

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА
на диссертацию Сендзикаса Евгения Гедиминовича
”Спектроскопическое исследование далеко проэволюционировавших звезд”,
представленную на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук по специальности
01.03.02 - астрофизика, звездная астрономия.

Изучение физических и химических характеристик звезд на поздней стадии эволюции относится к крайне важным, но сложным астрофизическим проблемам. Их современное состояние является результатом жизни на предыдущих этапах и отражает происходившие в них процессы. Значительная часть таких процессов протекает в глубоких слоях звезд и недоступна для непосредственного наблюдения. Поэтому материалом для их анализа служат формируемые ими особенности физических и химических характеристик объектов на более поздних стадиях эволюции. Таким образом, далеко проэволюционировавшие звезды служат природными лабораториями при исследовании их практически полного жизненного цикла. Одновременно, у таких звезд происходит наиболее интенсивное взаимодействие с окружающей средой, в результате чего последняя обогащается продуктами ядерного синтеза. Поэтому анализ химического состава проэволюционировавших звезд предоставляет важную информацию для проверки и уточнения теории химической эволюции Галактики и ее межзвездной среды. С другой стороны, рассматриваемая стадия жизни звезд очень скоротечна, а условия их наблюдений и анализа затруднены наличием сильных ветровых течений и плотных оболочек. В итоге к настоящему времени открыто крайне ограниченное число объектов такого типа, каждый из которых заслуживает детального рассмотрения. Названные причины обуславливают высокую актуальность и научную значимость тематики представленной диссертации.

Диссертация, общим объемом 114 страница и объемом основного текста 107 страниц, включает Введение, четыре главы, Заключение и список литературы из 174 источников, содержит 26 рисунков и 11 таблиц.

Во Введении обосновывается актуальность проводимых исследований и определяется спектр решаемых задач, новизна получаемых результатов, их научная, методическая и практическая значимость. Далее формулируются положения, выносимые на защиту, их достоверность, степень апробации и опубликование в рецензируемых изданиях с указанием вклада диссертанта. Вторая часть Введения посвящена краткому обзору содержания и структуры диссертации. Следует отметить, что цель исследования определена лишь набором решаемых задач, что необычно для диссертационных работ.

Первая глава из 7 разделов включает обзор современного состояния исследований звезд промежуточных масс на поздних стадиях эволюции, их физических и химических характеристик, фотометрических и спектроскопических особенностей излучения, типов переменности и возможных случаев двойственности. Особое внимание уделено вопросу корректной классификации таких звезд, а также обширной программе их исследований, проводимой в САО РАН по наблюдениям на БТА. Диссертантом показано, что уникальность рассматриваемых объектов и сложная иерархия происходящих в них процессов требуют комплексного определения их физических и химических характеристик с привлечением многолетнего наблюдательного материала.

Во второй главе, включающей 6 разделов, описаны особенности эшеле-наблюдений на БТА и последующей редукции полученных данных. Соответствующая информация, представленная в разделах 2.1, 2.2, 2.3, отличается полнотой и детализацией, производя только положительное впечатление. Пункт 2.4 посвящен построению спектральных атласов трех А-звезд высокой

светимости, а пункт 2.5 - методике численного анализа измеренных эквивалентных ширин для определения параметров атмосфер изучаемых объектов.

Третья глава, содержащая 4 раздела, содержит результаты комплексного исследования post-AGB звезды, являющейся оптическим компонентом яркого инфракрасного источника IRAS 01005+7910. Накопленная к настоящему времени информация об объекте изложена в разделе 3.1, а особенности выполненных для него наблюдений - в разделе 3.2. В раздел 3.3 объединены результаты изучения IRAS 01005+7910, полученные диссертантом разными методами. В том числе им рассмотрены изменения профилей линий водорода и тяжелых элементов с выделением в них ветровых и атмосферных компонент, временные вариации лучевых скоростей, возможные проявления пульсаций и нестационарности ветровых истечений, классификация объекта и мультикомпонентность линий межзвездной среды в его спектрах. В результате диссертантом показано, что IRAS 01005+7910 находится на постассимптотической ветви гигантов в стадии ее перехода к появлению планетарной туманности.

Четвертая глава состоит из 4 разделов, обобщающих результаты анализа спектральных наблюдений переменной А-звезды высокой светимости V534 Lyr. Общая информация об объекте содержится в разделе 4.1. Раздел 4.2 анализирует характеристики его наблюдаемых спектров с использованием нескольких групп линий, временные изменения профилей последних, измеренные по ним наборы лучевых скоростей, оценки фундаментальных параметров звезды, а также параметров и химического состава ее атмосферы. В разделе 4.3 диссертант делает вывод о несоответствии характеристик V534 Lyr характеристикам post-AGB звезд и высказывает предположение о ее принадлежности к пульсирующим переменным типа W Vir с нахождением объекта в голубой части диаграммы Г-Р выше горизонтальной ветви.

В ЗаклЮчении творчески обобщены результаты диссертационной работы, проанализированы особенности исследований post-AGB звезд и перспективы их развития.

Автореферат отражает структуру и основные выводы диссертации.

Таким образом, в диссертации Сендзикаса Е.Г. выполнен комплексный анализ двух звезд высокой светимости на поздних стадиях эволюции, а также построены спектральные атласы трех звезд близких спектральных классов с целью повышения эффективности последующих аналогичных исследований. Практически все результаты получены диссертантом с привлечением многолетних наблюдений на БТА, выполненных им лично и другими сотрудниками Лаборатории астроспектроскопии САО РАН, что является несомненным достоинством работы. Кроме того, следует отметить гармоничное сочетание в диссертации феноменологического, количественного и модельного способов анализа объектов, что позволило с одной стороны сделать общие выводы о физическом и эволюционном состоянии, а с другой - найти оценки части параметров. Результаты работы являются новыми, а их научное значение заключается в спектральной классификации IRAS 01005+7910 и V534 Lyr, оценках параметров атмосферы последней и исследовании временных вариаций лучевых скоростей газа в ветровых и атмосферных слоях обеих звезд, указывающих на наличие пульсаций или эффектов двойственности. Практическое значение имеют наблюдаемые спектры в разные эпохи, измеренные в них наборы эквивалентных ширин линий, спектральные атласы трех А-звезд высокой светимости и итоги анализа межзвездных "дибов" и линий NaI. Представленная в диссертации информация может использоваться в наблюдательных и теоретических научных работах астрономических институтов России (САО, СПбУ, КрАО, ИНАСАН и др.) и зарубежья. Их достоверность подтверждается сравнением с данными независимых исследований и апробацией на 5 научных совещаниях и конференциях, из которых одна - со всероссийским статусом. По результатам работы опубликовано 5 научных работ, из которых 4 - в высокорейтинговых журналах, включенных в списки ВАК и Scopus.

К представленной диссертации следует высказать следующие замечания.

1) Обзор современного состояния исследований, содержащийся в Главе 1, совершенно лишен

иллюстраций и оказывается сложным для понимания. Достаточно сказать, что в нем отсутствует диаграмма Герцшпрунга-Рассела с указанием областей расположения исследуемых объектов или рисунок с теоретическими эволюционными треками звезд малых и средних масс. Описание наблюдаемых спектральных особенностей, их временных изменений, а также кривых блеска звезд следовало также сопроводить иллюстрациями. В тексте обзора встречается большое число специализированных англоязычных терминов (например "dredge-up", "Ythermal pulse", "hot-bottom" и др.) без их предварительной интерпретации на русском языке. Кроме того, отсутствует однотипность некоторых обозначений (например стадия post-AGB на странице 27 названа PAGB). Наконец, раздел "1.5 Химический состав пульсирующих сверхгигантов" не содержит информации, непосредственно соответствующей его названию.

2) Пункт "3.3.2 К проблеме двойственности и пульсаций post-AGB звезд" в разделе "3.3 Полученные результаты" не содержит собственных результатов диссертанта или их анализа. Данный пункт может быть включен только в обзор современного состояния исследований в Главе 1.

3) Из содержания пункта 4.3.1 остается неясным принятое диссертантом расстояние до V534 Lyr и соответствующая ее спектральная классификация. Им названы возможные оценки расстояний в $d=2.2$ кпк (данные GAIA) и $d=3.2$ кпк (Vickers et al. MNRAS, 2015), причем вторая почему-то считается лучше согласующейся с данными GAIA. Однако в работе McDonald et al, MNRAS, 2012 представлено более низкое значение $d=1.03$ кпк, которое в тексте диссертации даже не обсуждается. В итоге диссертант не делает в пункте 4.3.1 однозначного вывода о светимости объекта, но в заключении Главы 4 вдруг утверждает о его нахождении выше горизонтальной ветви.

4) Утверждение на стр. 86 "Этот вывод дает нам основание отнести исследуемую звезду V534 Lyr скорее к виргинидам: ..." рецензент считает необоснованным. Оно сделано на основе сравнения найденных им характеристик V534 Lyr с представленными в статье Maas et al., ApJ, 2007 для 19 переменных звезд типа BL Her или W Vir. Однако эффективная температура всех звезд их выборки изменяется в пределах $T_{eff} = 4700 - 6500\text{K}$, т.е. качественно отличается от полученного диссертантом для V534 Lyr значения $T_{eff} = 10000\text{K}$. Более того, в рамках диссертации не показано, что при найденных параметрах атмосферы эта звезда действительно попадает в полосу неустойчивости. Заметим, что в работе McDonald et al, MNRAS, 2012 представлено более низкое значение ее температуры $T_{eff} = 7900\text{K}$ при светимости $L = 440L_{sun}$, лучше соответствующее параметрам звезд из выборки Maas et al., ApJ, 2007.

Кроме того, оппонентом обнаружены мелкие недочеты в тексте диссертации.

1) Стр. 47 и 82 "Расчет модели атмосферы, содержания химических элементов и расчет синтетических спектров выполнен с использованием программы WIDTH9". Программа WIDTH9 не рассчитывает модели атмосфер, а использует готовые интерполированные модели Куруца (1993) или Кастелли, Куруца (2004).

2) Стр. 22 "... поэтому нет существенного поглощения (нет активных поглотителей Ц однократно ионизованных атомов металлов) оптического излучения звезды". Диссертанту следует сделать ссылку на источник, содержащий данное утверждение. В теории звездных атмосфер основным источником оптического поглощения для объектов солнечной температуры считает отрицательный ион водорода H^- (Соболев, "Курс теоретической астрофизики", 1985).

3) На стр. 42 в предложении "Эквивалентную ширину можно определить двумя способами: рассчитать площадь под профилем линии или описать линию гауссианой, а затем измерить площадь под гауссианой." вместо слова "под" следует читать "над". Верная формулировка имеется в подписи к рисунку 2.4.

4) Ссылка [103] на электронные версии спектральных атласов трех A-звезд на момент ознакомления с текстом оказалась недоступной для просмотра.

