

**Отзыв научного руководителя  
о диссертации Евгения Гедиминовича Сендзикаса  
«Спектроскопическое исследование далеко проэволюционировавших звезд»,  
представленной на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук  
по специальности 01.03.02 — астрофизика и звездная астрономия**

Актуальность научных проблем, рассмотренных в диссертации, обусловлена типом исследованных объектов – пекулярные звезды высокой светимости вблизи продвинутой эволюционной стадии асимптотической ветви гигантов (AGB). Высокий интерес к AGB-звездам и к их ближайшим потомкам объясняется тем, что именно в недрах этих звезд, находящихся на кратковременной эволюционной стадии, создаются физические условия для синтеза ядер тяжелых металлов и для выноса наработанных продуктов ядерных реакций в звездную атмосферу. Расчеты показывают, что звезды после стадии AGB являются основным поставщиком тяжелых металлов (свыше 50% всех элементов тяжелее железа) в межзвездную среду. Вещество оболочки AGB-звезды теряется за счет двух процессов: во-первых, наработанные в процессе нуклеосинтеза углерод и кислород присоединяются к вырожденному углеродно-кислородному ядру (что изменяет характер энерговыделения), во-вторых, вещество теряется за счет ветра с поверхности звезды. Вследствие потери вещества вокруг звезды образуется оптически толстая оболочка и звезда становится трудно наблюдаемой в оптике. В какой-то момент жизни AGB-звезды, внезапно, ее темп потери массы резко возрастает. Одной из причин резкого возрастания темпа потери вещества может быть пульсационная нестабильность сверхгигантов, присущая звездам на этой стадии эволюции в достаточно широком интервале фундаментальных параметров. Именно эти физические явления: синтез тяжелых металлов, перемешивание вещества, формирование структурированных околозвездных оболочек, пульсационная активность, свойственные звездам на стадиях AGB и после нее, – определяют устойчивый интерес к этим объектам теоретиков и наблюдателей.

Одним из результатов обзора на ИК-аппаратуре IRAS явилось выделение источников, представляющих собой околозвездные оболочки с температурами от 200 до 1000 К. Впоследствии часть этих объектов была отождествлена со звездами высокой светимости, предположительно на эволюционных стадиях AGB и post-AGB. После выделения нового типа далеко проэволюционировавших звезд с большими избытками ИК-потока, на нескольких крупных телескопах мира были начаты программы спектроскопии звезд, кандидатов на стадии post-AGB и AGB, с целью изучения особенностей аномальных спектров, кинематического состояния истекающих атмосфер и структуры протяженных околозвездных оболочек, и прежде всего – с целью изучения процесса звездного нуклеосинтеза и выноса его продуктов в звездную атмосферу. Такого рода наблюдательная программа выполняется и на 6-м телескопе БТА, в сочетании с современными эшелельными спектрографами. С наблюдательной точки зрения задача усложнена необходимостью многократных наблюдений переменных объектов, а также высокими требованиями к стабильности аппаратуры и, в частности, к высокой точности позиционных измерений.

Работа Е.Г.Сендзикаса, выполненная в рамках этой программы, базируется на однородном высококачественном наблюдательном материале. Отличительной чертой исследования, проведенного в диссертации, является выполнение долговременного спектрального мониторинга с высоким спектральным



разрешением в широком интервале длин волн, что позволило надежно определять фундаментальные параметры и особенности кинематического состояния атмосферы на различных уровнях формирования спектральных деталей для каждого момента наблюдений. Мониторинг был начат ранее сотрудниками Лаборатории астроспектроскопии САО. Однако подавляющая наблюдательных данных получена соискателем или с его участием. В накоплении большого объема данных проявилась высокая активность соискателя в освоении и использовании современной спектральной аппаратуры и методов последующей многоэтапной обработки данных.

Детальная спектроскопия, проведенная для обеих звезд впервые, позволила получить надежные выводы и продемонстрировала эффективность метода длительного спектрального мониторинга с высоким спектральным разрешением в широком интервале длин волн. Из-за присутствия околозвездной пылевой оболочки лишь небольшая часть выделенных объектов доступна спектроскопическим наблюдениям в оптическом диапазоне с высоким спектральным разрешением. Очевидно, что программа мониторинга сверхгигантов с большими избытками ИК потока является предельной для спектроскопии высокого спектрального разрешения даже на самых крупных телескопах.

Отличительной чертой диссертации Е.Г.Сендзикаса является использование современного матобеспечения для обработки и последующего анализа спектральных данных. Программы SynthV и WiDTH используются для расчета моделей звездных атмосфер и моделирования спектров звезд в широком диапазоне эффективных температур, светимостей и химического состава. Использование метода моделей атмосфер позволило определить для звезд программы содержания большого набора химических элементов, включая содержания CNO-триады, элементов группы железа и тяжелых металлов, подверженных изменению в ходе эволюции звезд исследуемого типа.

Здесь хочу особо подчеркнуть важный момент — все разделы практической астрофизики, знание которых были необходимы для выполнения поставленной задачи: оптическая спектроскопия, моделирование оптических спектров, вопросы звездного нуклеосинтеза, кинематической картины Галактики, межзвездной среды и др. — были освоены аспирантом за четыре года обучения. Так сложилось, что его преддипломная практика прошла не в САО и была связана с научной работой, далекой от оптической спектроскопии и метода моделей звездных атмосфер. Это обстоятельство указывает на достаточно хорошую работоспособность соискателя.

Знания и опыт, полученные в ходе обучения в аспирантуре, соискатель в полной мере применил в исследовании двух переменных звезд на высоких широтах Галактики — кандидатов в post-AGB звезды. Первая из них — слабая в оптике горячая звезда, ассоциированная с ИК-источником IRAS01005+7910. Положение источника на диаграмме цветов IRAS согласуется со стадией post-AGB. Принципиальные результаты для центральной звезды IRAS 01005 получены и опубликованы еще в 2002 (Klochkova et al., A&A, **392**, 143, 2002). Эти авторы, определив фундаментальные параметры звезды ( $T_{\text{eff}}=21500$  К, ускорение силы тяжести на ее поверхности  $\log g = 3.0$ , пониженная металличность  $[\text{Fe}/\text{H}]=-0.31$  и избыток углерода ( $\text{C}/\text{O}>1$ ) в атмосфере), подтвердили для него стадию post-AGB. Проведенный впоследствии с участием соискателя многолетний мониторинг позволил изучить переменность профилей и лучевой скорости для линий, формирование которых происходит на различных глубинах в атмосфере. По положению симметричных и стабильных профилей запрещенных эмиссий [NI],



[NII], [OI], [SII] и [FeII], присутствие которых в спектре указывает на начало ионизации околозвездной оболочки и близость к стадии планетарной туманности, определена системная скорость  $V_{\text{sys}} = -50.5$  км/с. Перепад  $V_{\text{r}}$  по крыльям линий может быть следствием пульсаций или/и скрытой двойственности звезды. Деформации профилей абсорбционно-эмиссионных линий связаны с изменениями их абсорбционных составляющих из-за вариаций геометрии и кинематики в основании ветра.

Оптические спектры второй исследованной в диссертации звезды V534 Lyr (HD172324) неоднократно анализировались ранее другими коллективами авторов, однако, временное поведение параметров спектра и поля лучевых скоростей не были изучены, а эволюционный статус звезды не был фиксирован. Спектральный мониторинг звезды в 2010-2017 г.г. привел к выводу о полном несоответствии для V534 Lyr принадлежности стадии post-AGB, фигурирующей в ранее опубликованных статьях. Полученная совокупность наблюдаемых особенностей V534 Lyr: малоамплитудная переменность  $V_{\text{r}}$  по абсорбциям с высоким потенциалом возбуждения, которые формируются в глубоких слоях звездной атмосферы, что указывает на наличие вероятности пульсаций в глубоких слоях атмосферы; наблюдаемое в отдельные моменты наблюдений раздвоение профилей абсорбций металлов с низким потенциалом возбуждения нижнего уровня, пониженная металличность, тип и переменность эмиссионно-абсорбционного профиля H $\alpha$  и H $\beta$  — позволили отнести звезду к пульсирующим звездам II-го типа населения в полосе неустойчивости вблизи HB. Отмечу, что результаты диссертации усиливают сделанный ранее в ходе выполнения программы вывод о неоднородности исходной выборки кандидатов в post-AGB звезды.

В работе с высококачественным спектральным материалом, получаемым на БТА для звезд самых различных типов (различные спектральные классы, классы светимости, стадия эволюции, особенности химического состава), необходимым этапом является изготовление спектральных атласов. Спектральные атласы, опубликованные в доступном виде, способствуют сохранению наблюдательных данных и бесспорно облегчают работу спектроскопистов, в т.ч. и начинающих. С участием соискателя подготовлен и опубликован сравнительный атлас спектров A-сверхгигантов различного статуса: post-AGB звезды BD+48° 1220=IRAS05040+4820, пекулярного сверхгиганта  $\zeta$  Pup=IRAS07418 -2850 и массивного сверхгиганта  $\alpha$  Cyg =IRC+50337. Атлас содержит спектральный материал в графическом и в табличном представлении с подробным отождествлением всех спектральных деталей. Атлас доступен заинтересованным спектроскопистам в цифровом виде в Интернете, на него уже имеются ссылки.

Как следует из сведений об апробации результатов, степень их представления на семинарах и конференциях также самостоятельна и достаточна.

Перечисленные выше основные подходы, использованные в диссертации и приведшие к получению новых, актуальных и достоверных выводов, опубликованных в научных журналах мира с астрофизической тематикой, позволяют нам говорить о том, что соискатель уже является сложившимся исследователем. Необходимо подчеркнуть высокую степень самостоятельности проведенных исследований. Большой вклад в обеспечение наблюдательной программы на 6-метровом телескопе привело к формированию профессионального наблюдателя, который самостоятельно готовит к наблюдениям сложный наблюдательный комплекс, выполняет на 6-метровом телескопе задачи и внешних

заявителей, а также проводит обработку двумерных массивов наблюдательных данных.

В целом считаю, что диссертация Е.Г. Сендзикаса является самостоятельным и завершенным научным исследованием, достоверность выводов не вызывает сомнения. Работа удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым ВАК к кандидатским диссертациям, а ее автор, Евгений Гедиминович Сендзикас, несомненно заслуживает присуждения искомой научной степени кандидата физико-математических наук.

Научный руководитель, профессор,  
зав. лабораторией астроспектроскопии САО РАН,  
доктор физико-математических наук

 - В.Г. Ключкова

Почтовый адрес: 369167 пос. Нижний Архыз Зеленчукского района  
Карачаево-Черкесской республики,  
Специальная Астрофизическая Обсерватория РАН  
Тел. 8(87878)46275 E-mail: [Valentina.R11@yandex.ru](mailto:Valentina.R11@yandex.ru)

Подпись В.Г. Ключковой заверяю  
Ученый секретарь САО РАН  
кандидат физико-математических наук





Е.И. Кайсина.