АННОТАЦИЯ

диссертации на соискание степени доктора философии PhD по специальности «6D061100 – Физика и астрономия»

Хохлов Азамат Анатольевич

Спектральный и фотометрический анализ двойных звездных систем с околозвездными оболочками

Общая характеристика работы

Настоящая работа посвящена результатам анализа спектральных и фотометрических наблюдений эмиссионной звезды IRAS 07080+0605 (V ~ 12.1), которая имеет один из самых сильных ИК-избытков среди объектов с B[e] феноменом. Для целей исследования данного объекта были собраны данные фотометрических и спектральных наблюдений, осуществленных в различных астрофизических обсерваториях, включая учреждения в Мексике, Соединенных Штатах, Чили и Казахстане. Кроме того, были проанализированы доступные данные, содержащиеся в литературных источниках, а также информация из ресурсов, таких как ASAS SN, UCAC4 и 2MASS. Наблюдения звезды IRAS 07080+0605 охватывают почти два десятилетия, с 2004 по 2021 год. Во второй главе данной диссертации представлен расширенный обзор использованных инструментов, современных методик анализа данных в астрофизике и методов сбора данных. В результате данного исследования были определены физические параметры системы. Смоделировано распределение энергии в спектре системы в оптическом и ИК-диапазоне. Обнаружено, что положения линий поглощения объекта изменяются с периодом 24±1 суток и полуамплитудой 10±2 км/с, которое свидетельствует о наличии вторичного компонента с малой массой. Дополнительно, в данных ASAS SN были обнаружены вариации визуального блеска со стабильным периодом в 190 дней, но с переменной амплитудой, составляющей примерно 0,2 звездной величины. Наблюдательные характеристики звезды IRAS 07080+0605 схожи с характеристиками протопланетной туманности «Красный Прямоугольник» (HD 44179). Пылевой диск IRAS 07080+0605 демонстрирует наличие углеродных частиц (~ 10–20 % от общего содержания пыли) и полос эмиссии полициклических ароматических углеводородов (ПАУ). На основании комплексного анализа наблюдательных данных, был сделан вывод, что звезда IRAS 07080+0605 по наблюдаемым характеристикам является первым (из обнаруженных) объектом из группы FS CMa, который находится на пути к стадии эволюции post-AGB

Актуальность темы

Наблюдения различными методами (фотометрия, спектроскопия, интерферометрия), полученные с момента появления детекторов излучения,

показали, что более 70% звезд на разных стадиях эволюции входят в состав двойных или кратных систем.

Двойные системы, в которых звезды формируются близко друг к другу, могут взаимодействовать на протяжении всей своей жизни, увеличивая тем самым периоды присутствия в системе большого количества околозвездного вещества за счет массопереноса в данных системах. Периоды такого массопереноса изменяют массы звезд и могут заселять области внутри и непосредственно за пределами двойной системы околозвездным газом. При этом пылевые частицы могут образовываться во внешних частях данных оболочек, где температуры ниже 1500–2000 К.

В некоторых типах двойных систем наблюдается столь сильный массоперенос между звездными компонентами, что, помимо значительного изменения масс спутников, происходит образование крупных и плотных околозвездных газовых дисков, сопровождающееся конденсацией большого количества околозвездной пыли. Такие системы демонстрируют очень сильные эмиссионные линии в спектрах и избыток визуального и ИК-излучения из-за переизлучения звездных фотонов околозвездным газом и пылью. Указанные выше явления наблюдаются в двойных системах со звездой-компаньоном Вольфа-Райе; в двойных звездах пост-асимптотической ветви гиганта, эволюционирующих в сторону планетарной туманности; яркие голубые переменные (LBVs); и объекты типа FS Canis Majoris (FS CMa).

Объекты типа FS CMa были выделены в отдельную новую группу профессором Мирошниченко в 2007 году. Наиболее вероятным сценарием образования объектов FS CMa, согласно подтвержденным существующим данным, а также результатами анализа, является эволюция тесной двойной системы, в которой происходит сильный массообмен между компонентами двойной системы, приводящий к потере части этой массы в околозвездное пространство и образованию пылевой оболочки или диска.

В настоящий момент имеется значительный прогресс в исследовании звезд типа FS CMa. Детальный и комплексный анализ длительных временных рядов наблюдений позволил обнаружить новые свойства данной группы звезд, такие как быстрые спектральные изменения; присутствие линий лития в спектре звезд и т.д. Для ряда объектов данной группы определены орбитальные периоды, описаны физические особенности компонентов систем, определены физические параметры звезд, которые показали большой диапазон светимостей объектов, что позволяет предположить существование большого количества таких систем как в нашей Галактике, так и в других. Сильные ИК-избытки указывают на то, что объекты группы FS CMa представляют собой неучтенный источник пыли в Галактике. Такие объекты никогда не рассматривались как производители пыли, и требуется переоценки «производства» галактической пыли.

При исследовании данной новой группы существуют проблемы, основными из которых являются определение физических параметров звезд и их околозвездных оболочек, а также определение эволюционного статуса звезды. Последняя, вызывает различные мнения об эволюционном статусе

некоторых объектов группы FS CMa. Это связано с механизмами формирования вещества в околозвездных оболочках. Например, для наиболее ярких объектов группы FS CMa: HD 85567, HD 50138, FS CMa существуют противоположные точки зрения по эволюционному статусу звезд. Ряд исследований относит вышеуказанные объекты к звездам Хербига Ae/Be (HAeBe), находящимся на стадии эволюции до главной последовательности. При этом ни один из объектов не находится в области звездообразования. Основным отличием данных объектов от истинных молодых звезд является резкое падение потока на длинах волн $\lambda > 10$ мкм. Эта особенность вызвана отсутствием холодной/далекой пыли в околозвездной оболочке, которая образовалась на предыдущих стадиях эволюции. В окрестностях звезд на стадии до главной последовательности околозвездное вещество аккумулируется из больших родительских облаков и, следовательно, содержит холодную/далекую пыль.

Другим наиболее вероятным эволюционным сценарием для вышеуказанных объектов является неконсервативный массоперенос между компонентами двойной системы, предложенный Мирошниченко А.С. (описан выше), и в дальнейшем выделенный им в отдельный класс объектов по прототипу FS CMa. Более того, признаки двойственности для HD 85567, HD 50138, FS CMa были обнаружены в спектро-астрометрических наблюдениях для всех трех звезд. Несмотря на это, двойственность не учитывается в ряде работ, в которых объекты HD 85567, HD 50138, FS CMa относят к молодым звездам Хербига Ae/Be.

Помимо проблемы определения эволюционного статуса, как было указано выше, существует проблема определения светимости (одного из фундаментальных параметров системы) некоторых объектов FS CMa по следующим причинам. Во-первых, нелегко объяснить влияние околозвездного вещества, поскольку вещество как поглощает излучение звезд, так и переизлучает ионизирующее УФ-излучение в спектральных линиях, оптическом и ИК-континууме. Во-вторых, расстояния до объектов, определенные разными методами, в ряде случаев не согласуются друг с другом.

В настоящий момент остается ряд важных вопросов, на которые необходимо ответить, чтобы раскрыть природу и процессы в недавно открытой группе объектов FS CMa. К ним относятся поиск предшественников и преемников объектов данной группы, ограничение времени начала пылеобразования и его продолжительности, поиск причин отсутствия близлежащих объектов, новые наблюдаемые особенности группы, на каких стадиях эволюции могут находиться данные объекты и т. д.

Детальное и комплексное исследование каждого объекта данной новой группы является необходимым процессом в понимании природы звезд типа FS CMa.

Поэтому в рамках данной диссертационной работы была исследована система IRAS 07080+0605, которая имеет один из самых сильных ИК-избытков среди объектов с B[e] феноменом. Данный объект был включен в

группу FS CMa Мирошниченко А.С. в 2007 году, и тогда же им была предложена двойная природа системы. Однако последние работы (Arias et al. 2018; Condori et al. 2019) по изучению объекта относят IRAS 07080+0605 к звездам на стадии до главной последовательности (pre-main-sequence). Более того для системы IRAS 07080+0605 имеется разброс в определении параметров. Это в первую очередь связано с тем, что исследование данного объекта основано на изучении одиночных спектроскопических наблюдений в узких диапазонах длин волн, за исключением одного спектра, полученного с помощью спектрографа FEROS во всем оптическом диапазоне, части которого показаны в работе Condori et al. 2019. Эти обстоятельства препятствовали тщательному изучению спектральных особенностей для определения точных фундаментальных параметров системы.

Целью работы является комплексное исследование эмиссионной звезды IRAS 07080+0605, в которое входило: изучение большой коллекции оптических спектров (высокого разрешения) IRAS 07080+0605, моделирование распределения энергии в спектре в оптическом и ИК-диапазоне, изучение собственной многоцветной оптической и ближней ИК-фотометрии для уточнения фундаментальных параметров, а также исследование природы и эволюционного статуса объекта.

Задачи исследования

1. На основе анализа спектральных и фотометрических данных эмиссионной звезды IRAS 07080+0605 определить фундаментальные параметры объекта исследования.
2. Смоделировать распределения энергии в спектре звезды IRAS 07080+0605.
3. На основе анализа наблюдательных характеристик звезды IRAS 07080+0605 сделать вывод об ее природе и эволюционном статусе.

Объекты исследования: эмиссионная звезда IRAS 07080+0605 типа FS CMa.

Метод исследования

1. Фотометрические и спектральные наблюдения звезды IRAS 07080+0605.
2. Обработка и анализ полученных данных наблюдений с использованием пакета обработки астрофизических данных IRAF.
3. Моделирование распределения энергии в спектре звезды IRAS 07080+0605

Основные положения, выносимые на защиту

1. С помощью кросс корреляционного анализа спектров высокого разрешения звезды IRAS 07080+0605, установлено наличие дополнительного звездного компонента в данной системе.
2. По результатам анализа спектров высокого разрешения, фотометрии и моделирования РЭС, установлено, что наблюдаемый оптический блеск звезды IRAS 07080+0605 ослаблен материалом околозвездного диска в ~43 раза в фильтре V.

3. На основе комплексного исследования: изучения фотометрической и спектральной переменности, моделирования распределения энергии в спектре в оптическом и ИК-диапазоне, оценки фундаментальных параметров, сравнения со свойствами планетарной туманности «Красный Прямоугольник», установлено, что звезда IRAS 07080+0605, имеющая наблюдаемые характеристики группы FS CMa, находится на пути к стадии эволюции post-AGB.

Научная новизна работы заключается в том, что впервые

1. По наблюдаемым характеристикам обнаружен первый объект из группы FS CMa, который находится на пути к стадии эволюции post-AGB;
2. Обнаружены изменения положения линий поглощения в спектре звезды IRAS 07080+0605.
3. Проведено моделирование распределения энергии в спектре звезды IRAS 07080+0605
4. Обнаружен ряд свойств IRAS 07080+0605 схожий со свойствами post-AGB объекта Красный Прямоугольник (HD 44179).

Теоретическая и практическая значимость работы

Результаты, полученные в диссертационной работе, могут быть применены для исследования причин пылеобразования и эволюции звезд и галактик.

Источниками исследования являются оригинальные научные работы, перечисленные в списке использованной литературы.

Личный вклад автора

Результаты анализа были получены лично соискателем. Постановка задач и обсуждение результатов проводились совместно с научными консультантами.

Достоверность результатов

Достоверность научных вывод работы подтверждается согласованностью с теоретическими моделями, выводами о природе аналогичных объектов, полученными другими авторами.

Апробация работы

Основные результаты, содержащиеся в диссертации, были опубликованы в 16 научных работах, из них:

Статьи с высоким импакт-фактором по базе данных Thomson Reuters или в изданиях, входящих в международную научную базу данных Scopus:

По материалам диссертационной работы опубликовано 7 печатных работ.

Статьи с высоким импакт-фактором по базе данных Thomson Reuters или в изданиях, входящих в международную научную базу данных Scopus:

1. Khokhlov S. A., Miroshnichenko A. S., Zharikov S. V., Grankin K. N., Zakhozhay O. V., Manset N., Arkharov A. A., Efimova N., Klimanov S., Larionov V M., Khokhlov A. A., Kusakin A. V., Omarov C. T., Kokumbaeva R. I., Reva I. V., and Agishev A. T. Toward Understanding the B[e] Phenomenon. VIII. Nature and Variability of IRAS 07080+0605 //The Astrophysical Journal. – 2022. – Vol.932. – №1.

Статьи в изданиях, рекомендуемых ККСНВО Министерства науки высшего образования МНВО РК:

1. Сарманбетов С.А., Кожагулов Е.Т., Ибраимов М.К., Хохлов А.А. Классификация спектров нормальных звезд главной последовательности нейронной сетью глубокого очищения // Журнал проблем эволюции открытых систем, выпуск 21 Т1, 2019

2. Жексебай Д.М., Хохлов С.А., Әсілхан Ә.Д., Хохлов А.А. Машиналық оқытудың (Machine learning) көмегімен молекулалық бұлттарды және жұлдыздардың қалыптасуын жіктеу // Журнал вестник «КазНИТУ», №3 (139), 2020г.

3. Ауельбекова Д.О. Амантаева А.Е. Хохлов А.А. Тұтылмалы жұлдызды модельдеу 2MASSJ02253615+2805508 // ҚазҰТЗУ хабаршысы №22021.

Публикации в сборниках тезисов докладов:

1. Нодияров А.С., Хохлов А.А. Спектральные изменение звезды IRAS 07080+0605 Материалы международной конференции студентов и молодых ученых «Фараби әлемі». – Алматы, 2019.

2. Ауельбекова Д.О., Хохлов А.А. Фотометрические исследования звезды IRAS 07080+0650 // Материалы международной конференции студентов и молодых ученых «Фараби әлемі». – Алматы, 2020.

3. Хохлов А.А. Природа IRAS 07080 + 0605 // Материалы международной конференции студентов и молодых ученых «Фараби әлемі». – Алматы, 2021.

Связь темы диссертации с планами научных работ

Диссертационная работа выполнена в соответствии с планами фундаментальных научно-исследовательских работ КН МНВО РК «Грантовое финансирование научных исследовании» по теме: «AP08856419 – Наблюдательные проявления аккреционных потоков в тесных двойных звездных системах и их анализ методами компьютерного моделирования» и «AP19578879 – Исследование наблюдательных проявлений звезд типа FS CMa методами компьютерного моделирования».

Структура и объём диссертации

Диссертация состоит из введения, четырех разделов, заключения, списка использованных источников и содержит два приложения. Работа изложена на 99 страницах машинописного текста, иллюстрируется 45 рисунками, приведено 34 формулы, 9 таблиц, список использованных источников содержит 93 наименование.