АННОТАЦИЯ

диссертации на соискание степени доктора философии (PhD) по образовательной программе «8D05307 – Физика и астрономия»

БАҚЫТҚЫЗЫ ӘЙГЕРІМ

ЭВОЛЮЦИОННЫЙ СТАТУС ЗВЕЗДЫ AS314: СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ С ГОЛУБЫМИ ПЕРЕМЕННЫМИ ВЫСОКОЙ СВЕТИМОСТИ И POST-AGB ЗВЕЗДАМИ

Общая характеристика работы

Изучение эволюции звезд является одним из важных направлений современной астрофизики. Масса, светимость и химический состав звезды определяют её путь развития, а в ходе эволюции существенно изменяются структура атмосферы и характер звездного ветра. Одним из объектов, природа которого до сих пор остается дискуссионной, является звезда AS314. В литературе она рассматривается либо как маломассивная post-AGB звезда, либо как объект, обладающий свойствами, характерными для ярких голубых переменных (LBV). Данное противоречие обусловило необходимость комплексного исследования эволюционного статуса AS314.

В настоящей работе выполнен комплексный анализ фотометрических и спектроскопических наблюдательных данных AS314. В исследовании использованы данные долговременных фотометрических проектов ASAS-SN и ASAS-3, фотометрические результаты космических миссий Gaia EDR3 и WISE, а также инфракрасные наблюдения миссий AKARI, MSX и IRAS. Кроме того, были проанализированы спектры высокого разрешения, полученные в различных обсерваториях. Обработка данных проводилась с использованием пакета IRAF и современных инструментов спектрального анализа, что позволило детально изучить спектральные особенности звезды и межзвездные полосы поглощения.

Для определения основных физических параметров была смоделирована спектральная энергия распределения с использованием атмосферных моделей Castelli – Kurucz и кода радиационного переноса DUSTY. Данный подход позволил оценить параметры фотосферы, а также температуру и оптическую толщину околозвездной пылевой оболочки. Положение звезды на диаграмме Герцшпрунга – Рассела было определено и сопоставлено с эволюционными треками звезд типов post-AGB и LBV. Астрометрические данные Gaia использовались для сравнительного анализа расстояния и светимости.

В результате определены основные физические параметры AS314: светимость, масса, радиус, расстояние и межзвездное поглощение. Также исследованы активность звездного ветра, динамика спектральных линий и возможность наличия двойной компоненты. Проведенный анализ позволил уточнить физическую природу и эволюционный статус звезды.

Комплекс фотометрических, спектроскопических и модельных исследований обеспечил всестороннее рассмотрение природы AS314 и уточнение её эволюционного положения.

Актуальность темы

Правильная классификация звезд является одной из ключевых задач современной астрофизики, поскольку позволяет уточнить их эволюционный статус и глубже понять жизненный цикл звезд и химическую эволюцию Галактики. По современным оценкам, значительная часть звезд на поздних стадиях эволюции входит в состав двойных или кратных систем, где происходят процессы переноса массы и формирования пылевых оболочек.

К таким стадиям относятся звезды типа post-AGB и LBV. Post-AGB объекты – это звезды, потерявшие значительную часть своей массы и находящиеся на пути к стадии белого карлика. LBV – чрезвычайно яркие и нестабильные массивные звезды, активно теряющие массу и способные эволюционировать в звезды Вольфа – Райе или завершить свою жизнь взрывом сверхновой. Оба типа играют важную роль в обогащении межзвездной среды тяжелыми элементами.

Однако разграничение этих классов затруднено из-за сходства их спектральных и фотометрических характеристик: наличия линий Бальмера, пылевых оболочек и перекрывающихся температурных диапазонов. Некоторые объекты демонстрируют признаки обоих типов.

AS314 относится к таким промежуточным объектам. В различных работах она рассматривается как post-AGB звезда или как LBV, что связано с особенностями ее спектра, фотометрии и наличием пылевой оболочки.

Исследование AS314 важно для уточнения ее природы и понимания эволюционной связи между post-AGB и LBV звездами, а также процессов потери массы и химической эволюции Галактики.

Цель работы

Основной целью данной работы является комплексное исследование эволюционной природы звезды AS314. Для этого были проанализированы фотометрические данные в различных диапазонах и оптические спектроскопические наблюдения. В ходе исследования рассматривались вопросы определения основных физических параметров звезды, выявления особенностей её спектра, оценки межзвездного поглощения, а также изучения окружающей её пылевой оболочки. Сопоставление полученных данных с характеристиками объектов типов LBV и post-AGB позволило сформулировать интерпретацию эволюционной природы AS314.

Задачи исследования

– Анализ спектральных и фотометрических данных звезды AS314 и моделирование её спектрального распределения энергии с использованием атмосферных моделей Castelli – Kurucz и кода радиационного переноса DUSTY с целью определения основных физических параметров и структуры пылевой оболочки.

– Определение светимости, радиуса и массы AS314, построение её положения на диаграмме Герцшпрунга – Рассела и оценка расстояния на основе

карты Bayestar2019 с последующим сравнением с объектами типов LBV и post-AGB для уточнения эволюционного статуса.

– Анализ кривой блеска и профилей спектральных линий для исследования динамики атмосферы звезды, а также проверки наличия орбитального движения и возможной двойной компоненты.

Объект исследования: звезда AS314.

Предмет исследования: спектральные и фотометрические свойства звезды AS314, её эволюционная природа, основные параметры (эффективная температура, светимость, радиус, масса, расстояние, межзвездное поглощение), спектральное распределение энергии, динамика звездного ветра и орбитальное движение.

Методы исследования

– Сбор и анализ фотометрических и спектральных данных AS314, моделирование её спектрального распределения энергии с использованием атмосферных моделей Castelli – Kurucz и кода радиационного переноса DUSTY.

– Построение диаграммы Герцшпрунга – Рассела, оценка расстояния с использованием карты пыли Bayestar2019, вычисление параметров AS314 и сравнительный анализ полученных результатов с объектами типов LBV и post-AGB.

– Применение кросс-корреляционного анализа к фотометрическим и спектральным данным AS314, построение кривой блеска, определение радиальных скоростей и исследование динамики атмосферы и орбитального движения на основе эффекта Доплера.

Основные положения, выносимые на защиту

1. По результатам моделирования спектрального распределения энергии эффективная температура звезды AS314 составляет 10 000 K, а вокруг звезды располагается оптически тонкая пылевая оболочка с оптической толщиной $\tau \approx 0.1$.

2. По своим физическим параметрам и спектральным характеристикам AS314 обладает свойствами, характерными для звезд типа LBV, а её светимость примерно в 50 раз превышает светимость типичных post-AGB звёзд.

3. Отклонения в кривой блеска и смещения профилей спектральных линий AS314 обусловлены не влиянием двойственности, а динамикой переменного звездного ветра со скоростями 100–200 км/с.

Результаты исследования

1. По результатам моделирования спектрального распределения энергии показано, что эффективная температура звезды AS314 составляет 10 000 K. Определено наличие оптически тонкой графитово-силикатной пылевой оболочки с оптической толщиной $\tau \approx 0{,}1$.

2. В ходе сравнительного анализа спектральных, фотометрических и физических параметров AS314 (светимость $\log(L/L_{\odot}) \approx 5.2$, радиус $R \approx 130R_{\odot}$, масса $M \approx 60M_{\odot}$, расстояние $d \approx 10$кпк) со звездами типов LBV и post-AGB установлено, что светимость и масса AS314 примерно в 50 раз превышают

параметры типичных post-AGB звезд ($\log(L/L_{\odot}) \approx 3.5$). Доказано, что физические характеристики объекта соответствуют ярким звёздам типа LBV.

3. Анализ кривой блеска и временных изменений радиальных скоростей показал отсутствие выраженной устойчивой периодичности. По доплеровским смещениям линий серии Бальмера H_{α}, H_{β}, H_{γ} определено, что звёздный ветер направлен к наблюдателю со скоростью 100–200 км/с. Доказано, что наблюдаемые изменения связаны не с орбитальным движением, а с динамикой переменного звёздного ветра, что подтверждает одиночную природу AS314.

Научная новизна

1. Впервые спектральное распределение энергии AS314 было смоделировано с использованием атмосферных моделей Castelli – Kurucz и кода радиационного переноса DUSTY, что позволило определить её эффективную температуру, величину межзвездного поглощения и структуру пылевой оболочки.

2. Впервые полученные результаты были сопоставлены с характеристиками звезд типов LBV и post-AGB, что позволило определить физические параметры объекта и научно обосновать принадлежность AS314 к ярким звездам типа LBV.

3. Впервые проведен комплексный анализ высокоточных спектральных и фотометрических данных AS314 за последние 25 лет, построена кривая блеска и исследованы изменения радиальных скоростей методом кросс-корреляции, что позволило проанализировать динамику атмосферы и орбитальное движение звезды.

Теоретическая значимость

Данное исследование уточняет эволюционную природу звезды AS314 и вносит вклад в понимание процессов потери массы, звездного ветра и пылеобразования у массивных звёзд. Применённые методы спектрального анализа, кросс-корреляционный подход и моделирование спектрального распределения энергии представляют собой эффективную методическую основу для различения звезд типов LBV и post-AGB и определения их физических параметров.

Практическая значимость

С практической точки зрения работа демонстрирует полный алгоритм обработки современных астрономических данных и моделирования, а также показывает возможность проведения самостоятельных исследований аналогичных объектов на основе открытых данных. Полученные результаты могут быть использованы в учебном процессе в виде специального курса или практических занятий, а также послужить основой для разработки научных проектов, финансируемых государством и направленных на изучение массивных звёзд.

Личный вклад автора

Все анализы и полученные результаты выполнены при непосредственном участии автора. Цели и методы исследования были определены совместно с научными руководителями, а полученные результаты обсуждены и сопоставлены с литературными данными с формулировкой соответствующих выводов.

Достоверность результатов

Достоверность обеспечивается корректностью используемых методов, согласованностью наблюдательных данных и их соответствием результатам других исследований аналогичных объектов.

Апробация работы

Результаты исследования представлены на международных и республиканских научных конференциях и опубликованы в изданиях, индексируемых международными базами данных Thomson Reuters и Scopus:

1. Bakhytkyzy A., Miroshnichenko A. S., Klochkova V. G., Panchuk V. E., Zharikov S. V., Mahy L., Van Winckel H., Agishev A. T., Khokhlov S. A. AS 314: A Massive Dusty Hypergiant or a Low-Mass Post-Asymptotic Giant Branch Object? //Galaxies. – 2025. – Vol. 13. – №. 2. – P. 17. Web of Science: Impact Factor 3.8, Q2. Scopus: CiteScore 6.3, Percentile 74%. https://doi.org/10.3390/galaxies13020017

Публикации в изданиях, рекомендованных Комитетом по контролю в сфере образования и науки МОН РК:

1. Gyuchtash A., Nurmakhametova S., Vaidman N., Khokhlov S., Agishev A., Bakhytkyzy A. (2025). A method for determining the physical parameters of hot supergiants based on spectral energy distribution analysis. //Physical Sciences and Technology. – 2025. – Vol. 12. – №. 1-2. – P. 45-56. Web of Science: Impact Factor 0.25, Q4. Scopus: CiteScore 0.7, Percentile 24%. https://doi.org/10.26577/phst20251215

Связь работы с научными проектами

Работа выполнена в рамках проекта № AP23484898 под названием «Разработка современной методики определения фундаментальных параметров Галактических горячих сверхгигантов», финансируемого Комитетом науки МОН РК.

Работа выполнена в рамках проекта № AP23484898 «Разработка современной методики определения фундаментальных параметров галактических горячих сверхгигантов», финансируемого Комитетом науки МОН РК (2024-2026 гг.).

Объем и структура диссертации

Диссертация состоит из введения, четырёх основных глав, заключения, списка использованных источников и двух приложений. Общий объём работы составляет 120 страницу, включая 35 рисунков, 7 таблиц и 79 библиографических источников.