

## АННОТАЦИЯ

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

**Куратова Айжан Кенескеновна**

### **Фотометрические и спектральные закономерности горячих звезд типа FS CMa**

#### **Общая характеристика работы**

Настоящая работа посвящена разработке фотометрических критериев поиска горячих звезд типа FS CMa и спектрофотометрическим исследованиям двух объектов данного типа HD 45677 и AS 78.

#### **Актуальность темы**

B[e] феноменом называется комбинация разрешенных и запрещенных эмиссионных линий в спектрах звезд спектрального класса B и избытков инфракрасного (ИК) излучения, объясняющихся излучением околозвездной пыли. Среди звезд с B[e] феноменом, недавно была выделена большая группа (~100 объектов к настоящему времени), показывающих сильные эмиссионные линии разрешенных и запрещенных переходов и ИК избытки, связанные с излучением близкой к горячей звезде пыли. Звезды этой группы получили название объектов типа FS CMa по обозначению звезды-прототипа.

Сила эмиссионных линий в спектрах этих объектов не может быть объяснена эволюционной потерей вещества одиночными звездами, имеющими светимости от ~300 до ~30000 светимостей Солнца, наблюдающиеся у объектов типа FS CMa. Распределение энергии в ИК избытках предполагает возникновение околозвездной пыли в процессе эволюции объектов, а не остаточную пыль из протозвездного облака. Эти свойства объектов типа FS CMa позволяют выдвинуть гипотезу о том, что это двойные системы, в которых происходит или происходил перенос вещества между звездными компонентами. Часть переносимого вещества образует околозвездную оболочку. Для проверки данной гипотезы необходимы долгосрочные спектроскопические и фотометрические наблюдения.

Наряду с вышесказанным, эволюционный статус звезды HD 45677 (FS CMa) точно не выяснен. Авторы нескольких исследований присваивают ей статус объекта, находящегося на стадии до Главной Последовательности, однако наблюдательные данные свидетельствуют о продвинутой стадии эволюции, поэтому данный вопрос все еще остается открытым.

Исходя из вышеперечисленного, было выделено основное направление данного диссертационного исследования на тему «**Фотометрические и спектральные закономерности горячих звезд типа FS CMa**», которое посвящено определению физических параметров и эволюционного статуса горячих звезд с B[e] феноменом.

**Целью работы** является разработка фотометрических критериев и поиск новых объектов в группу FS CMa; определение природы и

эволюционного статуса двух объектов, показывающих феномен В[е]: HD 45677 (FS CMa) и AS 78; исследование рядов спектральных и фотометрических наблюдений данных объектов.

#### **Задачи исследования**

1. Разработка фотометрических критериев поиска объектов типа FS CMa;
2. Определение физических параметров объектов HD 45677 (FS CMa) и AS 78;
3. Определение эволюционного статуса HD 45677 (FS CMa) и AS 78;
4. Проверка гипотезы о двойственности HD 45677 (FS CMa) и AS 78.

**Объекты исследования:** горячие звезды типа FS CMa с В[е] феноменом.

**Предмет исследования:** наблюдаемые характеристики объектов типа FS CMa, показывающих феномен В[е].

**Методы исследования:** Исследования проводились методами фотометрии и спектроскопии в оптическом диапазоне спектра за последние 20-30 лет. Фотометрические наблюдения выполнялись на: 1-м телескопе АФИФ ТШАО (Казахстан) – 8 (FS CMa), 6 – (AS 78); 0.81-м телескопе Dark Sky Observatory (DSO, Appalachian State University, NC, USA) – 1; наблюдения из обзоров ASAS-SN (2014-2021), ASAS-3 (2003-2010). Спектральные наблюдения были получены на следующих телескопах: 0.81-м – Three College Observatory (NC, USA) – 68; 2-м – San Pedro Martir observatory (SPM, Universidad Nacional Autónoma de México) – 50; 3.6-м – Canada-France-Hawaii Telescope (Mauna Kea Observatory, Hawaii) – 16; 2.7-м – McDonald observatory (USA) – 11; 2-м – Himalayan Chandra Telescope (India) – 2; 1,5-м – Apache Point Observatory, New Mexico, USA – 1. Обработка и анализ выполнялись с использованием стандартных пакетов IRAF, Maxim DL, SAO Image DS9, XnGrace, Excel.

#### **Основные положения, выносимые на защиту**

1. Фотометрические критерии, основанные на показателях цвета (В-V), (V-K), (J-K), K-[12] позволяют идентифицировать новых кандидатов в объекты типа FS CMa, в спектре которых присутствуют как разрешенные и запрещенные эмиссионные линии, так и избыток инфракрасного излучения
2. Светимости объектов HD 45677 и AS 78, составляют  $9 \cdot 10^{29}$  Вт и  $3,1 \cdot 10^{30}$  Вт, соответственно, что указывает на то, что объекты находятся на стадии эволюции после Главной Последовательности на диаграмме Герцшпрунга-Рассела и являются не молодыми звездами
3. Отношение интенсивностей пиков профилей водородных линий в спектре звезды HD 45677 изменяются с периодом в 184 дня, а положение фотосферной линии Si II и оптический блеск объекта AS 78 изменяются с периодом 120 дней, что свидетельствует о том, что они являются двойными звездными системами.

#### **Новизна работы**

Новизна и оригинальность диссертационной работы заключаются в том, что в ней **впервые:**

1) Разработаны фотометрические критерии поиска кандидатов в группу объектов типа FS CMa и на их основе обнаружены 25 новых объектов, показывающих феномен B[e];

2) Проведен анализ фотометрических и спектроскопических наблюдений звезд типа FS CMa: HD 45677 и AS 78 на интервале времени от 20 до 30 лет, который позволил установить эволюционный статус исследуемых объектов;

3) Определено изменение во времени отношения интенсивности пиков профилей водородных линий в спектре звезды HD 45677, а также получено изменение положения фотосферной линии Si II 5056 Å и оптического блеска объекта AS 78.

### **Теоретическая и практическая значимость работы**

Результаты, полученные в работе, могут применяться специалистами астрономических научно-исследовательских лабораторий, для деятельности преподавателей, докторантов, магистрантов и студентов высших учебных заведений, учителей физики и учащихся общеобразовательных школ. Разработанные новые методы выборки объектов с признаками переноса вещества апробированы в ходе учебного процесса, внедрены в специальные курсы бакалавриата, магистратуры и докторантуры специальности «Физика и астрономия» на физико-техническом факультете КазНУ имени аль-Фараби.

Практическая польза полученных в диссертации результатов заключается в том, что новые результаты наблюдений вносят существенный вклад в международную базу экспериментальных данных, в национальном и международном масштабе определяется ориентацией данных исследований на решение актуальных проблем наблюдательной астрофизики, наблюдения и их интерпретация важны для понимания механизмов образования звезд с газопылевой оболочкой, образовании пыли как около горячих звезд что, в конечном счете, приводит к пониманию образования Вселенной.

### **Достоверность и обоснованность полученных результатов**

Полученные в ходе исследования результаты и выводы отражают содержание всех разделов и подтверждаются публикациями основных научных результатов в рецензируемых международных и отечественных научных изданиях. Достоверность научных выводов работы подтверждается согласованностью с результатами независимых исследований и выводами, полученными другими авторами.

### **Личный вклад автора**

Спектральные наблюдения 2018 г. получены автором во время прохождения научно-исследовательской стажировки на 0.81 метровом телескопе Обсерватории Three College, управляемой University of North Carolina Greensboro (UNCG, США). Часть фотометрических наблюдений 2017, 2019 гг. были выполнены соискателем на 1-м телескопе Тянь-Шаньской астрономической обсерватории (ТШАО) Астрофизического института имени В.Г.Фесенкова (АФИФ, Казахстан).

Обработка и анализ спектральных и фотометрических наблюдений были выполнены соискателем. Постановка задач и обсуждение полученных результатов проводились совместно с научными консультантами.

## Публикации

Основные результаты, содержащиеся в диссертации, были опубликованы в 11 научных работах, из них:

*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., Kusakin A.V., Zharikov S.V., Kuratov K.S., **Kuratova A.K.** et al. Toward Understanding the B[e] Phenomenon. VII. AS 386, a Single-lined Binary with a Candidate Black Hole Component // *Astrophysical Journal*. – 2018. – Т.856. – № 2. – С.158 (IF=5.58)

2. Miroshnichenko A.S., Danford S., Zharikov S.V., Zakhochay O.V., **Kuratova A.K.** et al. Properties of Galactic B[e] Supergiants: V. 3 PUP – Constraining the Orbital Parameters and Modeling the Circumstellar Environments // *Astrophysical Journal*. – 2020. – Vol.897. – №1. – С.48. (IF=5.75)

*Статьи в изданиях, рекомендуемых ККСОН образования и науки МОН РК:*

1. Манапбаева А.Б., **Куратова А.К.**, Куратов К.С., Алимгазинова Н.Ш., Көмеш Т., Демесинова А.М., Наурызбаева А.Ж., Кызгарина М.Т. Жас жұлдыздар спектрлеріндегі энергия таралуын бақылау және моделдеу // *Вестник КазНУ. Сер. физ.* – 2019. - № 2(69). - С.17-26.

*Публикации в сборниках тезисов докладов:*

1. Манапбаева А.Б., Демесинова А.М., **Куратова А.К.** MWC 342 жас жұлдызын зерттеу // *Мат. междунар. научн. конф. студ. и мол. уч. «Фараби Әлемі».* – Алматы. - 2019. - С. 270.

2. Тилеукулова А.К., **Куратова А.К.**, Пердебаева М.Н. Фотометрические исследования звезды с B[e] феноменом IRAS 20090+3809 // *Мат. междунар. научн. конф. студ. и мол. уч. «Фараби Әлемі».* – Алматы. – 2019. – С. 287.

3. Демесинова А.М., Манапбаева А.Б., **Куратова А.К.**, Базарова Г.А. Исследование эволюции двойных систем промежуточных масс // *Мат. междунар. научн. конф. студ. и мол. уч. «Фараби Әлемі».* – Алматы. - 2019. - С. 252.

*В зарубежных международных конференциях:*

1. **A. K. Kuratova**, A. S. Miroshnichenko, K. S. Kuratov, A. Zh. Naurzabayeva, N. Sh. Alimgazinova, and A. B. Manapbayeva. A Search for New Objects with the B[e] Phenomenon // *The B[e] Phenomenon: Forty Years of Studies ASP Conference Series, Astronomical Society of the Pacific, Vol. 508, Prague, Czech Republic, 2017.* – pp. 229-232.

2. **Kuratova Aizhan K.**, Miroshnichenko Anatoly S., Kusakin Anatoly V., Zharikov Sergei V. et al. Spectroscopic monitoring of the B[e] objects FS CMa and MO Cam // *Odessa Astronomical Publication, Vol.32, Ukraine, 2019.* – pp.63-65.

3. Khokhlov, S.A., Miroshnichenko, A.S., Kusakin, A.V., **Kuratova, A.K.**, Zharikov, S.V., Zakhochay, O.V., et al. The Emission-Line Dusty Object IRAS 07080+0605, a Less Evolved Example of the Red Rectangle // *Odessa Astronomical Publication, Vol.33, Ukraine, 2020.* – pp.141-146.

4. D. Korčáková, A. S. Miroshnichenko, F. Sestito, S. V. Zharikov, N. Manset, V. Votruba, M. Šlechta, S. Danford, P. Kroupa, A. Raj, N. Dvoráková, S.

A. Khokhlov, A. V. Kusakin, I. V. Reva, R. I. Kokumbaeva, Ch. T. Omarov, S. D. Chojnowski, N. Sh. Alimgazina, A. Zh. Naurzbayeva, **A. K. Kuratova**. The First Detection of a Strong Magnetic Field in a FS CMa Star // International conference OBA Stars: Variability and Magnetic Fields (STARS-2021), Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia, April 26–30, 2021. – p.43.

5. A. S. Miroshnichenko, N. Sh. Alimgazina, A. Zh. Naurzbayeva, **A. K. Kuratova**, S. V. Zharikov, N. Manset, A. Raj. A New Search for Galactic Objects with the B[e] Phenomenon // International conference OBA Stars: Variability and Magnetic Fields (STARS-2021), Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia, April 26–30, 2021. – p.48.

#### **Апробация работы**

Результаты, полученные в диссертационной работе, докладывались и обсуждались:

– на Международной научной конференции «The B[e] Phenomenon: Forty Years of Studies» (2017, г.Прага, Чешская Республика);

– на Международной научной конференции студентов и молодых учёных «Фараби Әлемі» (2019 Алматы, Казахстан);

– на 6-ой и 20-ой Гамовской международной конференции «New Trends in Cosmology, Astrophysics and HEP after Gamow» и «Astronomy and beyond: Astrophysics, Cosmology and Gravitation, High Energy Physics, Astroparticle Physics, Radioastronomy and Astrobiology» (2019, 2020, г. Одесса, Украина);

– на Международной научной конференции «OBA Stars: Variability and Magnetic Fields (STARS-2021)» (2021, г. Санкт-Петербург, Россия).

#### **Связь темы диссертации с планами научных работ**

Диссертационная работа выполнена в рамках целевых программ по фундаментальным исследованиям МОН РК, финансируемого из государственного бюджета:

1. «Ф.0679 – Астрофизические исследования звездных и планетных систем», проект «Исследования потери массы и пылеобразования у горячих звезд» (2015-2017 гг.);

2. «Ф.0795 – Исследования физических процессов во внегалактических и галактических объектах и их подсистемах», проект «Исследование эволюции двойных систем промежуточных масс» (2018-2020 гг.);

3. «Г.2013 – Исследование фундаментальных проблем современной физики как основы индустриально-инновационного развития Республики Казахстан», проект «Фотометрические и спектральные исследования горячих звезд» (2016 г.).

#### **Объем и структура диссертации**

Диссертационная работа состоит из введения, 3 разделов, заключения и списка использованных источников из 91 наименований, содержит 111 страниц основного компьютерного текста, включая 59 рисунков, 8 формул и 10 таблиц.