

УТВЕРЖДАЮ:



И.р. проректора по научной и  
исследовательской деятельности  
Южного федерального университета  
доктор химических наук

А.В. Метелица

2018 г.

**ОТЗЫВ**

ведущей организации федерального государственного автономного  
образовательного учреждения высшего образования

"Южный федеральный университет"

о диссертационной работе

**Сендзикаса Евгения Гедиминовича**

«Спектроскопическое исследование далеко проэволюционировавших звёзд»,

представленной на соискание учёной степени

кандидата физико-математических наук

по специальности 01.03.02. - астрофизика и звёздная астрономия

Звёзды являются практически единственными поставщиками тяжелых химических элементов в межзвёздную среду Галактики, поэтому знание всех деталей их эволюции очень актуальны. Около ста лет назад Артур Эддингтон написал: "Нет ничего проще, чем звезда". И хотя это было весьма поспешное заявление, но с тех пор теоретические модели строения и эволюции звёзд достигли существенного прогресса и их результаты очень хорошо согласуются с наблюдениями. Однако некоторые стадии эволюции до сих пор не удается количественно рассчитать. В частности, у звёзд с массой менее  $\sim 8 M_{\odot}$  после окончания стадии асимптотической ветви гигантов в атмосферах происходят нестационарные процессы, которые приводят к изменению ее химического состава и сбросу значительной доли массы звезды. Наличие газопылевой оболочки вокруг таких звёзд, обнаруженных по инфракрасным избыткам, не является однозначным свидетельством нахождения звезды именно на этой эволюционной стадии, поэтому необходим тщательный анализ содержаний химических элементов в ее атмосфере. Получению, обработке и исследованию оптических спектров потомков AGB (далее post-AGB) звёзд и посвящена диссертация Евгения Сендзикаса. Такая работа подразумевает не только получение высококачественных спектров высокого разрешения, что реализуемо лишь на крупных телескопах, но и длительный мониторинг избранных объектов для выявления нестационарных явлений в их атмосферах. Кроме того, исследователь должен глубоко разобраться в особенностях спектров звёзд, находящихся на разных эволюционных стадиях. Судя

по тексту диссертации, её автор вполне овладел необходимыми навыками и знаниями.

Диссертационная работа Сендзикаса Е.Г. состоит из введения, 4 глав, заключения и списка литературы, включающего 174 источника. Объем представленной диссертации 114 страниц, включающих 26 рисунков и 11 таблиц.

Во введении обоснована актуальность темы исследования, сформулированы цели работы, научная новизна, практическая ценность, достоверность, личный вклад автора и положения, выносимые на защиту. Приведен список публикаций автора, на которых базируется представляемая диссертационная работа, состоящий из 5 статей, причем все опубликованы в журналах, рекомендованных ВАК.

В первой главе дан краткий обзор истории наблюдений и достигнутых результатов исследований *post-AGB* звёзд и современные представления об их эволюции к планетарным туманностям. Описываются особенности их химического состава, процессов нуклеосинтеза и перемешивания в сравнении с аналогичными свойствами пульсирующих сверхгигантов. Сделан вывод о необходимости дополнительного исследования роли пульсаций в процессе перемешивания в атмосферах и оболочках *post-AGB* звёзд.

Во второй главе подробно описаны методики проведения спектральных наблюдений на эшелльном спектрографе 6-ти метрового телескопа, обработки спектров, получения параметров звёздных атмосфер и содержаний химических элементов. Особое внимание уделено учёту и исправлению различных инструментальных эффектов. Результатом освоения диссертантом всех этих методик стал полный высокоточный атлас спектральных линий А-сверхгигантов во всех порядках эшелле спектра.

Третья глава посвящена исследованию оптического компонента инфракрасного источника IRAS 01005 по 23 спектрам, полученным на БТА в результате многолетнего мониторинга объекта. Определены спектральный класс, класс светимости, содержания некоторых химических элементов, расстояние и полная скорость системы. При выполнении данной части работы исследовались спектральные линии, возникающие на разной глубине атмосферы звезды. Из сравнения одних и тех же линий у спектров, снятых в разные эпохи, на некоторых обнаружены эмиссионные детали на коротковолновых склонах профилей, свидетельствующих о существовании расширяющейся оболочки, типичной для *post-AGB*. На основании тщательного анализа форм и положений линий обнаружена их переменность, а это, по мнению автора, свидетельствует о возможных пульсациях или/и скрытой двойственности звезды, а также о вариациях геометрии и кинематики атмосферы. Сделан вывод, что обнаруженные свойства указывают для объекта IRAS 01005 близость к стадии планетарной туманности.

В четвертой главе детально изучены особенности оптических спектров переменной V 534 Lyr с неопределенным эволюционным статусом, полученных на эшелльном спектрографе 6-м телескопа в результате многолетнего мониторинга. Как и для предыдущего объекта, для звезды определены параметры модели

атмосферы, содержания химических элементов, расстояние, полная скорость и спектральный класс. Обнаруженная у звезды пониженная металличность, высокая пространственная скорость, повышенные относительные содержания  $\alpha$ -элементов, отсутствие пылевой оболочки и характерный тип переменности привели авторов к выводу, что звезда принадлежит к пульсирующим звёздам толстого диска Галактики, которая эволюционирует от горизонтальной ветви к асимптотической ветви гигантов. То есть опровергаются выводы статей других авторов о нахождении V 534 Lyr на стадии post-AGB. Кроме того, у звезды обнаружен неизвестный ранее феномен - раздвоение профилей некоторых спектральных линий. Рекомендуется проведение дальнейшего мониторинга звезды для окончательного выяснения природы ее переменности.

В заключении перечислены основные результаты работы.

Несомненным достоинством работы является личное участие диссертанта на всех этапах работы - от наблюдений на 6-м телескопе и первичной обработки спектров, до анализа полученных результатов. Такое глубокое погружение в работу позволило автору в деталях отследить эволюционные изменения в спектрах исследуемых звёзд, обнаружить в них ранее неизвестные эффекты и сформулировать квалифицированное заключение об их эволюционном статусе.

Работа написана хорошим языком, количество ошибок и описок невелико, однако есть и несколько небольших замечаний.

1. Мониторинг объектов длился уже несколько лет, когда диссертант начал в нём работать. Хотелось бы узнать, в получении и обработке какого количества спектров он принимал участие? Цифры могут различаться.
2. В параграфе 1.1 вначале указано, что планетарной туманностью может стать звезда, начиная с  $3 M_{\odot}$ , а далее - с  $2 M_{\odot}$ . Между тем, согласно современным представлениям, и менее массивные звёзды также могут стать таковыми, с ними как быть? И как-то совершенно обойден объяснением физики процессов диапазон  $(4-9) M_{\odot}$ .
3. По каким конкретно критериям определен спектральный класс оптического компонента IRAS 01005 на стр. 65?
4. Не объяснена причина того, почему "низкая скорость ветра ... и большая интенсивность длинноволновой эмиссии ... характерна не для классических сверхгигантов, а для массивных гипергигантов" (стр. 56)?
5. По всему тексту алюминий и фосфор упорно приписываются к элементам  $\alpha$ -процесса.
6. Неверно сформулировано, что "усиление легких металлов ( $\alpha$ -процесса) согласуется с принадлежностью звезды к толстому диску Галактики", тогда как правильно - высокое относительное содержание  $\alpha$ -элементов.
7. На стр. 81 не расшифрована аббревиатура "DIBs"?
8. Как получилось, что у BD+48°1220 при  $[O/Fe]_{\odot} = +0.72$  и  $[C/Fe]_{\odot} = +0.09$ , отношение  $[C/O] < 1$  (стр. 85)?

Отмеченные недостатки несколько не умаляют значимости полученных в диссертации результатов и никак не затрагивают основных ее выводов и положений, выносимых на защиту. Результаты рассматриваемой работы представляют несомненную практическую ценность и должны быть использованы. Так, созданный атлас спектров А-сверхгигантов может использоваться для отождествления спектральных линий, а также моделирования спектров звёзд близких спектральных классов. Тогда как результаты длительного мониторинга оптических спектров исследованных в работе звёзд обязательно должны учитываться для дальнейшего углубления наших знаний о физике образования планетарных туманностей. В частности, все результаты могут быть использованы в ИНАСАН, ГАИШ МГУ, САО РАН, ЮФУ, СПбГУ, КрАО и других научных центрах России и за рубежом. Кроме того, результаты диссертации могут быть использованы в курсах лекций для студентов по эволюции звёзд и практической астрофизики.

Автореферат адекватно отражает содержание диссертации. Результаты, представленные в диссертации, выполнены на высоком научном уровне, являются новыми, актуальными и практически важными, а все положения, вынесенные на защиту, научно обоснованы. Работа соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, а ее автор Сендзикас Евгений Гедиминович безусловно заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.02 - астрофизика и звёздная астрономия.

Отзыв подготовлен д.ф.-м.н, профессором (01.03.02 - астрофизика и радиоастрономия), ведущим научным сотрудником отдела радиофизики и космических исследований Научно-исследовательского института физики ЮФУ Марсаковым Владимиром Андреевичем (344090, г. Ростов-на-Дону, пр. Стачки, 194; тел. +7(863)243-36-76, e-mail: iphys@sfnu.ru).

Отзыв обсуждён и утверждён на заседании объединенного астрофизического семинара кафедры физики космоса физического факультета и отдела радиофизики и космических исследований НИИ физики Южного федерального университета 28 августа 2018 г., протокол №1.

Заведующий кафедрой  
физики космоса физического факультета  
Южного федерального университета,  
к.ф.-м.н., доцент,  
председатель заседания



18.08.2018