длины волны. Использовать эффективную ширину вместо FWHM. Это главные пункты результата.

Слайд - новизна и так далее, это все описано в реферате, это все пропущу. Практическая значимость, если надо, можно зачитать прямо с экрана. Публикации – их 94, в 39 я первый автор. Личный вклад на слайде. Основные результаты, выносимые на защиту я оставлю на экране. Спасибо за внимание.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Спасибо. Переходим к вопросам, коллеги. Называйте сразу себя, пожалуйста.

РОМАНЮК И.И. САО. д.ф.-м.н. У меня вопрос такой. Какие критерии отбора кандидатов для наблюдений, звезды, туманности? И какая самая большая глубина DIBа, которую вы видели?

ГАЛАЗУТДИНОВ Г.А. Критерии отбора? Дело в том, что мы в этой кухне уже варимся 30 лет поэтому знаем, что эту звезду надо бы еще понаблюдать. Но если что-то новое, то конечно, главный критерий – покраснение. Но покраснение могут определить неверно, мы с таким сталкивались. Получаешь спектр, убеждаешься, что спектральный класс почти всегда неправильный. Наш обзор свежий 2020 года, мы переопределили спектральный класс для 160, кажется, звезд определили расстояние по спектральному параллаксу, по кальцию, взяли расстояние GAIA и, таким образом выделили серую экстинкцию. На счет самый глубокий DIB. Думаю, что где-то в районе 20 процентов, 25.

РОМАНЮК И.И. Спасибо.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Еще вопросы?

САЧКОВ М.Е. ИНАСАН. д.ф.-м.н. Не было ли у вас наблюдений или попыток наблюдений визуально двойных, каких-то близких объектов. Спектры разных звезд, но...

ГАЛАЗУТДИНОВ Г.А. Я понимаю, да. На самом деле, проблема очень интересная. Конечно же такие наблюдения были. Мы изучали, например, комплекс rho Ori. Там все звезды очень близко друг к другу находятся и, что интересно, очень сильное отличие есть в межзвездных спектрах. Микроструктура облаков впечатляет.

МОИСЕЕВ А.В. САО. д.ф.-м.н. Неоднократно отмечали, что вы закрываете ряд работ, где не так работали со спектрами. Каких ошибок больше? Это сам анализ данных, то есть там убираем континуум, звездные линии или еще на процессе первичной редукции вносятся ошибки, которые не позволяют получать корректный результат?

ГАЛАЗУТДИНОВ Г.А. Ну, первичная редукция – это конечно слишком жестко, я думаю, что вряд ли они там уж сильно напортачили. Обычная проблема – проведения континуума. Как вы видели, профиль линий настолько сложный, что нужно иметь просто опыт и знать, что вот здесь может быть еще один DIB. Например, DIB5797 очень часто меряют неверно, потому что слева может быть один мощный широкий DIB, но он есть не всегда.

МОИСЕЕВ А.В. Понятно, спасибо.

КЛОЧКОВА В.Г. САО. д.ф.-м.н. Меня несколько смущает формулировка обнаружения межзвездного гелия. Слово «межзвездного», я подчеркиваю, метастабильного гелия. Я имею ввиду понятие именно «межзвездный». Но там же около очень горячей звезды недалеко очень горячий там какой-то блок все-таки может быть. Это скорее не межзвездная компонента, а оболочка, далекие слои истекающей оболочки звезды. Слово «межзвездный» мне кажется тут немножко преждевременно.

ГАЛАЗУТДИНОВ Г.А. Как сказал Остерброк, межзвездная среда это все, что не звезды. На счет метастабильного гелия я, кстати, тоже опустил из-за того, что я не успеваю просто все изложить за 40 минут. Невозможно.

КЛОЧКОВА В.Г. Понятно, хорошо, спасибо. Еще один очень маленький вопрос. Вы, конечно, большой специалист в выделении всяких межзвездных деталей, но все-таки я надеюсь, что вы всегда учитывайте, что вот около линии калия 7600, есть очень мелкие теллурические детали, которые у вас там, кстати, на одной из картинок мы видели. То есть это все надо принимать в понимание.

ГАЛАЗУТДИНОВ Г.А. Конечно, мы учитываем теллурические линии, мы специально развили технологию.

КЛОЧКОВА В.Г. Но вы тут на рисунке об этом даже не сказали, мне это очень удивило. Хотя бы очеркнули как бы особенность профиля линии в данном случае.

ГАЛАЗУТДИНОВ Г.А. В районе 7700, там, на самом деле, не маленькие, а очень мощные теллурические линии.

КЛОЧКОВА В.Г. Да, в зависимости от положения звезды на небе, естественно.

ПАНЧУК В.Е. САО. д.ф.-м.н. Мелькнуло обозначение CES. Он используется?

ГАЛАЗУТДИНОВ Г.А. Уже нет, к сожалению. Мы очень жалеем об этом. Потому что профили DIBов 6196 и 6614, я показывал, с разрешением 220 тысяч – это шикарные, самые лучшие профили, которые для них есть.

ПАНЧУК В.Е. Спасибо, что вы это озвучили. Был шум, что его дорого эксплуатировать...

ГАЛАЗУТДИНОВ Г.А. Ну, нет заявок, нет заявок...

ТРУШКИН С.А. САО. д.ф.-м.н. Скажите, вот по поводу второго пункта, вот здесь межзвездная шкала расстояния. Вы сравнивали это с радиоданными, которые являются самыми информативными с точки зрения лучей и шкал расстояний? Вот нейтральный водород, молекулярный?

ГАЛАЗУТДИНОВ Г.А. Вы забываете, что мы работаем только в Галактическом диске, и мы используем звезду подсветки. Это откалибровано по данным Hipparcos и GAIA. Здесь радио вообще никак.

ТРУШКИН С.А. То есть я правильно понимаю, что никакие сравнения эти облака с какими-то радиоданными не имеют? Нет радио?

ГАЛАЗУТДИНОВ Г.А. Нет.

ВЛАСЮК В.В. САО. к.ф.-м.н. Вы в первом части доклада сказали, что наблюдения в ультрафиолете для титана только в южной полусфере. В северной полусфере вы имеете перспективу использования?

ГАЛАЗУТДИНОВ Г.А. БТА.

ВЛАСЮК В.В. Почему нет?

ГАЛАЗУТДИНОВ Г.А. Кто-то должен из тумбочки деньги достать?

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Так, еще есть вопросы? Все, вопросов больше нет. Переходим к заключению организации, где была выполнена работа. Ольга Николаевна, зачитайте отзыв организации.

СЕКРЕТАРЬ: Отзыв организации положительный. (Зачитывает отзыв организации, где была выполнена работа).

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ . Спасибо, Ольга Николаевна. Поскольку у нас на автореферат отзывов не поступило, то мы не будем их зачитывать. Пропускаем этот пункт повестки. Переходим, коллеги, к отзывам оппонентов. Первый у нас Дмитрий Зигфридович Вибе, институт астрономии, профессор РАН.

ВИБЕ Д.З. ИНАСАН. профессор РАН. Отзыв положительный (зачитывает отзыв).

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Слово для ответа предоставляется Галазутдинову.

ГАЛАЗУТДИНОВ Г.А. На счет основного недостатка (невычитанность текста), абсолютно согласен, это все оппоненты отметили. В свое оправдание могу сказать, что я недооценил объем работы, когда взялся, и мне уже поставили дату, у меня все статьи на английском языке, это все надо было переводить, и просто не успел я это вычитать. Виноват.

Касательно вклада. Ну, во-первых, много работ, там, где первый автор, так все понятно. Но... На западе как принято? Если ты первый автор или последний, это ключевые позиции. Последнее место профессорское. Или того, кто поставил задачу. Но, есть еще такой момент, оплата публикации. Вот, например, у меня, если посмотреть ссылки на мои работы, на первом месте стоит мой обзор 2000 года, потом обзоры с Саламой по ароматическим углеводородам. На самом деле, эти обзоры в основном моя работа. Салама оплатил эти публикации, поэтому он первый. Но есть и другие случаи. А когда Креловский. Если в статье написано Креловский, я там тоже почти всегда есть. Мы с ним

вместе работали просто. Все эти 30 лет. Ну, почти всегда. Там очень редкие статьи, где меня нет.

О фразе «Основным источником свободных электронов является пыль». Согласен, более удачно сказать не «главный» а «важный». С другой стороны, согласно классике-межзвезднику Эдварду Дженкинсу): в Галактике соотношение газа и пыли составляет около 100:1. Поскольку межзвездная среда составляет около 10% барионной массы Галактики, частицы пыли составляют примерно 0.1% от общего количества. В то же время пылинки поглощают примерно 30-50% звездного света, испускаемого Галактикой, и переизлучают его в виде дальнего инфракрасного континуума. Очевидно, фотоионизация при этом имеет место быть и свободные электроны образуются. Кроме того, это означает, что только 0.1% барионов в конечном итоге ответственны за треть или половину болометрической светимости Галактики!

На стр. 6 написано, что «межзвёздное пространство заполняет пространство между звёздами». Конечно же, «межзвёздное вещество» заполняет пространство. Это опечатка.

На стр. 37 упоминаются лучевые концентрации линий, хотя у линий нет лучевых концентраций. Речь идет о следующем: лучевая концентрация, определенная по линиям H и по K CaII должна совпадать, если правильно учтен эффект насыщения линий. Укороченная фраза это, в общем то, сленг. Профессиональная деформация.

Касательно частиц Mie. Это историческое введение в главу. Дается в самом начале. Напомню даты: теория Мие о рассеянии излучения сферическими частицами (1908). Trumpler открыл поглощение в (1930) – об этом сказано в тексте. Greenstein (1937) – сообщает что теория Мие хорошо описывает наблюдаемые факты – ссылка на Greenstein'a выпала. Виноват.

О переменности. В введении раздела о переменности четко дана информация о видах переменности, затем эти переменности подробно описывается отдельно. Касательно «до какого D наблюдается хорошая корреляция эквивалентных ширин межзвёздных линий Ca II с расстоянием.» В этом случае невозможно ответить одной фразой. Самые далекие объекты в калибровке – до 5-6 кпс, т.е. это формально изученный нами предел по расстоянию, но таких объектов немного. Действительно, в целом относительно ярких ОВ звезд немного. Вообще, формальная точность, как указано в тексте, оценивается в 15%, для ОВ ассоциаций точность может быть выше. Для пекулярных случаев, таких как, например, комплекс rho Ori, могут быть проблемы, поскольку это близко, но там сгущение межзвёздного вещества, наблюдаются мощные линии атомов, молекул, ДМП, несмотря на незначительное расстояние (около 100 пс).

О кривой вращения Галактики по Ca II. Она противоречит плоской кривой вращения.

О скорости ионизации гелия космическими лучами. Позднее мы обнаружили множество объектов с метастабильным гелием и предполагалось сделать обзор с подробным изучением феномена. Но не хватило рук. Можем сделать это вместе. О нормировке и диссоциации молекул. Там речь идет о моделировании облака. Насколько я помню там, абсолютные значения даются.

Тема серого поглощения требует дальнейшего изучения. Будем работать, студенты нужны, желательно толковые.

О красном смещении полос. Она подробно исследована в нашей статье в Астрофизическом Бюлл. за этот (2024 год). Считаю эту статью очень важной, поскольку рассмотрен принципиальный вопрос определения длины волны ДМП и контроля переменности профиля. В статье подробно описаны возможные причины позиционной переменности. Впрочем, в своем выступлении я об этом тоже сказал. Спасибо.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ.. Мы продолжаем слушать отзывы оппонентов. Следующий у нас Сергей Анатольевич Левшаков из физико-технического института Санкт -Петербурга.

ЛЕВШАКОВ С.А. д.ф.-м.н. Отзыв положительный (зачитывает отзыв).

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Спасибо, Сергей Анатольевич. Так, Газинур Анварович, попробуйте ответить на вопросы.

ГАЛАЗУТДИНОВ Г.А. Пробуем. Ну, касательно корреляций. Я уже говорил неоднократно, что понятие корреляций в условиях межзвездной среды не имеет абсолютного характера. В тексте всегда есть окончательная формула. Промежуточные результаты вычислялись с помощью программы Origin. Если есть сомнения, что она правильно считает значение ранга корреляции, можем написать протест в компании Origin Lab. Ну или можем вместе их посчитать. Для Титана она немного лучше, чем для кальция. Почему Титан так хорош? Дело в том, что там измеряется только одна линия, в отличие от кальция. И нет ограничения на насыщение. Потому что титан всегда остается ненасыщенным. И про ограничение 1.3. Оно относится к кальцию. Позже вы почему-то это ограничение 1.3 и к циану отнесли. Оно здесь вообще не играет роли. Только к кальцию относится это ограничение. Для кальция II Мегьер его оценивает в 15%. Мы считаем, что не выше 20. Для титана есть гистограмма, где показано, что большая часть измерений соответствует точности 30%. Но опять же, это статистический метод. Вот вам пример HD 73882. Расстояния по GAIA DATA RELEASE 1, 2, 3, Hipparcos, Ca II и спектральный параллакс. Спектральный класс звезды мы вывели. Это что показывает? Что кальций II единственный, который дает правильное расстояние относительно всех тригонометрических. И таких случаях масса. Не надо абсолютизировать никакие расстояния. Нужно всегда использовать разные инструменты и сравнивать.

Касательно цифры 30 в уравнении для титана. Там нет никакого физического смысла, вот там, где 30 плюс минус 1. Это уравнение линейной регрессии. В тексте четко сказано в формулах, что расстояние D равно 30 умножить на EW. Все. Мы используем статистический метод. Поэтому к любому расстоянию нужно носиться аккуратно. Те значения, которые дают уравнение, мы его и приводим. Вот регрессия такая получилась. Достаточно добавить пару объектов - регрессия изменится. Изменится первый параметр A. Параметры регрессии A плюс B, умноженное на X. A изменяется, если добавить даже одну точку. B, конечно, нет. Он устойчивый, равен 30.

Так, на счет кривой вращения в других галактиках. Я категорически не согласен с этим. На мой взгляд, сравнение наших измерений с измерениями в других галактиках некорректно. Точность несопоставима абсолютно. Несопоставимы спектральные разрешения, которые мы используем. Несопоставимы пространственные разрешения. В Галактике мы смотрим по всему контуру. Ну, конечно, могут быть вопросы. Это очень такая тема, очень важная. На направление на 180 все облака стоят в струночку. Это показывает, что у нас концепт правильный. Все лучевые скорости совпадают. И там никакой связи с расстоянием не увидеть. Потому что все облака слипаются в одну точку. Это направление на антицентр. На 135 у нас максимальный контраст. Почему 135? Максимальный контраст, максимальное раздвижение в положении облака. На 135 у нас получилось вот так, как показано на слайде. Следующий критерий, мы должны сделать 225. Там будет вправо уходить. Я уверен, что повторится. Но 225 нужно сделать. Тогда вопрос закроется. Эта работа публиковалась очень тяжело. Конечно, мы ее вначале пытались опубликовать в Nature. Ответ был такой: «этого не может быть, потому что не может быть никогда.»

Теперь, насчет параметра b и молекулы CN. В отзыве Ильина тоже упоминается. Вот на слайде это разрешение 600 тысяч и даже миллион. Это сделал товарищ Барлоу. Тут реально вот такие b, как они есть на самом деле. Теперь можно здесь посмотреть, как

влияет турбулентная скорость для разных значений температуры. В общем, из этих графиков понятно, что b вообще никакой роли не играет по сравнению с турбулентной скоростью. Поэтому b один или полтора, это мало играет роль. Потом еще один момент. В диссертации сначала идет описание нашей работы с Слык. Она первый автор, это была ее дипломная работа. Даже не кандидатская, а именно дипломная. Она просто как бы вот все, что можно, туда впишула. Там данные использовались в том числе и плохие. С низким разрешением. Ну 30 тысяч для нас, это низкое разрешение. Она сделала очень хорошую работу. Более поздний результат в тексте есть. Был повторен по данным очень высокого качества. Сигнал шума 1000. Все совпало. И там уже никакого b мы не использовали. Потому что к этому времени в DECH уже был внедрен метод AOD. Это apparent optical depth, когда вообще b не используется. И он, кстати, был Jenkins'ом предложен. Мы его реализовали. Очень хорошо работает для умеренных насыщений. Ну для CN, для прочих молекул насыщение, на самом деле, умеренное. Проблемы могут возникнуть только когда мы работаем с натрием, что-то такое. Тогда да, это не работает. А для этого все работает.

Теперь на счет несогласованности ссылки. Ссылка на работу Мусаева. Ссылка правильная. Когда работа была опубликована в 99м году, у нас действительно было только разрешение 190 тысяч. Ссылка говорит о спектрографе. Вариант 500 тысяч был в 2003 году сделан. Мы говорим – “вот, в спектрографе есть 300 тыс.”. Но это не описали в статье. Так что там все корректно, по факту такое разрешение есть.

О том, что количество пикселей в CCD не определяет спектральное решение. Конечно не определяет. А я там не говорю про спектральное решение. Есть еще пространственное разрешение.

Формула центра тяжести не описана. Вы не внимательно читали работу. Вот описание, над уравнением центра масс линии.

Насчет вычитанности я уже говорил. Да, там масса ошибок: точки, пунктуация.

Насчет ссылки на учебник Handbook of the astronomy CCD. Ну, моя программа касается нестандартных случаев. Дело в том, что ни в одном pipeline, ни в одной обсерватории никто 150 плоских полей не получает и 150 bias. Именно об этом речь. И в handbook об этом тоже не говорится.

Это я зачитаю: *«на стр. 138 утверждается, что высокая корреляция между обилием молекулы NH и количеством пыли свидетельствует в пользу гипотезы о формировании этой молекулы на поверхности пылинок; молекула NH более тесно связана с CN..., однако, на стр. 134 сказано, что пылинки не играют существенной роли в образовании CN, и что лучевая концентрация и температура возбуждения CN не коррелируют с $E(V - V)$. Это же противоречивое утверждение вынесено в резюме к Главе 3 (п. 6 и п. 8)»*. Вот это я вообще не понял. Ведь если A не абсолютным образом коррелирует с B, а B не абсолютным образом коррелирует с C, совсем не обязательно, что A коррелирует с C. И мы это видим.

О вопросе выживания сложных молекул в ультрафиолете. Это очень хорошее замечание. Дело в том, что вопрос сто лет уже стоит - как объяснить существование сложных молекул. Мы показываем наблюдательные факты. Кстати, насчет c60 я вообще опустил, хотя это тоже важный результат. Я об этом уже рассказывал даже в SAO, давно, правда. Дело в том, что есть молекула c60. В 2015 году наконец-то был получен спектр в газовой фазе и тут все кинулись искать эту молекулу в космосе, ну и мы тоже кинулись, естественно. И бодались с группой Walker'a. Они подтвердили наличие, потом газовые спектры съехали в сторону, потому что у них там аппаратура в лаборатории изменилась. Walker'ы опять подтвердили. В общем, они каждый раз все подтверждали. В конце концов сейчас принято считать, что есть подтверждение. Были получены спектры на космическом

телескопе Хаббла. К сожалению, не вошла одна из главных линий на 9633, она не входит в диапазон, который Хаббл регистрирует. Поэтому нельзя точно сказать о соотношении интенсивности. У нас была одна из моих лучших, я считаю, работ с Шиманским. Мы исследовали очень подробно проблему С60 с учетом магния 2, потому что 9633 блендируется магнием 2. И он еще к тому же не ЛТР. Мы его посчитали и показали, что две линии 9633 и 9577, это самые главные, они показывают очень сильную переменность отношения интенсивности. То есть одна может быть сильнее, чем другая и наоборот, это невозможно, если одна и та же молекула. Это вопрос подвис. Мы пока считаем, что они должны объяснить вариации отношения интенсивности. Но есть, конечно, вариант, что имеется бленда с другим DIBом, который совпадает. Это тоже возможно.

Так, насчет таблиц. Да, есть такая ошибка. Но все существующие таблицы, описаны в тексте, ошибка возникла из-за того, что у меня был сбой в Word. Я потом постарался восстановить. Иногда некорректно в тексте указано, что, например, таблица 21, а должно быть 22 на самом деле, которые не описаны в тексте. Ну, по смыслу, когда поищешь, там все понятно. Потому что все таблицы подписаны. Ситуация не фатальная. Можно понять, что следующая таблица правильная. Все.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Сергей Анатольевич, что скажете?

ЛЕВШАКОВ С.А. Я могу сказать, что это часть дискуссионная. Нам бы не хотелось дискуссию здесь затягивать. Я не могу согласиться с автором что можно слишком вольно обращаться со статистикой.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Понятно. Спасибо. Ну и, конечно же, заявление, что оппонент невнимательно читал, это недопустимо.

ГАЛАЗУТДИНОВ Г.А. Я привел пример. Показан на слайде.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ Следующий оппонент у нас отсутствует. Владимир Борисович Ильин. Это Санкт -Петербургский университет. Матмех.

СЕКРЕТАРЬ. Отзыв положительный (зачитывает отзыв д.ф.-м.н. Ильина В.Б.).

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Проще будет ответить.

ГАЛАЗУТДИНОВ Г.А. Почти нет критики, есть пожелания, вопросы. Значит, насчет DECH. Глава 1 посвящена методике, где дается описание алгоритмов DECH в применении именно к теме исследований. Весь пакет описывать я счел излишним. Весь пакет к диссертации не относится, там много чего есть. Ну и так работа большая, как видите.

Насчет применимости кальция и титана. Метод применим для оценок от нескольких килопарсек, у нас самый далекий объект в районе 5 килопарсек, но там их, конечно, уже мало. Исследовать структурные неоднородности на базе лишь OB-звезд кажется трудноосуществимым, их мало очень. Поэтому мы в этом году решили заняться холодными звездами, скажем, солнечного типа. В таком случае можно хорошо посчитать спектр и вычесть. Такие работы сейчас есть. Вот мы хотим тоже заявку на грант подать. Потенциальных рецензентов прошу поддержать.

Анализ серого межзвездного поглощения. Каким образом, в какой степени утончения спектральных классов могут повлиять на оценку? Мы всегда старались определять спектральный класс звезд с максимальной точностью, но, конечно, без точных расчетов химсостава и так далее. Но я думаю, если химсостав посчитать, это внесет небольшую коррекцию в величину серой экстинкции, которую мы оценили. Но это довольно трудоемкая задача, поэтому мы, конечно, за нее не брались.

Касательно $b=1$, есть ли указания на слабую турбулентность в подобных облаках? Вот указания. Вот я показываю, что b действительно, она очень маленькая. Это спектральное разрешение миллион, 600 тысяч. По оформлению я еще раз признаю недостатки, это да.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Спасибо. Переходим к отзыву ведущей организации.

СЕКРЕТАРЬ. Отзыв положительный. (Зачитывает отзыв.)

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Здесь совсем просто. Замечаний по сути нет.

ГАЛАЗУТДИНОВ Г.А. Я просто скажу, что я со всеми замечаниями согласен. По оформлению я уже соглашался не раз.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Коллеги, мы заслушали все отзывы, переходим к общей дискуссии. Кто начнет?

ПАНЧУК В.Е. Я напомню присутствующим, что направление межзвездная среда появилось на сайте САО более 30 лет назад ввиду работ Галазутдинова. Какие побочные признаки свидетельствуют о том, что это спектроскопист высокого класса? Сообщество спектроскопистов разделяется на людей, которые спрашивает «а где у вас калькулятор экспозиции, а где у вас pipeline?» и немногих остальных, которые как-то без этого обходятся. В самом начале доклада об этом было сказано. Это спектроскопист высокого класса. Деятельность Галазутдинова по DECH очень повлияла как на астрономов САО, и на тех астрономов, которые получали время на телескопе и узнавали, что есть такая программа и есть такие люди. Это тоже как практическая значимость. В докладе фигурировало, что межзвездной средой с такой точностью нельзя заниматься, не зная звездных спектров. Это положительно обстоятельство для диссертанта. Интересно, что прозвучали Плеяды. Это важное обстоятельство, которое еще всплывет, поскольку по Плеядам делается калибровка. По диапазону. Некоторые строят спектрографы с фиксированной гризмой. То, что есть спектрографы типа NES, где диапазон регулируется от ультрафиолета до микрона, следует учитывать астрономам следующего поколения. По диссертации. Как скомпоновать такое количество результатов и вообще объединить – это преждевременно. Физика межзвездной среды находится на этапе накопления знаний. Но знание молекулярной спектроскопии, понимание того что методика обработки может дать иной результат, это очень важно. В этом смысле работы Газинура Анваровича напоминают нам первые работы в САО еще на ОЗСП, когда спектроскописты САО получали чаще разочарование от новых результатов. Наши попытки калибровать металличность спектроскопически и фотометрически, это было наше разочарование. Здесь такое воспринимается естественно. Это означает, что работы Газинура очень глубокие, очень качественные, и при этом не обязательно подтверждать результаты всех предшественников. Я предлагаю членам совета высоко оценить эту работу. Она вполне диссертательна, вполне докторская, но немножко работа пострадала на оформлении, но это характер.

РОМАНЮК И.И. д.-ф.м.н. Я скажу кратко. Безусловно Газинур Анварович специалист мирового уровня. У меня в этом нет никаких сомнений. Его программы использовали все, от Узбекистана до Балтики. И сейчас используют. Что тут сказать. Наш ученый совет призывает членов диссертационного совета голосовать за эту диссертацию. Спасибо.

ГАЛАЗУТДИНОВ Г.А. Спасибо.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Коллеги, два слова буквально скажу. начну за здравие. Конечно, работа выдающаяся. Я имею в виду не саму диссертацию, а то что проделано Газинуром Анваровичем за эти десятилетия. Это потрясающий труд, очень емкий, очень сложный и ясно, что этот человек является лидером, общепризнанным мировым лидером в области

спектроскопии. Очень здорово. Родилась эта школа спектроскопии звезд и межзвездной среды здесь, в стенах нашей обсерватории. Я имею в виду советская, российская школа Ивана Михеевича Копылова. Здесь мои коллеги, которые продолжали эти традиции. Я уверен, что это лучшая школа спектроскопическая в нашей стране. И одна из лучших в мире. И характерна для этой школы тщательность в отборе материала, в обработке данных, внимание к деталям и очень скрупулезный анализ. То есть не такой поспешный. Так что здесь я всячески поддерживаю то, что нам сегодня представлено. И хочу сказать, что я горжусь тем, что мы вместе все в когорте работаем. И продолжаем работать. Из минусов, конечно, это свойства характера. Начинаешь читать этот реферат и сразу удивляешься. Первая фраза там. Главная характеристика Вселенной - это ее разреженность. Все равно можно сказать, что главная характеристика человека, это его вес. И сразу возникает внутренний протест. В эти годы коммерческие, человек часто спешит. И то, что было сказано коллегой Дмитрием Вибе, что многие положения не доведены до конца. Это очень плохо. Потому что вам не важно в диссертации, не важно, что вы делаете. Вот я утром проснулся, сел в автобус, поехал на телескоп, поехал. А важно итоги, что получила физика. То, что останется после вас, и каждую из нас в мире науки, это результаты, которые осмыслены. Не просто перечисления, результаты в таблицах. А вот что это дало физике в нашей Вселенной. Поэтому я говорю, надо об этом внимательно. И задача соискателя, это правильно сбалансировать текст, таким образом, что не все перечислять. Конечно, все впихнуть туда невозможно. 30 лет работы, и это будет целая библиотека. А главное — выделить. Также вот много было замечаний по расстоянию. Левшаков, Трушкин, мои коллеги, высказывали. Например, радиоданные используются. Самое точное определение расстояний для молекулярных облаков в Орионе — это мазерные источники. Это Боннская школа. Там, если я не ошибаюсь, десятая доля процента. И их можно было, конечно, учесть. Но всего, конечно, не учесть. Я хочу сказать, завершая, что эта работа — одна из лучших работ в области звездной астрофизики, физики межзвездной среды, которую я слышал за свое время. Спасибо большое. Было очень интересно слушать, читать. И я, конечно, буду голосовать за вас. Так, Геннадия Геннадиевича хотел бы послушать.

ВАЛЯВИН Г.Г. к.ф.-м.н. директор САО РАН. Дорогие друзья, ну, во-первых, я хотел бы присоединиться ко всем предыдущим ораторам. Я хотел было сказать больше, сейчас расскажу меньше, потому что уже сказано, Юрием Юрьевичем, в особенности касательно личности в науке Газинура Анваровича. Это действительно не просто сложившийся, как мы говорим формально на защите. Это выдающийся ученый. Я это говорю не понаслышке, я с ним общаюсь, мы очень много работаем, мы знакомы уже почти 40 лет, друзья, и я горжусь этим знакомством, горжусь этим сотрудничеством, которое продолжается уже много лет. То есть, Газинур Анварович, он как ученый, у него своя стилистика. Довольно редкое качество, когда человек одновременно и критичен, и честен, причем критичен и честен не только по отношению к другим – это, так сказать, часто встречающееся качество, а он еще и по отношению к себе. Он сам себя тоже бывает закрывает. Я встречался, сталкивался с такими вещами, и это на самом деле, именно это качество, оно в совокупности со всеми остальными вещами, которые связаны с его, так же, технологичностью в науке, ведь он не только ученый, но и прекрасный методист, разработчик, а еще и программист. И это все, сделало его таким, какой он есть, со всеми его достоинствами, недостатками. Скажем так, не бывает крупных личностей без недостатков, без недостатков бывают только нулевые личности. Этот человек на нашем спектроскопическом небе является одной из самых ярких звезд. Вот это мое такое мнение.

Поэтому я призываю диссертационный совет голосовать за присуждение докторской степени, которую Газинур Анварович, безусловно, заслуживает.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. На этом дискуссия завершается. У нас остается такое ритуальное действие. Вы должны заключительное слово сказать. Газинур давно не был на защитах.

ГАЛАЗУТДИНОВ Г.А. Не был, да. Спасибо большое за высокие оценки, которые прозвучали. Правильные слова были на счет спектроскопической школы САО. Я начинал в группе Владимира Евгеньевича, это, наверное, сыграло важную роль. Создало позвоночник, так сказать, специалиста. Сильно помогло в работе, в дальнейшем. Что я еще могу сказать? Будем стараться, дальше работать. Спасибо.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Спасибо. Так, счетная комиссия. (Единогласно избирается счетная комиссия в составе: Моисеев А.В. – председатель, Васильев Е.О., Трушкин С.А.)

(Тайное голосование, перерыв на подсчет результатов голосования).

ТРУШКИН С.А.: Я зачитываю результаты голосования. Состав избранной комиссии: Трушкин, Васильев, Моисеев. Комиссия избрана для подсчета голосов результатов тайного голосования по диссертации Галазутдинова на соискание ученой степени доктора физ.-мат. наук. Состав комиссии. Ну, так далее. Значит, присутствовало на заседании 12 членов совета, по профилю докторов – 11. Розданных бюллетеней – 12. Осталось не розданными – 0. Оказалось в урне – 12. Результаты голосования по вопросу о присуждении ученой степени доктора физ.-мат. наук Галазутдинову: за – 12, против – 0, недействительных – 0. Подписи комиссии.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Прошу утвердить. Кто за? (Голосование) Кто против? Нет. Воздержался? Нет. Утверждается протокол счетной комиссии единогласно. Поздравляем вас с присуждением ученой степени.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Нам нужно сейчас утвердить проект заключения. Замечания есть?

ВАСИЛЬЕВ Е.О. На второй странице опечатка. Еще замечания есть?

ПАНЧУК В.Е. Обычно у совета замечаний много, а по сути не бывает.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Раз замечаний нет, мы утверждаем это заключение. (Голосование). Все за.

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.