

Казахский Национальный Университет имени аль-Фараби

УДК 53:524:31

На правах рукописи

**КУРАТОВА АЙЖАН КЕНЕСКЕНОВНА**

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

6D061100 – Физика и астрономия

Диссертация на соискание степени  
доктора философии (PhD)

Научные консультанты:

Кусакин А.В., к.ф.-м.н.,  
Астрофизический институт им.  
В.Г. Фесенкова

Мирошниченко А.С., д.ф.-м.н.,  
профессор, Департамент  
Физики и Астрономии  
Университета Северной  
Каролины Гринсборо, США

Республика Казахстан  
Алматы, 2022

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ</b> .....	3
<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	5
<b>1 ОБЗОР СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ФИЗИКИ ГОРЯЧИХ ЗВЕЗД ТИПА FS CMa</b> .....	10
1.1 Открытие звезд с B[e] феноменом.....	10
1.2 Классификация объектов по пылеобразованию .....	14
1.3 Группа объектов типа FS CMa.....	15
<b>2 ПОИСК И ИДЕНТИФИКАЦИЯ ГОРЯЧИХ ЗВЕЗД ТИПА FS CMa</b> ....	19
2.1 Критерии поиска объектов с признаками переноса вещества.....	19
2.2 Формирование каталога кандидатов в объекты типа FS CMa .....	23
2.3 Формирование каталога новых кандидатов во взаимодействующие двойные системы на этапе начала обмена веществом .....	32
<b>3 АНАЛИЗ НАБЛЮДАТЕЛЬНОГО МАТЕРИАЛА ПО ОБЪЕКТАМ HD 45677 И AS 78</b> .....	35
3.1 Анализ данных по объекту HD 45677 .....	35
3.2 Наблюдения исследуемых объектов .....	42
3.3 Фотометрические данные для объектов исследования.....	43
3.4 Спектроскопия объекта HD 45677 .....	49
3.5 Анализ данных по объекту AS 78.....	75
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ</b> .....	90
<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ</b> .....	92
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ А – Параметры спектральных линий объекта HD 45677</b> ...	99
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ Б – Отзыв на диссертационную работу</b> .....	111

## ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

В настоящей диссертации применяются следующие термины с соответствующими определениями.

АФИФ	–	Астрофизический институт им. В.Г. Фесенкова
ДГР	–	диаграмма Герцшпрунга - Рассела
ИК	–	инфракрасный (диапазон спектра)
МС	–	межзвездная среда
пк	–	парсек, внесистемная единица измерения расстояний в астрономии, равная $3,08 \cdot 10^{16}$ м, расстоянию до объекта, годичный тригонометрический параллакс которого равен одной угловой секунде
РЭС	–	распределение энергии в спектре
ТШАО	–	Тянь-Шаньская астрономическая обсерватория (TSAO)
УФ	–	ультрафиолетовый (диапазон спектра)
AS	–	каталог Additional Stars к каталогу звезд с эмиссионными линиями Mount Wilson
ASAS-SN	–	All Sky Automated Survey for SuperNovae (автоматизированная программа для поиска новых сверхновых, обзор всего неба)
ASAS-3	–	All Sky Automated Survey – результаты фотометрических наблюдений большей части звездного неба к югу от склонения $+28^\circ$ , который проводился каждую ясную ночь с 2010 г.
B	–	синяя звездная величина на длине волны 0,44 мкм
CFHT	–	Франко-Канадский оптический телескоп с диаметром 3,6 метра (Гавайи, США)
DSO	–	Dark Sky Observatory – обсерватория Темного Неба (Аппалачский государственный университет, США)
EW	–	эквивалентная ширина спектральной линии
НСТ	–	Гималайский телескоп Чандра (Индийская астрономическая обсерватория, Индия)
HD 45677	–	условное обозначение звезды FS CMa по каталогу HD (Henry Draper) указывает на каталог звезд Генри Дрейпера. Число «45677» – номер звезды в каталоге
HJD	–	гелиоцентрическая юлианская дата
IRAF	–	Image Reduction and Analysis Facility – универсальный пакет программ для обработки и анализа астрономических данных
IRAS	–	Infra Red Astronomical Satellite (космический телескоп с данными в инфракрасном излучении)
IRAS PSC	–	Infra Red Astronomical Satellite Point Source Catalog (каталог точечных инфракрасных источников по

	результатам наблюдений спутника IRAS)
J	– звездная величина в ближней области на длине волны 1,25 мкм
K	– звездная величина в ближней области на длине волны 2,2 мкм
Maxim DL	– коммерческая программа для первичной обработки астрономических данных
MCD	– Обсерватория Макдональд (США)
NOMAD	– Naval Observatory Merged Astrometric Dataset (каталог астрометрических и фотометрических данных более 1 миллиарда звезд)
RV	– лучевая скорость спектральной линии
SAOImageDS9	– программа отображения и визуализации изображений для астрономических данных
SPM	– Сан-Педро-Мартин (Мексиканская национальная астрономическая обсерватория, Мексика)
TCO	– Обсерватория Three College (Северная Каролина, Гринсборо, США)
U	– ультрафиолетовая звездная величина на длине волны 0,36 мкм
UBVR	– широкополосные фотометрические системы
V	– визуальная звездная величина на длине волны 0,55 мкм

## ВВЕДЕНИЕ

### **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**

V[e] феноменом называется комбинация разрешенных и запрещенных эмиссионных линий в спектрах звезд спектрального класса В и избытков инфракрасного (ИК) излучения, объясняющихся излучением околозвездной пыли. Среди звезд с V[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 V[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 V[e]: 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 B[e] феноменом.

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

**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, Xmgrace, Excel.

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

1. Фотометрические критерии, основанные на показателях цвета (B-V), (V-K), (J-K), K-[12], идентифицируют 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 **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. – Vol. 856. – № 2. – P. 1-13 (IF=5.58).

2. Miroshnichenko A.S., Danford S., Zharikov S.V., Zakhzhay 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. – P. 1-9 (IF=5.75).

*Статьи в изданиях, рекомендуемых КОКСОН 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. Naurzbayeva, N. Sh. Alimgazinoва, 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., Zakhzhay, 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, г. 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.

# 1 ОБЗОР СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ФИЗИКИ ГОРЯЧИХ ЗВЕЗД ТИПА FS CMa

## 1.1 Открытие звезд с V[e] феноменом

Звезды являются наиболее распространенными объектами во Вселенной. В результате их эволюции образуется большое количество химических элементов. При исследовании звезд определяются их основные физические параметры масса, светимость, радиус. Так как звезды очень разнообразны по своей природе, существует необходимость изучения индивидуальных особенностей каждой отдельной звезды и групп звезд.

Нормальные звезды – звезды, окруженные малым количеством околозвездной материи, которая не искажает характеристик ее атмосферы, находящиеся, как правило, на спокойных стадиях эволюции.

Пекулярные звезды – это звезды с большим количеством околозвездной материи, образующейся в результате эволюции или оставшейся от времени образования: Be звезды, Ae/Be Хербига, Вольфа-Райе, Планетарные туманности, массивные сверхгиганты.

Be звезды – это быстровращающиеся звезды с околозвездными дисками, которые состоят только из газа. Газ ионизованный и нейтральный. В ионизованном газе образуются эмиссионные линии и небольшое количество излучения в континууме.

Звезды с V[e] феноменом были открыты 40 лет назад. В 1970-х гг. появилась инфракрасная астрономия, которая показала, что у группы Be звезд имеется более сильное излучение в ИК диапазоне, которое нельзя объяснить излучением околозвездного газа. Они были наблюдательно выделены Алленом и Суингсом в 1976 г. [1] на основе оптической спектроскопии и фотометрических данных ближней инфракрасной области. Аллен и Суингс назвали данные объекты пекулярными Be звездами, в дальнейшем получивших название «звезд с V[e] феноменом» или «V[e] звезд». Наличие в оптических спектрах запрещенных эмиссионных линий (например, [Fe II], [O I], [N II], [O III]) и сильных избытков ИК излучения ( $\lambda > 1$  мкм) являются характерными признаками V[e] звезд [1, 2]. Спектрам данных звезд также присущи сильные Бальмеровские линии, разрешенные линии He I, Fe II, He II, Mg I, Si II, и др. Подобные признаки указывают на высокие температуры центральных звезд в данных объектах, а также на большую протяженность их околозвездных оболочек, ввиду того, что запрещенные линии возникают только в областях с невысокой плотностью газа ( $n_e \lesssim 10^5 - 10^7$  см<sup>-3</sup> [3]), находящихся далеко от центральной звезды.

В данной работе авторы выделили три подгруппы среди представленных объектов:

1 подгруппа: 17 объектов с небольшим количеством эмиссионных линий, отнесенные авторами к обычным Be звездам с несколько увеличенными оболочками.

2 подгруппа: 26 объектов с сильными эмиссионными спектрами с

большим количеством линий ионизованного железа (в числе которых переменная звезда HD 45677 (FS CMa) – прототип группы, позднее названной этим именем).

3 подгруппа: 22 объекта, спектры которых напоминают Планетарные туманности (ПТ), но, по мнению авторов, не все являются ПТ. Некоторые из них могут быть Ве звездами более высоких температур по сравнению со звездами второй подгруппы. Объекты с линиями высоких потенциалов ионизации ( $\geq 25$  эВ).

Проведя первичный анализ, авторы сделали вывод о том, что околозвездная пыль, в основном, формируется и находится в более плотных оболочках, а горячая пыль, которая излучает на длинах волн  $\lambda=1-3$  мкм, зачастую найденная у объектов В и ранних А классов, в отдельных случаях обнаруживается у ПТ с высокой плотностью в оболочках.

Авторы выдвинули 3 гипотезы потери массы, которые приводят к формированию пылевой оболочки у вышеперечисленных объектов:

1. В результате образования Планетарных туманностей как отдельного, не связанного с другими, события;
2. В результате взаимодействия ОВ объектов со спутниками поздних спектральных классов;
3. В результате прямой потери массы, в основном, звездами спектральных классов В и О.

Данные гипотезы были подтверждены последующими наблюдениями. Были обнаружены и подтверждены Планетарные туманности, симбиотические двойные системы, сверхгиганты (в том числе, LBV  $\eta$  Carinae). Звезды Ae/Be Хербига и типа Вольфа-Райе не включались в группу, хотя имеют схожие наблюдаемые характеристики. Впоследствии, несколько звезд Ae/Be были обнаружены в числе объектов В[e], внесенных в каталог [4]. Вслед за тем, в спектрах практически всех звезд Ae/Be [5] были найдены запрещенные линии, однако, у большинства из них они слабые.

На протяжении долгого времени около половины объектов, выделенных авторами, не была отнесена к другим известным группам, ни к каким-то конкретным стадиям эволюции. По всей видимости, это связано со следующими факторами:

1. Сильное покраснение оптического излучения наблюдается у многих объектов с В[e] феноменом, в отличие от нормальных звезд В класса ( $E(B-V) \geq 1$  mag). Поправка за покраснение имеет низкую точность, ввиду того, что относительный вклад межзвездной и околозвездной экстинкции, по большей части, неизвестен. Данный вопрос может быть решен моделированием распределения энергии в спектре, которое также является неоднозначным и требует знания как параметров центральной звезды или звездной системы, так и параметров околозвездной оболочки. Так как большинство звезд с В[e] феноменом находятся на больших расстояниях от Солнца (более 1 кпс), а значит, имеют слабый блеск в оптическом

диапазоне, подобное моделирование было выполнено для немногих объектов.

2. Даже при высоком спектральном разрешении ( $R = \lambda/\Delta\lambda \sim 20000$ ), в спектрах большинства объектов не были найдены фотосферные линии. В результате, их светимость и температура определялись неоднозначно, по косвенным критериям, что не давало возможности надежно установить их положения на диаграмме ГР.
3. На протяжении долгих лет каждый объект изучался не в составе группы подобных объектов, а индивидуально.

В 1980-х годах объектами с V[e] феноменом заинтересовались сотрудники группы ИК астрономии Пулковской Обсерватории и, в частности, А.С. Мирошниченко [6]. Первым исследованным им объектом стал практически не изученный объект MWC 342 [7], по фотометрическим свойствам схожий с звездами Ae/Be Хербига. Автор совместно с коллегами из ГАО РАН и АФИФ НАН Казахстана, определил светимость объекта, отнеся ее к молодым звездам, однако, позднее данная классификация оказалась неверной и была уточнена в [6].

В период с 1989 по 1994 гг. тот же состав авторов опубликовал результаты более 200 синхронных фотометрических наблюдений UBVRJHK [8] объектов списка Allen & Swings [1], среди которых MWC 17, FS CMa, MWC 349, CI Cam, MWC 342, MWC 137, LkHa 101, MWC 623, а также горячих эмиссионных объектов, впоследствии LBV кандидатов – MWC 930 и MWC 314 [5]. Исходя из спектров низкого разрешения перечисленных объектов, Мирошниченко А.С. заметил периодические изменения блеска объекта CI Cam, предположив дойственность его природы [9]. Данное предположение было подтверждено сильной вспышкой излучения от объекта, зафиксированной в диапазоне длин волн от  $\gamma$  до радиоизлучения [10], подразумевающей присутствие нейтронной звезды, черной дыры, или белого карлика, что могло объяснить излучение высокоэнергетических фотонов. Результатом данного события стал интерес со стороны многих исследователей и быстрое продвижение в понимании природы системы.

В своей работе Мирошниченко А.С. [11] опубликовал впервые собранные и проанализированные данные IRAS по объектам с V[e] феноменом. Он обнаружил, что среди них 10 объектов находятся на участке двухцветной диаграммы, в котором преимущественно находятся холодные звезды (рисунок 1.1.1), где показатели цвета приведены логарифмами отношений потоков в трех полосах, центрированных на длинах волн  $\lambda = 12, 25$  и  $60$  мкм; объекты с V[e] феноменом – заполненные круги, двойные типа VV Сер – незаполненные квадраты, симбиотические двойные – незаполненные треугольники, ПТ с V[e] феноменом – перевернутые незаполненные треугольники, ППТ – перевернутые заполненные треугольники, звезды Ae/Be Хербига – незаполненные круги. Сплошные линии разделяют диаграмму на участки, которые занимают объекты с различным составом и оптической толщиной околозвездной пыли.

Пунктирная линия представляет эволюционный трек для объектов, эволюционирующих к стадии ПТ [12].

В следствии чего, автор уточнил понимание о В[е] феномене и обнаружил новые В[е] объекты.

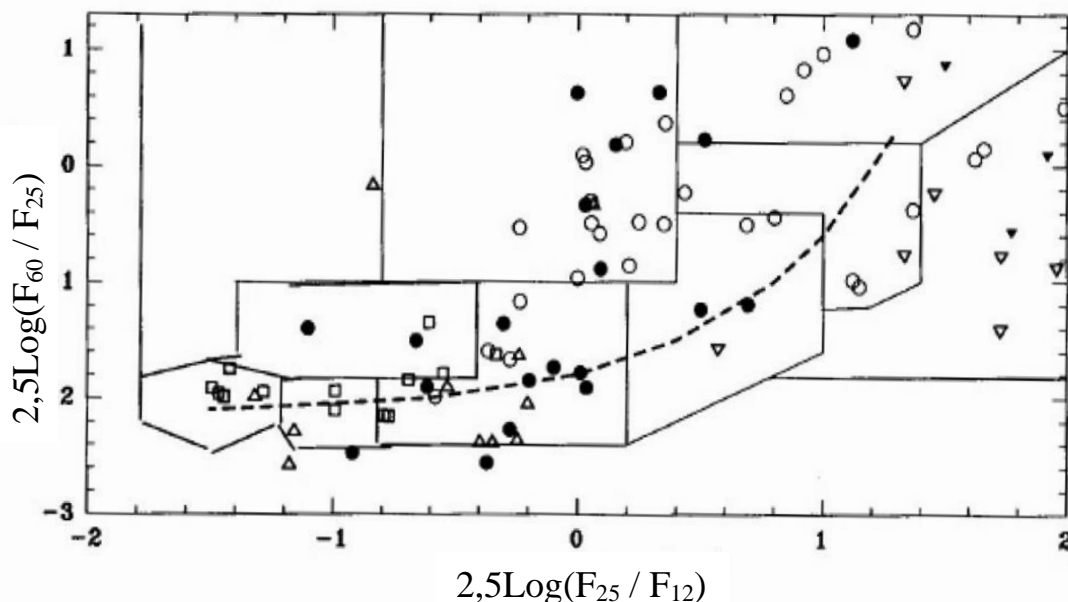


Рисунок 1.1.1 – Двухцветная диаграмма в фотометрической системе IRAS

В 1979 г. в работе [13] был опубликован список 20-ти объектов южного неба, у которых были обнаружены сильные эмиссионные спектры. Среди этих объектов 2 звезды являлись известными объектами с В[е] феноменом – CPD-52°9243 и GG Car. HDE 327083 является еще одним объектом, исследованным Мирошниченко А.С., который установил, что он является двойной системой с главным, более ярким, компонентом, представляющим собой В[е] сверхгигант [14].

В 1991 г. Dong & Hu опубликовали список около 300 объектов с сильными избытками ИК излучения [15], основываясь на кросс-корреляции по координатам в каталоге ИК потоков IRAS PSC [16] и каталоге звезд с эмиссионными линиями [17], 12 из которых были из списка объектов Allen & Swings [1] и еще 5 (MWC 657, AS 78, Hen 3-303, AS 381, Hen 3-298), В[е] феномен у которых обнаружил А.С. Мирошниченко [18].

В 1997 году состоялось первое совещание по объектам с В[е] феноменом в Institut d’Astrophysique de Paris (Франция), на котором Мирошниченко А.С. предложил эволюционную классификацию данных объектов. На этом совещании Lamers с группой исследователей эмиссионных звезд разделили данные объекты на 5 подгрупп по эволюционному статусу [19]:

- Звезды Ae/Be, не достигшие Главной Последовательности (ГП) (HAeB[e]);

- Симбиотические двойные системы (холодные гиганты с компактным спутником, нейтронной звездой или белым карликом, согласно классификации Kenyon [20] – symB[e];
- Компактные ППТ/ПТ (cPNB[e]);
- Массивные сверхгиганты (sgB[e]);
- Последняя, пятая подгруппа содержала неклассифицированные объекты (unclB[e]), принадлежность которых ни к одной группе с известным эволюционным статусом не удалось установить, поскольку в их наблюдаемых свойствах содержались признаки более, чем одной группы с известным статусом. Эта подгруппа является самой многочисленной из всех объектов с феноменом B[e] и включает 32 объекта из 65-ти открытых в работе [1].

Главным выводом работы [19] является то, что B[e] феномен обнаруживается у объектов, находящихся на различных стадиях эволюции, однако, со схожими условиями в газопылевых оболочках. К данным условиям относятся:

1. Большая мера эмиссии однократно ионизованного газа ( $\geq 10^{56}$  см<sup>-3</sup>), представляющая собой оценку числа ионизованных атомов в оболочке объекта, которая обуславливает сильную эмиссию в линиях водорода серии Бальмера;
2. Температура околзвездного газа  $\sim 10^4$  К, при которой образуются линии низкого возбуждения (например, Fe II);
3. Большая геометрическая протяженность околзвездной материи, которая обеспечивает необходимое количество газа на далеких расстояниях от звезды, где при низкой плотности вещества образуются запрещенные спектральные линии, а также необходимую плотность вещества в молекулярной форме для образования пыли [19].

Lamers и его коллеги [19] отметили дискообразную геометрию околзвездной материи, высокая плотность которой, в свою очередь, может защищать околзвездную пыль от ионизирующего излучения горячей центральной звезды, которая разрушает пылевые частицы путем диссоциации в них молекул. Большинство авторов работ, исследовавших объекты с B[e] феноменом, ссылались на работу [19]. Тем не менее, новые объекты не были выявлены по данной классификации до конца 20-го века. Существенным недостатком публикаций до 2000 г. является отсутствие критериев классификации анализа РЭС объектов с B[e] феноменом, а также рассмотрения возможных причин формирования пыли в оболочках объектов.

## 1.2 Классификация объектов по пылеобразованию

Для выяснения возможной природы неклассифицированных объектов с B[e] феноменом Мирошниченко А.С. [21] исследовал природу околзвездной пыли объектов подгрупп из работы [19]. В оболочках звезд Ae/Be, не

достигших ГП, пыль образуется предыдущими поколениями звезд, попадая туда из протозвездных облаков. В оболочках компактных Прото-Планетарных туманностей (ППТ) и Планетарных туманностей пыль является продуктом предыдущего этапа эволюции, на котором звезда располагается на асимптотической ветви гигантов (АВГ). Температура поверхности звезды на этом этапе эволюции не сильно выше температуры конденсации пылевых частиц (1500 – 2000 К), в то время как мощный звездный ветер образует необходимую плотность вещества для их формирования. В следствии чего, объекты из данных подгрупп на текущей стадии эволюции не причастны к образованию околозвездной пыли [6].

Холодные гиганты несут ответственность за образование пыли в симбиотических двойных системах, являясь их основными, более яркими и более массивными, звездными компонентами. В данной подгруппе условия пылеобразования подобны условиям в оболочках сверхгигантов и компактных ППТ/ПТ, так как представляют собой объекты высокой светимости с сильными ветрами, возникающими вследствие сильного давления излучения. Образование пыли в оболочках происходит вдали от звезды, в областях, которые защищены от влияния ионизирующего излучения, например, неоднородностями распределения околозвездной материи. Таким образом, механизмы образования околозвездной пыли в четырех из пяти подгрупп объектов с феноменом В[e] вполне понятны в отличии от таковых в подгруппе неклассифицированных объектов.

По времени пылеобразования Мирошниченко А.С. разделил объекты с В[e] феноменом на два класса [6]:

- Образование текущее или недавно образованное;
- Образование предшествующих эволюционных этапов.

Симбиотические двойные системы во многом отличаются от сверхгигантов и неклассифицированных объектов, так в  $\text{symV[e]}$  происходит сильное истечение вещества из холодной звезды тесной двойной системы, которое наполняет полость Роша [22], а в  $\text{sgV[e]}$  и  $\text{unclV[e]}$  за потерю массы ответственность несет горячий компонент. Наряду с этим, до сих пор нет прямых свидетельств о контактности (кроме  $\text{sgV[e]}$  RY Sct, исследованный в работе [23], из чего следует предположение об отдельной группе горячих звезд  $\text{sgV[e]}$  и  $\text{unclV[e]}$ , которые образуют в своих оболочках пыль [21, 24]. В работе [22] показано, что у многих объектов подгруппы  $\text{unclV[e]}$  светимость ниже типичных светимостей  $\text{sgV[e]}$  ( $L \lesssim (3-5) 10^4 L_{\odot}$ ).

### 1.3 Группа объектов типа FS CMa

Прогресс в выяснении природы неклассифицированных объектов с феноменом В[e] был достигнут в работе Мирошниченко А.С. [21] на основе анализа РЭС в ИК диапазоне спектра, основной особенностью которых является быстрое падение ИК потока излучения от околозвездной пыли в длинноволновую сторону от максимального потока, достигаемого в районе

длины волны  $\lambda \sim 10$  мкм. Такое поведение РЭС однозначно объясняется отсутствием в околозвездной оболочке пылинок с температурами ниже нескольких сотен градусов Кельвина. Эти пылинки находятся во внешних областях пылевых оболочек. Поскольку горячая звезда, входящая в состав любого объекта с феноменом В[e], излучает достаточное количество ультрафиолетовых фотонов, способных нагреть даже очень удаленные от звезды пылинки, отсутствие потока от таких пылинок означает, что их там просто не существует. Следовательно, пылевые оболочки вокруг таких объектов должны быть компактными.

Отсутствие видимых туманностей, наблюдающихся у молодых звезд, находящихся в областях звездообразования вокруг неклассифицированных объектов с феноменом В[e], говорит о том, что они находятся на более продвинутых стадиях эволюции. Кроме того, у молодых звезд, недавно достигших ГП, в оболочках остается лишь холодная пыль, излучение которой создает избыток далекого ИК излучения на длинах волн  $\lambda > 50$  мкм, которого не наблюдается у неклассифицированных объектов. В то же время, у молодых звезд практически отсутствует ближний ИК избыток на длинах волн  $\lambda < 10$  мкм, за который отвечает более горячая пыль, расположенная у внутренней границы пылевой оболочки при температуре пылинок, близкой к температуре их испарения ( $\sim 1500 - 2000$  К). Неклассифицированные же объекты как раз имеют значительный избыток ближнего ИК излучения. Таким образом, эти объекты не могут являться молодыми.

Компактность пылевой оболочки свидетельствует о ее недавнем создании. В целом, вышеприведенный анализ приводит к выводу о том, что пылеобразование в неклассифицированных объектах протекает в настоящее время или не так давно завершилось.

Следующим вопросом является механизм образования пылевой оболочки. Он требует знания температур поверхности и светимости объектов. Спектральные особенности неклассифицированных объектов, такие как присутствие абсорбционных, так и эмиссионных линий однократно ионизованных элементов (например, гелий, кремний, железо) дает информацию о том, что температуры заключены в пределах от 8000 до 30000 К. В то же время, информация о лучевых скоростях фотосферных (абсорбционных) и межзвездных линий, а также структура последних, позволяют оценить расстояния до целого ряда неклассифицированных объектов. Расстояния в комбинации с наблюдаемым визуальным блеском и показателями цвета позволяют оценить светимость объектов. Таким образом, появляется возможность нанести положения объектов на ДГР для оценки эволюционного статуса, что и было сделано в работе [21].

В результате, оказалось, что практически все неклассифицированные объекты с известными фундаментальными параметрами расположены вблизи ГП в области звездных масс не более 20-ти солнечных. Такие звезды не являются сверхгигантами и не обладают сильными звездными ветрами, способными доставить атомы, выброшенные с поверхности звезды на



далекие расстояния, где могут образоваться пылинки и сформироваться околозвездная пылевая оболочка. Кроме того, ветра сверхгигантов так сильно ускоряют выброшенное вещество, что оно не остается в гравитационном поле звезды, а быстро становится частью межзвездной среды.

Как показывают теоретические расчеты, приведенные, например, в работе [25], одиночные звезды в указанном диапазоне температур, масс и светимостей могут создавать очень слабые звездные ветры с темпами потери массы с поверхности звезды не более  $10^{-9}$  масс Солнца в год, что недостаточно для создания массы околозвездного вещества необходимой для образования заметного количества пылинок, которые могли бы создать наблюдаемые ИК избытки излучения в РЭС объектов. Пыль не образуется даже в оболочках Ве звезд, которые за счет быстрого вращения могут выбрасывать больше вещества со своей поверхности, чем медленнее вращающиеся звезды тех же температур и светимостей. Большинство же неклассифицированных объектов с феноменом В[e] не содержат очень широких линий в спектрах, образующихся при быстром вращении и, следовательно, должны иметь слабые звездные ветры.

Последний вывод заставляет предположить, что в неклассифицированных объектах должны происходить процессы, приводящие к необычно высоким темпам потери массы с поверхности звезд. Наиболее естественным предположением является гипотеза о двойственности этих объектов, в которых происходил или происходит неконсервативный перенос вещества между звездными компонентами. Термин «неконсервативность» подразумевает вынос части теряемого с поверхности звезд вещества в околозвездную среду. При консервативном же переносе, все вещество, выбрасываемое с поверхности одного компонента двойной системы, попадает на поверхность второго компонента. Механизмом переноса является гравитационное (приливное) взаимодействие при заполнении одним из компонентов сферы своего гравитационного доминирования (полости Роша).

Анализ имеющихся наблюдательных данных с вышеприведенными аргументами позволил Мирошниченко А.С. предположить, что большинство неклассифицированных объектов с феноменом В[e] являются двойными системами, в которых околозвездная среда (газ, отвечающий за образование эмиссионных линий, и пыль, создающая избыток ИК излучения за счет поглощения ультрафиолетового излучения звезды) образуется при переносе вещества между звездными компонентами двойной системы. При этом название подгруппы изменилось на «объекты типа FS CMa», поскольку этот объект считался наиболее типичным для всего класса звезд с феноменом В[e] со времени открытия этого типа звезд [26].

Тем не менее, предположение о двойственности объектов типа FS CMa оставалось на момент публикации работы [21] лишь неподтвержденной гипотезой, поскольку только два объекта этой подгруппы из 32-х были подтвержденными двойными системами (MWC 623 и GG Car). Поэтому

детальное изучение каждого объекта и поиск новых подобных объектов стали основными задачами долговременной исследовательской программы в этом направлении астрофизики.

### **Выводы по главе**

Настоящий обзор, посвященный разделу астрофизики, изучающему природу горячих звезд с околозвездными газопылевыми оболочками, показал, что одной из наименее исследованных групп таких объектов является недавно открытая группа звезд типа FS CMa. Она содержит несколько десятков объектов, характеризующихся присутствием сильных эмиссионных линий в оптических спектрах, включая запрещенные линии, и с сильными инфракрасными избытками, которые объясняются присутствием в оболочках звезд околозвездной пыли. Природа возникновения околозвездных оболочек к настоящему моменту полностью неизвестна. Однако, современная теория звездной эволюции предсказывает слишком слабые темпы потери вещества звездами спектрального класса В, находящимися на ГП или сразу после окончания этой эволюционной стадии. Следовательно, истечение вещества с поверхности этих звезд не может обеспечить достаточное количество этого вещества в оболочке, чтобы объяснить наблюдаемые интенсивности эмиссионных линий и образование околозвездных пылинок. Таким образом, основная гипотеза для объяснения существования этих объектов предполагает, что оболочки образуются из вещества, переносимого между компонентами в двойных системах при окончании эволюции на ГП более массивного компонента. К настоящему времени среди объектов типа FS CMa подтверждено около 15 двойных систем, что недостаточно для распространения данной гипотезы на всю группу. Поскольку основными методами обнаружения двойных систем являются систематическая фотометрия и спектроскопия, исследование большего количества объектов группы на длительных промежутках времени является важным направлением исследования в астрофизике. Настоящая работа посвящена исследованию спектральных и фотометрических характеристик двух объектов типа FS CMa, прототипа этой группы переменной звезды FS CMa = HD 45677 и недавно обнаруженного члена этой группы звезды AS 78 = MO Cam, а также разработке критериев поиска новых кандидатов в данную группу объектов.

## 2 ПОИСК И ИДЕНТИФИКАЦИЯ ГОРЯЧИХ ЗВЕЗД ТИПА FS CMa

### 2.1 Критерии поиска объектов с признаками переноса вещества

Объекты FS CMa могут являться двойными системами. В них создаются условия для формирования газопылевых оболочек посредством сильного переноса массы между холодными и горячими компонентами. Быстрый спад ИК потока является характерной особенностью данных объектов, который может быть вызван излучением околозвездной пыли в направлении длинных волн от 10 до 30 мкм (рисунок 2.1.1) [27].

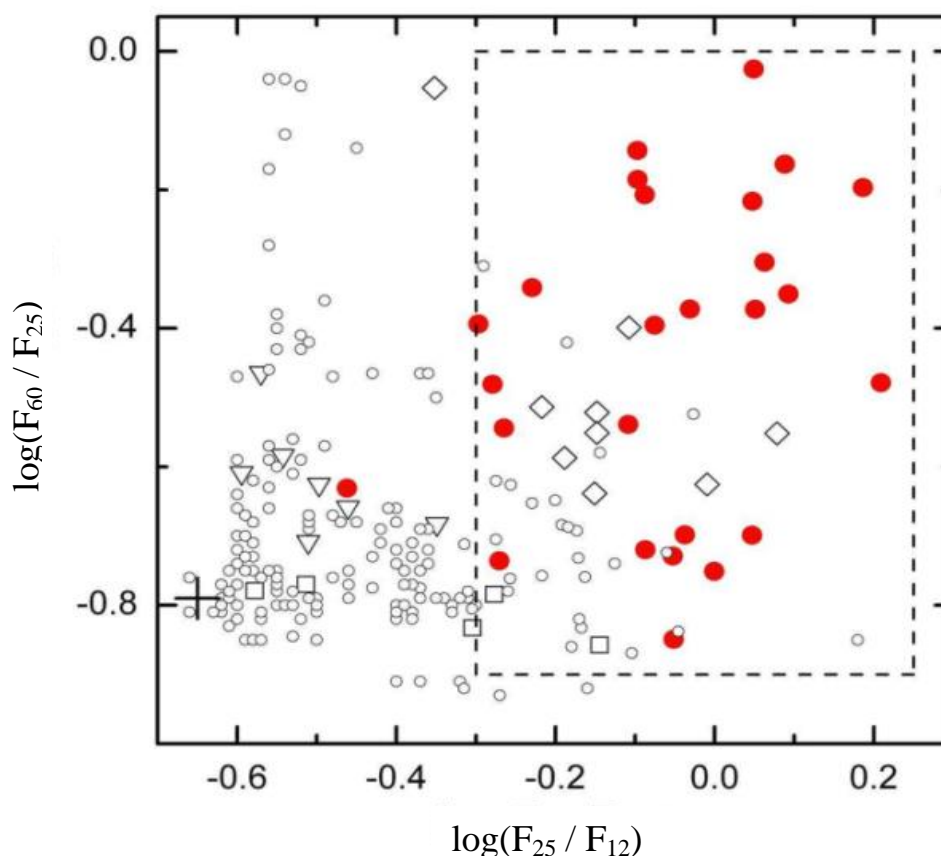


Рисунок 2.1.1 – Двухцветная диаграмма данных из IRAS для группы объектов с пылевыми оболочками

На рисунке 2.1.1 приведены следующие обозначения: красные круги – объекты типа FS CMa; квадраты – симбиотические двойные; треугольники – углеродные звезды; незаполненные круги – AGB звезды; ромбы – звезды типа RV Тау (объекты малой массы после стадии AGB); пунктирная линия – область расположения звезд FS CMa; большой крест – звездный фотосферный локус для всех температур; F12, F25 и F60 – потоки излучения в соответствующих длинах волн по IRAS [28]; показатели цвета объектов типа FS CMa расположены на том же участке диаграммы показателей цвета

(по данным из IRAS [28]), что и у намного более холодных компонентов, не производящих УФ-излучения в достаточной степени для того, чтобы нагревать далекую холодную пыль, излучаемая в дальнем ИК. Данную характерную особенность распределения энергии можно пояснить компактностью распределения пыли около объектов типа FS CMa и их отличием от звезд Ae/Be Хербига, которые находятся на эволюционной стадии до Главной Последовательности (ГП), обладающих пылевыми дисками внушительных размеров и демонстрирующих на более длинных волнах значительные избытки ИК-излучения. Наблюдаемое у объектов типа FS CMa, распределение энергии спектра (РЭС) в ИК области отличается от РЭС в ИК-спектрах молодых ПТ, оболочки которых состоят из более холодной пыли. Данная пыль производит наибольший избыток излучения в далекой ИК-области, а наименьший избыток в ближней ИК.

Основываясь на вышеперечисленных свойствах была предложена модель объектов FS CMa, представляющая собой двойную систему, в которой перенос вещества между двумя компонентами приводит к образованию околозвездной оболочки. Вокруг горячего компонента большей частью находится газ, ответственный за эмиссионные линии, в то время как пыль присутствует в общей зоне для двойной системы. На данный момент доказано, что всего 12 объектов типа FS CMa относятся к двойным системам [29]. Это малое число связано со слабым вкладом вторичных компонентов в суммарное РЭС объектов. В оптическом диапазоне вторая звезда зачастую слабее более яркой главной звезды спектрального класса В / раннего подкласса А на 2-4 звездные величины. Положение объектов на диаграмме Герцшпрунга – Рассела (ДГР) [21] предполагает массы главных компонентов от 3 до 20  $M_{\odot}$ . Как правило, вторичные компоненты являются менее массивными, из чего можно сделать вывод о большом количестве подобных систем в Галактике. Они могут иметь важное значение для расчета количества, а также эволюции пылевой компоненты межзвездной среды (МС) как в нашей, так и других галактиках, ввиду производства ими пыли. В связи с этим, обнаружение схожих систем в фотометрических каталогах и каталогах звезд с эмиссионными линиями было ожидаемо.

Так как в сравнении с каталогами спектров, фотометрические каталоги включают в себя значительно больше объектов, и РЭС в ИК-диапазоне можно применить для отбора объектов типа FS CMa (рисунок 2.1.1), в первую очередь, был исследован каталог IRAS [28] по поиску новых кандидатов. Но при этом, низкая чувствительность фотометрического обзора IRAS способствовала выявлению наиболее ярких объектов и объектов с наибольшим количеством околозвездной пыли. Другие цветовые индексы, включая в ближнем ИК-диапазоне, в оптическом диапазоне были проанализированы с целью расширения возможностей поиска [30-34]. Задача данного эксперимента состояла в сравнении показателей цвета объектов типа FS CMa с показателями цвета иных групп объектов с околозвездной пылью. Результаты приведены на рисунках 2.1.2 и 2.1.3.

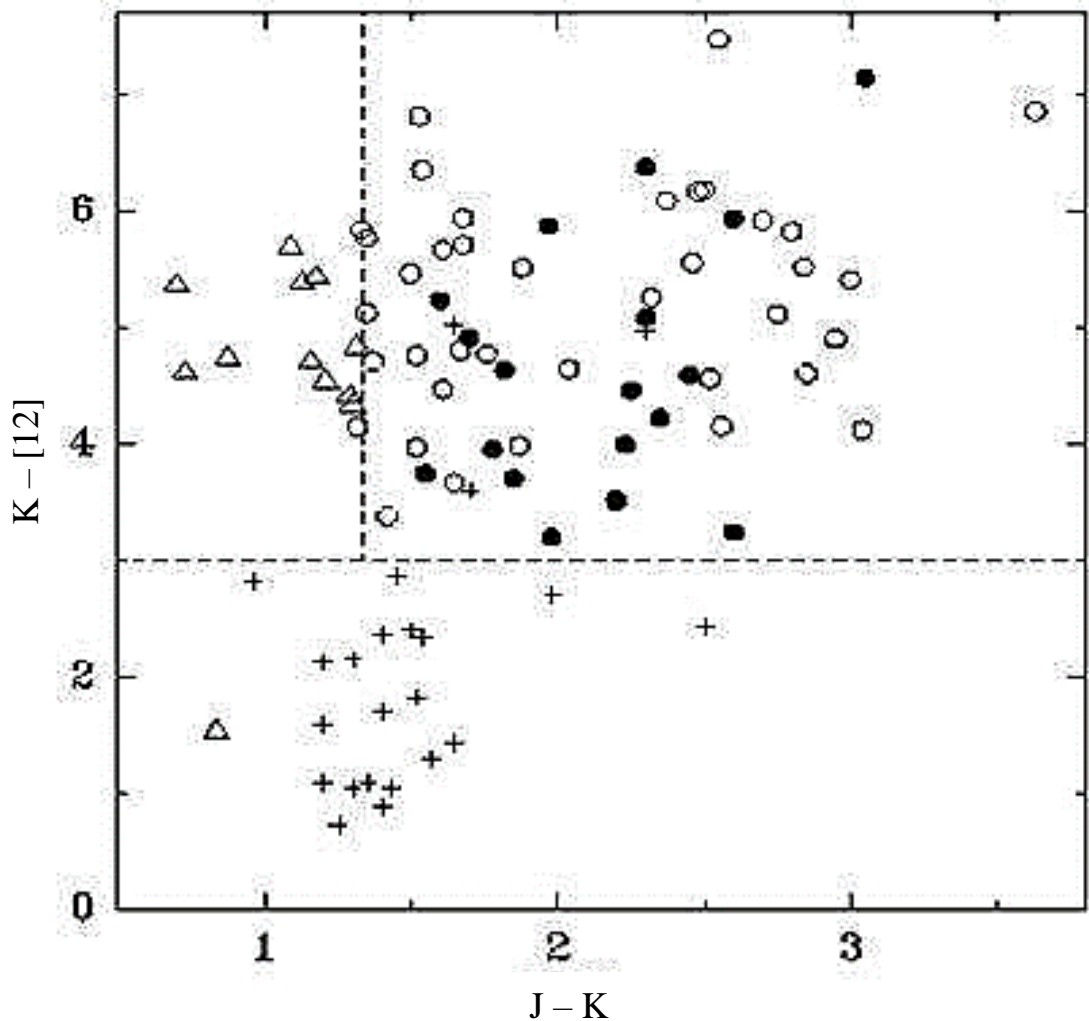


Рисунок 2.1.2 – Фотометрические критерии выделения объектов типа FS CMa в ближнем ИК-диапазоне

На рисунке 2.1.2 приведены следующие обозначения:  $K - [12]$  – показатель цвета, составленный из звездной величины в фотометрической полосе  $K$  (2.2 мкм) и звездной величины в полосе спутника IRAS с центром на длине волны 12 мкм, преобразованная из потока в этой фотометрической полосе: треугольники – звезды типа RV Tau, кресты – звезды поздних спектральных классов, круги – объекты FS CMa (заполненные круги – члены группы, открытые круги – кандидаты в группу) [27].

Были собраны оптические и ИК показатели цвета по выборке различных объектов, которые подтверждают присутствие околозвездной пыли (звезды Ae/Be Хербига, ПТ,  $\text{symB[e]}$ , звезды типа Веги с остаточными пылевыми дисками и др.), и предложены несколько критериев для поиска кандидатов в группу FS CMa.

Вследствие были предложены следующие критерии:

1.  $B-V \leq 1$  mag: откидывает холодные компоненты и теряет сильно покрасневшие объекты;
2.  $V-K \geq 2$  mag: откидывает объекты без пыли;
3.  $J-K \geq 1.4$  mag: откидывает объекты небольшой массы на эволюционной стадии после АВГ;
4.  $K-[12] \geq 3$  mag: откидывает самые холодные компоненты без пыли [27].

В приведенном перечне критериев  $B$  и  $V$  – синие и визуальные звездные величины из каталога NOMAD [29],  $J$  и  $K$  – звездные величины в ближней ИК-области на 1,25 мкм и 2,2 мкм длинах волн, соответственно;  $[12]$  – звездная величина в фотометрической полосе на 12 мкм из каталога IRAS (рисунок 2.1.2).

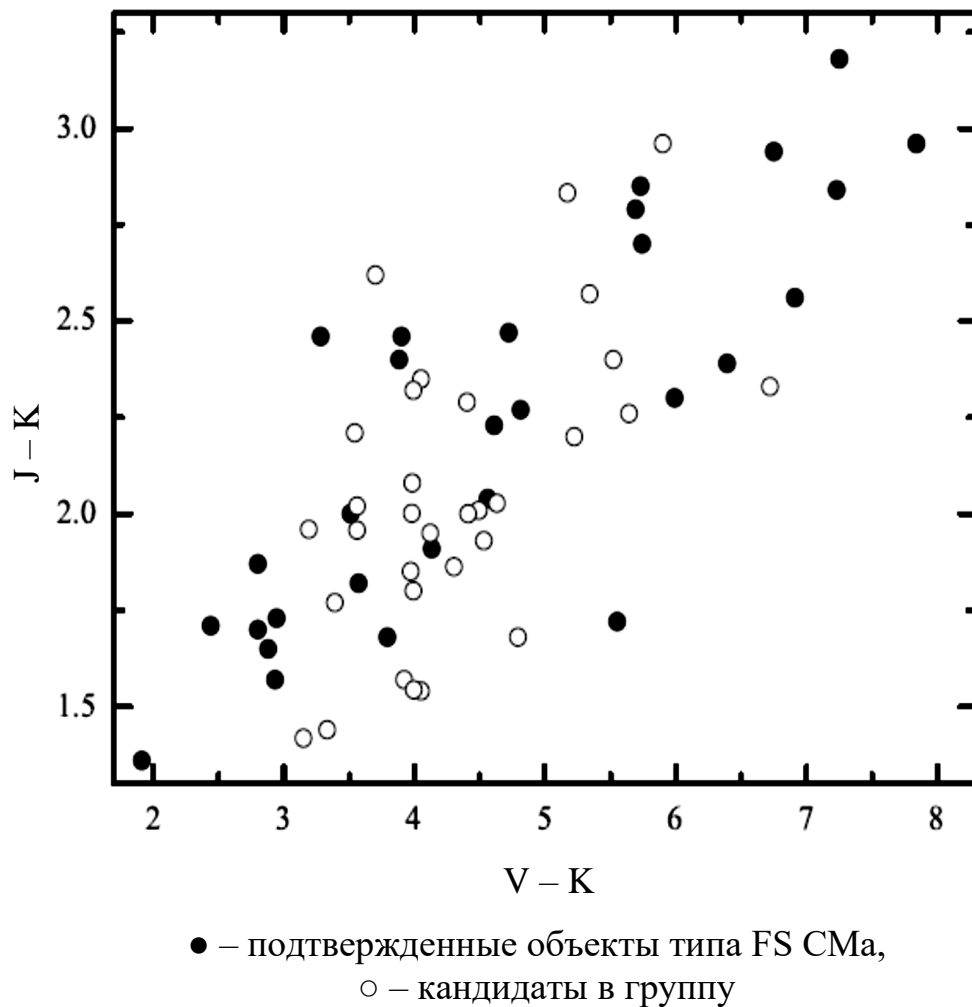


Рисунок 2.1.3 – Фотометрические критерии отбора в группу объектов типа FS CMa

## 2.2 Формирование каталога кандидатов в объекты типа FS CMa

Каталог NOMAD [35] содержит фотометрические данные, включающие 2 оптические полосы (не точно совпадающие со стандартными полосами BVR) и 3 полосы из ближнего ИК-диапазона из каталога 2MASS [36]. Был проведен поиск по всему небу для обнаружения объектов в группу типа FS CMa, с использованием вышеприведенных критериев и данных из каталога NOMAD. Данный поиск был дополнен сбором информации из других источников, например, ИК-обзоры WISE [37] и AKARI [38], а также программы мониторинга оптической переменности ASAS-3 [39].

В результате поиска звезд:

I. Были обнаружены новые кандидаты и значительно расширена новая группа объектов [40, 41], которая была названа группой объектов типа FS CMa с околозвездной пылью, объекты которой могут являться важным источником образования пыли в нашей и других галактиках. В настоящий момент группа содержит приблизительно 100 объектов и кандидатов. В большинстве своем они 11 mag в фотометрической полосе V.

II. Природа данных объектов объясняется двойной системой промежуточной массы, в которых происходит и происходил перенос вещества, как следствие переполнения полости Роша одного из компонентов. Данная модель подтверждается проведенными расчетами эволюции двойных систем с переносом массы между компонентами [42, 43].

III. Объекты группы типа FS CMa показывают сильные эмиссионные спектры, которые являются свидетельством присутствия существенного количества материи в околозвездной среде системы, согласующиеся с гипотезой о переносе вещества.

IV. Вторичный компонент главной горячей звезды, большей частью, слабее в несколько раз, затрудняя его обнаружение.

V. Продолжаются поиски новых кандидатов в группу, которые будут определяться разработанными фотометрическими критериями и в дальнейшем будут проводиться спектральные наблюдения для подтверждения присутствия В[e] феномена. На сегодня было обследовано около половины неба и обнаружено более 100 кандидатов. Предыдущий опыт указывает на то, что у большинства кандидатов действительно присутствует В[e] феномен, который был обнаружен с помощью разработанных критериев.

По приведенному выше методу был составлен перечень обнаруженных кандидатов в объекты группы типа FS CMa с признаками переноса вещества, направленных на проведение спектральных и фотометрических наблюдений для определения физических параметров звезд, включенных в их состав, а также околозвездной среды (таблица 2.2.1).

Таблица 2.2.1 – Кандидаты в группу объектов типа FS CMa

№	NOMAD ID	Другие ID	Прямое восх. (2000)			Склонение (2000)			V	K	Комментарий
			4	5	6	7	8				
1	1491-0002509	–	0	04	48,8	+59	11	5,72	14,5	11,78	–
2	1555-0002193	VES 683	0	06	41,0	+65	35	15,7	11,5	8,4	Сильн. На
3	1510-0004978	–	0	07	49,5	+61	03	14,1	14,3	10,9	–
4	1533-0017580	–	0	21	42,6	+63	22	42,8	15,2	10,8	–
5	1457-0026128	00411+5528	0	44	02,0	+55	46	14,4	12,5	9,5	На эмис.
6	1520-0027593	00442+6148	0	47	16,6	+62	05	10,4	13,8	9,3	Нет эмис.
7	1549-0023073	00483+6440	0	51	28,2	+64	56	51,4	13,5	9,2	Нет эмис.
8	1450-0034594	–	1	00	54,1	+55	04	00,3	14,9	11,2	–
9	1534-0054187	–	1	28	40,5	+63	27	37,7	14,0	9,1	–
10	1448-0053139	–	1	38	07,9	+54	53	46,5	12,6	10,4	На эмис.
11	1548-0047141	–	1	39	32,5	+64	53	02,2	13,1	9,1	Сильн. На
12	1418-0055077	–	1	46	04,6	+51	48	58,0	12,6	10,8	–
13	1505-0078581	01571+6018	2	00	39,5	+60	32	59,5	15,2	9,9	Сильн. На
14	1343-0044298	02125+4403	2	15	47,7	+44	19	43,6	14,0	11,68	–
15	1436-0071560	-	2	19	35,2	+53	40	19,9	13,2	10,8	На эмис.
16	1512-0084304	02258+6102	2	29	35,9	+61	15	57,1	14,2	8,9	На эмис.
17	1514-0083911	–	2	34	10,2	+61	24	40,6	14,0	9,5	На эмис.
18	1513-0087322	–	2	39	50,9	+61	18	29,2	14,2	10,2	На эмис.
19	1509-0095254	–	2	47	48,6	+60	57	50,7	13,9	10,0	На эмис.
20	1509-0099724	VES 768	2	59	05,1	+60	54	04,1	13,2	8,7	На эмис.
21	1215-0050800	03519+3123	3	55	03,8	+31	31	57,3	12,2	8,9	На эмис.
22	1388-0117401	04265+4845	4	30	16,2	+48	52	10,0	13,2	8,9	На эмис.
23	1252-0103555	–	5	29	26,2	+35	16	10,6	13,8	10,9	–
24	1133-0099343	–	5	33	37,2	+23	20	20,7	13,3	8,9	–
25	1248-0108429	–	5	37	15,4	+34	53	44,9	13,5	11,0	–
26	0930-0098281	ТУС120- 320-1	5	50	07,1	+03	05	32,5	11,4	8,7	–
27	1157-0091634	05481+2541	5	51	17,5	+25	42	29,9	12,6	8,2	На эмис.
28	1182-0126758	–	5	53	20,4	+28	16	56,5	12,9	10,3	–
29	1104-0107572	–	6	19	10,9	+20	27	40,0	13,6	11,5	–
30	0804-0081307	–	6	25	26,8	-09	32	13,2	15,2	9,7	–
31	0903-0090552	06237+0020	6	26	20,0	+00	18	44,1	11,5	7,4	На эмис.
32	0735-0084097	–	6	30	16,5	-16	29	37,5	13,4	10,4	–
33	0921-0124289	–	6	36	52,0	+02	11	03,8	13,7	10,4	–
34	0783-0117151	06403–1136	6	42	42,9	-11	39	25,1	12,0	8,4	–
35	0783-0125827	06502–1133	6	52	35,8	-11	37	45,2	13,0	6,7	углерод
36	0881-0167529	–	6	57	46,2	-01	49	40,7	13,2	11,3	–
37	0552-0087990	07053–3437	7	07	11,9	-34	42	27,7	13,4	9,1	–
38	0654-0130273	07203–2425	7	22	24,8	-24	30	58,8	12,8	10,4	–
39	0739-0134773	–	7	25	36,1	-16	01	35,2	13,3	10,3	–
40	0633-0193551	SS 162	7	48	39,0	-26	40	40,3	13,0	9,1	Сильн. На
41	0478-0172739	–	8	16	46,7	-42	06	08,0	13,2	9,5	–
42	0491-0139589	CD–40 4788	8	28	44,2	-40	49	39,4	11,8	6,5	–



Продолжение таблицы 2.2.1

1	2	3	4			5			6	7	8
43	0486-0141705	–	8	29	36,1	-41	20	36,4	13,5	9,7	–
44	0493-0146423	EM Vel	8	35	40,3	-40	40	07,2	12,6	8,1	F6 III
45	0485-0151947	WRAY15-2 68	8	44	23,8	-41	26	03,7	12,7	8,9	–
46	0428-0191146	08469-4655	8	48	35,3	-47	6	32,2	12,7	10,4	–
47	0433-0165210	–	8	48	40,6	-46	36	00,9	13,0	10,5	–
48	0483-0171337	–	8	51	11,4	-41	38	50,0	12,4	9,9	–
49	0466-0150149	CD-42 4810	8	57	09,8	-43	21	44,9	11,5	8,9	–
50	0420-0184717	WRAY15-3 27	9	05	41,1	-47	54	05,3	12,7	8,2	–
51	0430-0251728	–	10	09	28,7	-46	54	42,6	12,9	10,2	–
52	0355-0262619	–	10	51	18,4	-54	24	31,5	12,5	10,2	–
53	0441-0391014	14429-4539	14	46	13,8	-45	52	05,3	13,5	9,1	–
54	0461-0366895	–	14	52	23,1	-43	48	13,4	11,4	9,4	–
55	0732-0569885	17530-1647	17	55	58,5	-16	47	44,4	12,7	7,4	–
56	0712-0541640	–	17	58	13,5	-18	45	04,7	13,3	8,9	–
57	0750-0579116	–	18	21	25,0	-14	55	39,6	12,8	7,8	–
58	0789-0481988	–	18	37	34,7	-11	03	10,6	11,8	7,0	углерод
59	0828-0574314	–	18	40	12,3	-7	07	20,0	12,2	8,4	углерод
60	0804-0637450	19156-0935	19	18	24,1	-9	30	15,0	11,9	6,0	Ha эмис.
61	1207-0415914	LF2 +30 558	19	45	32,3	+30	43	05,7	11,7	7,5	–
62	1230-0506829	19544+3255:	19	56	26,6	+33	3	38,6	13,4	7,8	–
63	1202-0461856	19552+3005	19	57	12,4	+30	13	16,0	13,5	8,1	–
64	1191-0473878	HD 333159	19	58	19,5	+28	9	18,8	11,0	7,5	B + M сп.тип
65	1249-0391811	LS II +34 5	19	59	42,4	+34	59	26,2	11,9	8,0	Ha эмис.
66	1250-0409421	–	20	13	07,9	+35	01	43,4	13,6	7,2	–
67	1368-0409606	20402+4638	20	41	53,6	+46	49	19,9	14,3	7,5	Сильн. Ha
68	1312-0399821	AS 415	20	24	38,3	+41	14	9,6	13,5	7,1	Ha эмис.
69	1373-0465609	–	20	46	07,3	+47	22	17,5	11,9	7,9	–
70	1337-0401558	GSC03178- 00449	20	47	8,7	+43	47	52,2	12,8	9,4	–
71	1422-0440940	HBNA5202- 07	21	01	44,1	+52	17	17,9	13,2	9,2	Сильн. Ha
72	1399-0386418	TYC3596- 1636-1	21	04	38,7	+49	58	20,5	10,7	7,7	–
73	1417-0426336	–	21	27	58,7	+51	44	10,5	13,0	8,8	–
74	1424-0455761	–	21	30	13,6	+52	25	25,4	12,7	8,2	–
75	1434-0376446	TYC3966- 658-1	21	31	2,4	+53	25	07,5	11,8	8,5	Ha эмис.
76	1414-0431615	MWC 1051	21	54	21,0	+51	27	54,1	12,9	8,9	Сильн. Ha

Продолжение таблицы 2.2.1

1	2	3	4			5			6	7	8
77	1472-0468013	–	21	56	28,4	+57	14	45,3	15,9	10,3	–
78	1435-0414727	–	22	18	48,7	+53	31	22,9	13,1	10,2	Позд.тип
79	1452-0409879	AS 487	22	21	11,0	+55	15	46,3	12,0	9,8	Ha эмис.
80	1497-0373035	–	22	55	41,3	+59	47	36,1	13,0	8,6	Позд.тип
81	1523-0434672	22541+6205	22	56	07,7	+62	21	48,2	12,9	8,4	Ha эмис.

В первой колонке приведен порядковый номер объекта, во второй колонке – идентификационный номер объекта по каталогу NOMAD [30], в третьей колонке – отображает наименование по другим каталогам из базы данных SIMBAD (номер без ссылки на каталог является номером по IRAS [28]), в четвертой и пятой колонках (разделенные на три части) – экваториальные координаты объекта по каталогу NOMAD [30] на эпоху 2000 года, в шестой колонке – визуальная звездная величина по каталогу NOMAD [30], в седьмой колонке – звездная величина в фотометрической полосе K по каталогу 2MASS [36], в восьмой колонке – комментарии, которые описывают особенности спектра объектов.

Наблюдения объектов, приведенных в таблице 2.2.1, проводились на различных телескопах с многоцветными фотометрами и спектрографами различного спектрального разрешения. Объекты ярче 12-й звездной величины наблюдались со средним и высоким спектральным разрешением ( $R = \lambda/\Delta\lambda = 10000 - 65000$ ), в то время как более слабые объекты наблюдались с низким спектральным разрешением ( $R = 1000 - 5000$ ).

Наиболее значимые результаты наблюдений приведены в последней колонке таблицы 2.2.1. Больше чем у половины объектов, для которых проводились спектральные наблюдения, подтвердилось присутствие эмиссионных линий, а у некоторых (например, IRAS19156–0935, IRAS02258+6102, IRAS 20402+4638, VES 683) [44-46] и запрещенных эмиссионных линий, наличие которых в комбинации с ИК-избытком (с присутствием которого отбирались объекты), указывает на присутствие В[e] феномена.

На рисунке 2.2.1 приведен профиль эмиссионной линии Ha в спектре объекта 13-й визуальной звездной величины IRAS 20402+4638 (номер 67 в таблице 2.2.1). На данном рисунке также заметны несколько более слабых эмиссионных линий, в основном, линии Fe II, часть которых является запрещенными.

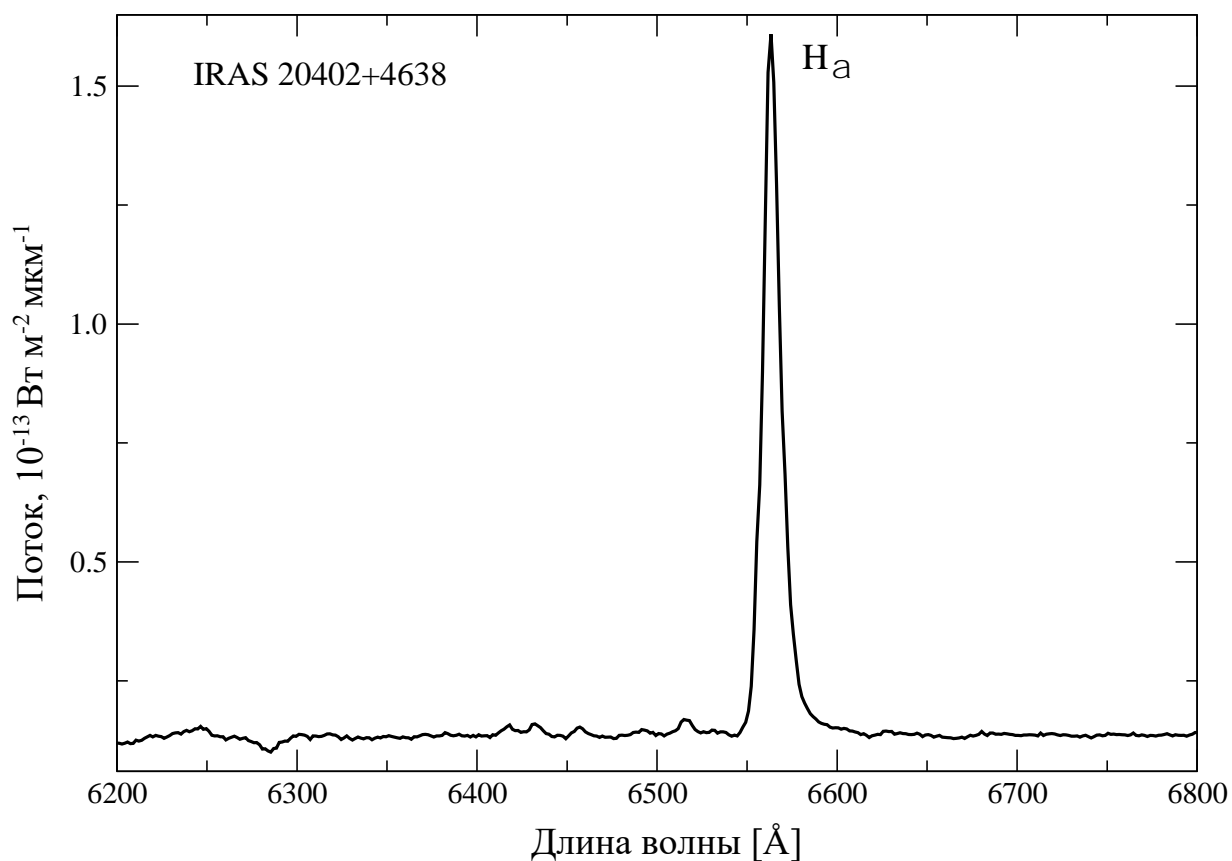


Рисунок 2.2.1 – Эмиссионная линия  $H\alpha$  в спектре низкого разрешения ( $R \sim 1000$ ) объекта IRAS 20402+4638

На рисунке 2.2.2 показан спектр, полученный на 2 м Chandra Himalayan Telescope, установленный на Indian Astronomical Observatory. Интенсивность приведена в энергетических единицах ( $\text{Вт м}^{-2} \text{мкм}^{-1}$ ), длины волн в ангстремах.

На рисунке показано распределение энергии в спектре данного объекта, исправленное за межзвездное поглощение. Быстрое падение ИК потока в длинноволновую область спектра в комбинации с высокой температурой звезды и эмиссионным спектром дает возможность надежно классифицировать объект как принадлежащей или к подгруппе B[e] сверхгигантов или к типу FS CМа. Спектроскопия высокого разрешения требуется для определения фундаментальных параметров объекта.

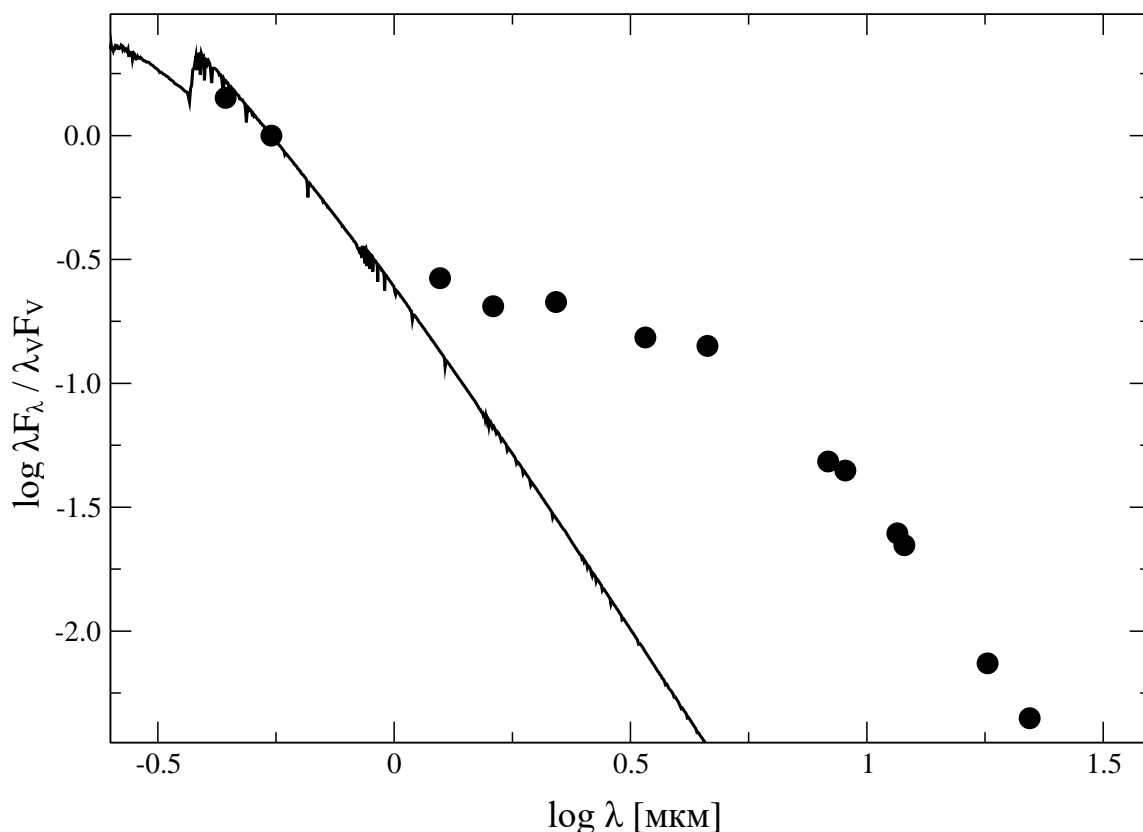


Рисунок 2.2.2 – Распределение энергии в спектре объекта IRAS 20402+4638

На рисунке 2.2.2 круги представляют потоки излучения, собранные по фотометрическим данным из различных каталогов [28, 36, 37, 38], исправленные за межзвездное поглощение  $A_V = 6.3 \text{ mag}$ . Сплошная линия показывает модель атмосферы с  $T_{\text{eff}} = 16000 \text{ K}$ . Потоки излучения нормированы на поток в фотометрической полосе V (0.55 микрона), длины волн приведены в  $\text{\AA}$ . Обе координаты даны в логарифмической шкале.

Другим примером объекта с феноменом V[e] является ранее известная звезда MWC 1051 (номер 76 в таблице 2.2.1), эмиссионная линия H $\alpha$  в спектре которой была открыта в ходе обзора, выполненного на Обсерватории Mount Wilson. Однако, дальнейшие исследования этого объекта не проводились.

Еще одним примером является объект VES 683 (номер 2 в таблице 2.2.1), в спектре высокого разрешения (рисунок 2.2.3) которого видны эмиссионные линии с двухпиковыми профилями, характерными для дискообразных околозвездных оболочек.

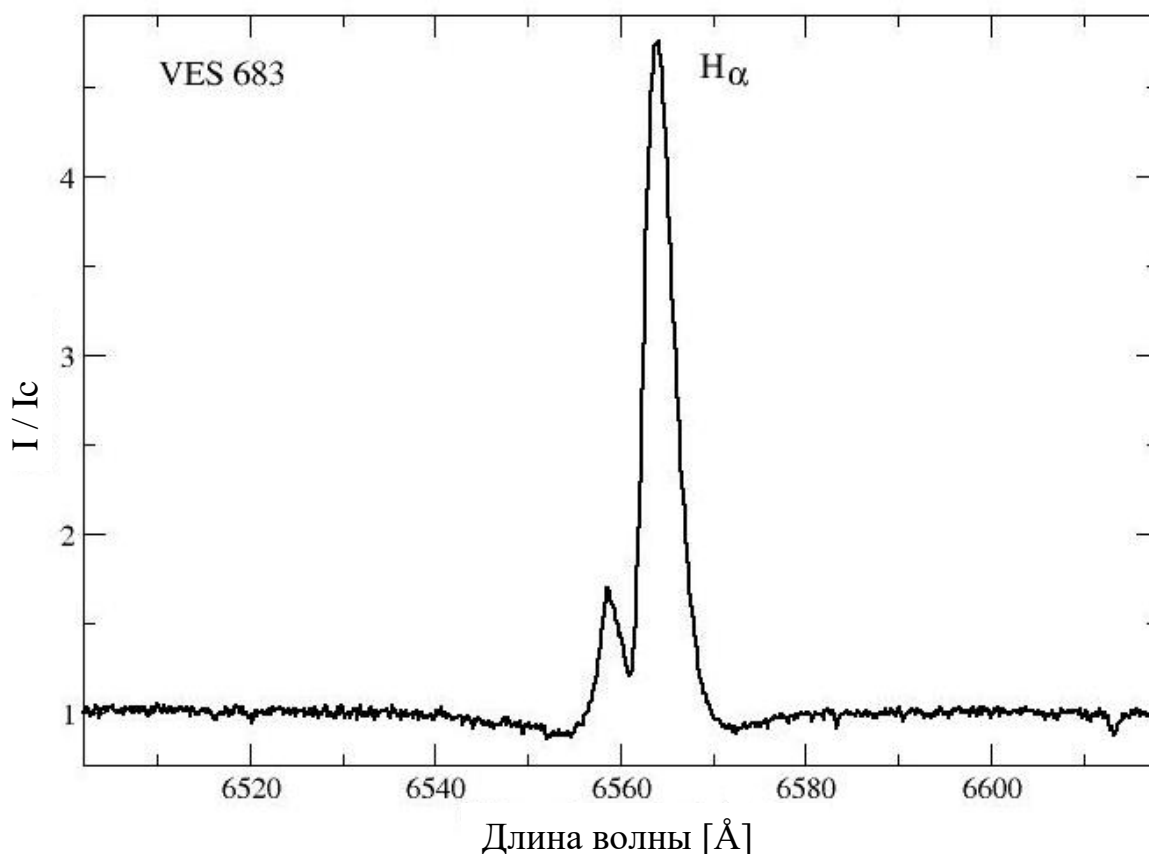


Рисунок 2.2.3 – Эмиссионная линия  $H\alpha$  в спектре высокого разрешения ( $R = 18000$ ) объекта VES 683, полученном на 2.1 м телескопе обсерватории SPM

Рисунок 2.2.4 показывает присутствие линий запрещенного кислорода в спектре этого объекта наряду с разрешенными эмиссионными линиями, типичными для объектов с феноменом B[e]. Интенсивность нормирована на локальный континуум, длины волн приведены в ангстремах. Линия  $H\alpha$  показывает профиль типа P Cyg, похожий на профиль этой линии в спектре объекта AS 78, исследованного в Главе 3.

Участок спектра высокого разрешения ( $R = 65000$ ) объекта MWC 1051, полученного на 3.6 м телескопе CFHT и содержащем эмиссионные линии запрещенного кислорода [O I]. Интенсивность нормирована на локальный континуум, длины волн приведены в ангстремах.

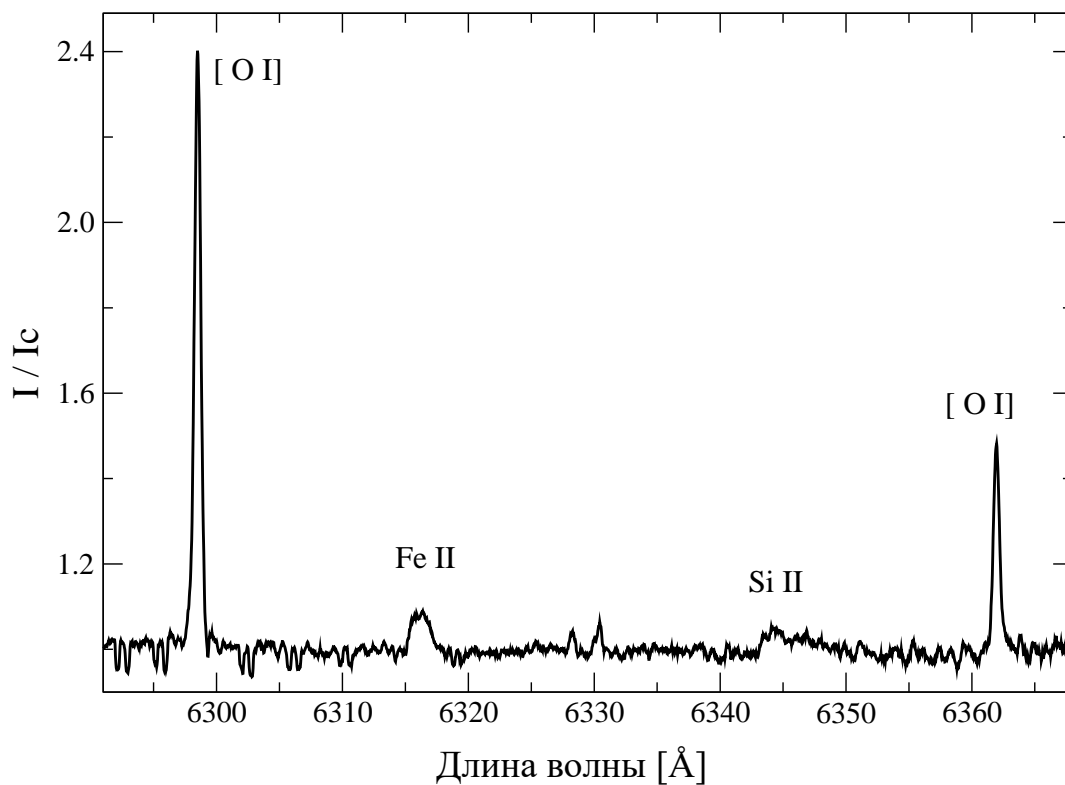


Рисунок 2.2.4 – Участок спектра высокого разрешения ( $R = 65000$ ) объекта MWC 1051

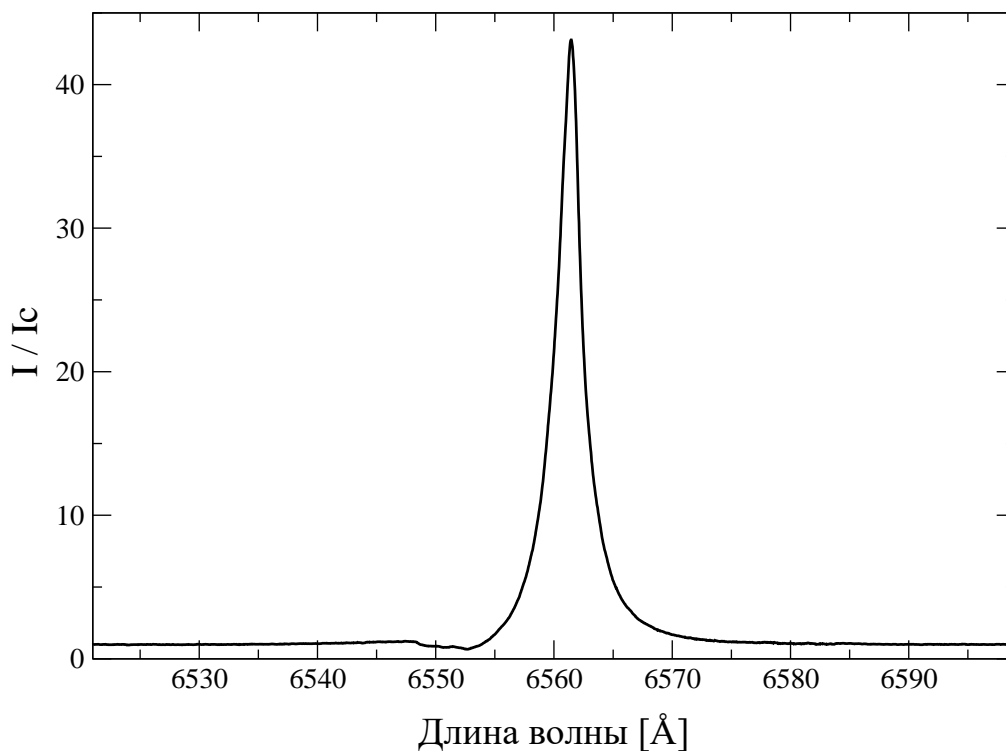


Рисунок 2.2.5 – Эмиссионная линия  $H\alpha$  в спектре высокого разрешения объекта MWC 1051

Спектр высокого разрешения, приведенный на рисунке 2.2.5. был получен на 3.6 м телескопе CFHT ( $R = 65000$ ). Интенсивность нормирована на локальный континуум, длины волн приведены в ангстремах

Однако, некоторые объекты оказались очень холодными звездами, например, углеродными звездами. Пример спектра углеродной звезды показан на рисунке 2.2.6, в которой присутствуют полосы молекул оксида титана  $TiO$ , интенсивность приведена в относительных единицах, длины волн приведены в ангстремах. Полученный результат говорит о недостаточности только фотометрических критериев для выделения горячих звезд с пылевыми оболочками. Тем не менее, обнаруженные холодные звезды могут представлять интерес для исследователей подобных объектов.

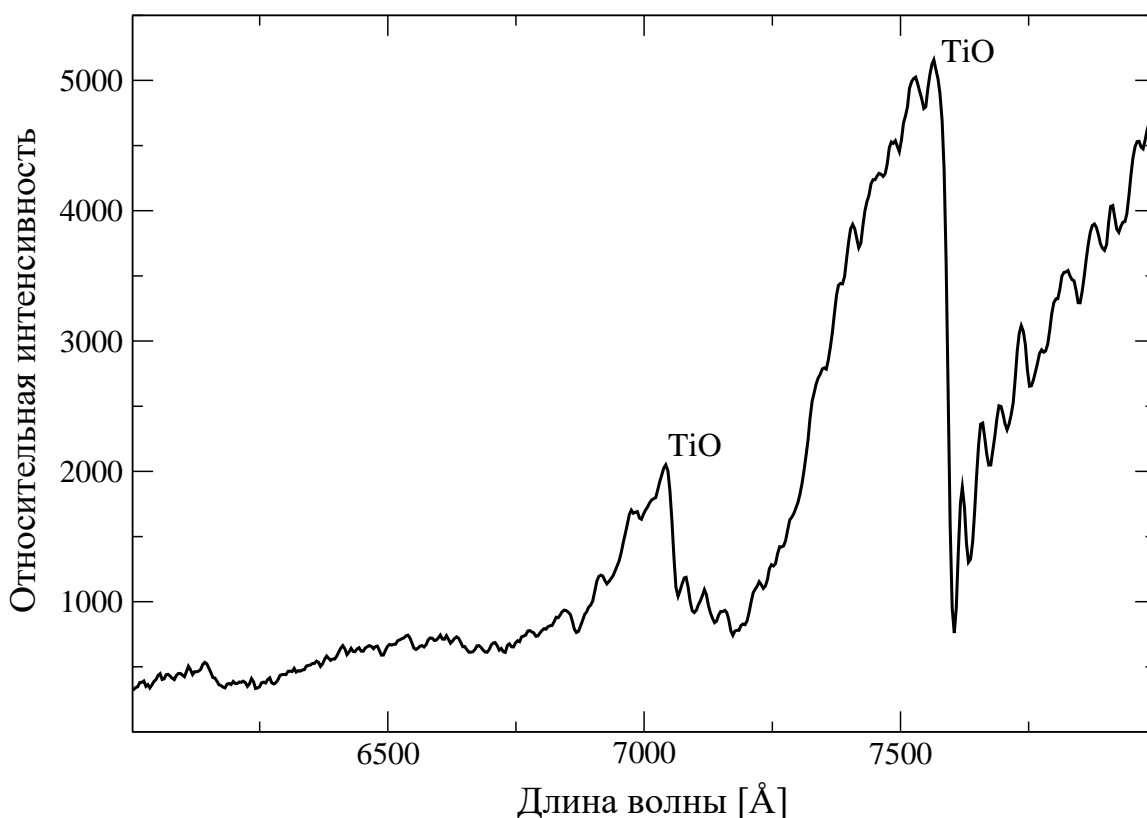


Рисунок 2.2.6 – Спектр низкого разрешения ( $R = 1500$ ) объекта NOMAD 0828–0574314 (номер 59 в таблице 2.2.1), полученный на 1.5 м телескопе Обсерватории Asiago (Италия)

К тому же, несколько объектов оказались двойными, содержащими горячую и холодную компоненты. Пример последнего типа объектов показан на рисунке 2.2.7. Звезда HD 333159 (номер 64 в таблице 2.2.1) оказалась близкой визуальной парой, состоящей из горячей звезды спектрального класса В и холодной звезды спектрального класса М. Комбинация показателей цвета этих двух звезд, угловое расстояние между которыми менее одной угловой секунды, была занесена в каталог NOMAD, что сделало

свойства объекта удовлетворяющими фотометрическим критериям отбора, приведенным выше.

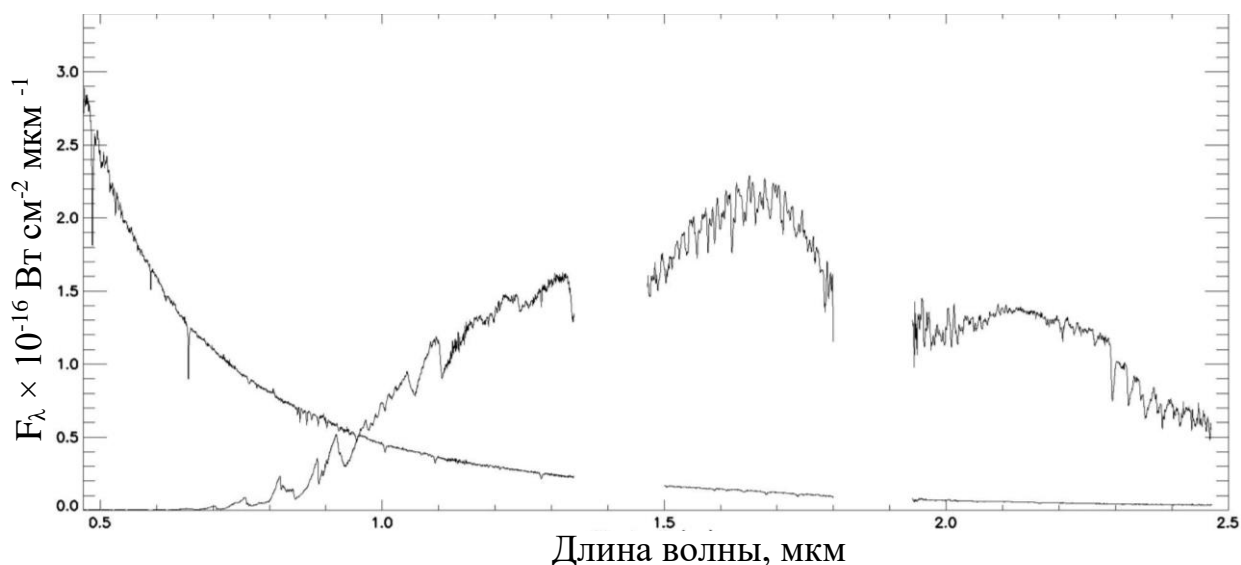


Рисунок 2.2.7 – Спектр низкого разрешения ( $R = 700$ ) объекта HD 333159, полученный на 3 м телескопе Ликской Обсерватории (Калифорния, США) в оптическом и ближнем ИК диапазоне. Спектр откалиброван в энергетических единицах ( $10^{-16}$  Вт  $\text{см}^{-2}$   $\text{мкм}^{-1}$ ), длины волн приведены в микронах

### 2.3 Формирование каталога новых кандидатов во взаимодействующие двойные системы на этапе начала обмена веществом

В предыдущих разделах был описан процесс отбора и результаты наблюдений кандидатов в группу систем, которые, вероятно, завершили перенос вещества между компонентами и сформировали околозвездные оболочки. При поиске объектов, которые находятся на начальной стадии данного процесса, был проведен анализ моделей эволюции двойных систем с переносом вещества, вызывающий образование околозвездной материи, опубликованных в работах [42, 43]. Было выяснено, что системы на начальных этапах переноса массы следует искать в числе двойных звезд, у которых более яркий компонент имеет спектральный класс от A до G, тогда как более слабый компонент имеет спектральный класс B или A. Поиск орбитальных периодов был заключен в интервале от нескольких дней до месяца. Было подобрано более 20 кандидатов для дальнейших наблюдений по каталогам двойных и кратных систем с известными орбитальными элементами, приведенными в таблице 2.3.1.



Таблица 2.3.1 – Кандидаты в двойные системы на стадии начала обмена веществом

№	Наименование	Прям.восх. (2000)	Склонение (2000)	Сп.к.	V1 mag	V2 mag	период/дни
1	2	3	4	5	6	7	8
1.	HIP 5193	01:06:26.58	-35:39:38.34	Am	6.580	-	10.6157
2.	HIP 13937	02:59:33.53	+03:31:03.3	Am	8.770	-	2.7807
3.	HIP 19571	04:11:36.20	-20:21:22.2	Am	5.780	-	3.6587
4.	HIP 29793	06:16:22.20	+28:51:07.1	B8	7.310	-	23.1756
5.	HIP 34431	07:08:15.24	-22:26:25.3	A8	9.000	9.500	10.0919
6.	HIP 37497	07:41:46.12	-13:23:37.8	A6	9.500	10.400	0.7949
7.	HIP 41793	08:31:16.80	-59:13:37.3	A0	7.800	8.300	1.0826
8.	BD +20 2153	08:39:57.77	+19:32:29.3	Am	7.540	-	12.9117
9.	HIP 46704	09:31:17.39	+27:23:14.1	Am	6.590	-	9.0120
10.	HIP 61415	12:35:06.36	+18:22:37.4	Am	5.030	-	7.3366
11.	HIP 67556	13:50:35.09	-58:29:57.1	A7III	8.490	-	4.1080
12.	HIP 67744	13:52:38.81	-18:42:32.4	A3	7.000	7.500	1.3155
13.	HIP 90780	18:31:14.90	+65:26:09.7	A8m	6.590	-	14.3450
14.	HIP 91755	18:42:37.95	+55:32:22.1	A0	5.050	-	9.8105
15.	HIP 92235	18:47:52.33	-20:16:28.2	B3:V	6.840	7.660	8.8961
16.	HIP 92204	18:47:29.58	+49:25:55.3	A	7.180	-	4.2435
17.	HIP 92112	18:46:22.24	+75:26:02.3	A0	5.350	-	4.1175
18.	HIP 94643	19:15:32.43	-25:15:24.1	A9+A7	4.860	-	10.7786
19.	HIP 98346	19:58:52.99	-68:45:45.3	A	6.380	-	14.9859
20.	HIP 108606	22:00:04.45	+44:33:07.7	(A8)	8.200	9.130	1.6047
21.	BD +01 3151	15:59:05.76	+00:35:44.5	A3	7.450	-	3.4499
22.	BD +27 3441	19:35:53.19	+28:16:44.2	A2	9.570	-	2.8054
23.	HIP 70945	14:30:40.47	-22:27:39.3	B8V	6.960	-	24.6150

В таблице 2.3.1 в первой колонке приведен порядковый номер объекта, во второй – наименование объекта из каталога спутника HIPPARCOS [47] или Bonner Durchmusterung [48], в третьей и четвертой – экваториальные координаты объекта на эпоху 2000 года, в пятой – спектральный класс обоих компонентов или более яркого компонента, в шестой и седьмой – визуальные звездные величины звезд системы, в восьмой – орбитальный период системы (сутки).

Довольно хорошо изучены самые яркие объекты из таблицы 2.3.1, некоторые из которых представлены системами типа Алголя и, по предположению авторов работ [42, 43], могут являться кандидатами во взаимодействующие двойные системы. Тем не менее, необходимы детальные наблюдения более слабых объектов для выявления их параметров и признаков околосредней оболочки (наличия в спектре эмиссионных линий либо ИК-избытка).

#### **Выводы по главе**

В результате исследования фотометрических характеристик группы объектов типа FS CMa по данным каталогов оптических и инфракрасных обзоров неба были разработаны несколько критериев, представляющих собой двуцветные диаграммы (диаграммы показателей цвета), на которых не только удастся выделить объекты с пылевыми оболочками, но и разделить отдельные типы звезд с пылевыми оболочками. В то же время, применение

этих критериев не гарантирует, что все попавшие в области диаграмм, в которых были найдены известные объекты типа FS CMa, будут являться таковыми. Возможна мимикрия холодных звезд как с оболочками, так и без них под покрасневшие горячие звезды с пылевыми оболочками. Также не гарантируется и наличие эмиссионных линий в спектрах выявленных кандидатов. Поэтому необходимо проводить спектральные наблюдения кандидатов с целью их проверки на присутствие эмиссионных линий, что можно делать с помощью спектрографов низкого разрешения на небольших телескопах. Подтвержденные объекты с феноменом B[e] следует изучать с более высоким спектральным разрешением для количественного определения их фундаментальных параметров и физических характеристик околозвездных оболочек.

С помощью разработанных критериев был найден 81 кандидат в горячие звезды с оболочками. Проведенные спектральные наблюдения позволили выявить 25 звезд с эмиссионными линиями, а также несколько холодных звезд и визуальных звездных пар, не связанных друг с другом физически без присутствия эмиссионных линий. Выявленные эмиссионные объекты предложены для дальнейшего более подробного изучения.

Кроме того, анализ эволюционных моделей двойных систем с переносом вещества между компонентами системы позволил отобрать 23 ярких короткопериодических двойных систем как возможных объектов, находящихся на ранних стадиях процесса переноса массы. Спектральные наблюдения этих систем с высоким разрешением не потребуют привлечения больших телескопов и могут быть использованы для независимой проверки эволюционных моделей, а также поиска дополнительных кандидатов в группу объектов типа FS CMa.

### 3 АНАЛИЗ НАБЛЮДАТЕЛЬНОГО МАТЕРИАЛА ПО ОБЪЕКТАМ HD 45677 И AS 78

Для более глубокого понимания природы объектов с В[е] феноменом, необходимо подробное исследование каждого объекта исследуемой группы на длительном временном интервале. Ввиду этого, в настоящей работе исследовались два объекта типа FS CMa с до сих пор неопределенной природой и эволюционным статусом, выбранные в связи с наличием по ним наблюдательного материала на временной шкале в 20 – 30 лет. Один из них (HD 45677) является прототипом всей группы как звезда с наиболее типичными характеристиками всех В[е] звезд. Эти характеристики включают большое количество эмиссионных линий, среди которых много линий однократно ионизованных металлов (например, железо и титан), а также сильный инфракрасный избыток излучения, который может быть объяснен только присутствием околозвездной пыли, в основном, с температурами близкими к температуре испарения пылинок (1500 – 2000 К) и отсутствием или малым количеством очень холодной пыли с температурами менее нескольких сотен градусов Кельвина.

Вторым исследуемым объектом является AS 78, горячая звезда с эмиссионными линиями в оптическом спектре, открытая в ходе фотографического обзора неба с низким спектральным разрешением, проведенным на обсерватории Mount Wilson [49], ИК избыток в спектре которой был отмечен в работе [15], и причисленная к группе объектов типа FS CMa в работе [21]. Этот объект практически не исследовался до начала 1990-х годов.

#### 3.1 Анализ данных по объекту HD 45677

HD 45677 (FS CMa, BD–12°1500, MWC 142) находится в созвездии Большого Пса (Canis Major). Координаты объекта  $\alpha=6^{\text{h}}28^{\text{m}}17^{\text{s}}$ ,  $\delta=-13^{\circ}03'11''$  (2000), спектральный класс B2IVe [50], но подкласс субгигантов оставался определенным неточно. Визуальная звездная величина 7.46 приведена в каталоге HD, но в течение 20-го века она менялась от 6.0 до 8.8 [51]. Обнаружение сильной переменности блеска звезды явилось основанием ее занесения в каталог переменных звезд под названием FS CMa [52, 53]. Спектр HD 45677 первоначально был изучен в работе [54]. HD 45677 является звездой прототипом группы звезд типа FS CMa [21].

Таблица 3.1.1 – Звезды Ве с ИК избытком [1]

Звезда	Коорд.1950	Группа	V	K	H-K
HD 45677	06 25 59 –13 01.2	2	8.5	4.6	1.87

Данные по объекту HD 45677 были получены на Паломарской обсерватории, обсерватории Mount Wilson, обсерватории Верхнего Прованса, Европейской южной обсерватории [1, 53].

Авторы [1] отнесли звезду ко второй группе объектов с феноменом V[e] (см. Главу 1), которая является, по их мнению, самой типичной. В нее включены объекты с заметной однородностью эмиссионных спектров, содержащие наиболее многочисленные линии разрешенного и запрещенного ионизованного железа. Большинство данных объектов были найдены в рамках спектрального обзора на обсерватории Mount Wilson по поиску эмиссионных звезд, имеющих в спектрах низкого разрешения линию H $\alpha$ , в 1930е–1940е годы [1].

С самого момента открытия сильных ИК избытков излучения у горячих звезд (например, [54]) одной из основных гипотез для объяснения этих избытков было излучение околозвездной пыли, оставшейся от протозвездных облаков, из которых эти звезды сформировались. В частности, объект HD 45677 был сразу же отнесен к молодым звездам, несмотря на несогласие даже самого первооткрывателя этих звезд, Дж. Хербига [55]. Причиной несогласия было, прежде всего, отсутствие области звездообразования в окрестности объекта. Другим аргументом стало быстрое падение ИК потока излучения от объекта в сторону длинных волн после его максимума около длины волны  $\lambda$  10 микрон [21], которое у молодых звезд не наблюдается из-за наличия холодной пыли в протозвездном облаке. Этот вопрос рассмотрен выше в Главе 2. Тем не менее, HD 45677 продолжают включать в списки молодых звезд, не достигших ГП (например, [56]).

В 1989 году была опубликована статья Wilfred H. Sorrell [57]. В ней были представлены численные модели переноса излучения околозвездных пылевых частиц вокруг специфичной Be звезды HD 45677. Техника моделирования состоит в соответствии наблюдаемого дальнего ультрафиолета через дальнейе-инфракрасное распределение энергии с распределениями энергии, рассчитанными для сферических пылевых оболочек вокруг горячей звезды. Подобное одновременное многоволновое излучение делает возможным ограничение свойств пылевых частиц. Было обнаружено, что наблюдения могут находиться в соответствии с возникающим спектром сферической оболочки, состоящей из графито-силикатной смеси. Распределение частиц по размерам подобно диффузному облаку пыли  $N(a) \approx A a^{-3.5}$ , но околозвездная пыль включает в себя и крупные частицы с максимальным размером  $\approx 1$  мкм. Данный результат соответствует сценарию, в котором HD 45677 является молодым объектом ( $\leq 10^8$  лет) с пылевой оболочкой, являющимся остатком молекулярного облака, оставшегося от образования звезд [57]. Однако, химический состав околозвездных пылинок не является однозначным индикатором возраста звезды. У большинства объектов типа FS CMa, для которых доказано нахождение на продвинутой стадии эволюции (например, [21, 29]), наблюдаются подобные особенности спектра в ИК избытке.

Несколько звезд ранних классов показывают инфракрасный избыток, слишком обширный, чтобы быть объясненным свободно-свободным излучением от горячего звездного ветра. Во многих случаях инфракрасная эмиссия производится термическим излучением околозвездных пылевых частиц. Данная гипотеза была подтверждена инфракрасными наблюдениями звезд типа Вольфа-Райе [58]. Другие звезды ранних классов, показывающие присутствие околозвездной пыли, являются звездами Ae/Be Хербига [59], пекулярные звезды с оболочками, и центральный объект в туманности Красный Прямоугольник [59, 60]. Для этих звезд достоверно показано, что пыль поглощает значительную часть звездного УФ излучения и переизлучает поглощенную энергию в инфракрасном диапазоне спектра.

Ранние модели переноса излучения были сфокусированы на околозвездной пыли вокруг холодных звезд-гигантов [61, 62], звездах OB Ориона [63] и T-Таури [64]. В статье обсуждались модели переноса излучения для околозвездной пыли вокруг звезды HD 45677. Данная звезда была выбрана для исследования, потому что ее спектр атомной линии и континуум распределения энергии хорошо наблюдались [53, 60, 65]. Инфракрасное распределение энергии показывает сильную эмиссионную полосу на длине волны 10 микрон, что свидетельствует о присутствии околозвездных силикатных частиц. Ультрафиолетовый спектр показывает слабый показатель пылевого поглощения на длине волны 2150 Å. Тем не менее, происхождение данной особенности УФ спектра до сих пор неопределенно. Он может быть произведен маленькими углеродными частицами с типичным размером 50 Å, находящимися в межзвездной среде [66].

На рисунке 3.1.1 показано соединенное распределение энергии в спектре HD 45677 в сравнении с видимым УФ спектром не покрасневшей звезды B2 (сплошная верхняя кривая), где пунктирная кривая показывает видимое распределение потока не покрасневших звезд с той же спектральной классификацией как у HD 45677. Данные УФ, видимого и ближнего ИК потока (1-12 мкм) были взяты из работы [60]. Данные ИК излучения показаны тремя видами символов. Сплошные треугольники [60], сплошные круги [67] и крестики [28]. Вставка показывает измерения потока в диапазоне 9-21 мкм, полученного с помощью спектрометра IRAS с низким разрешением [67]. ИК данные на более длинных волнах были взяты из Каталога Точечных Источников IRAS.

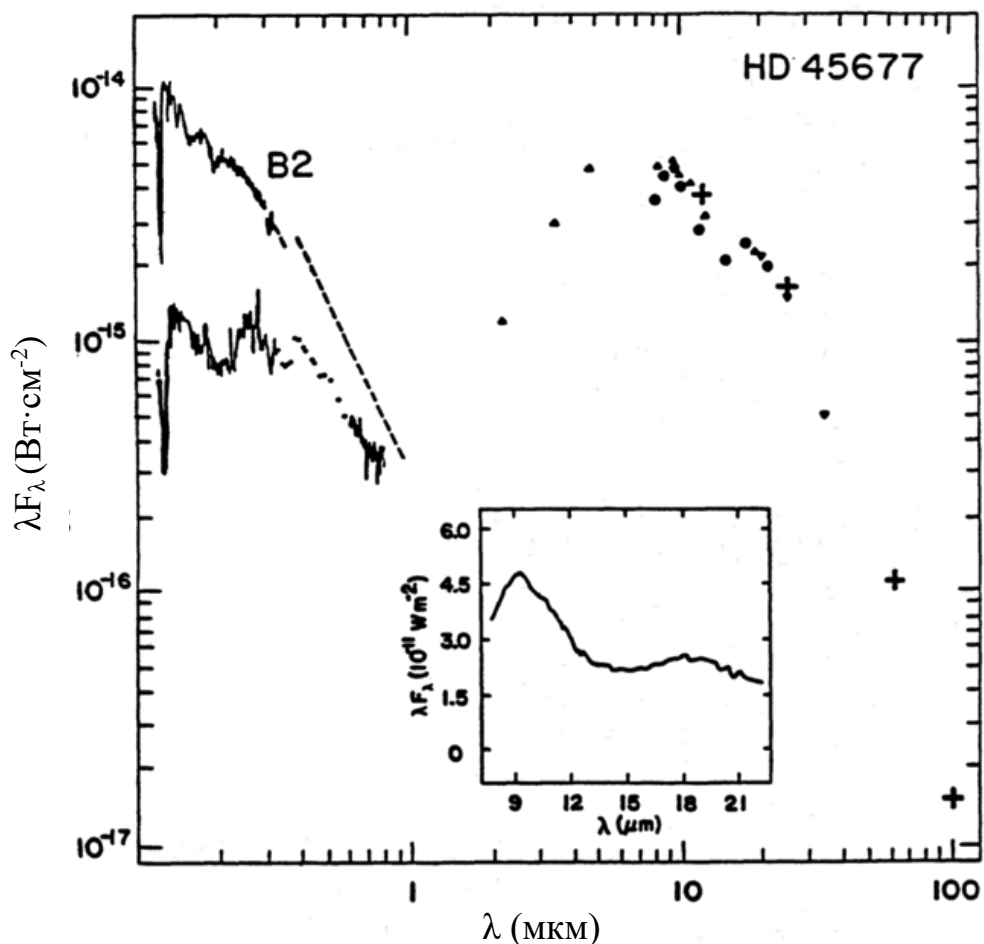


Рисунок 3.1.1 – Соединенное распределение энергии в спектре HD 45677 в сравнении с видимым УФ спектром не покрасневшей звезды B2 (сплошная верхняя кривая)

На рисунке и 3.1.2 показана наблюдаемая УФ кривая поглощения для HD 45677. Избыток цвета E ( $\lambda$ -3000) в звездных величинах (крестики и круги) показаны в сравнении к усредненному межзвездному поглощению (сплошная кривая). Данные кривой поглощения были взяты из работы [65]. Данные авторы получили зависимость кривой поглощения от длины волны путем сравнения УФ распределения энергии HD 45677 с распределением энергии непокрасневшей звезды сравнения спектрального класса B2. Нужно отметить, что такая кривая измеряет свойства поглощения частиц точнее, потому что пылевая оболочка будет производить излучение, рассеянное на луче зрения [68].

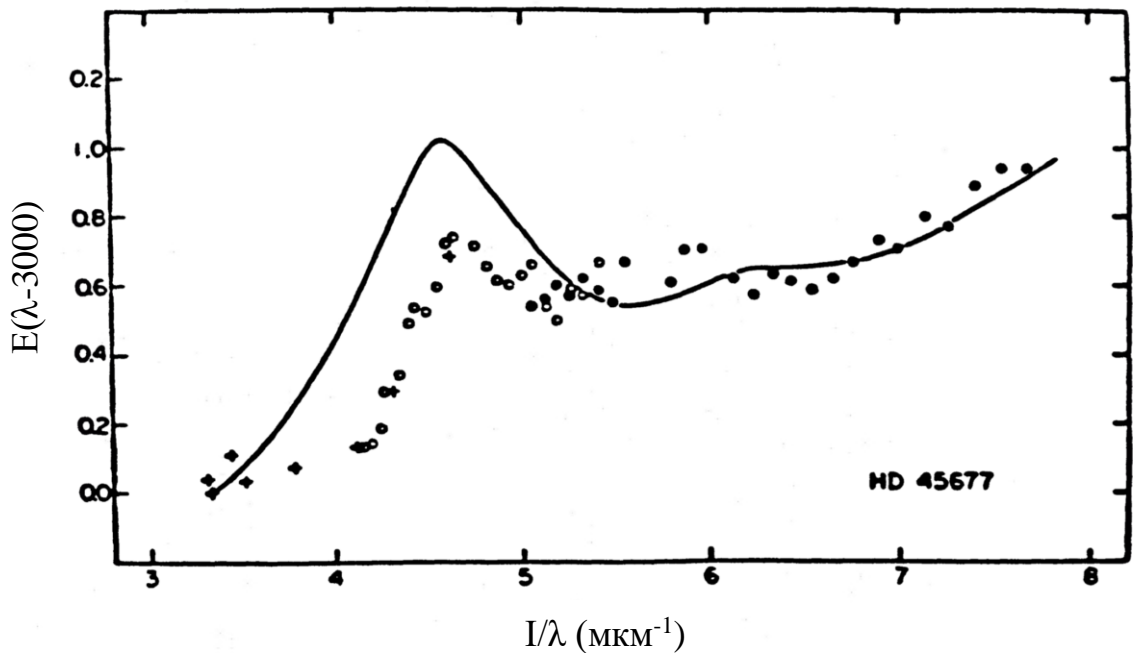


Рисунок 3.1.2 – Наблюдаемая УФ кривая поглощения для HD 45677

В данной работе рассматривается может ли распределение энергии в спектре HD 45677 быть объяснено силикатно-графитовой смесью, предполагаемой для диффузного облака пыли [69]. Модели переноса излучения, использованные в данном исследовании, основаны на методе поправки на температуру, который численно определяет структуру температуры сферической газопылевой оболочки, состоящей из компонентов со множеством частиц [70]. Перенос излучения оценивает преобразование звездного излучения в инфракрасную эмиссию, в то время как болометрическая светимость остается постоянной. И рассеивание, и поглощение пылевой непрозрачности приняты в расчет. Непрозрачность частиц в любой точке оболочки численно определены из теории Ми (рассматривающей излучение мелких пылинок, размер которых не превышает длину волны излучаемых ими фотонов), после того, как определена зависимость материала частиц и длины волны рефракционных индексов.

Объект HD 45677 (FS CMa) является не простым членом класса звезд Ве. Он был предложен в качестве промежуточного между Ве звездами и планетарными туманностями или другими симбиотическими объектами, так как объект обладает протяженной газопылевой оболочкой со значительной плотностью. Спектральный класс данного объекта классифицируется в пределах от B0p [71] до B3 V [54], но он обладает сильными эмиссионными линиями – разрешенными (водород) и запрещенными (Fe II, Ni II, Cr II, S II, O I). Отчасти в связи с его сильным инфракрасным избытком, он был предложен в качестве двойной системы с очень холодным гигантом/супергигантом или возможно инфракрасным объектом, который до сих пор находится в процессе формирования [72]. В качестве альтернативы

[73] предложил, что избыток обусловлен Н-свободно-свободным излучением околозвездного газа. Sorrell [58] смоделировал от дальнего УФ до дальнего ИК распределения энергии в качестве сферической пылевой оболочкой (остаток от формирования звезды, окружающий одиночный горячий молодой [ $<10^8$  лет] объект).

Кривая блеска (рисунок 3.1.3) была получена по результатам многих исследований, где синие круги – данные ТШАО, полученные за последние годы, зеленые – данные из обзора ASAS-3, красные – данные ТШАО и Ассы, фиолетовые – данные HIPPARCOS, лиловые – данные ТШАО, темно-фиолетовые – данные Майданакской высокогорной обсерватории, черные – данные из литературы.

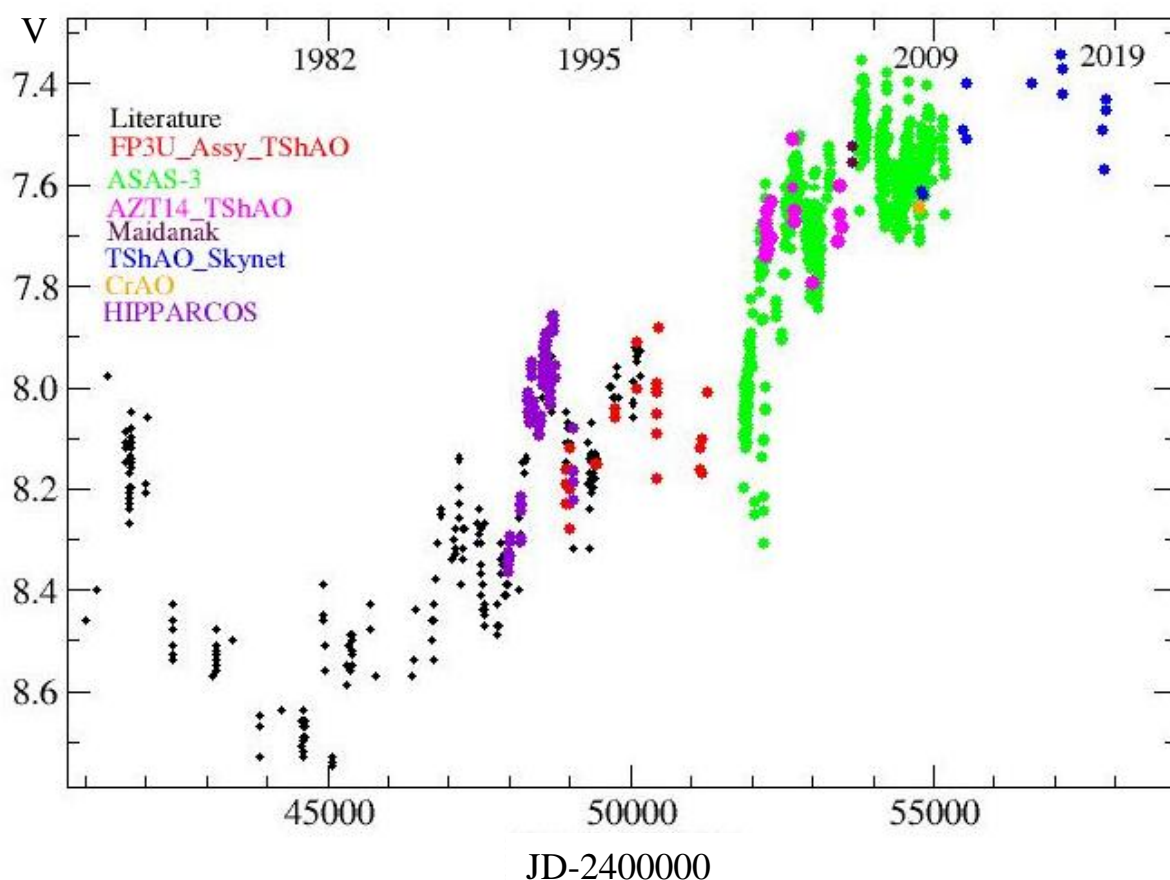


Рисунок 3.1.3 – Кривая блеска объекта HD 45677 (FS CMa)

Рисунок 3.1.3 показывает, что минимум кривой блеска объекта HD 45677 приходился на 1980-е годы (визуальная звездная величина составляла 8.8 mag). Это явление было объяснено гипотезой о падении кометы на звезду, в результате чего от нее осталась пыль, увеличившая пылевую составляющую оболочки системы. Однако, серьезных доказательств данной гипотезы нет. Для ее проверки необходимо моделирование, подобное выполненному более 20-ти лет назад в работах [10, 74]. Была проведена средняя кривая по всем имеющимся на то время данным (до конца красных символов на рисунке 3.1.3) и, после учета тренда, она была вычтена. Было



обнаружено 2 периода. Один период порядка 300 дней, а второй – 1600 дней. Природа этих периодов осталась необъясненной. В настоящее время можно продолжить изучение переменности блеска объекта до последнего времени и проанализировать на периодичность данные за более длительный период.

Halbedel [74] опубликовала фотометрию HD 45677, полученную в течение четырех лет, которая показала изменение визуального блеска двух типов: квази-периодичное с периодом 296.5 дней наложенное на трехгодичное изменение. Вся дифференциальная фотометрия была получена на 0.6-метровом телескопе обсерватории Корралито и его фотометре со счетом фотонов, основанном на внешней температуре EMI 9924A. Были использованы следующие звезды сравнения: HD 45495 ( $V=8.375$ ;  $B - V = -0.027$ ) и HD 45629 ( $V=7.091$ ;  $B - V = -0.032$ ) [63].

В работе [74] по фотометрии показано, что блеск объекта сильно изменялся в течении наблюдательного периода, в частности, с квази-периодом в 296.5 дней (рисунок 3.1.4). Предполагалось, что это переходный объект между звездой Ве и ПТ или симбиотический объект. Он имеет характерный спектр, показывающий сильную эмиссию типа P Cygni в водородных линиях Бальмера и эмиссионных линиях [Fe II], [Ni II], [Cr II], [S II] и [O I], имеющий протяженную плотную оболочку газа и пыли значительной плотности, что подразумевается присутствием линий в спектре ПТ [O I] на  $\lambda\lambda$  6300 Å и 6363 Å и [S II] на  $\lambda$ 4068 Å [75].

Автор [74] считает, что, FS CMa не является представителем классических звезд Ве, но, более вероятно, относится к звездам с экстремальной потерей массы, как, например, взаимодействующая массивная двойная система  $\eta$  Cas или очень молодая массивная звезда LkHa 101. Ее относительная яркость и чрезвычайно переменчивая природа выступают доводами в пользу необходимого спектрофотометрического исследования. Исходя из полученных данных, определенное заключение по вопросу о двойственной природе остается не решенным. В данной статье было показано, что фотометрия является полезным инструментом для измерения глубины некоторых деталей протяженной оболочки, которая окружает звезду.

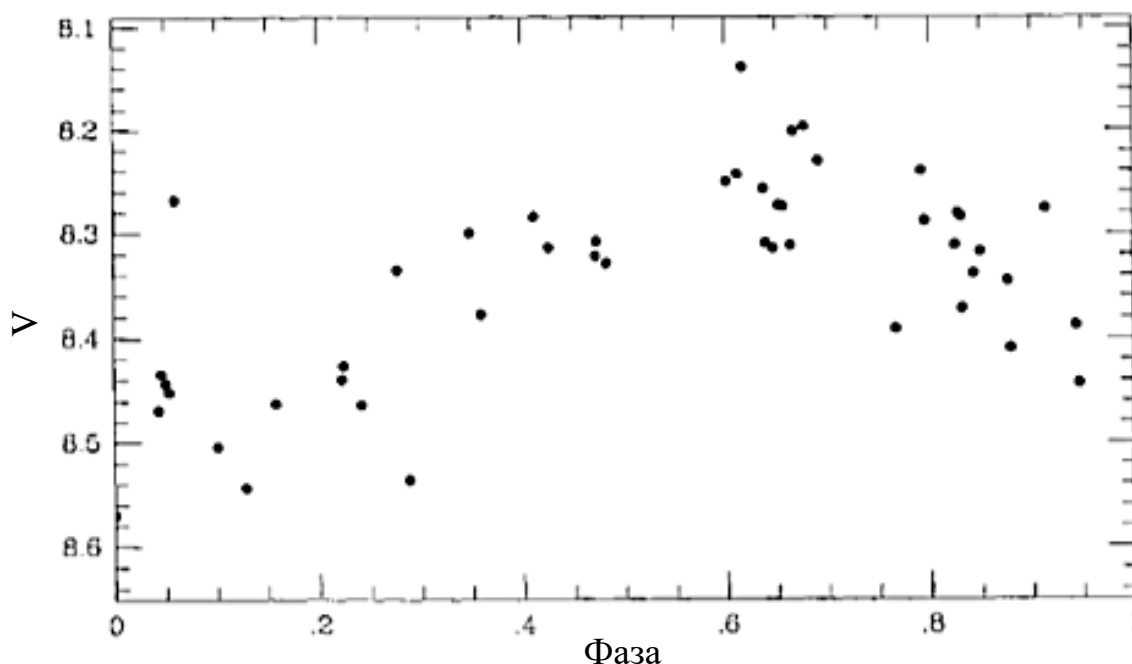


Рисунок 3.1.4 – Диаграмма квазипериодичности в 296,5 дней. Фазы были рассчитаны с использованием произвольной начальной эпохи  $T_0$  JD2446391.9180 [74]

### 3.2 Наблюдения исследуемых объектов

Исследования проводились методами фотометрии и спектроскопии в оптическом диапазоне спектра за последние 20-30 лет. Наблюдения исследуемых объектов были получены на обсерваториях и телескопах, представленных в таблицах 3.2.1 и 3.2.2.

Таблица 3.2.1 – Аппаратура для получения фотометрических данных

Обсерватория	Местоположение	Телескоп	Полосы
ТШАО	Казахстан	1.0 м	BVRc
Dark Sky	США	0.4 м	UBV
Skynet	Чили	0.4 м	UBVRI

Кроме того, наблюдательные данные были получены из фотометрических обзоров всего неба, проводимых автоматическими телескопами, расположенными на разных обсерваториях, в оптическом диапазоне спектра и с большой частотой наблюдений - ASAS-SN (2014-2021), ASAS-3 (2003-2010). Обзор ASAS-3 выполнялся в фильтре V, тогда как обзор ASAS-SN выполнялся в том же фильтре с 2014 по 2019 годы. Начиная с 2019 года, обзор ASAS-SN выполняется в фильтре g (эффективная длина волны 470 нм). Результаты наблюдений обоих обзоров являются общедоступными через интернет архивы. Обзор ASAS-SN [75] продолжается

в настоящее время и его результаты обновляются практически в реальном времени.

Таблица 3.2.2 – Аппаратура для получения спектральных наблюдений

Обсерватория	Местоположение	Телескоп	R	Диапазон, Å
Three College	штат Северная Каролина, США	0.81 м	12000	3800-7900
San Pedro Martir	Нижняя Калифорния, Мексика	2.1 м	18000	3600-7300
Mauna Kea	Гавайи, США	3.6 м	65000	3600-10500
McDonald	штат Техас, США	2.7 м	60000	3600-10500
Indian Astronomical Observatory	Ханле, Индия	2.0 м	30000	3600-10500
Apache Point	штат Нью Мексико, США	3.5 м	31.500	3500-10500

### 3.3 Фотометрические данные для объектов исследования

Фотометрические данные были получены на ТШАО (Казахстан, г. Алматы), Dark Sky Observatory (Appalachian State University, США), Skynet (Чили). Обработка фотометрических данных проводилась с использованием программы IRAF и SAO Image DS9.

Определение показателя цвета для исследуемого объекта проходит в несколько этапов. Сначала проводился поиск звезды на сайте [76]. По расположению звезды на снимке, выбираем звезды сравнения, которые должны быть близки по блеску к исследуемому объекту, вблизи не должно быть близких слабых звезд, они не должны быть гораздо слабее или ярче самого объекта. На рисунке 3.3.1 представлена карта окрестностей звезды HD 45677, с названиями звезд по каталогам. Для звезд, не имеющих названия, приведены координаты.

Для более точного анализа были отождествлены и исследованы около десятка звезд в окрестностях исследуемых объектов. Два ярких объекта HD 45629 и HD 45733 были выделены в качестве звезд сравнения для FS CMa.

Расчет показателей цвета (B-V) и (V-R) и блеска звезды, V, проводился методом пересчета блеска в инструментальной фотометрической системе в стандартную фотометрическую систему, которые немного отличаются друг от друга из-за разницы в кривых пропускания фильтров.

Для определения звездной величины в стандартной фотометрической системе был использован фотометрический каталог UCAC4 [77].

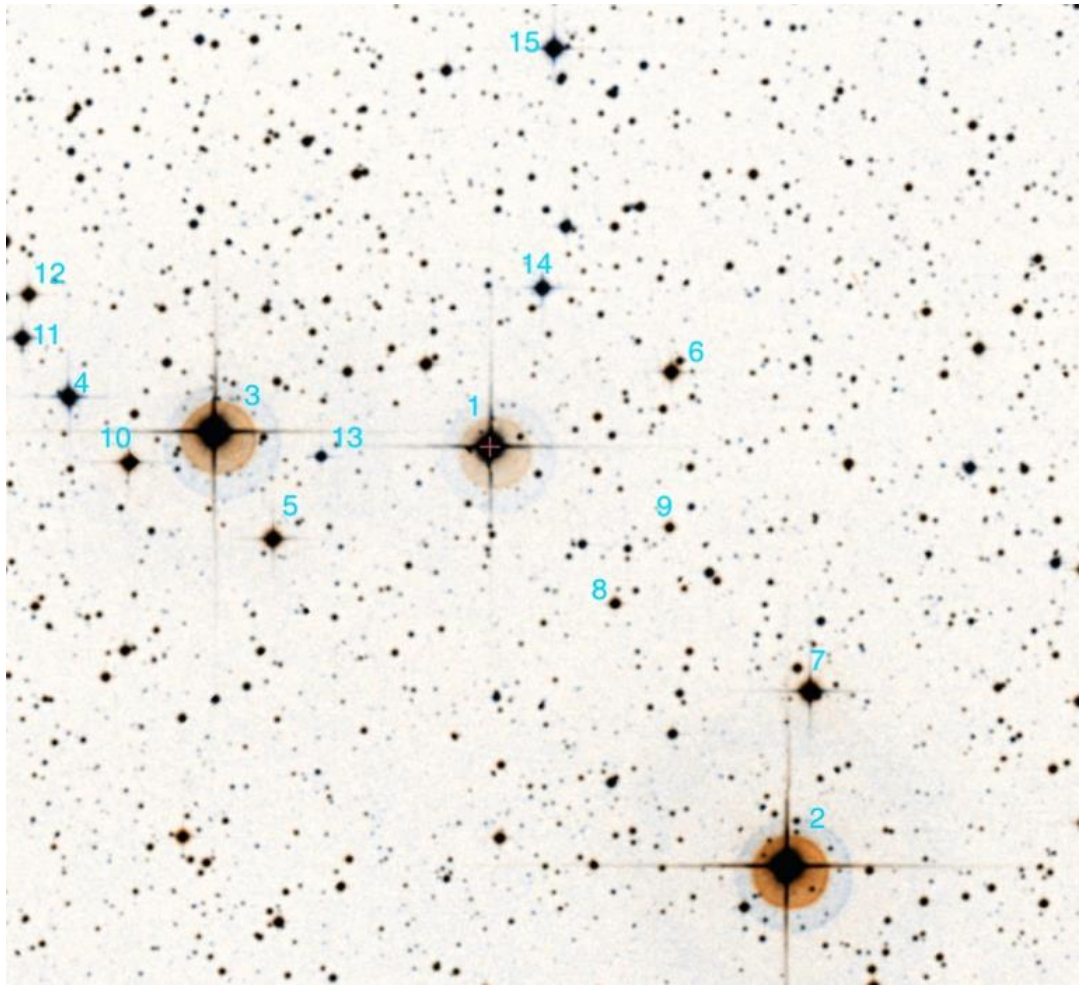
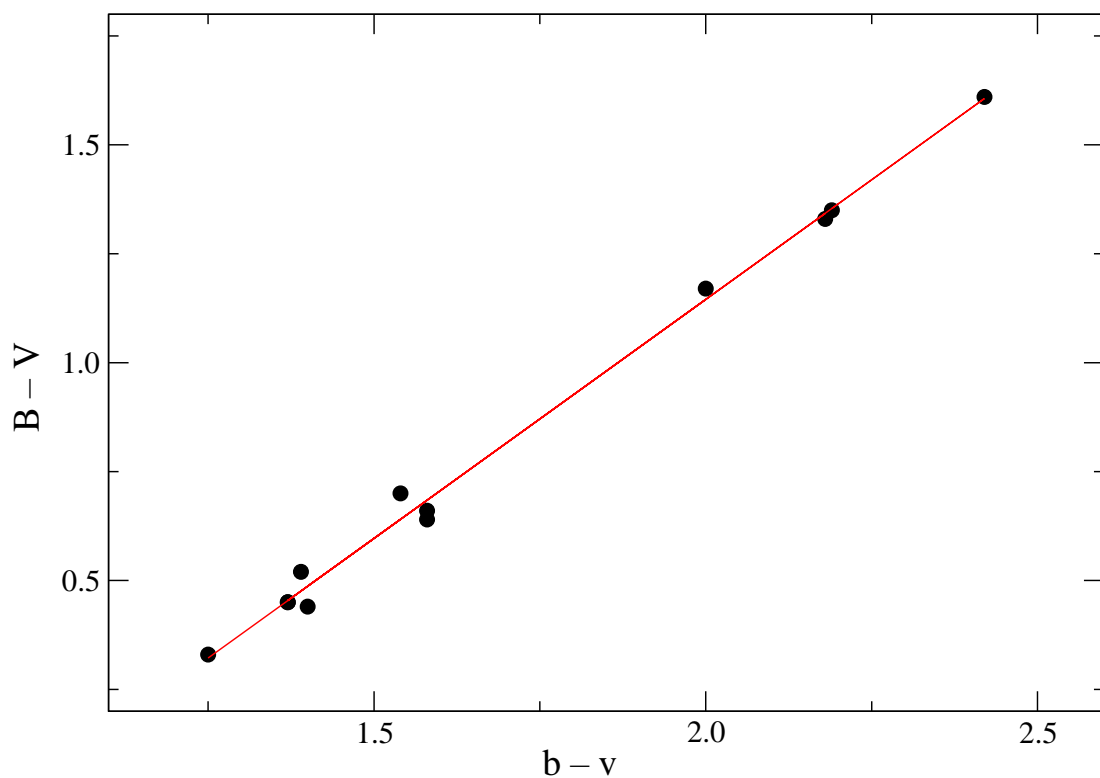


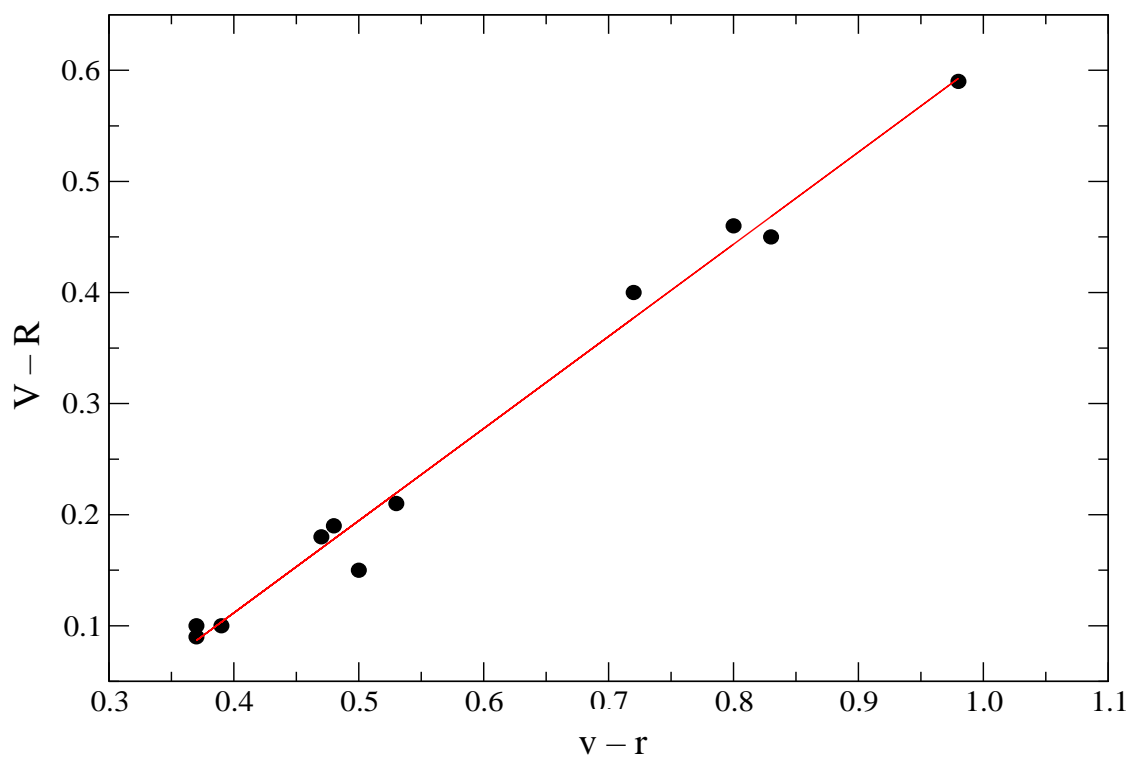
Рисунок 3.3.1 – Карта окрестностей объекта HD 45677

1 – HD 45677 (FS CMa), 2 – HD 45629, 3 – HD 45733, 4 – TYC 5372-1258-1, 5 – [SPB96] 1126, 6 – [SPB96] 1090, 7 – [SPB96] 1085, 8 – [SPB96] 1096, 9 – [SPB96] 1091, 10 – [SPB96] 1139, 11 – [SPB96] 1146, 12 – [SPB96] 1145, 13 – RA 06:28:21.443, DEC -13:01:56.01, 14 – RA 06:28:14.239, DEC -13:00:44.954, 15 – [SPB96] 1099

На рисунке 3.3.2 представлена линейная регрессия, рассчитываемая в программе XnGrace для перевода звездных величин из стандартной в инструментальную систему, где названия фильтров инструментальной системы даны строчными буквами, тогда как названия фильтров стандартной системы даны заглавными буквами, коэффициенты перевода из инструментальной системы в стандартную определяются по наклону представленных зависимостей. Для определения коэффициентов регрессии были измерены звездные величины 11-ти звезд на нескольких фотометрических кадрах области объекта AS 78.

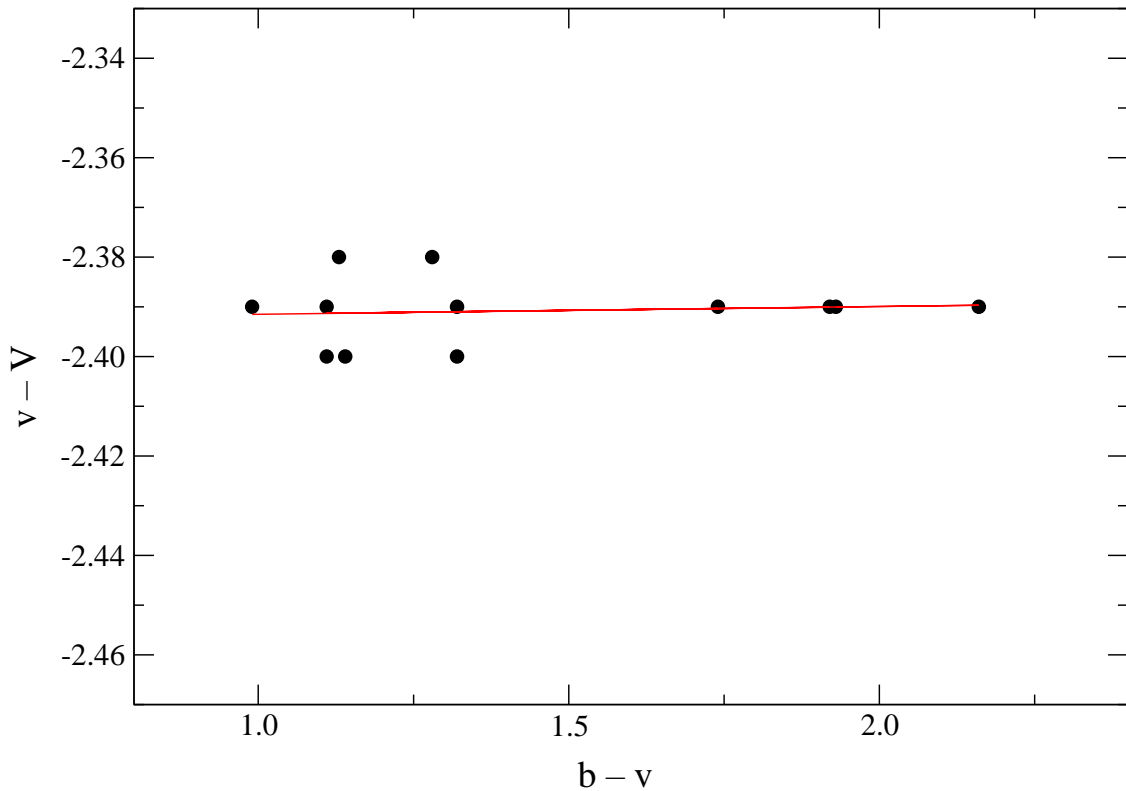


a)  $(B-V)$  от  $(b-v)$ ,  $k(b-v) = 1.10 \pm 0.03$



б)  $(v-r)$  от  $(V-R)$ ,  $k(v-r) = 0.83 \pm 0.03$

Рисунок 3.3.2 – Построение уравнений перевода из инструментальной фотометрической системы 1 м телескопа ТШАО в стандартную систему Johnson – Cousins



в)  $(b-v)$  от  $(v-V)$ ,  $k_v = 1.00 \pm 0.02$

Рисунок 3.3.2 – Построение уравнений перевода из инструментальной фотометрической системы 1 м телескопа ТШАО в стандартную систему Johnson – Cousins

Фильтры на всех телескопах представляют фотометрическую систему Johnson-Cousins. Фильтры UBВ взяты из системы Johnson, созданной в 1950-1960-е годы, фильтры RI – из системы Kron-Cousins, созданной немного позже, поскольку кривые пропускания этих фильтров в системе Джонсона нельзя было воспроизвести с помощью имевшихся в то время приемников излучения. Если объект исследования и звезды сравнения находятся на одном кадре, то прозрачность атмосферы учитывать не нужно.

Уравнение для расчета блеска звезды в стандартной фотометрической системе:

$$V^* = V_{st} + k_v (v^* - v_{st}), \quad (3.3.1)$$

где  $V^*$  – блеск объекта в стандартной системе;  $V_{st}$  – блеск звезды сравнения в стандартной системе;  $v$  – блеск объекта в инструментальной системе;  $v_{st}$  – блеск звезды сравнения в инструментальной системе,  $k_v$  – коэффициент перехода от инструментальной системы к стандартной

Перевод показателей цвета из инструментальной системы в стандартную осуществляется с помощью следующих уравнений:

$$(B-V)^* = (B-V)_{st} + k(b-v) * [(b-v)^* - (b-v)_{st}], \quad (3.3.2)$$

$$(V-R)^* = (V-R)_{st} + k(v-r) * [(v-r)^* - (v-r)_{st}], \quad (3.3.3)$$

где коэффициенты перевода ( $k_v$ ,  $k(b-v)$ ,  $k(v-r)$ ) приведены в подписи к рисунку 3.3.2, а их определение показано на этом рисунке.

Результаты расчетов, проведенные в диссертационном исследовании приведены в таблице 3.3.1.

Таблица 3.3.1 – Фотометрия HD 45677

Дата	HJD	V	(B-V)	(V-R)
28.02.2015 (TSAO)	2457081.0839267359	7,34	0,04	0,20
06.04.2015 (TSAO)	2457119.1224233797	7,42	0,03	0,20
10.04.2015 (TSAO)	2457122.1006063656	7,37	0,05	0,20
06.02.2017 (TSAO)	2457791.1785576390	7,49	0,02	0,20
23.02.2017 (TSAO)	2457808.1810590276	7,57	-0,14	0,15
08.04.2017 (TSAO)	2457852.1009754632	7,43	0,04	0,20
09.04.2017 (TSAO)	2457853.1213900461	7,45	-0,03	0,20
13.11.2008 (Skynet)	2454783.69725095	7,11	0,18	–
26.12.2008 (Skynet)	2454826.68168385	7,12	0,08	–
14.10.2010 (Skynet)	2455483.81871929	7,49	0,03	0,26
28.11.2010 (Skynet)	2455528.67453065	7,51	0,06	0,10
30.11.2010 (Skynet)	2455530.73887207	7,40	0,02	0,03
29.11.2013 (Skynet)	2456625.78629765	6,90	0,15	–

Обработка и анализ выполнялись с использованием стандартных пакетов IRAF, Maxim DL, SAO Image DS9, XmGrace, MS Excel.

Большинство данных, полученных в последние годы, было получено в обсерваториях ТШАО, DSO и Skynet. Как видно из последних наблюдений на ТШАО (см. рисунок 3.3.2), звезда имеет примерно одинаковую визуальную звездную величину  $V \sim 7.4$  mag. Эти данные были получены соискателем, в результате измерения снимков, полученных на 1-м телескопе на ТШАО. На кривой заметны некоторые циклические колебания в 1990-х годах (данные, полученные на обсерватории Maidanak и анализировавшиеся в работе [11]), связанные, по всей видимости, с процессами, протекающими в оболочке звезды, которые не совпадают с найденными ранее периодами. В настоящее время подобные изменения не наблюдаются.

Данные ASAS-3 [39] показывают, что на кривой блеска присутствовал тренд, то есть начальные данные показывали более низкий блеск, чем конечные, и соответственно, менялся блеск звезды со временем. Здесь была вычтена средняя кривая и проанализирована на периодичность. Так как наблюдения проводились на нескольких телескопах и несколько раз за ночь, сначала данные были усреднены, затем были усреднены данные, полученные

в одну и ту же ночь). В [76] звезда обычно наблюдалась 1 раз в ночь, но на нескольких телескопах. Наблюдения проводились около 10 лет, за этот период блеск звезды не сильно изменился.

Для обзора ASAS-SN [75] звезда оказалась слишком яркой и измерения блеска на снимках, полученных этим обзором, оказались невозможными из-за перенасыщения приемников излучения.

Фотометрические данные для AS 78 были получены:

1. 6 октября 2008 года на 0.4 метровом телескопе в Dark Sky Observatory (близ г. Бун, штат Северная Каролина, США) в системе Johnson-Cousins UBV.

2. 4 октября 2019 г. на 0.4-м телескопе Skynet. Все изображения, полученные на DSO и Skynet были обработаны с помощью IRAF.

3. В течение 6 ночей были проведены на 1-м телескопе системы Ричи-Кретьена на Тянь-Шанской астрономической обсерватории (ТШАО) Астрофизического Института им. В.Г. Фесенкова в ноябре 2015 г., декабре 2016 г., ноябре 2019 г., и январе 2021 г. При этом была использована ПЗС камера  $3056 \times 3056$  Apogee F9000 D9 с размером пикселей 12 мкм и трехступенчатым охлаждением, а также фильтрами BVRC в системе Johnson-Cousins. Были получены поля размером  $8' \times 8'$  вокруг AS 78. Все изображения с ТШАО были обработаны с помощью программы MaximDL.

В таблице 3.3.2 приведены фотометрические данные, полученные автором.

Таблица 3.3.2 – Фотометрия AS 78

Дата	HJD	V	(B-V)	(V-R)
06.10.2008 ( <i>DSO</i> )	2454745.897	11,19	0,80	0,31
23.11.2015 ( <i>TSAO</i> )	2457350.323	11,22	0,71	0,32
02.12.2016 ( <i>TSAO</i> )	2457431.136	11,22	0,75	0,29
08.11.2019 ( <i>TSAO</i> )	2458796.284	11,15	0,71	0,33
15.11.2019 ( <i>TSAO</i> )	2458803.241	11,16	0,72	0,32
04.10.2019 ( <i>Skynet</i> )	2458760.667	11,14	0,79	0,18
04.01.2021 ( <i>TSAO</i> )	2459219.032	11,17	0,71	0,32
09.01.2021 ( <i>TSAO</i> )	2459224.048	11,23	0,71	0,35

На рисунке 3.3.3 представлена карта окрестностей звезды AS 78 с названиями звезд по каталогам. Для звезд, не имеющих названия, приведены координаты.



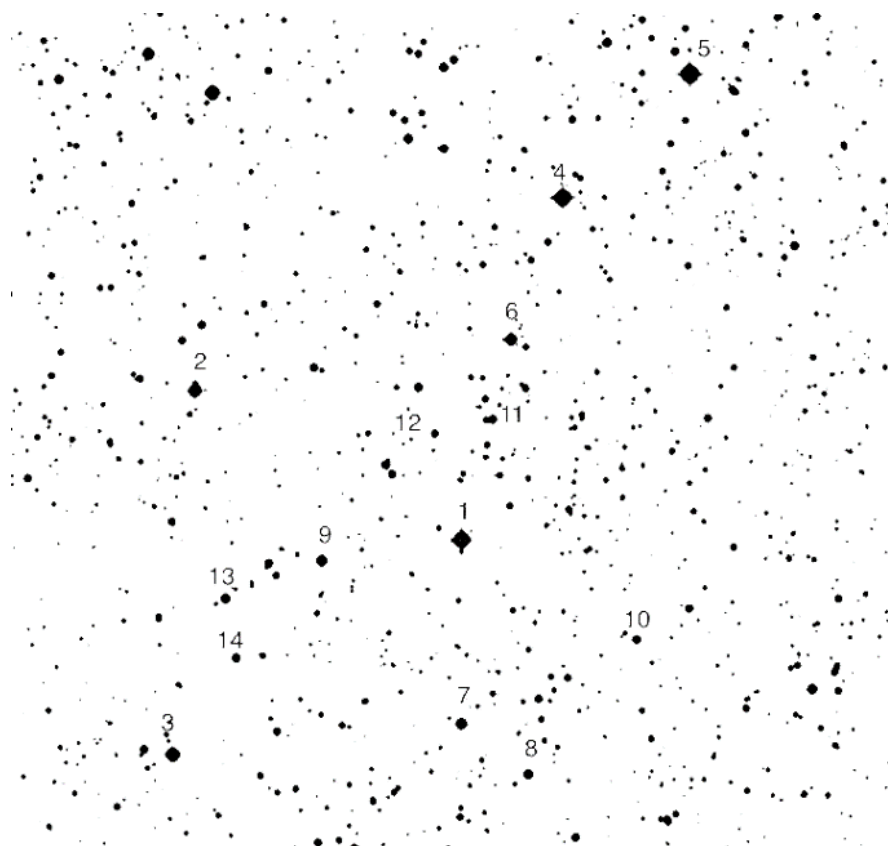


Рисунок 3.3.3 – Карта окрестностей объекта AS 78

1 – AS 78; 2 – GSC 03721-00149; 3 – TYC 3721-932-1; 4 – TYC 3725-620-1; 5 – TYC 3725-796-1; 6 – RA 03:58:53.70, DEC 56:14:25.66; 7 – RA 03:58:59.37, DEC 56:08:15.00; 8 – RA 03:58:51.69, DEC 56:07:26.30; 9 – RA 03:59:15.46, DEC 56:10:52.05; 10 – RA 03:58:38.94, DEC 56:09:37.93; 11 – RA 03:58:55.70, DEC 56:13:8.77; 12 – RA 03:59:2.591, DEC 56:12:54.93; 13 – RA 03:59:26.65, DEC 56:10:15.65; 14 – RA 03:59:25.37, DEC 56:09:19.16

Звездами сравнения для AS 78 были выбраны объекты GYC 03721-00149 и TYC 3721-932-1. Звездные величины звезд сравнения в стандартной фотометрической системе были найдены в каталоге UCAC4 [77].

Далее в программе DS9 определялся радиальный профиль звезды, были найдены звездные величины исследуемых объектов в программе IRAF, используя команду *imexam*. При этом определялся радиус диафрагмы от 5 до 15 пикселей, внутри которой происходило интегрирование потока излучения от измеряемых звезд.

### 3.4 Спектроскопия объекта HD 45677

В спектрах звезды FS CMa, полученных с 25.12.2004 г. по 25.12.2021 г. были измерены следующие спектральные линии:

- H $\alpha$ : EW, голубой пик, RV голубого пика, центральная депрессия, RV центральной депрессии, красный пик, RV красного пика, отношение V/R, разность RV красного пика-RV голубого пика;

- H $\beta$ : голубой пик, RV голубого пика, центральная депрессия, RV центральной депрессии, красный пик, RV красного пика, отношение V/R, разность RV красного пика-RV голубого пика;

- He I на длинах волн 4471.48 Å, 5875.63 Å, 6678.15 Å, 7065 Å; линия интенсивности, EW, RV;

- Mg II на длине волны 4481.23 Å; линия интенсивности, EW, RV;

- Na I на длинах волн 5889.95 Å, 5895.92 Å; линия интенсивности, EW, RV;

- O I на длине волны 6300 Å; линия интенсивности, EW, RV.

Измерения спектральной линии H $\alpha$  объекта HD 45677, проведенные автором, приведены в таблице 3.4.1.

Таблица 3.4.1 – Параметры спектральной линии H $\alpha$  (6563 Å) объекта HD 45677

HJD	H $\alpha$ EW	H $\alpha$ с.п.		RV с.п.	H $\alpha$ ц.д.		RV ц.д.	H $\alpha$ к.п.		RV к.п.	H $\alpha$ V/R	RV <sub>к.п.-</sub> RV <sub>г.п.</sub>
		Л.и.	$\lambda$ H $\alpha$		Л.и.	$\lambda$ H $\alpha$		Л.и.	$\lambda$ H $\alpha$			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
<i>TCO</i>												
2456625.792	142.1	18.68	6561.80	-46.63	12.27	6562.85	1.37	27.82	6564.12	59.43	0.67	106.05
2456625.792	142.1	18.68	6561.80	-46.63	12.27	6562.85	1.37	27.82	6564.12	59.43	0.67	106.05
2456628.767	134.0	17.61	6561.85	-44.34	11.61	6562.85	1.37	26.56	6564.20	63.08	0.66	107.42
2456637.735	120.2	15.64	6561.94	-40.23	10.30	6562.90	3.66	24.90	6564.23	64.45	0.63	104.68
2456639.778	142.5	18.17	6561.93	-40.68	11.77	6562.98	7.31	28.62	6564.31	68.11	0.63	108.79
2456642.760	156.4	20.02	6561.95	-39.77	12.50	6562.98	7.31	31.71	6564.39	71.77	0.63	111.54
2456653.710	155.6	19.29	6562.18	-29.26	12.25	6563.10	12.80	31.65	6564.49	76.34	0.61	105.59
2456654.714	147.0	18.22	6562.18	-29.26	11.53	6563.12	13.71	30.21	6564.51	77.25	0.60	106.51
2456661.678	145.8	17.98	6562.12	-32.00	11.30	6563.17	16.00	30.95	6564.53	78.17	0.58	110.17
2456670.690	168.4	20.26	6562.14	-31.08	13.34	6563.24	19.20	35.94	6564.64	83.20	0.56	114.28
2456674.671	150.8	18.97	6562.10	-32.91	12.10	6563.24	19.20	33.00	6565.59	126.62	0.57	159.54
2456677.688	150.1	19.10	6562.01	-37.03	12.19	6563.31	22.40	32.59	6564.64	83.20	0.59	120.22
2456678.624	140.1	17.76	6562.17	-29.71	11.18	6563.33	23.31	29.86	6564.66	84.11	0.59	113.82
2456682.617	154.3	18.88	6562.23	-26.97	12.55	6563.37	25.14	32.90	6564.68	85.02	0.57	111.99
2456689.623	146.0	18.64	6562.19	-28.80	11.59	6563.38	25.60	31.65	6564.80	90.51	0.59	119.31
2457061.616	140.4	15.92	6562.12	-32.00	10.60	6563.07	11.43	29.31	6564.49	76.34	0.54	108.34
2457097.512	161.2	18.05	6561.96	-39.31	11.85	6563.13	14.17	32.68	6564.56	79.54	0.55	118.85
2457418.610	174.3	21.49	6561.79	-47.08	12.50	6563.04	10.06	37.46	6564.51	77.25	0.57	124.34
2457430.595	162.2	19.02	6561.83	-45.25	11.20	6563.06	10.97	34.20	6564.53	78.17	0.56	123.42
2457437.576	168.4	19.40	6561.81	-46.17	12.07	6563.03	9.60	35.90	6564.54	78.62	0.54	124.79
2457445.550	171.6	19.90	6561.80	-46.63	12.21	6563.06	10.97	37.66	6564.53	78.17	0.53	124.79
2457737.686	171.6	23.87	6561.63	-54.40	12.37	6563.08	11.89	32.63	6564.70	85.94	0.73	140.34
2457782.621	166.0	20.45	6561.99	-37.94	11.99	6563.09	12.34	33.50	6564.62	82.28	0.61	120.22
2457815.558	154.5	19.44	6561.99	-37.94	11.48	6563.08	11.89	29.77	6564.56	79.54	0.65	117.48
2457829.518	166.5	19.46	6562.02	-36.57	12.37	6563.06	10.97	33.06	6564.57	80.00	0.59	116.57
2458101.707	172.6	23.21	6561.91	-41.60	12.56	6563.11	13.26	33.12	6564.58	80.45	0.70	122.05
2458103.726	155.2	20.74	6561.95	-39.77	11.59	6563.10	12.80	29.27	6564.60	81.37	0.71	121.14
2458120.692	170.9	22.06	6562.06	-34.74	12.44	6563.13	14.17	34.62	6564.60	81.37	0.64	116.11
2458123.665	164.4	21.74	6562.03	-36.11	12.04	6563.13	14.17	33.74	6564.57	80.00	0.64	116.11
2458125.687	181.2	23.86	6562.08	-33.83	13.34	6563.13	14.17	37.57	6564.61	81.82	0.64	115.65
2458134.657	160.4	21.56	6562.03	-36.11	11.60	6563.18	16.46	30.50	6564.71	86.40	0.71	122.51
2458139.653	162.4	22.17	6561.97	-38.86	12.54	6563.13	14.17	32.27	6564.59	80.91	0.69	119.77
2458142.626	188.9	24.59	6561.96	-39.31	14.05	6563.12	13.71	37.64	6564.57	80.00	0.65	119.31

Продолжение таблицы 3.4.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
2458144.634	177.1	23.07	6562.02	-36.57	12.63	6563.10	12.80	36.12	6564.53	78.17	0.64	114.74
2458149.601	180.8	23.46	6562.07	-34.28	13.17	6563.12	13.71	37.66	6564.53	78.17	0.62	112.45
2458150.615	173.9	22.64	6562.09	-33.37	12.86	6563.12	13.71	36.27	6564.54	78.62	0.62	111.99
2458155.616	172.1	22.81	6562.15	-30.63	12.55	6563.11	13.26	37.12	6564.51	77.25	0.61	107.88
2458158.603	177.4	23.42	6562.11	-32.46	12.56	6563.13	14.17	37.63	6564.49	76.34	0.62	108.79
2458180.528	156.6	20.26	6562.02	-36.57	11.87	6563.10	12.80	32.08	6564.55	79.08	0.63	115.65
2458182.546	162.8	20.48	6561.98	-38.40	12.23	6563.11	13.26	31.47	6564.51	77.25	0.65	115.65
2458185.526	154.2	19.54	6562.06	-34.74	11.28	6563.13	14.17	31.72	6564.53	78.17	0.62	112.91
2458200.523	164.8	20.69	6562.05	-35.20	11.81	6563.11	13.26	34.36	6564.47	75.42	0.60	110.62
2458214.523	173.0	21.59	6562.06	-34.74	12.67	6563.09	12.34	35.06	6564.50	76.80	0.62	111.54
2458443.824	198.0	27.99	6561.72	-50.28	14.21	6563.13	14.17	39.51	6564.56	79.54	0.71	129.82
2458470.727	223.2	31.23	6561.78	-47.54	14.78	6563.14	14.63	40.38	6564.56	79.54	0.77	127.08
2458475.740	178.7	24.95	6561.79	-47.08	13.09	6563.13	14.17	34.48	6564.58	80.45	0.72	127.54
2458479.710	192.6	25.81	6561.76	-48.45	13.56	6563.14	14.63	36.33	6564.57	80.00	0.71	128.45
2458489.694	217.4	29.57	6561.73	-49.83	14.56	6563.15	15.08	41.78	6564.58	80.45	0.71	130.28
2458499.664	211.4	29.99	6561.74	-49.37	14.66	6563.11	13.26	41.12	6564.55	79.08	0.73	128.45
2458510.648	183.3	24.51	6561.82	-45.71	13.74	6563.11	13.26	37.63	6564.42	73.14	0.65	118.85
2458561.515	158.9	19.46	6561.58	-56.68	11.14	6563.17	16.00	31.78	6564.61	81.82	0.61	138.51
2458823.790	191.1	27.56	6561.92	-41.14	13.67	6563.12	13.71	35.66	6564.51	77.25	0.77	118.39
2458837.714	173.5	25.61	6561.89	-42.51	13.30	6563.10	12.80	33.59	6564.50	76.80	0.76	119.31
2458877.623	163.7	22.48	6561.91	-41.60	11.99	6563.12	13.71	32.88	6564.51	77.25	0.68	118.85
2458897.563	187.5	26.01	6561.82	-45.71	13.75	6563.12	13.71	38.86	6564.51	77.25	0.67	122.97
2458902.554	174.1	24.52	6561.88	-42.97	12.57	6563.12	13.71	35.19	6564.50	76.80	0.70	119.77
2459173.778	183.5	26.87	6561.93	-40.68	12.88	6563.13	14.17	34.76	6564.50	76.80	0.77	117.48
2459175.820	187.4	26.62	6561.95	-39.77	13.04	6563.12	13.71	34.96	6564.53	78.17	0.76	117.94
2459177.780	168.2	23.81	6561.95	-39.77	12.37	6563.11	13.26	32.23	6564.48	75.88	0.74	115.65
2459185.787	182.9	24.56	6561.97	-38.86	13.16	6563.11	13.26	35.90	6564.50	76.80	0.68	115.65
2459191.755	174.7	23.41	6562.01	-37.03	12.95	6563.10	12.80	34.20	6564.47	75.42	0.68	112.45
2459194.733	175.6	23.94	6562.05	-35.20	12.99	6563.13	14.17	33.66	6564.58	80.45	0.71	115.65
2459210.726	196.7	25.82	6561.83	-45.25	13.64	6563.14	14.63	38.89	6564.50	76.80	0.66	122.05
2459213.692	185.9	25.27	6561.86	-43.88	13.59	6563.13	14.17	36.27	6564.54	78.62	0.70	122.51
2459221.662	188.9	25.21	6561.85	-44.34	13.83	6563.14	14.63	37.46	6564.53	78.17	0.67	122.51
2459225.697	183.3	25.28	6561.88	-42.97	13.30	6563.12	13.71	36.77	6564.51	77.25	0.69	120.22
2459233.655	201.8	27.01	6561.94	-40.23	14.54	6563.14	14.63	38.15	6564.49	76.34	0.71	116.57
2459237.654	184.4	24.73	6561.98	-38.40	14.26	6563.13	14.17	35.80	6564.50	76.80	0.69	115.19
2459277.559	172.7	24.50	6562.15	-30.63	13.62	6563.15	15.08	36.67	6564.51	77.25	0.67	107.88
2459485.888	143.9	18.50	6561.86	-43.88	10.86	6563.10	12.80	28.02	6564.36	70.40	0.66	114.28
2459520.837	135.0	17.17	6561.92	-41.14	10.37	6563.11	13.26	27.00	6564.32	68.57	0.64	109.71
2459527.799	146.3	17.84	6561.88	-42.97	10.87	6563.12	13.71	28.94	6564.33	69.03	0.62	111.99
2459532.820	127.9	16.18	6561.84	-44.80	9.64	6563.11	13.26	26.08	6564.39	71.77	0.62	116.57
2459557.705	128.7	17.98	6561.79	-47.08	10.21	6563.12	13.71	26.95	6564.53	78.17	0.67	125.25
2459562.767	153.3	21.38	6561.80	-46.63	11.32	6563.10	12.80	30.29	6564.52	77.71	0.71	124.34
2459574.744	151.5	22.37	6561.71	-50.74	11.01	6563.13	14.17	30.59	6564.62	82.28	0.73	133.02
2456628.767	134.0	17.61	6561.85	-44.34	11.61	6562.85	1.37	26.56	6564.20	63.08	0.66	107.42
2456637.735	120.2	15.64	6561.94	-40.23	10.30	6562.90	3.66	24.90	6564.23	64.45	0.63	104.68
2456639.778	142.5	18.17	6561.93	-40.68	11.77	6562.98	7.31	28.62	6564.31	68.11	0.63	108.79
2456642.760	156.4	20.02	6561.95	-39.77	12.50	6562.98	7.31	31.71	6564.39	71.77	0.63	111.54
2456653.710	155.6	19.29	6562.18	-29.26	12.25	6563.10	12.80	31.65	6564.49	76.34	0.61	105.59
<i>HCT</i>												
2458470.192	119.2	17.52	6561.59	-56.23	8.31	6562.87	2.29	16.75	6564.51	77.25	1.05	133.48
2458524.060	156.4	21.02	6561.85	-44.34	9.41	6563.01	8.69	34.34	6564.32	68.57	0.61	112.91
<i>SPM</i>												
2453653.969	205.5	26.38	6561.38	-65.83	19.29	6562.61	-9.60	37.05	6564.05	56.23	0.71	122.05
2453656.956	149.1	17.84	6561.36	-66.74	16.06	6562.28	-24.68	23.56	6563.77	43.43	0.76	110.17
2454082.918	133.7	16.86	6561.90	-42.06	13.34	6562.82	0.00	24.88	6564.38	71.31	0.68	113.37

Продолжение таблицы 3.4.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
2454083.974	150.4	18.76	6561.94	-40.23	14.26	6563.01	8.69	26.79	6564.45	74.51	0.70	114.74
2454084.885	160.6	20.12	6561.84	-44.80	14.79	6562.95	5.94	29.84	6564.42	73.14	0.67	117.94
2454085.775	156.2	19.72	6561.84	-44.80	15.24	6562.96	6.40	29.03	6564.41	72.68	0.68	117.48
2454413.035	229.6	30.52	6561.69	-51.65	19.94	6562.94	5.49	39.87	6564.38	71.31	0.77	122.97
2454415.952	219.3	28.74	6561.53	-58.97	18.96	6562.79	-1.37	37.78	6564.23	64.45	0.76	123.42
2454421.867	206.2	28.79	6561.62	-54.85	16.85	6562.83	0.46	36.13	6564.28	66.74	0.80	121.59
2454425.004	188.7	22.28	6561.15	-76.34	19.64	6561.86	-43.88	28.19	6563.92	50.28	0.79	126.62
2454744.995	184.5	21.68	6561.82	-45.71	15.22	6563.00	8.23	32.63	6564.33	69.03	0.66	114.74
2454745.967	193.8	23.10	6561.81	-46.17	15.61	6562.97	6.86	35.36	6564.37	70.85	0.65	117.02
2454747.998	163.6	19.78	6561.87	-43.43	13.88	6563.03	9.60	30.70	6564.42	73.14	0.64	116.57
2454748.963	163.4	19.77	6561.84	-44.80	13.29	6563.00	8.23	30.42	6564.44	74.05	0.65	118.85
2455140.912	126.8	16.75	6562.07	-34.28	11.06	6563.15	15.08	23.63	6564.63	82.74	0.71	117.02
2455485.018	163.2	20.81	6561.38	-65.83	13.22	6562.33	-22.40	30.82	6563.73	41.60	0.68	107.42
2455488.020	155.2	19.70	6561.42	-64.00	12.87	6562.38	-20.11	29.84	6563.76	42.97	0.66	106.97
2455866.977	159.5	21.25	6562.07	-34.28	13.33	6563.29	21.48	29.81	6564.73	87.31	0.71	121.59
2455869.012	149.5	20.21	6562.12	-32.00	13.69	6563.32	22.86	28.84	6564.76	88.68	0.70	120.68
2455869.963	162.3	21.68	6562.02	-36.57	14.33	6563.26	20.11	29.37	6564.71	86.40	0.74	122.97
2455872.018	174.4	23.06	6560.27	-116.57	14.05	6561.48	-61.25	32.21	6562.90	3.66	0.72	120.22
2456244.931	166.8	22.07	6562.23	-26.97	13.50	6563.25	19.66	31.10	6564.68	85.02	0.71	111.99
2456249.958	173.0	22.86	6562.12	-32.00	14.68	6563.24	19.20	31.65	6564.69	85.48	0.72	117.48
2456583.001	179.9	24.52	6562.08	-33.83	14.80	6563.20	17.37	34.23	6564.59	80.91	0.72	114.74
2457301.008	173.7	16.84	6562.09	-33.37	12.92	6563.07	11.43	35.07	6564.48	75.88	0.48	109.25
2457302.008	154.9	15.67	6562.14	-31.08	11.83	6563.10	12.80	31.27	6564.49	76.34	0.50	107.42
2457677.003	194.3	23.58	6561.87	-43.43	14.43	6563.13	14.17	33.45	6564.59	80.91	0.70	124.34
2457677.997	195.1	23.50	6561.77	-48.00	14.20	6563.04	10.06	34.28	6564.48	75.88	0.69	123.88
2458053.934	180.4	22.57	6561.95	-39.77	12.07	6563.04	10.06	33.49	6564.45	74.51	0.67	114.28
2458095.911	196.1	25.13	6561.91	-41.60	14.16	6563.17	16.00	35.31	6564.69	85.48	0.71	127.08
<i>MCD</i>												
2453721.852	74.9	12.07	6562.14	-31.08	6.78	6563.08	11.89	17.37	6564.44	74.05	0.69	105.14
2453723.805	80.1	12.34	6562.13	-31.54	7.08	6563.09	12.34	18.59	6564.41	72.68	0.66	104.22
2453724.859	73.0	11.46	6562.15	-30.63	6.16	6563.08	11.89	17.10	6564.42	73.14	0.67	103.77
2454092.796	91.8	12.67	6562.11	-32.46	8.13	6563.05	10.51	20.75	6564.46	74.97	0.61	107.42
2454095.847	96.3	13.40	6562.08	-33.83	7.56	6563.06	10.97	21.49	6564.50	76.80	0.62	110.62
2454096.804	92.9	12.79	6562.07	-34.28	7.41	6563.05	10.51	21.09	6564.48	75.88	0.61	110.17
2454097.877	93.0	12.53	6562.05	-35.20	7.53	6563.05	10.51	21.60	6564.47	75.42	0.58	110.62
2454815.809	101.4	13.31	6562.07	-34.28	7.73	6563.03	9.60	22.04	6564.52	77.71	0.60	111.99
<i>CFHT</i>												
2453363.889	209.9	28.09	6561.90	-42.06	12.68	6563.08	11.89	35.46	6564.49	76.34	0.79	118.39
2457284.650	131.9	14.34	6562.09	-33.37	9.22	6563.05	10.51	29.75	6564.49	76.34	0.48	109.71
2457290.652	126.5	13.52	6562.08	-33.83	9.56	6563.05	10.51	28.54	6564.42	73.14	0.47	106.97
2457295.653	126.3	13.47	6562.13	-31.54	8.93	6563.05	10.51	28.24	6564.42	73.14	0.48	104.68
2457325.573	134.9	15.26	6561.65	-53.48	9.46	6563.04	10.06	29.96	6564.45	74.51	0.51	127.99
2457409.490	129.9	16.65	6561.80	-46.63	8.40	6563.04	10.06	28.72	6564.51	77.25	0.58	123.88
2457415.505	141.5	18.18	6561.76	-48.45	8.85	6563.04	10.06	31.70	6564.51	77.25	0.57	125.71
2458066.484	129.3	16.86	6562.11	-32.46	8.83	6563.06	10.97	26.64	6564.50	76.80	0.63	109.25
2458441.601	93.9	15.43	6561.76	-48.45	5.98	6563.08	11.89	21.29	6564.49	76.34	0.72	124.79
2458442.405	120.8	19.97	6561.72	-50.28	6.88	6563.09	12.34	27.74	6564.47	75.42	0.72	125.71
2459180.447	96.3	15.08	6561.94	-40.23	6.21	6563.08	11.89	21.93	6564.40	72.23	0.69	112.45
2459181.466	91.4	14.23	6561.95	-39.77	5.80	6563.09	12.34	21.17	6564.43	73.60	0.67	113.37

В таблице 3.4.1 в первой колонке приведена гелиоцентрическая юлианская дата; во второй – эквивалентная ширина спектральной линии H $\alpha$ ; в третьей – линия интенсивности синесмещенного пика линии H $\alpha$ ; в

четвертой – длина волны линии  $H\alpha$  синесмещенного пика линии  $H\alpha$ ; в пятой – лучевая скорость синесмещенного пика линии  $H\alpha$ ; в шестой – линия интенсивности центральной депрессии линии  $H\alpha$ ; в седьмой – длина волны линии  $H\alpha$  центральной депрессии линии  $H\alpha$ ; в восьмой – лучевая скорость центральной депрессии линии  $H\alpha$ ; в девятой – линия интенсивности красномещенного пика линии  $H\alpha$ ; в десятой – длина волны линии  $H\alpha$  красномещенного пика линии  $H\alpha$ ; в одиннадцатой – лучевая скорость красномещенного пика линии  $H\alpha$ ; в двенадцатой – отношение интенсивности синесмещенного пика к красномещенному пику линии  $H\alpha$ ; в тринадцатой – разность лучевой скорости красномещенного и синесмещенного пика.

Измерения других спектральных линий приведены в Приложении А. На рисунке 3.4.1 представлена диаграмма переменности эквивалентной ширины (EW) линии  $H\alpha$ . Впервые, EW была измерена во всех спектрах (~100 спектров), полученных на различных обсерваториях. Итогом измерений автор получил довольно сильную переменность, из которой можно сделать вывод о том, что оболочка является плотной. Никакие периодические явления по данному результату не наблюдаются, однако звезда не теряла своего блеска за последние 20 лет, соответственно, количество вещества в оболочке менялось незначительно, так как EW является отражением количества ионизованных атомов. Небольшая переменность, свидетельствующая о наличии околозвездной оболочки и о том, что она не стала гораздо больше. EW является мерой количества энергии, излучаемой в линии, выраженной в единицах континуума, которая измеряется в ангстремах (Å).

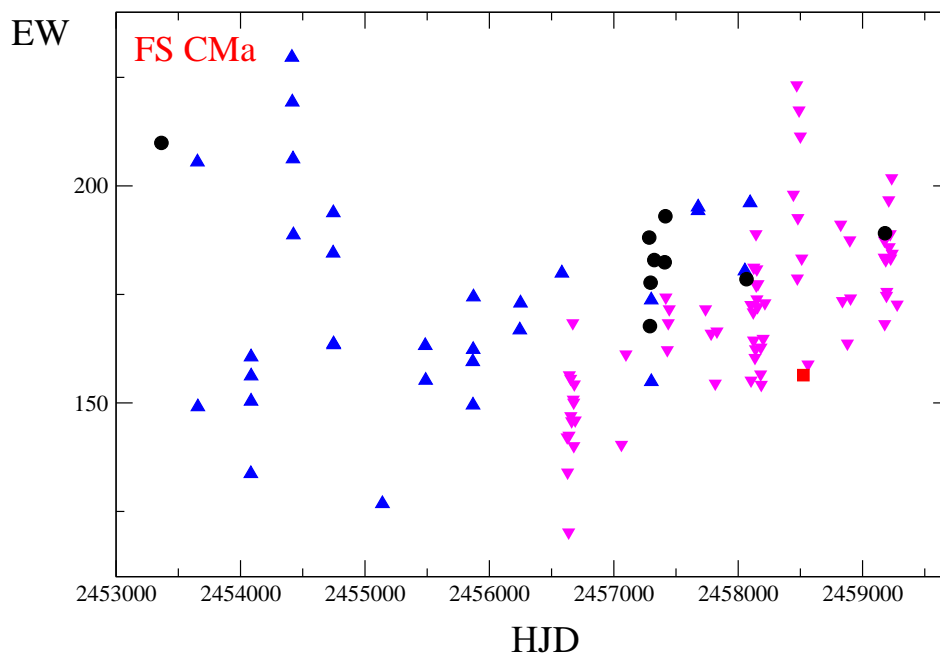
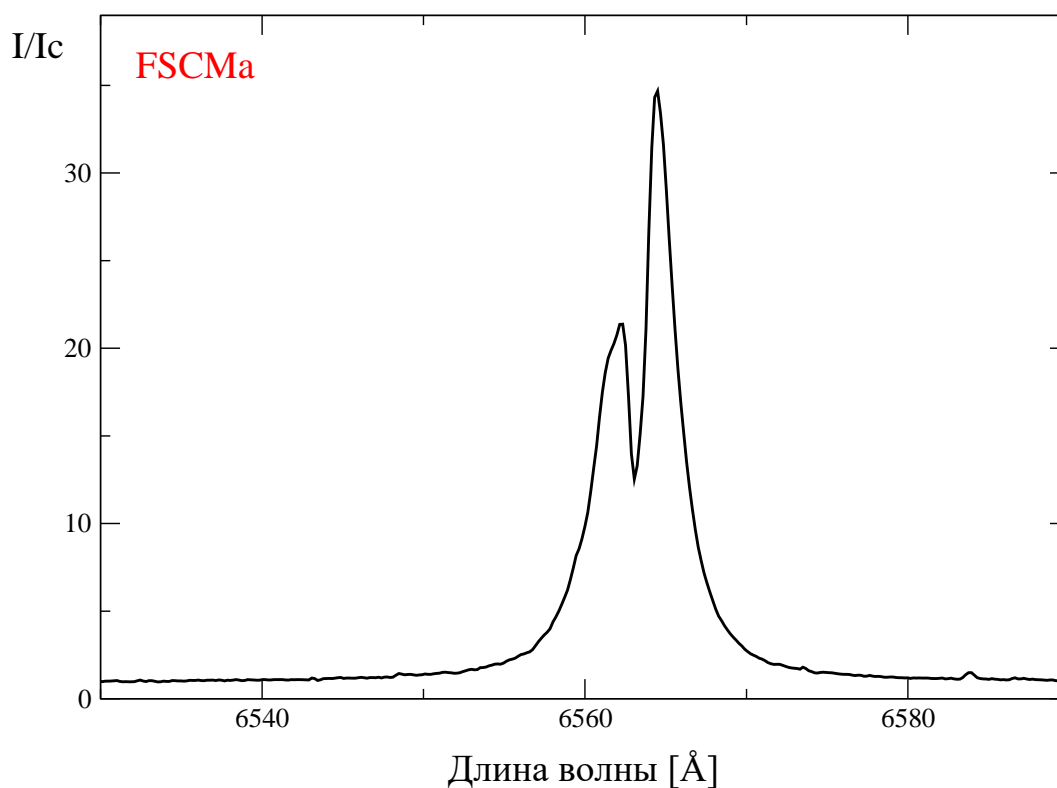


Рисунок 3.4.1 – Переменность эквивалентной ширины (EW) линии  $H\alpha$

На рисунке 3.4.1 показаны обсерватории: лиловые перевернутые треугольники – TCO, синие треугольники – SPM, черные круги – CFHT, красные квадраты – HST.

Двухпиковые профили Бальмеровских эмиссионных линий в спектре FS CMa, образуются во вращающемся диске вокруг звезды (рисунок 3.4.2). Длина волны к интенсивности по отношению к интенсивности континуума. Смещенный относительно длины волны стационарной (лабораторной) в длинноволновую сторону пик образуется в части диска, который удаляется от наблюдателя, в то время как пик смещенный в голубую (коротковолновую) сторону, образуется в той части диска, которая движется в сторону наблюдателя. Отношение интенсивности пика голубого пика к интенсивности красного пика меньше 1. В зависимости от угла наклона данного диска к лучу зрения, получаются разные провалы (центральная депрессия) между двумя пиками. Чем ближе к плоскости диска мы смотрим (когда мы смотрим через диск), тем провал больше. Когда мы смотрим практически в картинную плоскость (диск перпендикулярен лучу зрения), тогда эти пики сближаются и даже сливаются. В случае объекта FS CMa видно, что мы практически смотрим в плоскость диска (через диск), в следствие чего видим такие сильные провалы. Слабость голубого пика, по сравнению с красным пиком, скорее всего, говорит о том, что излучение проходит через какую-то часть пылевой оболочки и поглощается.



а) линия H $\alpha$

Рисунок 3.4.2 – Бальмеровские эмиссионные линии в спектре FS CMa

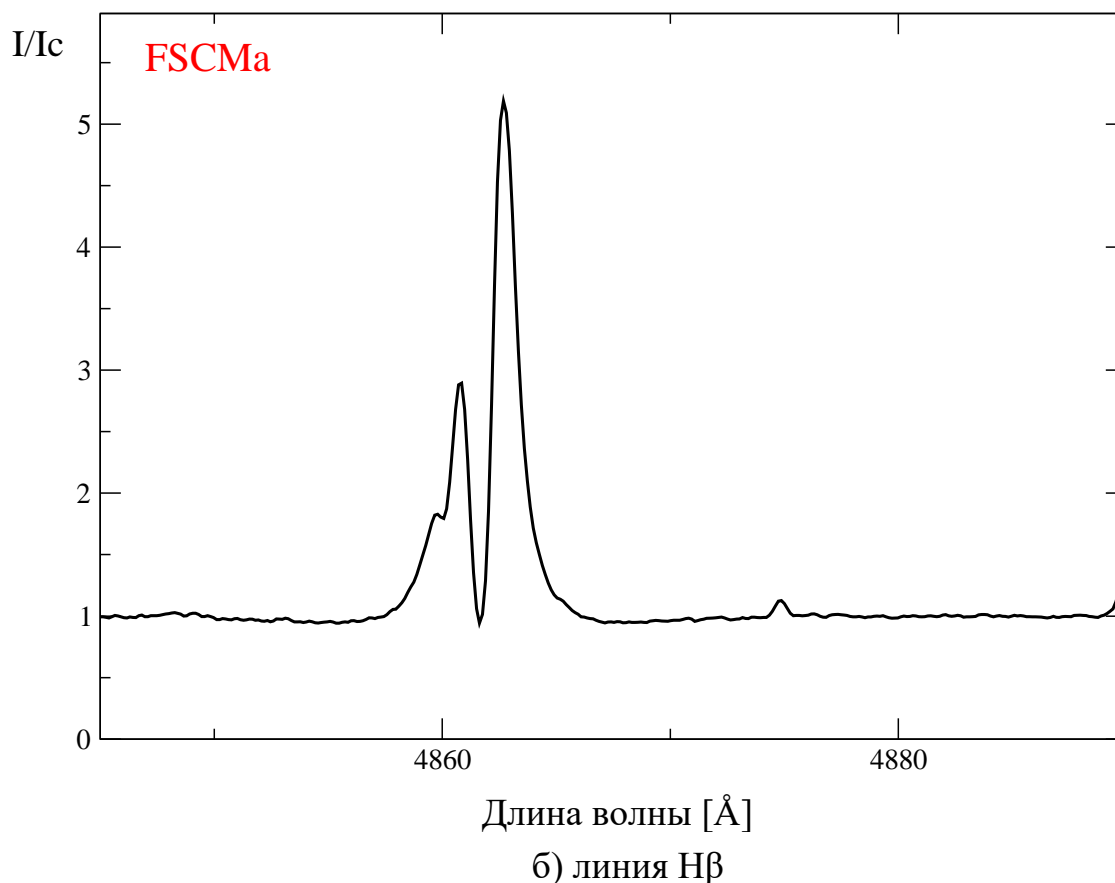


Рисунок 3.4.2 – Бальмеровские эмиссионные линии в спектре FS CMa

Спектр, представленный на рисунке 3.4.2 получен на Canada-France-Hawaii Telescope (CFHT) 9 ноября 2017 года (спектральное разрешение  $R=65000$ ). По вертикальной оси интенсивность по отношению к интенсивности континуума, по горизонтальной – длины волн в ангстремах (Å).

Коротковолновый пик имеет меньшую интенсивность в спектрах многих объектов типа FS CMa, что, скорее всего, связано с прохождением излучения от него через поглощающую пылевую оболочку. Излучение от второго пика подвергается меньшему влиянию пыли за счет наклона диска к лучу зрения. Из данного графика следует, что луч зрения проходит почти через плоскость диска звезды FS CMa.

Линия H $\alpha$  является всегда более сильной, чем линия H $\beta$ , что отражает распределение электронов (населенность) по энергетическим уровням в атоме водорода. Линия H $\alpha$  образуется при переходах электронов с 3-го уровня на 2-ой, H $\beta$  – с 4-го на 2-ой. На третьем уровне электроны находятся у большего количества атомов, по сравнению с 4-ым уровнем, что отражается в интенсивностях линий. H $\alpha$  – это очень сильная линия, на которой максимум приходится на 35 единиц интенсивности континуума, что говорит о том, что в оболочке очень много ионизованного газа, потому что только

ионизованный газ излучает эмиссионные линии. В данном случае, свободные электроны захватываются атомами и когда они перемещаются между уровнями происходит излучение фотонов в линиях.

Для описания переменности профиля линий  $H\alpha$  и  $H\beta$  измерялась интенсивность обоих пиков и центральной депрессии. Отношение интенсивностей голубого и красного пиков для этих линий показано на рисунках 3.4.3 и 3.4.4.

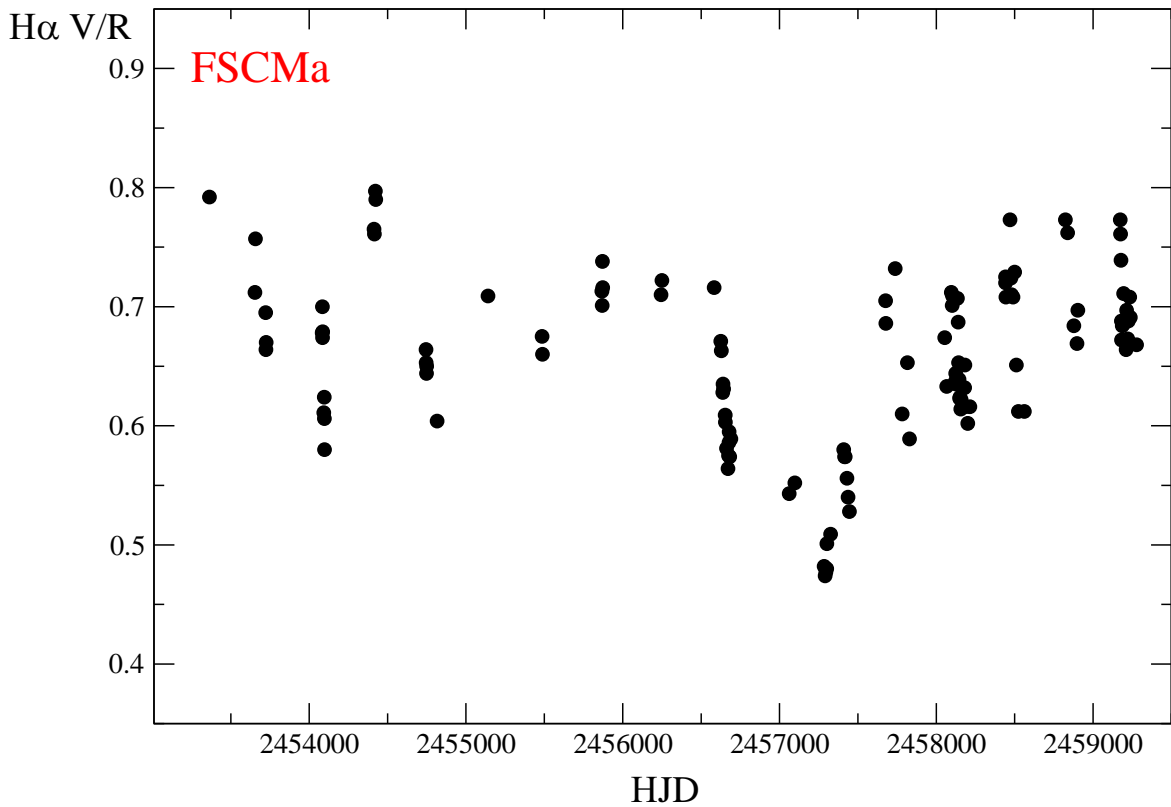


Рисунок 3.4.3 – Переменность отношений интенсивности голубого к интенсивности красного пика для линии  $H\alpha$  в спектре объекта HD 45677 (FS CMa). По горизонтальной оси отложено время в Юлианских днях



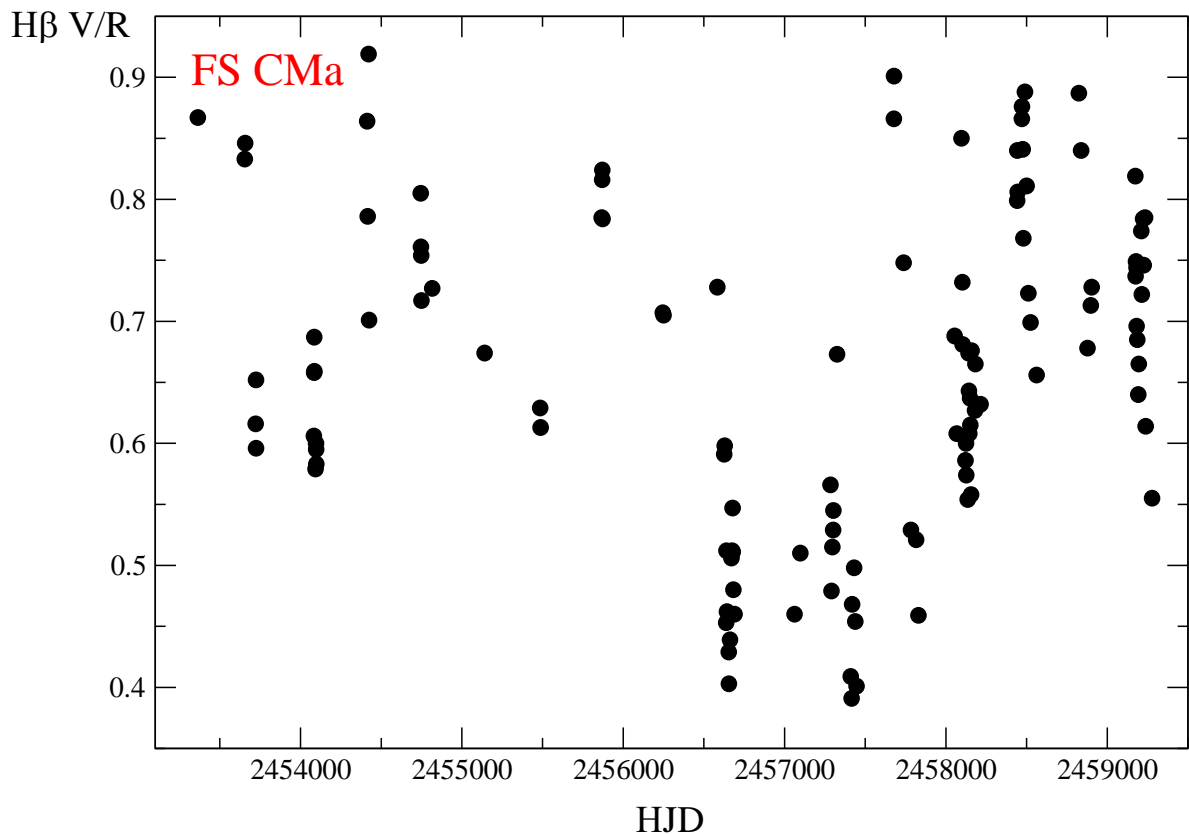
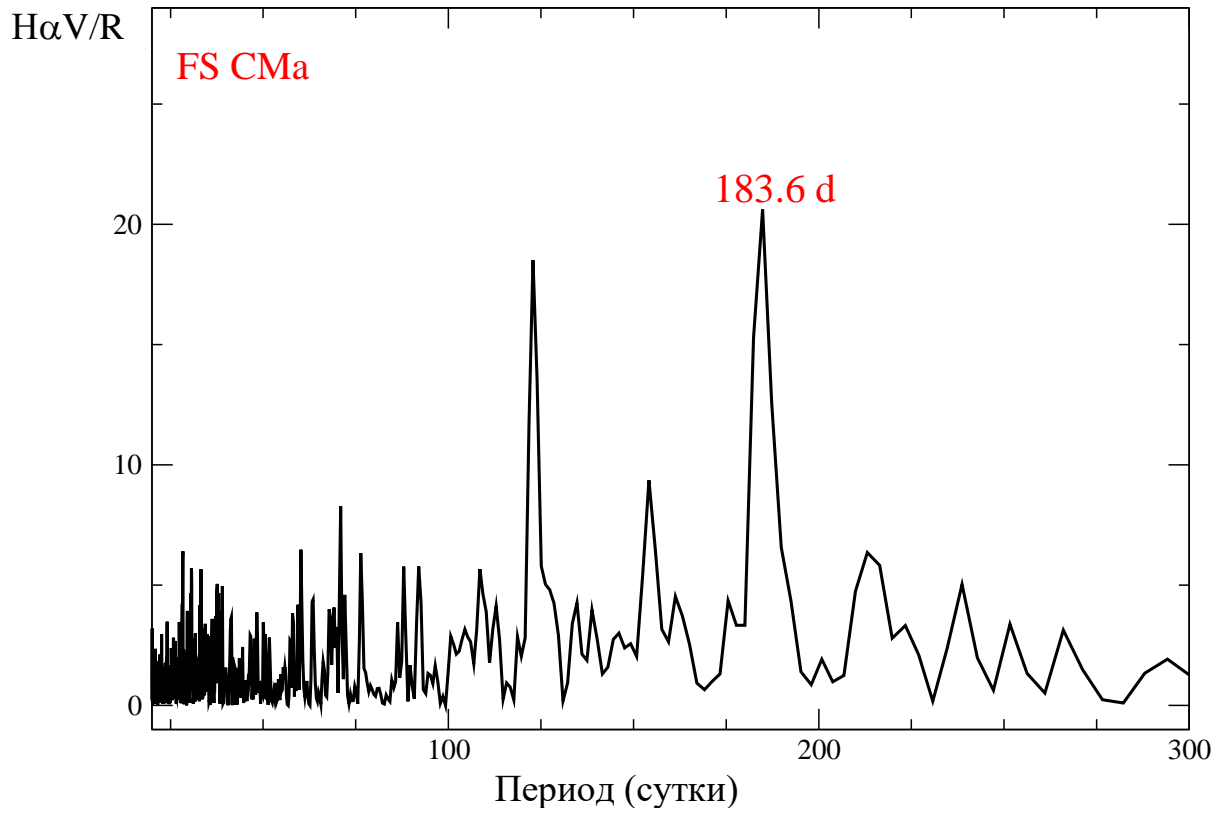
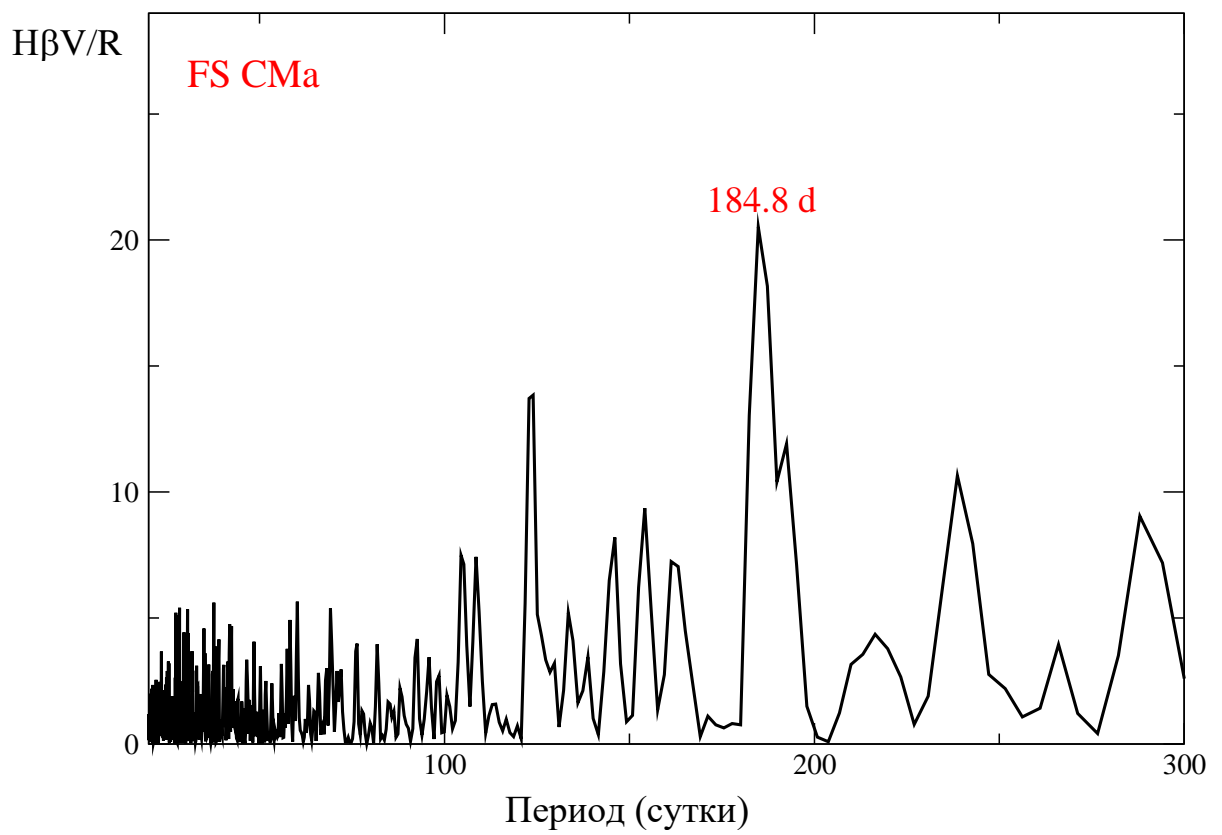


Рисунок 3.4.4 – Переменность отношений интенсивности голубого к интенсивности красного пика для линии  $H\beta$  в спектре объекта HD 45677 (FS CMa). По горизонтальной оси отложено время в Юлианских днях

При измерении переменности отношений интенсивности эмиссионных пиков линий  $H\alpha$  и  $H\beta$ , использовались профили линий, приведенные на рисунке 3.4.2, по которым были построены данные диаграммы. Значения  $V/R$  наблюдались в интервале от 0.47 до 0.8 ( $H\alpha$ ), от 0.40 до 0.92 ( $H\beta$ ). Данный график был проанализирован с помощью периодограммного анализа NASA Exoplanet Archive [78]. Во всех случаях голубой пик, смещенный в коротковолновую сторону был меньше пика, который смещен в длинноволновую сторону. Никакой периодичности на диаграммах не наблюдается, однако Фурье анализ позволил обнаружить наиболее вероятный период регулярных изменений, представленный на рисунке 3.4.5.



а) линия  $H\alpha$



б) линия  $H\beta$

Рисунок 3.4.5 – Спектр мощности преобразования Фурье линии  $H\alpha$  и  $H\beta$

Временной ряд отношений интенсивностей пиков в профилях линий  $H\alpha$  и  $H\beta$  объекта FS CMa, показанный на рисунке 3.4.5, был обработан программой [78], рассчитывающей преобразование Фурье для поиска периодической составляющей в изменениях измеренного параметра. Результат этой процедуры показан на рисунках для каждой линии. На спектрах мощности высота пиков представляет вероятность периодического процесса с соответствующим периодом. Для обеих линий наиболее вероятным оказался период в 184 суток. Такое явление наблюдалось в переменности пиков в профилях линий некоторых двойных Be звезд (эмиссионных объектов с околозвездными газовыми дисками). Во всех случаях период изменения отношений пиков в профилях линий был равен орбитальному периоду двойной системы, определенному по другим данным (например, периодическому изменению положений спектральных линий из-за гравитационного взаимодействия между компонентами двойной системы). При этом периодичность изменения отношений пиков линий объясняется образованием сгущения в околозвездном диске, видимо, вследствие влияния гравитационного поля второго компонента системы. Такая интерпретация возможна и для объекта FS CMa, что может являться подтверждением его двойственности, ранее обнаруженной спектро-астрометрическими наблюдениями этого объекта, но не проверенным другими методами. В любом случае, найденная периодичность является новым результатом, полученным на основе большого количества спектральных наблюдений.

Данный результат можно считать свидетельством двойственности, поскольку обе водородные линии образуются в околозвездной оболочке, периодически меняющееся отношение интенсивности пиков, скорее всего, является следствием орбитального движения неоднородности (уплотнения) в оболочке. Подобный эффект наблюдался в профилях линий Be звезд, окруженных чисто газовыми диски. В случае Be звезд было однозначно установлено, что такое уплотнение движется синхронно со вторичным компонентом в двойной системе и, вероятно, является результатом гравитационного взаимодействия между компонентами и оболочкой, а для звезд типа FS CMa установлено не было. В данном случае можно применить эту гипотезу, а также первоначальную гипотезу Мирошниченко А.С. о двойственности этих звезд [21]. Так как ни эволюционной стадии ГП, ни сразу после ее окончания, одиночная звезда спектрального класса В не может создать такую оболочку вследствие малого темпа потери вещества с ее поверхности.

На примере нескольких Be звезд было показано, что периодические изменения отношения пиков в двухпиковых профилях водородных линий, происходят с тем же периодом, что и орбитальный период системы. Это можно объяснить тем, что в оболочке движется облако [79], в котором происходит излучение фотонов в тех же линиях и это облако движется вокруг главной звезды, в ее диске. Причиной возникновения такого облака, возможно, является гравитационное поле второго компонента в системе.

Запрещенные линии образуются в средах с очень низкой плотностью. Предполагается, что это должно происходить во внешних областях околозвездной оболочки, которые не подвергались существенному воздействию со стороны процессов, которые происходят близко к звезде.

Примеры запрещенных эмиссионных линий, а также линий поглощения, характеризующих температуру поверхности, в спектре звезды HD 45677 (FS CMa) показаны на рисунке 3.4.6.

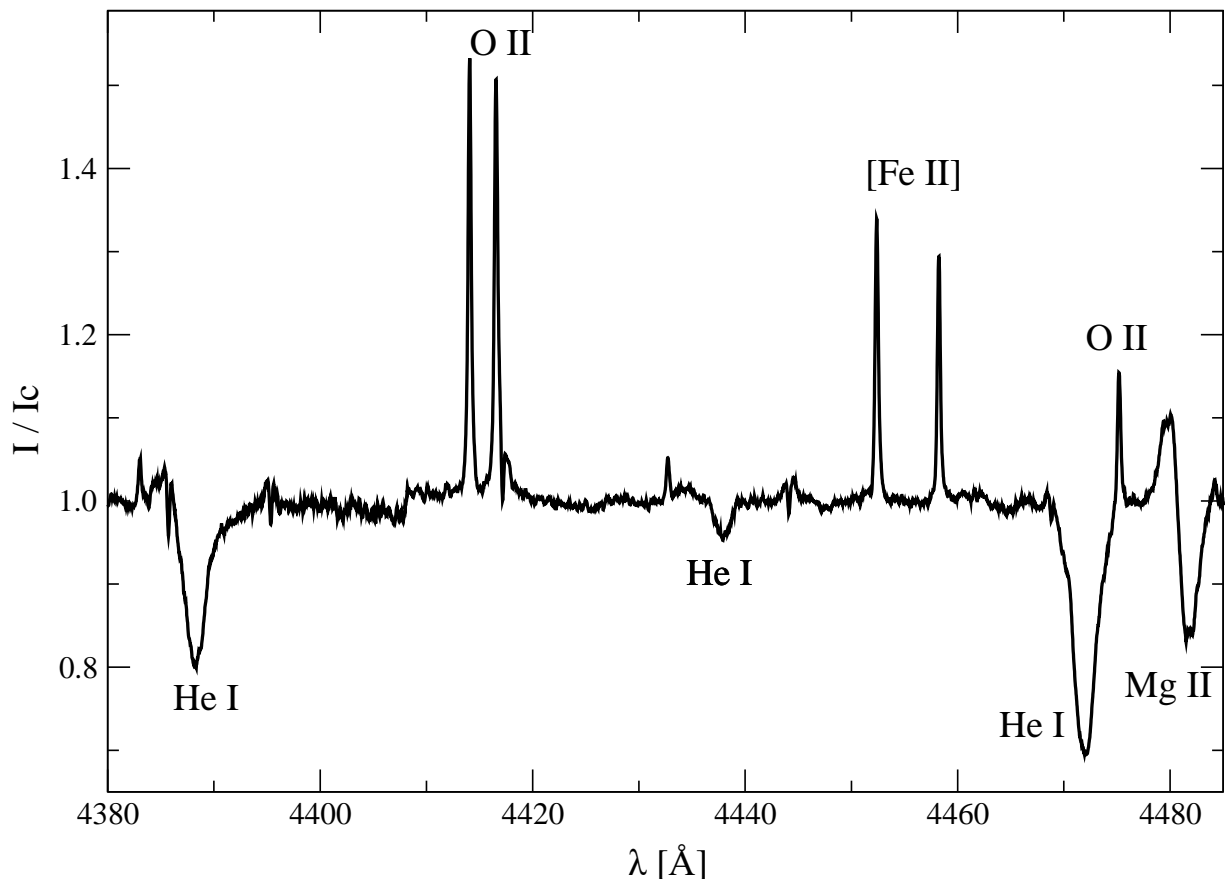


Рисунок 3.4.6 – Часть спектра высокого разрешения звезды HD 45677, полученного на Canada-France-Hawaii Telescope (CFHT) 9 ноября 2017 года (спектральное разрешение  $R = 65000$ ). Отождествленные линии в этом участке подписаны

На нем видны линии поглощения нейтрального гелия (He I), образующиеся в атмосфере звезды. Поскольку гелий существует и в околозвездном веществе, то начиная с определенной температуры поверхности звезды, он становится ионизованным. То, что в спектре HD 45677 эти линии не являются эмиссионными, дает ограничение на верхнюю границу  $T_{\text{eff}}$ , составляющую  $\approx 20000$  К (например, [11]). Кроме того, линия He I на длине волны  $\lambda 4471 \text{ \AA}$  сильнее линии магния Mg II  $\lambda 4482 \text{ \AA}$ , что является одним из основных критериев звездных температур, что указывает на то, что нижняя граница  $T_{\text{eff}}$  составляет около 15000 К. Сильные же эмиссионные линии серии Бальмера говорят о том, что температура звезды

все же ближе к 20000 К, чем к 15000 К. Поэтому вполне обосновано принять  $T_{\text{eff}}$  HD 45677 равной  $18000 \pm 2000$  К, что согласуется с более ранними оценками (например, [57]).

Наличие сильных запрещенных линий в спектре говорит о протяженности околозвездной оболочки. Наиболее сильными запрещенными линиями в спектрах горячих звезд с феноменом В[e] и, в частности, объектов типа FS CMa, являются линии нейтрального кислорода. Переменность линии [O I] на длине волны  $\lambda 6300 \text{ \AA}$  не была хорошо описана до сегодняшнего дня. Для измерения EW, RVs и интенсивности линии использовалась аппроксимация функции Гаусса. Временные зависимости измеренных значений EW, RV и интенсивности линии O I показаны на рисунках 3.4.7-3.4.9, на которых представлены данные следующих обсерваторий: лиловые перевернутые треугольники – TCO, синие треугольники – SPM, черные круги – CFHT, красные квадраты – HST.

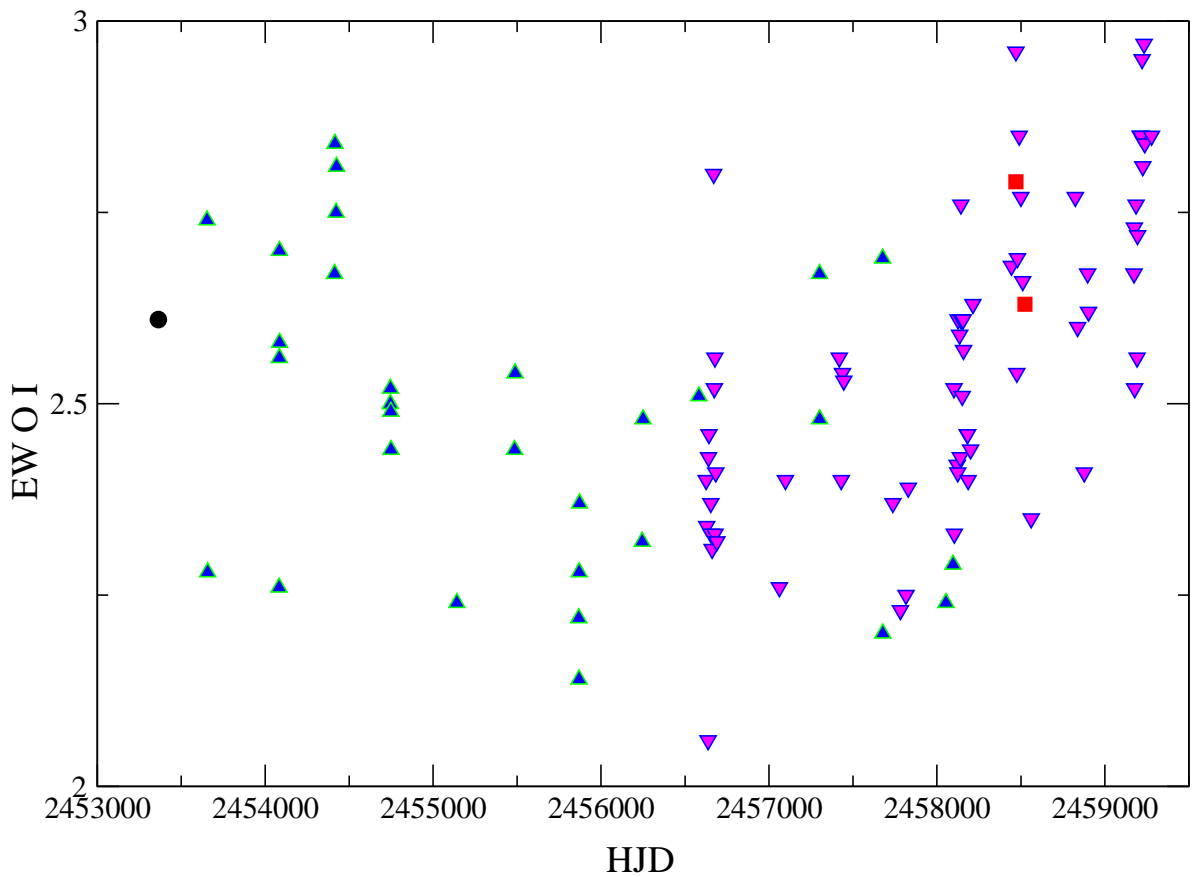


Рисунок 3.4.7 – Переменность эквивалентной ширины (EW) запрещенной линии кислорода [O I]  $6300 \text{ \AA}$

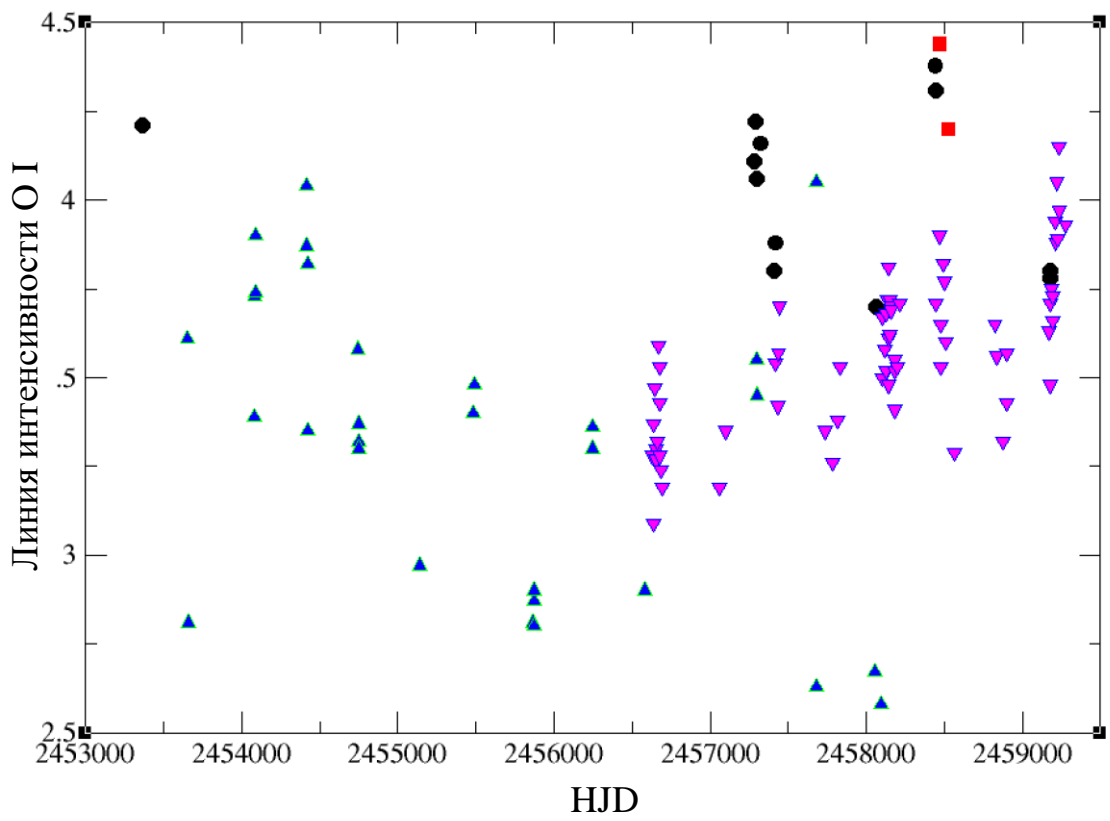


Рисунок 3.4.8 – Переменность интенсивности запрещенной линии кислорода [O I] 6300 Å

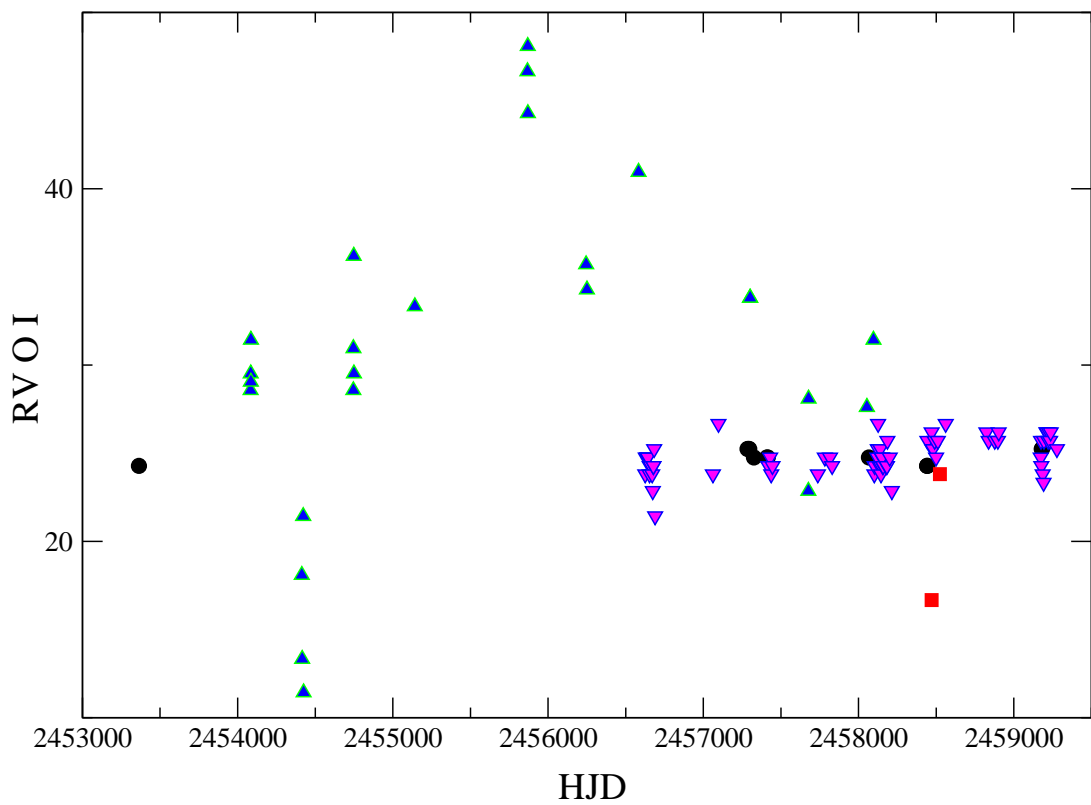


Рисунок 3.4.9 – Переменность лучевой скорости запрещенной линии кислорода [O I] 6300 Å

Невозможно сказать что-либо о поведении EW этих запрещенных линий кислорода на более длинных временных масштабах, чем тот, который присутствует в наших данных, так как опубликованные измерения охватывают интервал наших наблюдений. RVs для [O I] на длине волны 6300 Å (рисунок 3.4.7) являются практически постоянными.

Линии Mg II на длине волны 4482 Å всегда наблюдаются в поглощении с редким появлением красного или синего эмиссионного компонента. Большинство наших спектров показали линию поглощения со сдвинутым в синюю область крылом излучения. RV, EW и интенсивность были измерены. Результаты показаны на рисунках 3.4.10-3.4.12, на которых представлены данные следующей обсерваторий: лиловые перевернутые треугольники – TCO, синие треугольники – SPM, черные круги – CFHT, красные квадраты – HCT, зеленые ромбы – MCD.

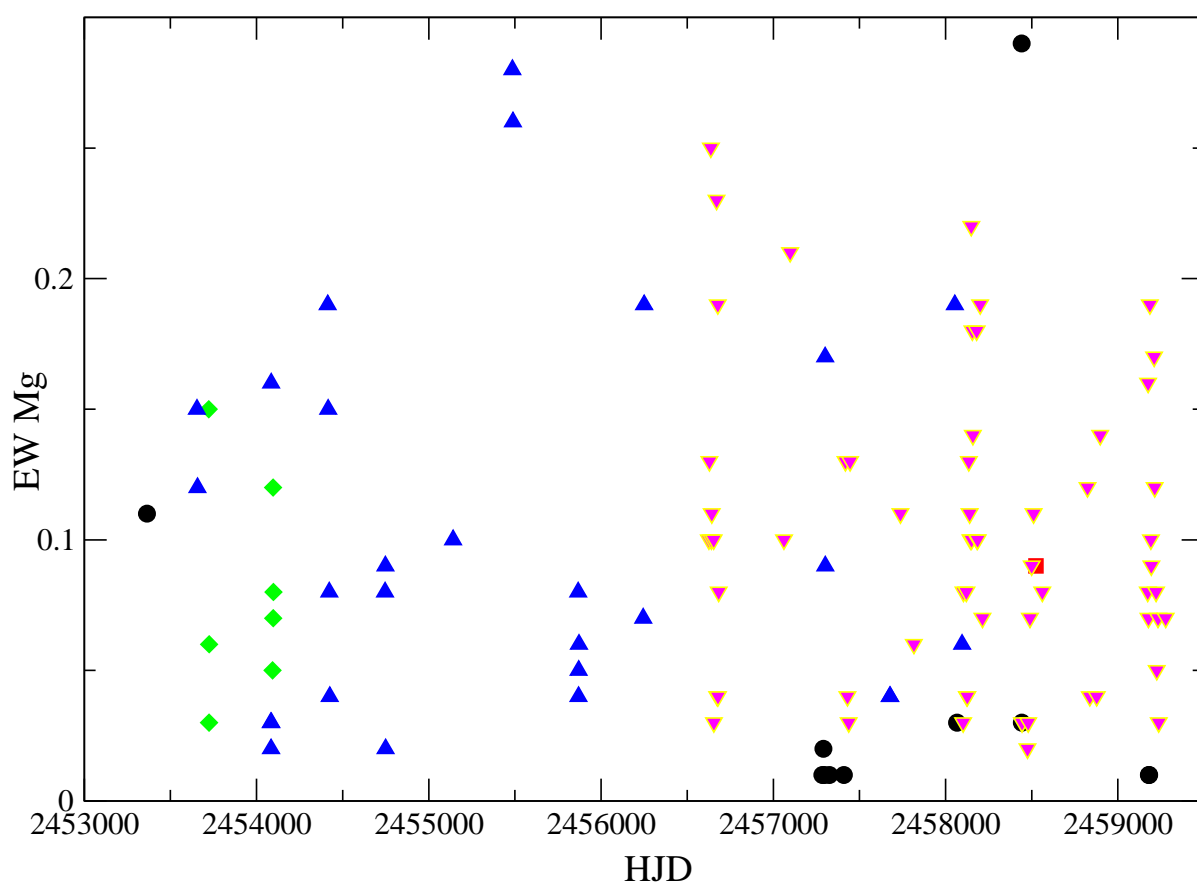


Рисунок 3.4.10 – Переменность эквивалентной ширины (EW) линии Mg II 4482 Å

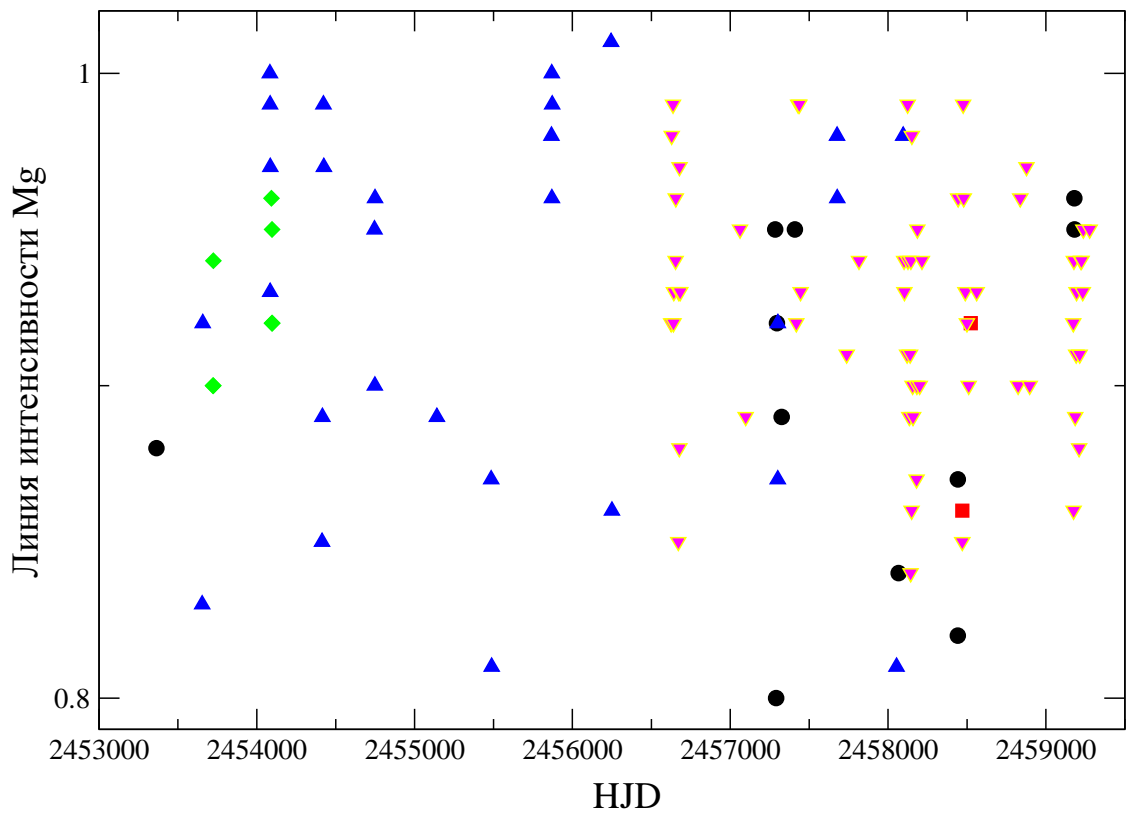


Рисунок 3.4.11 – Переменность интенсивности линии Mg II 4482 Å

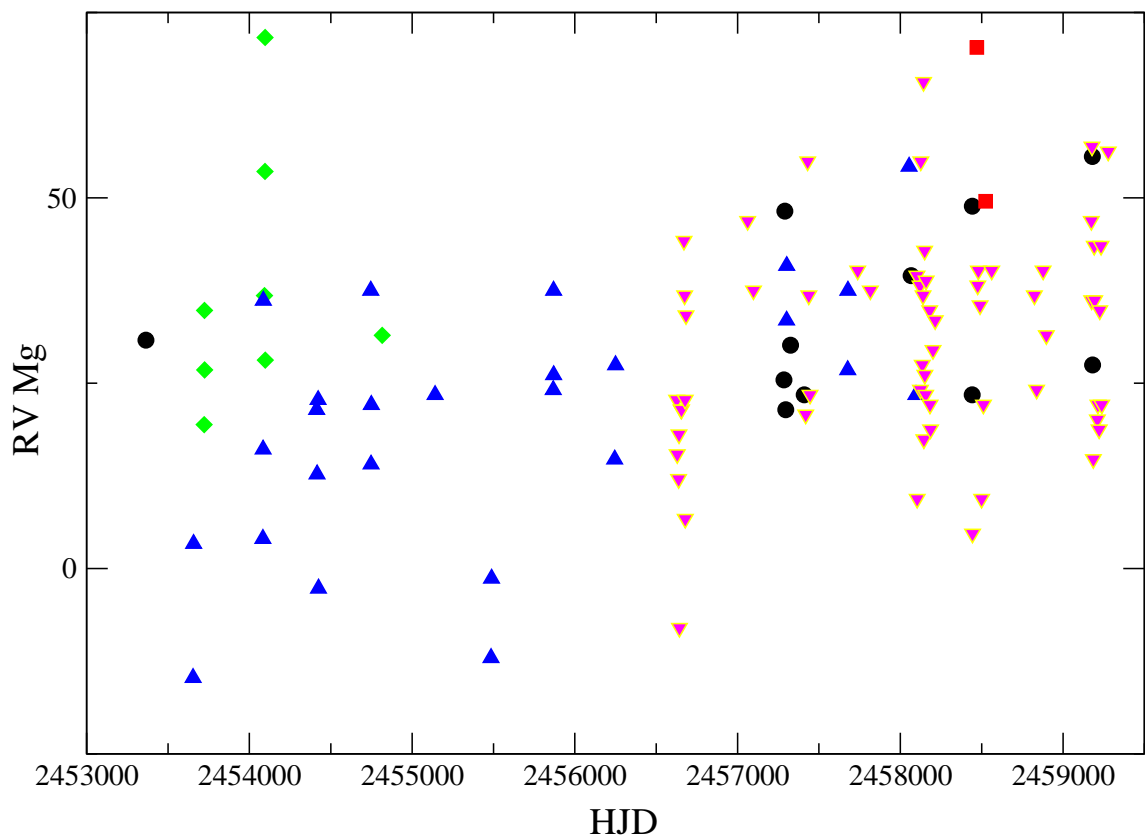


Рисунок 3.4.12 – Переменность лучевой скорости линии Mg II 4482 Å



Линии Na I на длинах волн 5889 и 5895 Å показывают чистый абсорбционный профиль, как правило, смещенный в красную сторону, показанные на рисунках 3.4.13-3.4.18, на которых представлены данные следующих обсерваторий: лиловые перевернутые треугольники – ТСО, синие треугольники – SPM, черные круги – CFHT, красные квадраты – НСТ, зеленые ромбы – MCD.

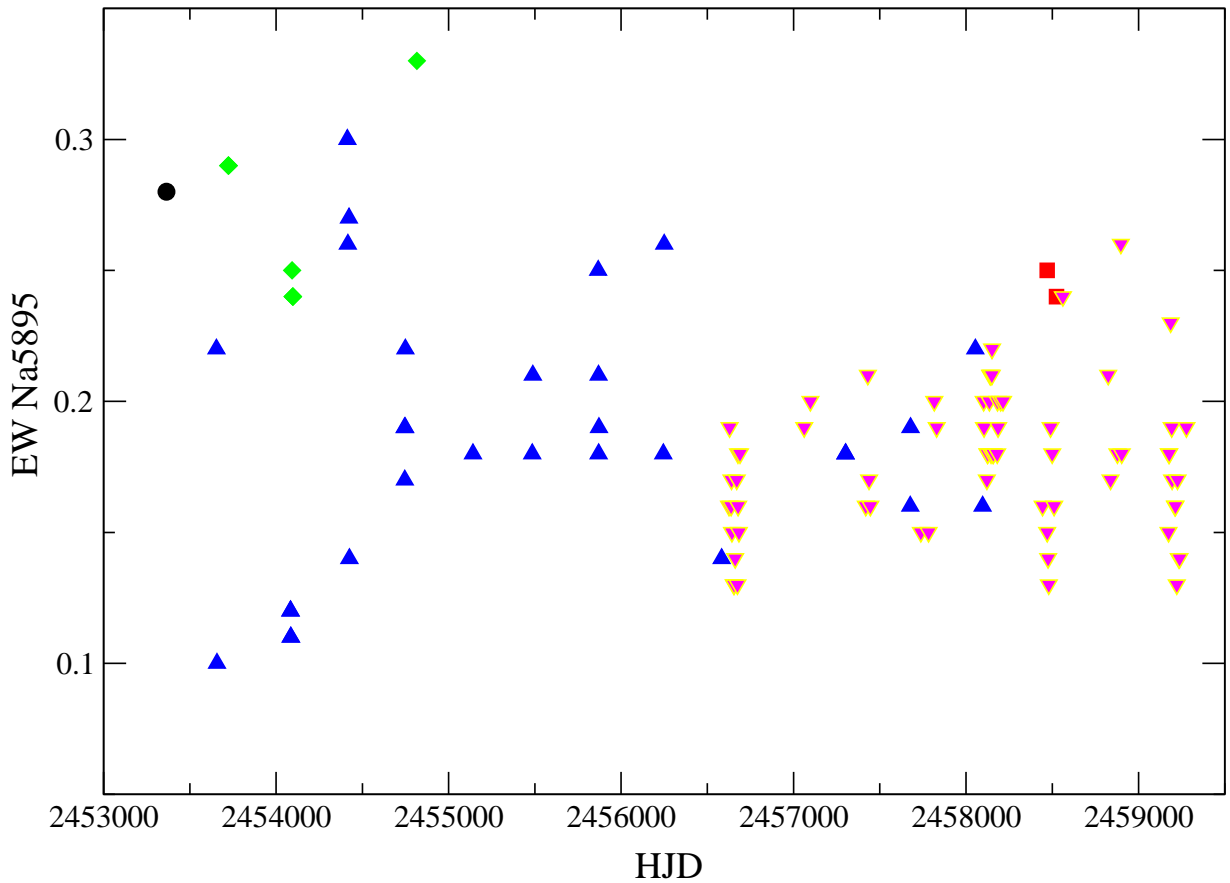


Рисунок 3.4.13 – Переменность эквивалентной ширины линии Na I 5895 Å

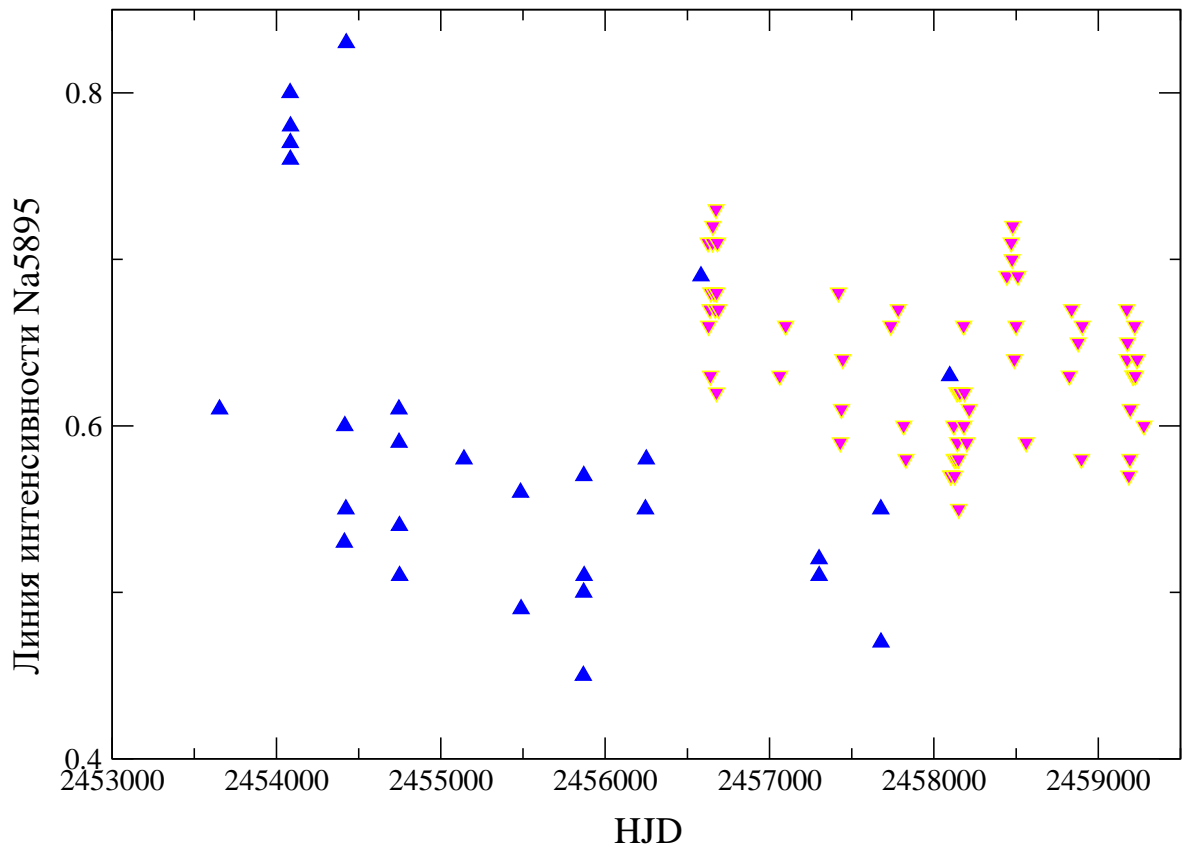


Рисунок 3.4.14 – Переменность интенсивности линии Na I 5895 Å

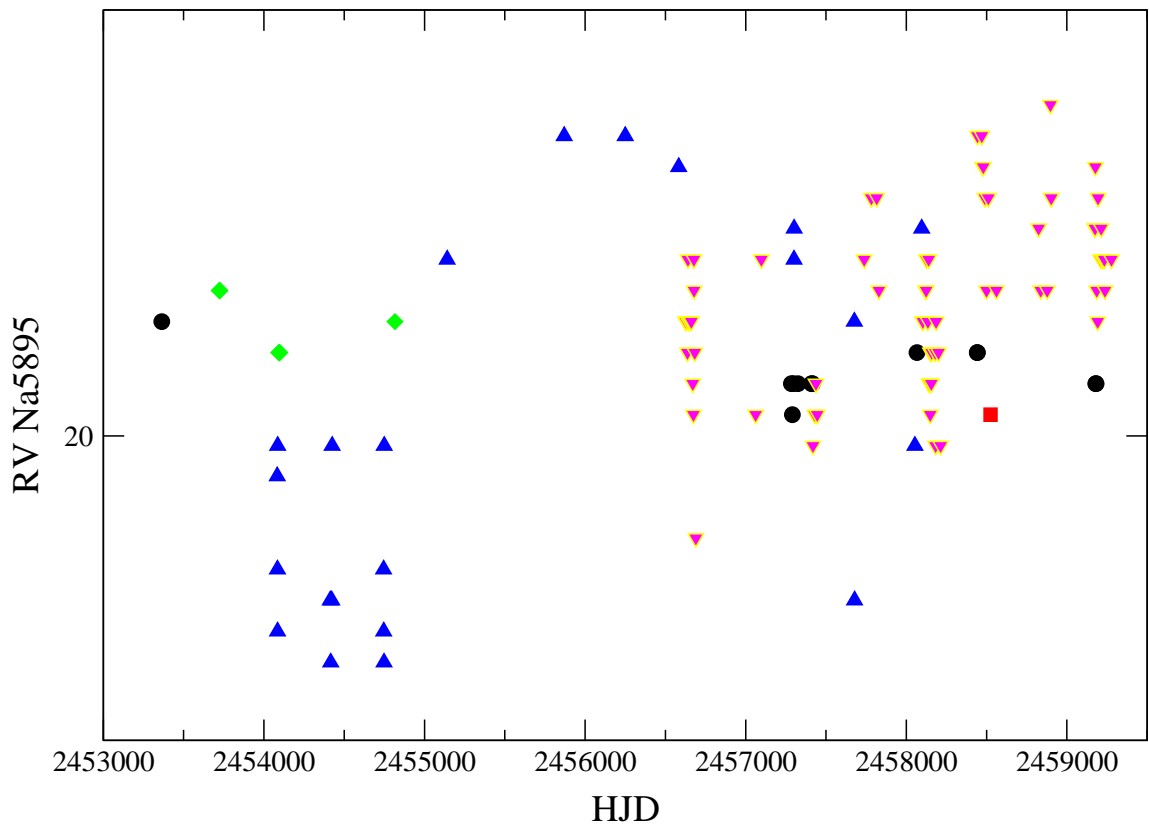


Рисунок 3.4.15 – Переменность лучевой скорости линии Na I 5895 Å

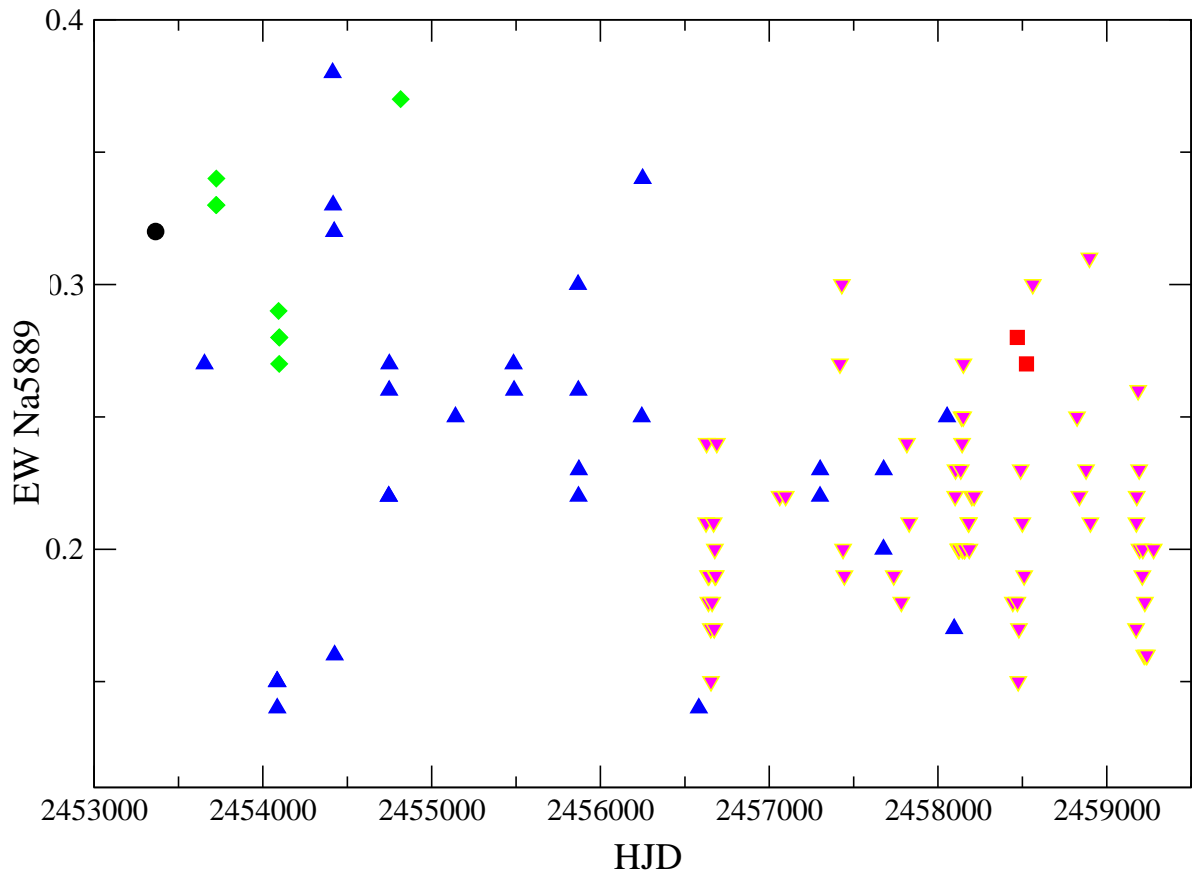


Рисунок 3.4.16 – Переменность эквивалентной ширины линии Na I 5889 Å

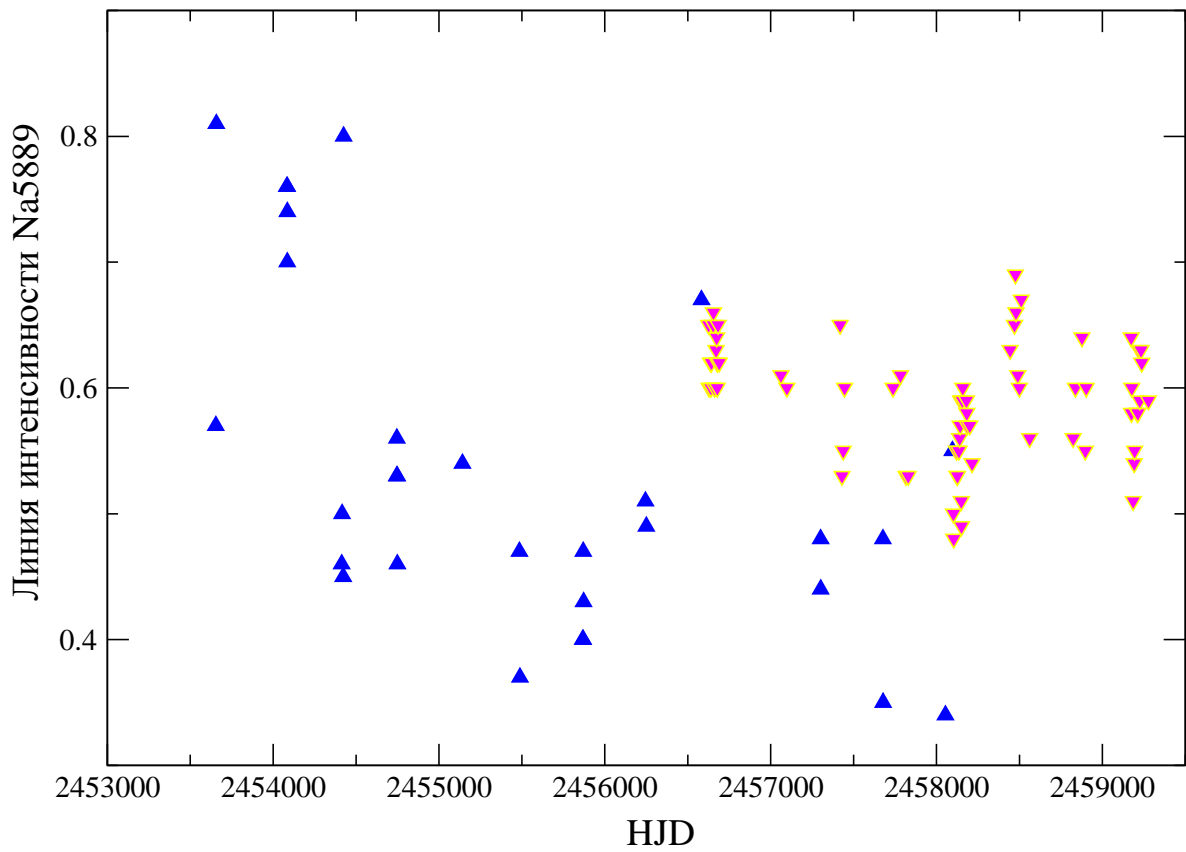


Рисунок 3.4.17 – Переменность интенсивности линии Na I 5889 Å

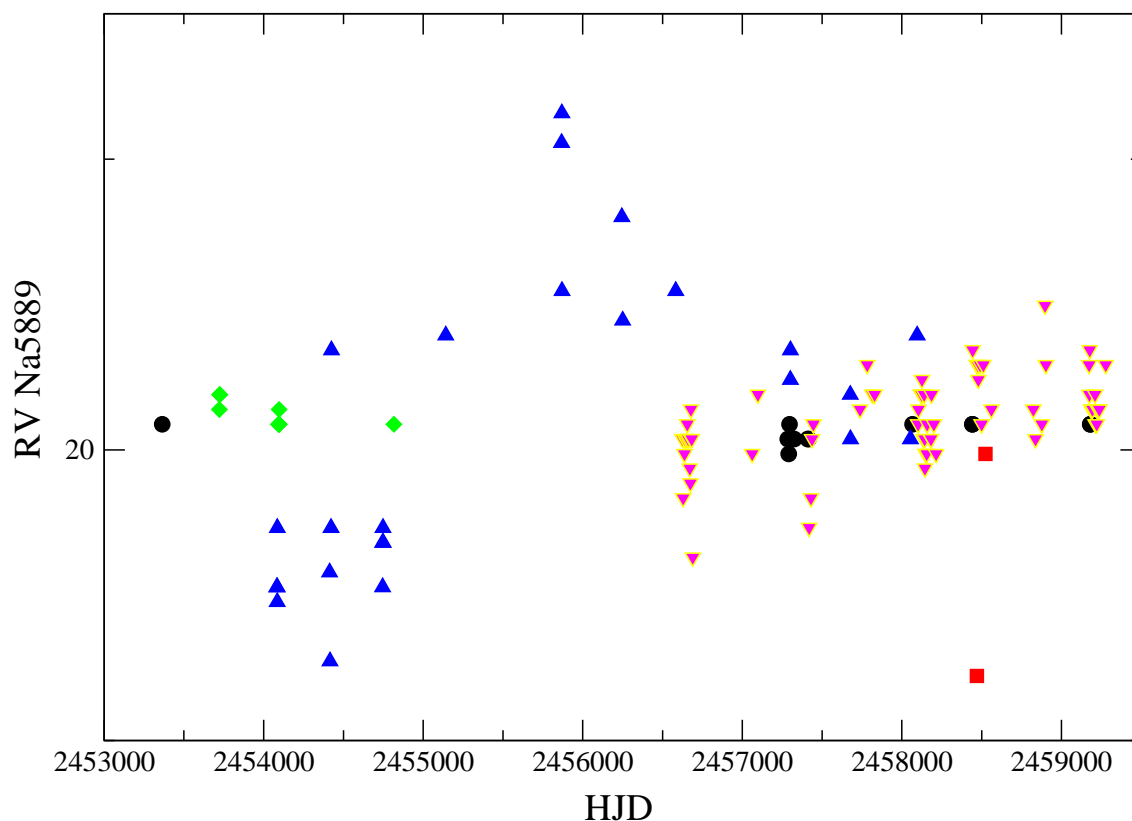


Рисунок 3.4.18 – Переменность лучевой скорости линии Na I 5889 Å

Были проанализированы EW, RVs и интенсивность линии He I на длинах волн 4471 Å, 5876 Å, 6678 Å и 7065 Å, представленные на рисунках 3.4.19-3.4.30, на которых представлены данные следующей обсерваторий: лиловые перевернутые треугольники – TCO, синие треугольники – SPM, черные круги – CFHT, красные квадраты – HCT, зеленые ромбы – MCD. Линии He I показывают чистый абсорбционный профиль, как правило, смещенный в красную сторону.

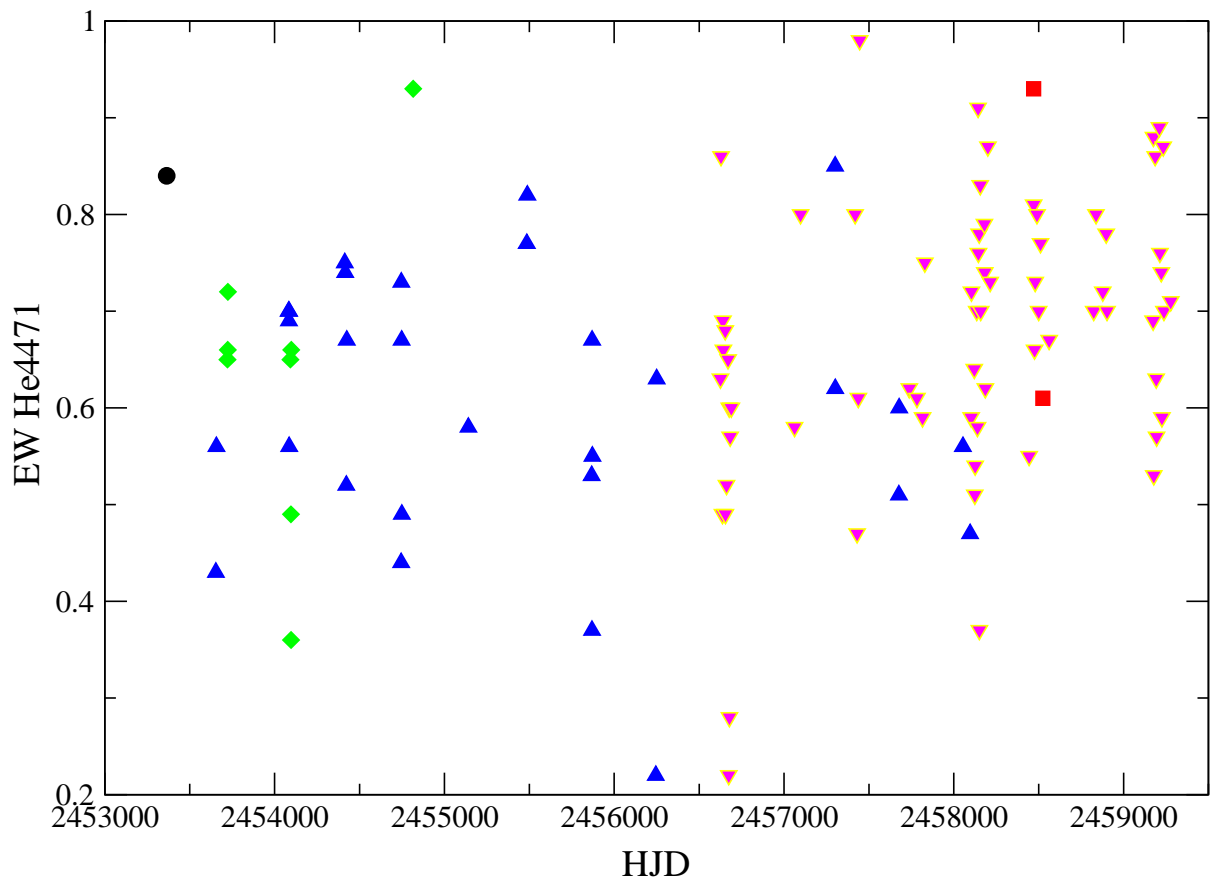


Рисунок 3.4.19 – Переменность эквивалентной ширины линии He I 4471 Å

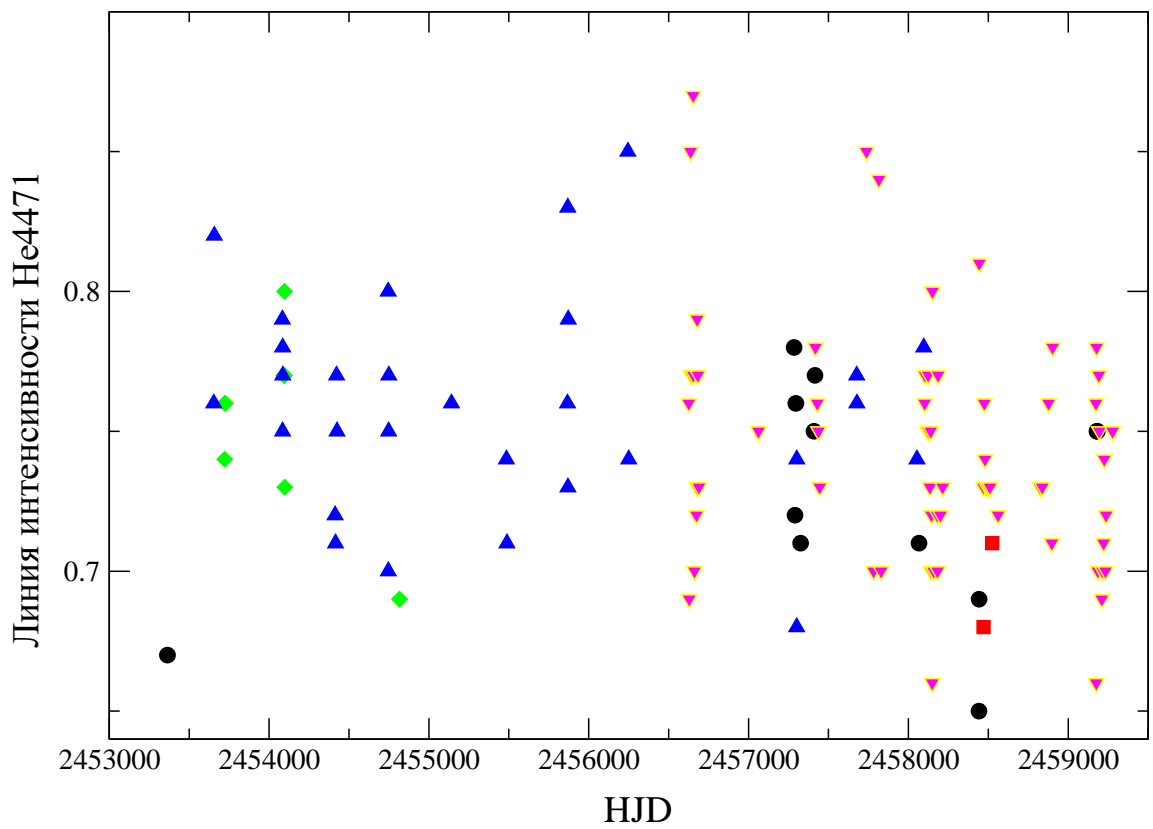


Рисунок 3.4.20 – Переменность интенсивности линии He I 4471 Å

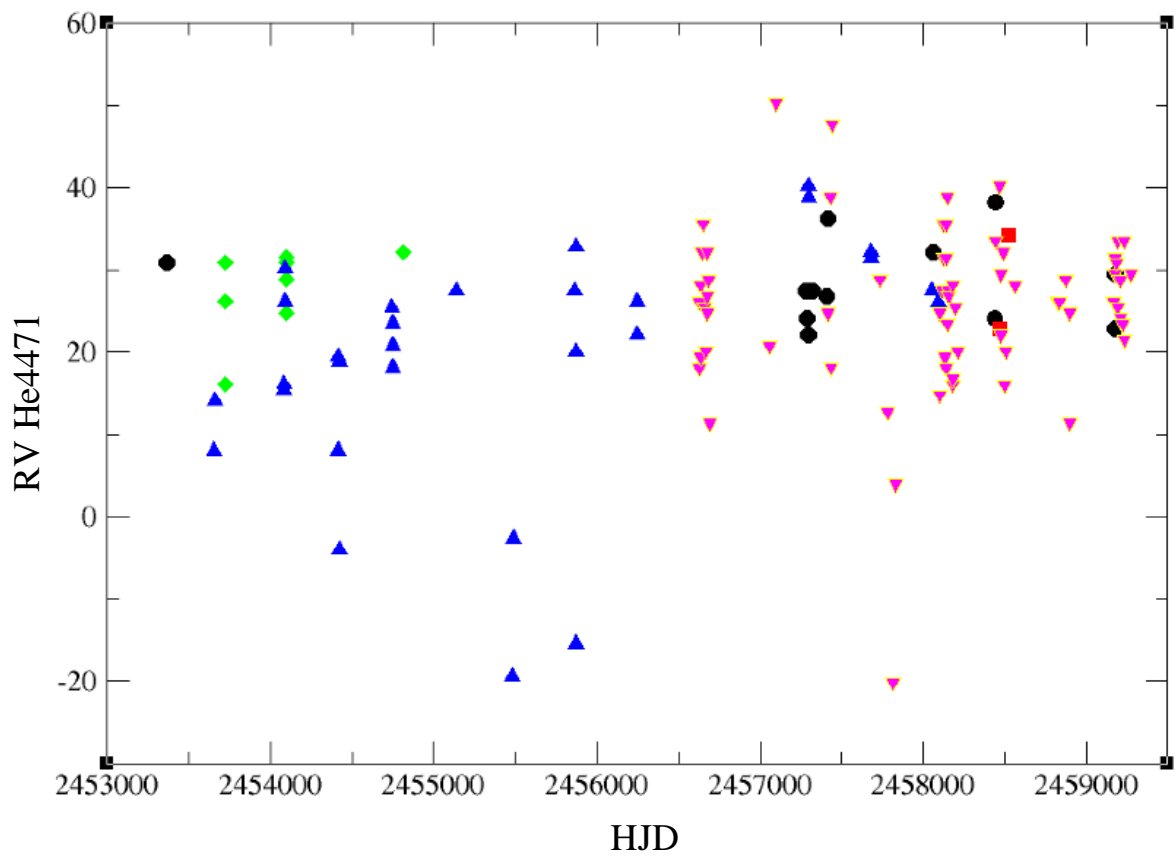


Рисунок 3.4.21 – Переменность лучевой скорости линии He I 4471 Å

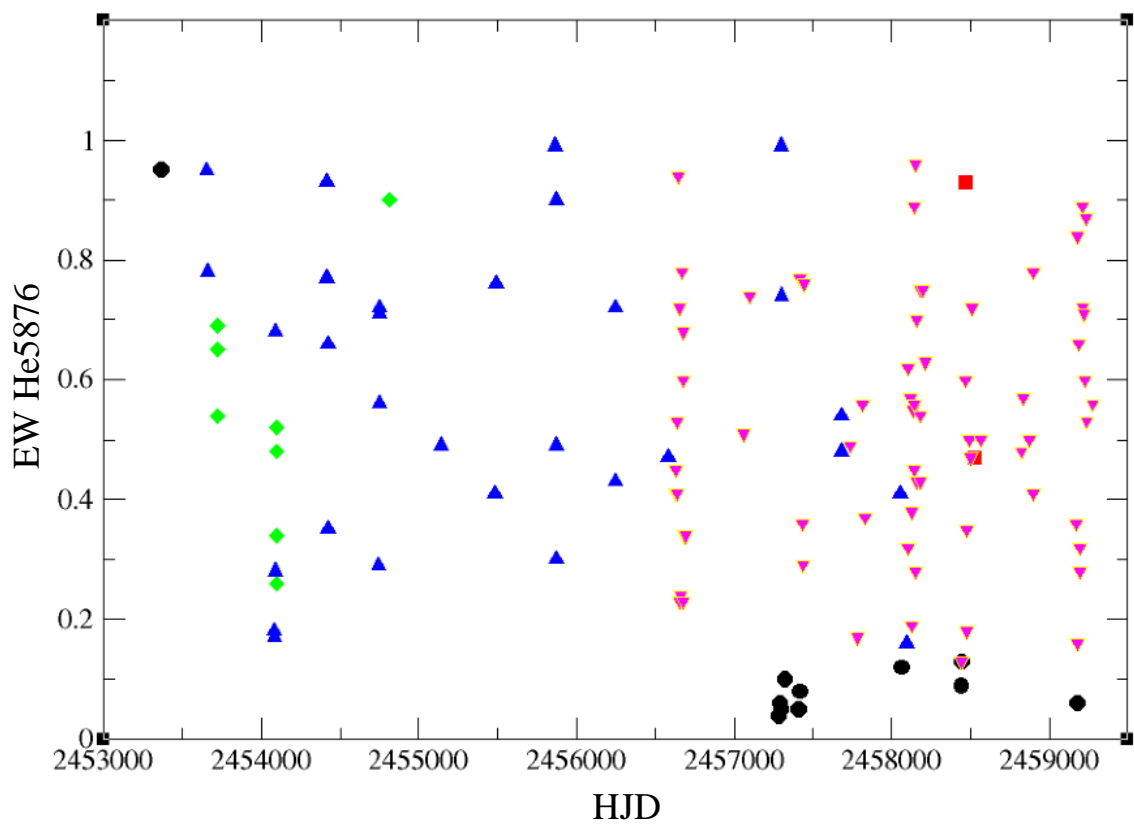


Рисунок 3.4.22 – Переменность эквивалентной ширины линии He I 5876 Å

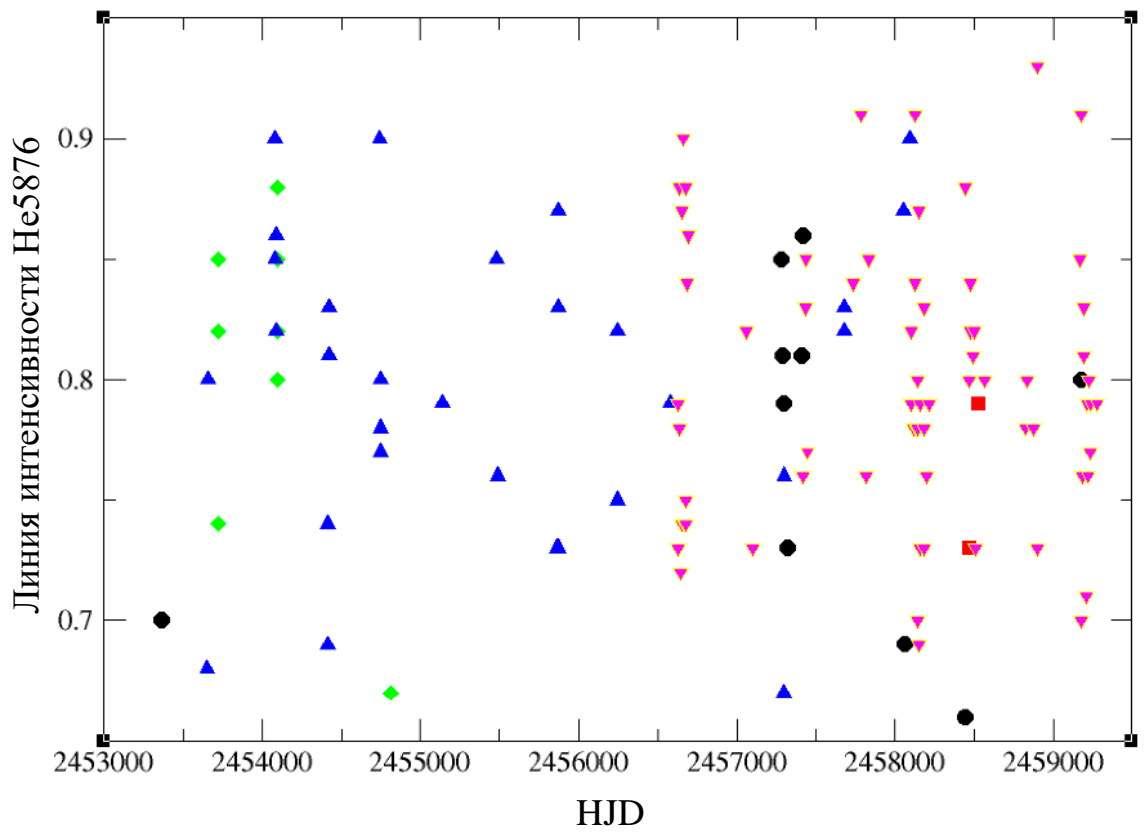


Рисунок 3.4.23 – Переменность интенсивности линии He I 5876 Å

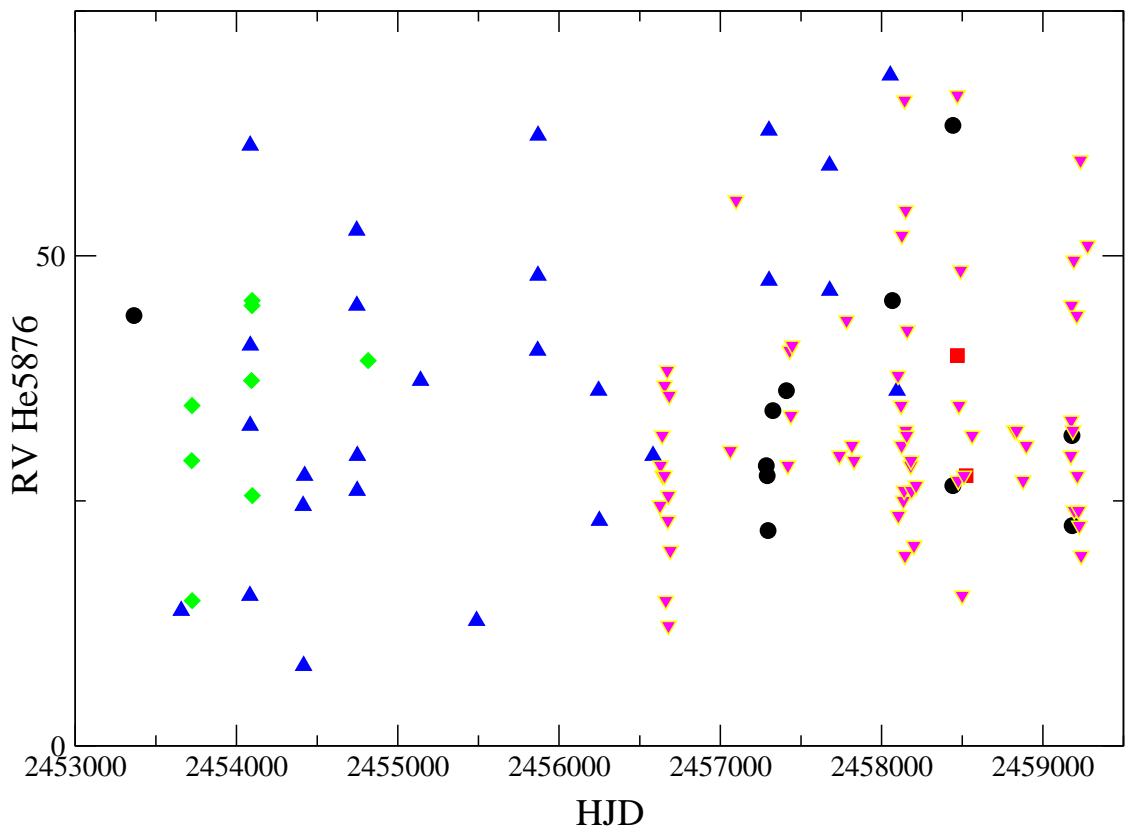


Рисунок 3.4.24 – Переменность лучевой скорости линии He I 5876 Å

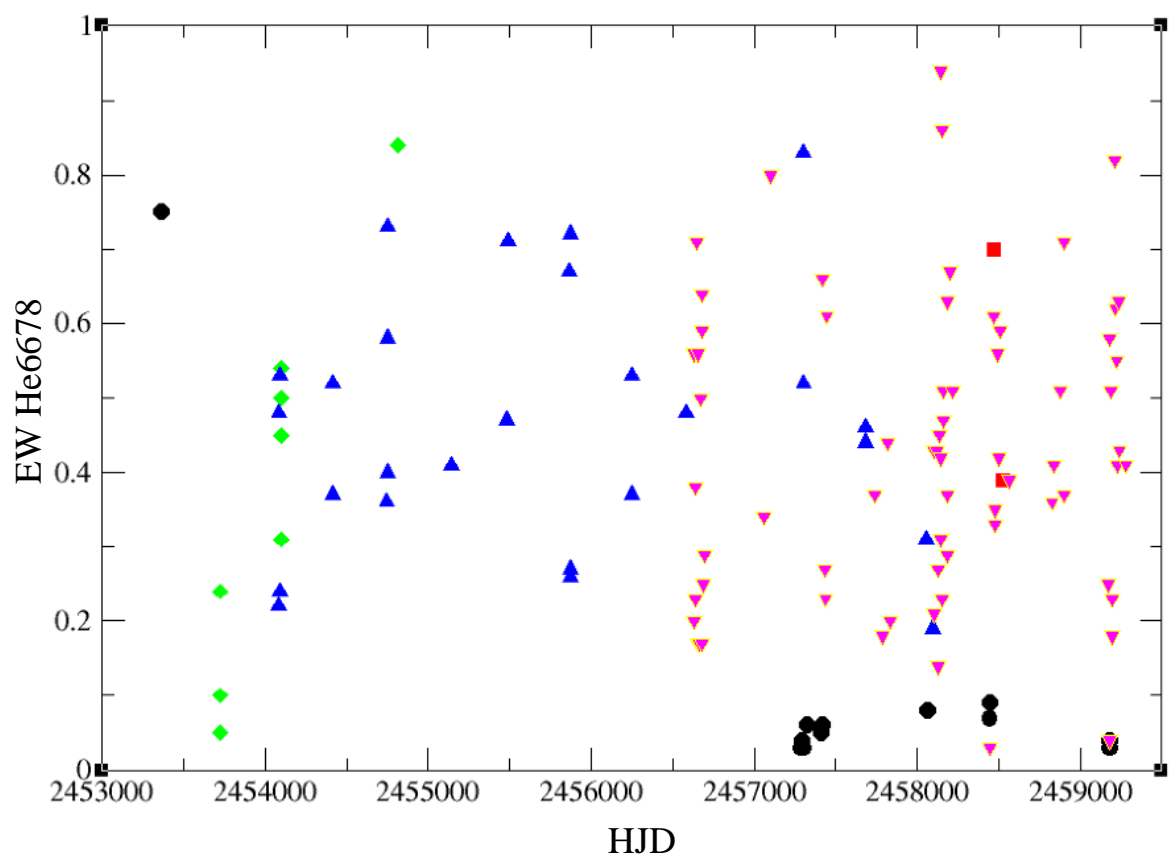


Рисунок 3.4.25 – Переменность эквивалентной ширины линии He I 6678 Å

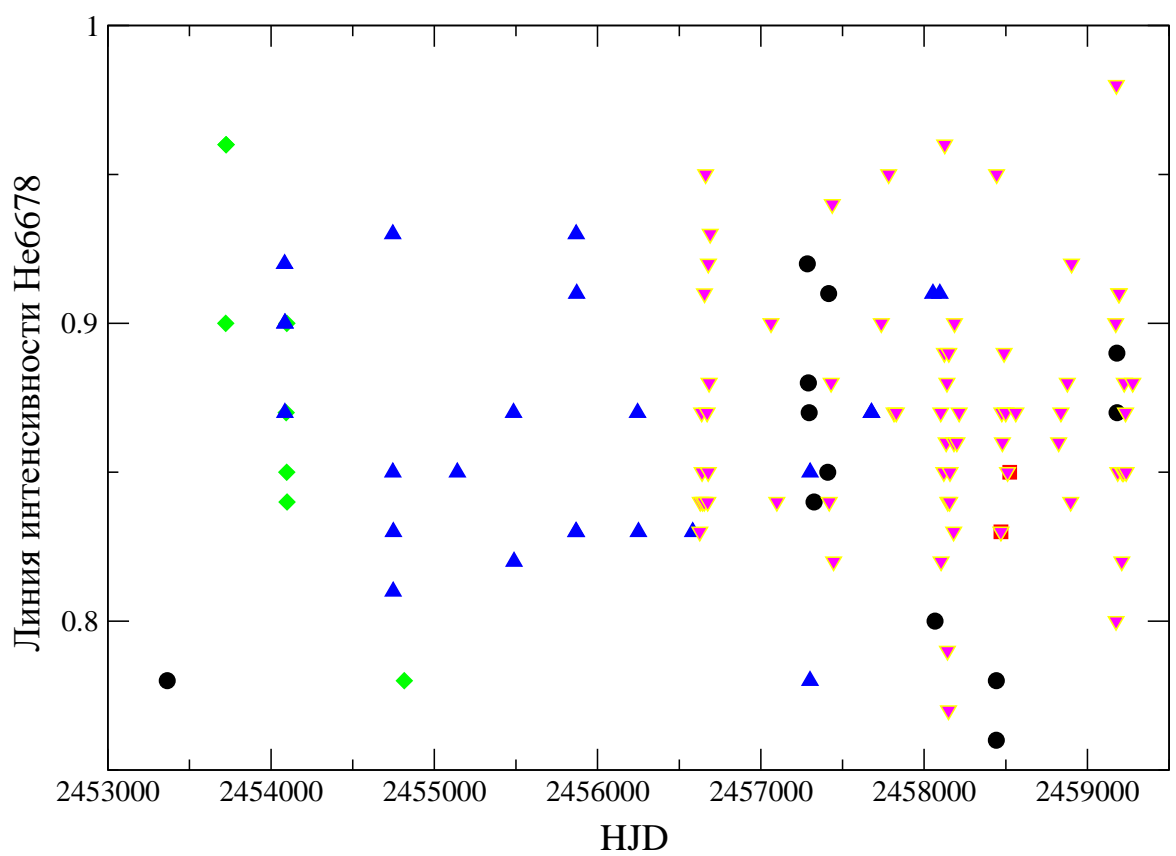


Рисунок 3.4.26 – Переменность интенсивности линии He I 6678 Å



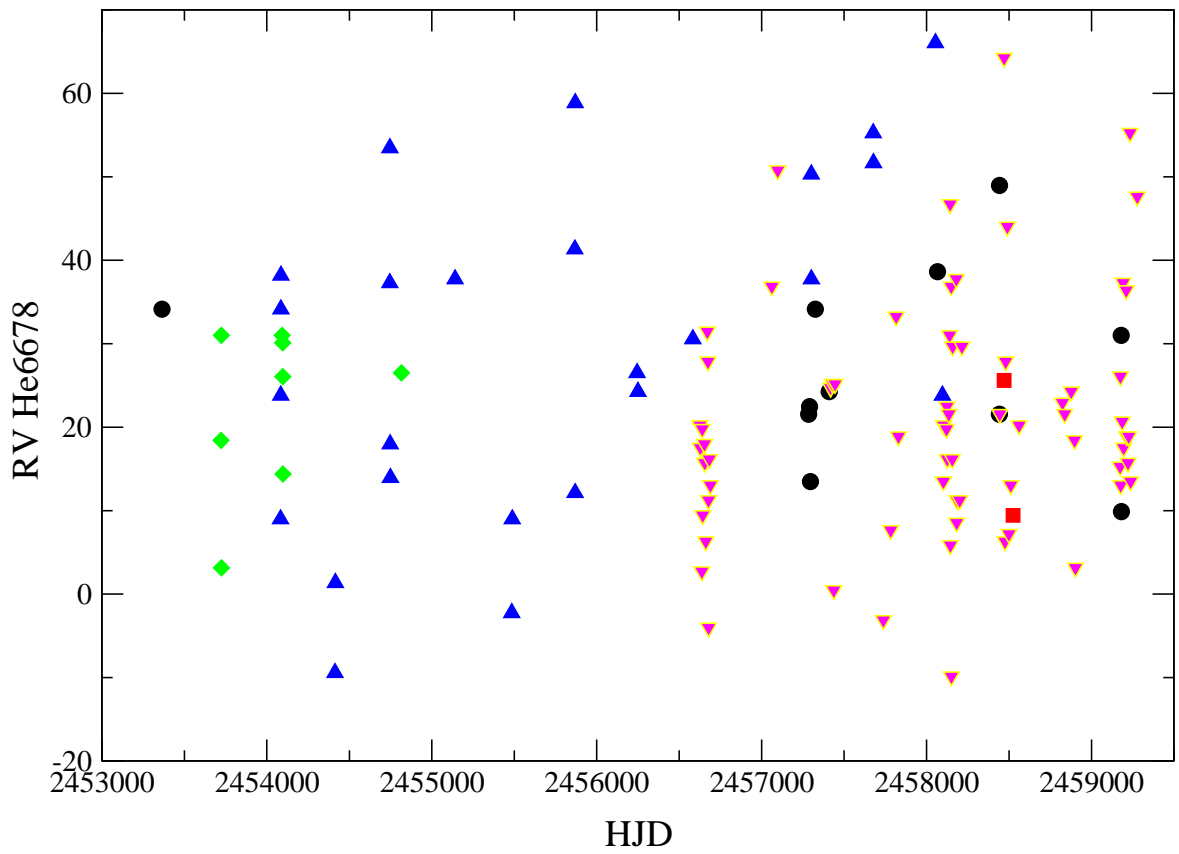


Рисунок 3.4.27 – Переменность лучевой скорости линии He I 6678 Å

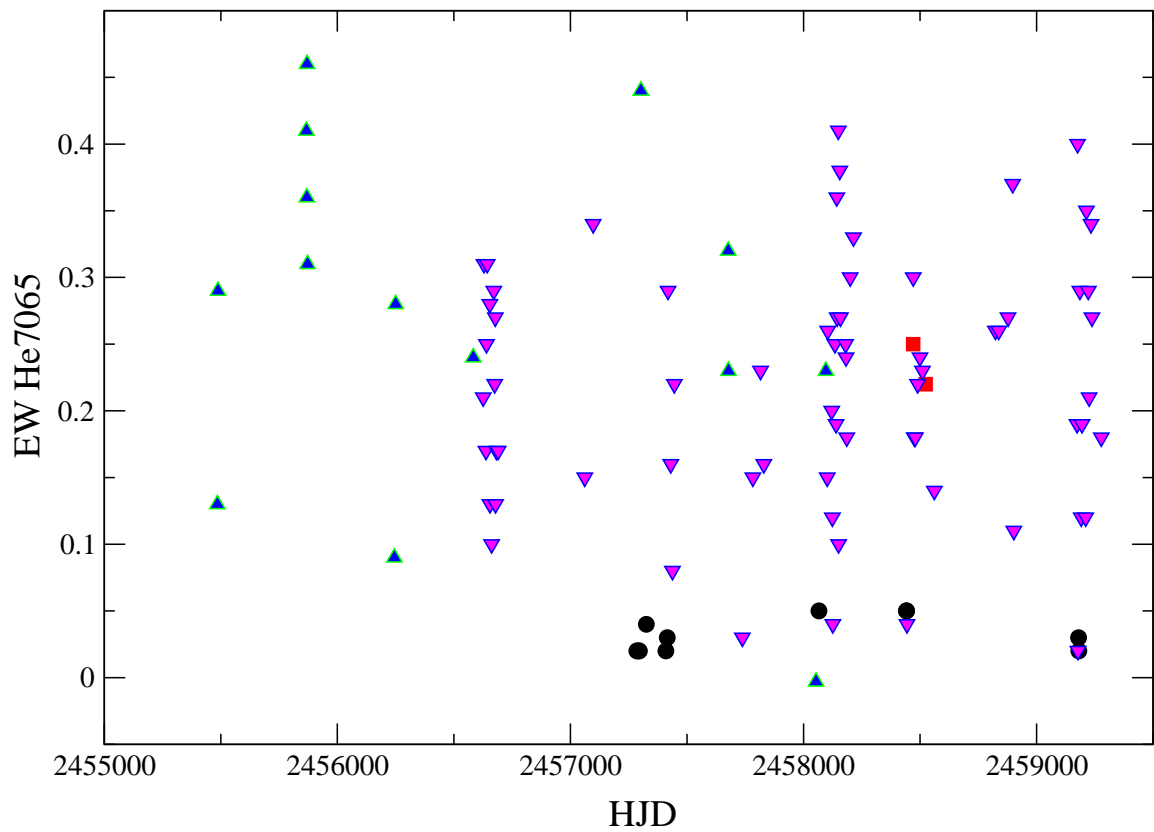


Рисунок 3.4.28 – Переменность эквивалентной ширины линии He I 7065 Å

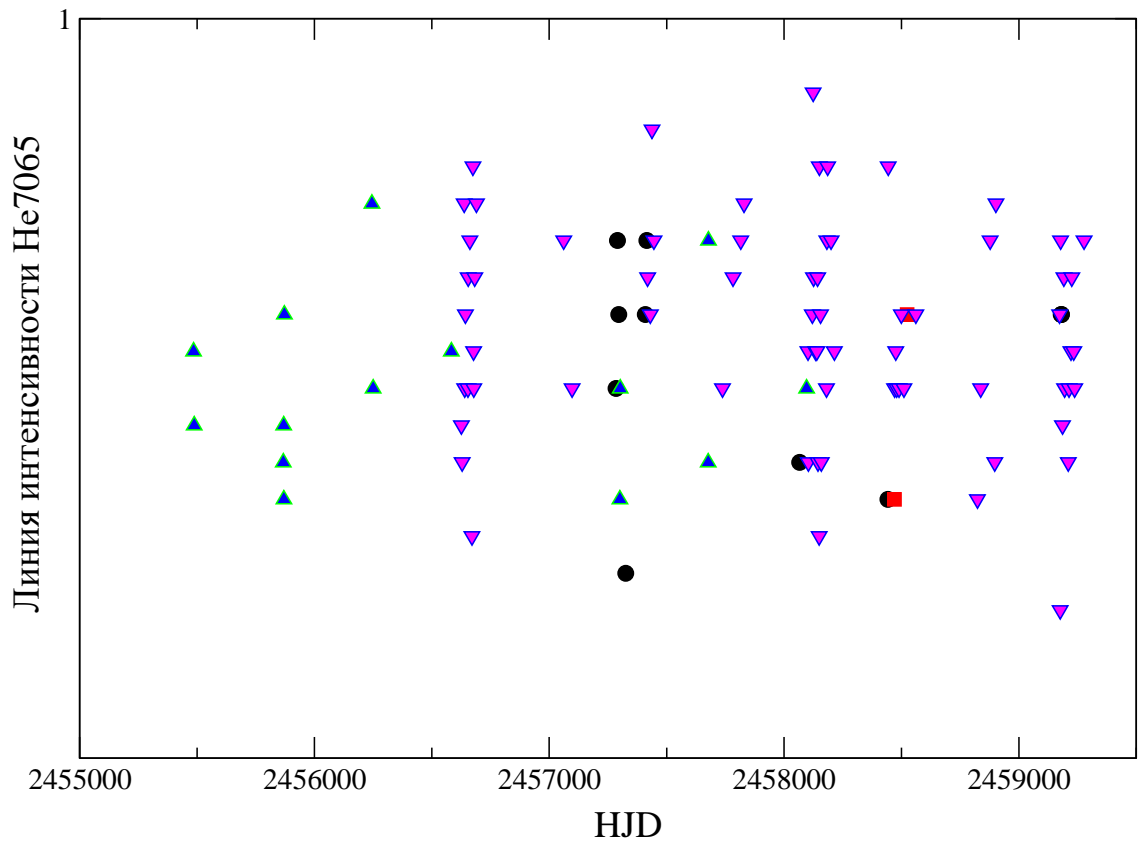


Рисунок 3.4.29 – Переменность интенсивности линии He I 7065 Å

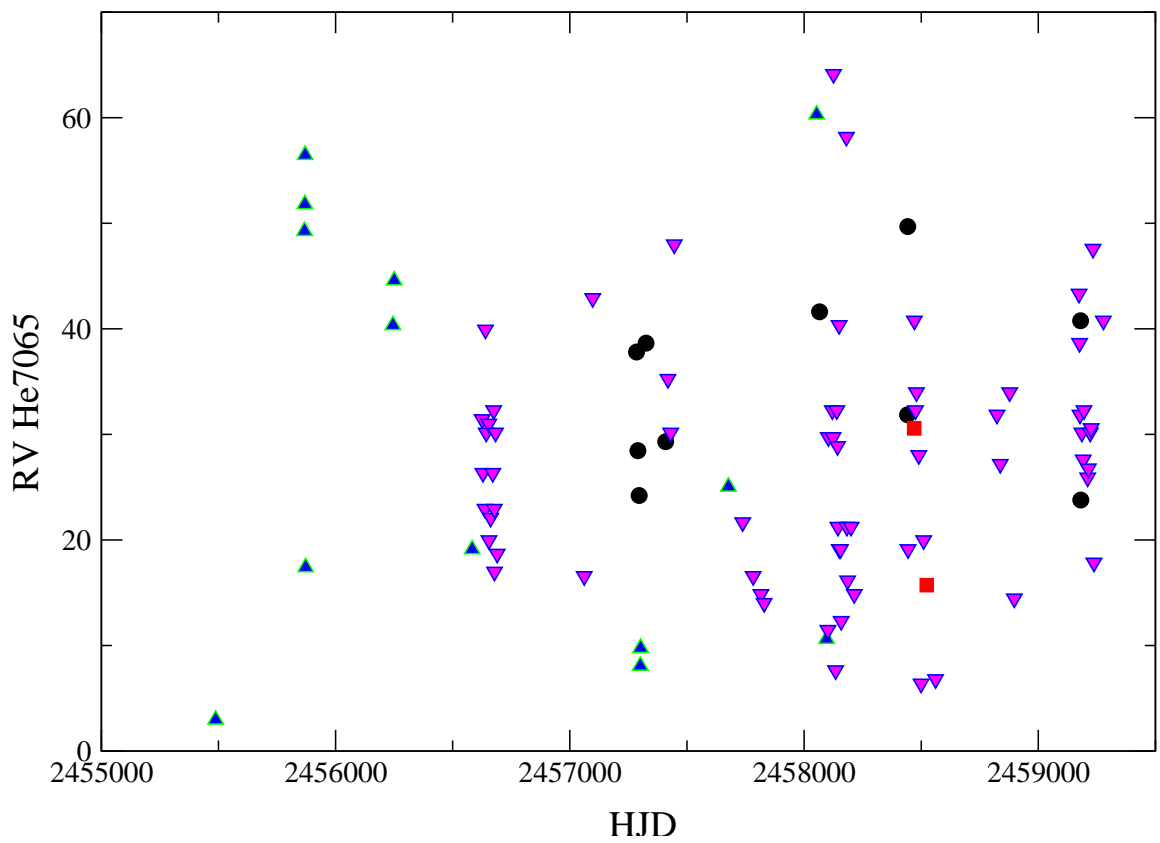


Рисунок 3.4.30 – Переменность лучевой скорости линии He I 7065 Å

### 3.5 Анализ данных по объекту AS 78

AS 78 [80] = LS I + 56°96 является объектом 11 визуальной звездной величины в созвездии Жирафа (Camelopardalis), классифицированный Miller & Merrill как Ве звезда [81]. Координаты объекта  $\alpha=3^{\text{h}}58^{\text{m}}59^{\text{s}}$ ,  $\delta=+56^{\circ}11'13''$  (2000).

Всего одно UBV наблюдение встречается в литературе до начала первого детального исследования объекта в 1990-е годы [77]. Dong & Hu [15] идентифицировали AS 78 с источником PSC IRAS 03549 + 5602, с потоками 3.75, 3.13 и 0.57 Янских (Jy) на длинах волн 12, 25 и 60 мкм, соответственно. Эти потоки указывают на сильный избыток ИК излучения по отношению к излучению горячей звезды без околозвездной материи, что может быть связано с наличием околозвездной пыли или холодного компаньона. Отсутствие спектральных признаков звезды позднего спектрального типа в спектре AS 78 и большие показатели цвета в ближнем ИК диапазоне ( $\lambda\lambda$  1 – 3 микрона) предполагают, что если в системе имеется вторичный компонент, то он не вносит существенного вклада ни в оптическое излучение объекта, ни в ИК поток. Кроме того, данные IRAS согласуются с наличием в системе околозвездной пыли [82].

Фотометрическая переменность AS 78 была обнаружена Мирошниченко А.С. и соавторами [83], в результате чего звезде было присвоено наименование MO Cam [52]. В работе [83] большой избыток излучения в ближней ИК области спектра был подтвержден наземными наблюдениями в ближнем и среднем ИК диапазоне ( $\lambda\lambda$  1.2 – 10 микрон) и обнаружена значительная переменность профилей линий серии Бальмера.

Линии серии Бальмера (H $\alpha$  – H $\delta$ ) в спектре AS 78 показывают профили типа P Cug в спектрах высокого и низкого разрешения, указывающие на наличие сильного звёздного ветра. Такие профили сильно отличаются от профилей Бальмеровских линий в спектре объекта HD 45677, показанных на рисунке 3.4.2. и типичных для дискообразных оболочек. Однако, как показано в работе [84], наличие профилей типа P Cug не исключают присутствие дискообразной составляющей околозвездной оболочки.

Моделирование профилей Бальмеровских линий, полученных в спектрах 1994 года [83], показало следующие параметры звезды и ее ветра:  $T_{\text{eff}} \approx 17000$  К,  $\log L_{\text{bol}}/L_{\odot} \approx 4.0$ ,  $dM/dt \approx 10^{-6} M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$  (темп потери массы с поверхности звезды, выраженный в массах Солнца в год). Фотометрические и новые спектроскопические данные показывают, что  $T_{\text{eff}}$  звезды может возрастать со временем, в то время как звездный ветер меняет свою структуру. Расстояние до объекта было оценено на основе его лучевой скорости и зависимости угловой скорости вращения Галактики на разных расстояниях от ее центра. Рассмотрение различных вариантов о природе и эволюционном статусе объекта привело к предположению того, что объект является двойной системой, содержащей звезду спектрального класса В промежуточной светимости и газовый диск вокруг менее светящегося компонента.

В 1993 году авторы [83] начали изучение подвыборки списка из [15], который содержит большинство северных объектов (к северу от склонения - 15°). Данные объекты могут показывать схожие свойства при том, что имеют очень различную природу (начальную массу и количество звезд в системе) и эволюционный статус. Поэтому они были сгруппированы на основе схожести наблюдательных характеристик или физических параметров. Первые результаты были кратко представлены на Симпозиуме, посвященном исследованию V[e] звезд [49, 82].

В частности, были получены фотометрические и спектроскопические наблюдения AS 78. Их анализ показал, что ее свойства похожи на свойства звезд V[e] с горячей околозвездной пылью [85].

На рисунке 3.5.1 представлено распределение энергии в спектре звезды AS 78, исправленное за межзвездное поглощение, где разноцветные круги показывают фотометрические данные в разных фильтрах: красные – оптических; зеленые – данные наземных наблюдений в ближнем ИК диапазоне; желтые, синие и оранжевые – данные космических обзоров неба в среднем и далеком ИК диапазоне. Черной линией показано теоретическое распределение энергии в спектре звезды с  $T_{\text{eff}} = 17000$  К из работы [86]. Красной линией показан спектр AS 78, полученный на спектрометре космической обсерватории им. Спитцера по наблюдательной программе А.С. Мирошниченко.

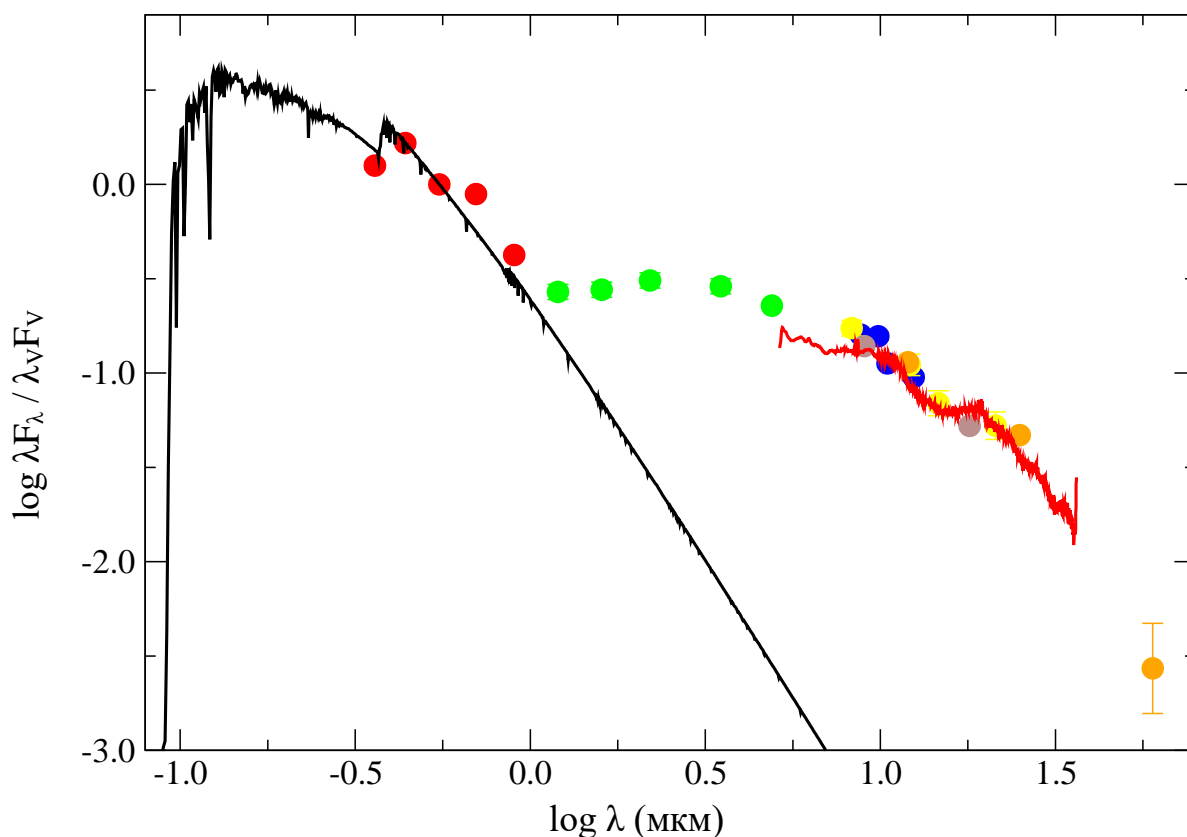


Рисунок 3.5.1 – Распределение энергии в спектре звезды AS 78, исправленное за межзвездное поглощение

AS 78 – довольно стабильная звезда как видно на кривой блеска по результатам наблюдений 1990-х годов [83] (рисунок 3.5.2), так и по наблюдениям обзора ASAS-SN [67] и данным ТШАО (рисунок 3.5.3). Разброс точек на рисунке 3.5.2, выше 11.1 звездной величины и ниже 11.5 звездной величины, скорее всего, связан с наличием облачности при проведении наблюдений. Объект не наблюдался в обзоре ASAS-3, поскольку он находится значительно севернее области неба, покрытой этим обзором (к югу от склонения  $+28^\circ$ ). Последний обзор ASAS SN [39] проводился в двух фильтрах. Первый фильтр  $V$  – стандартный фильтр на длине волны 550 нм, второй фильтр  $g$  – 470 нм, несколько смещенный в голубую сторону.

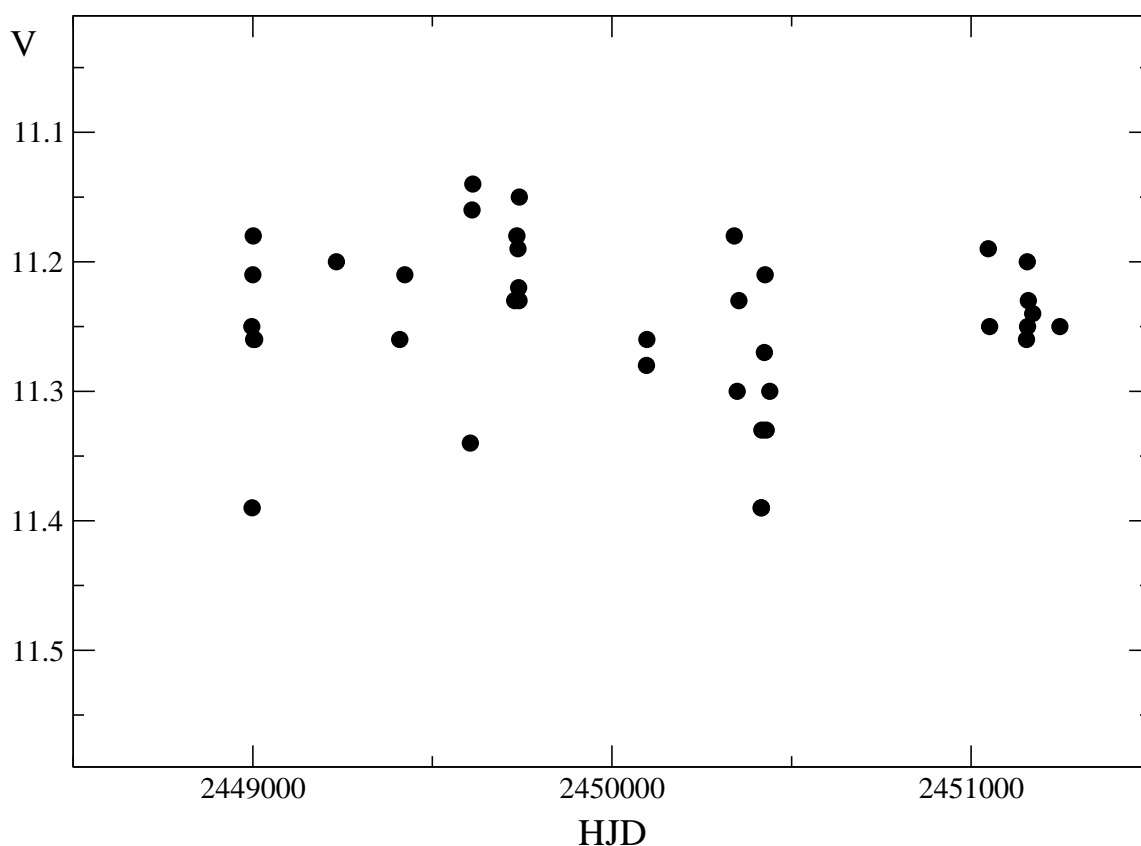
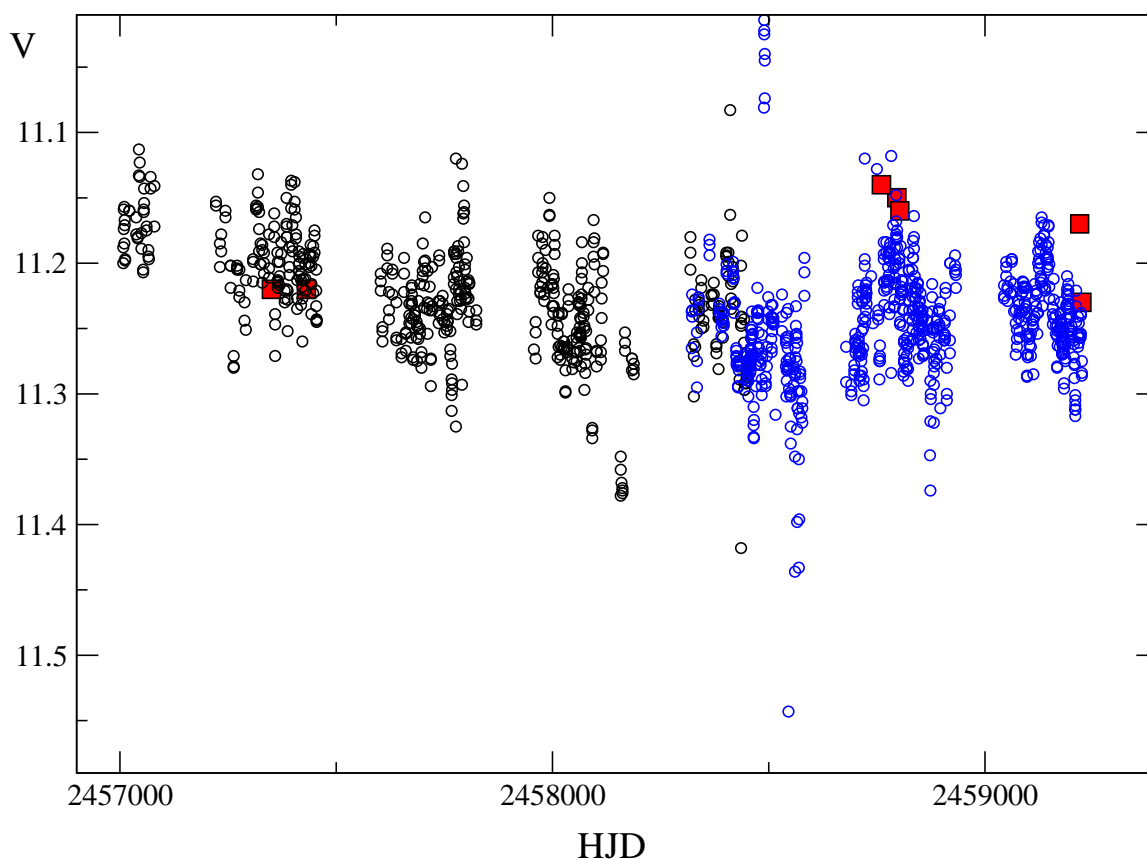


Рисунок 3.5.2 – Кривая блеска AS 78 по фотометрическим данным [83]



Черные круги – ASAS-SN (фильтр g), красные квадраты – данные, полученные на ТШАО, синие круги – ASAS-SN (фильтр V)

Рисунок 3.5.3 – Кривая блеска AS 78

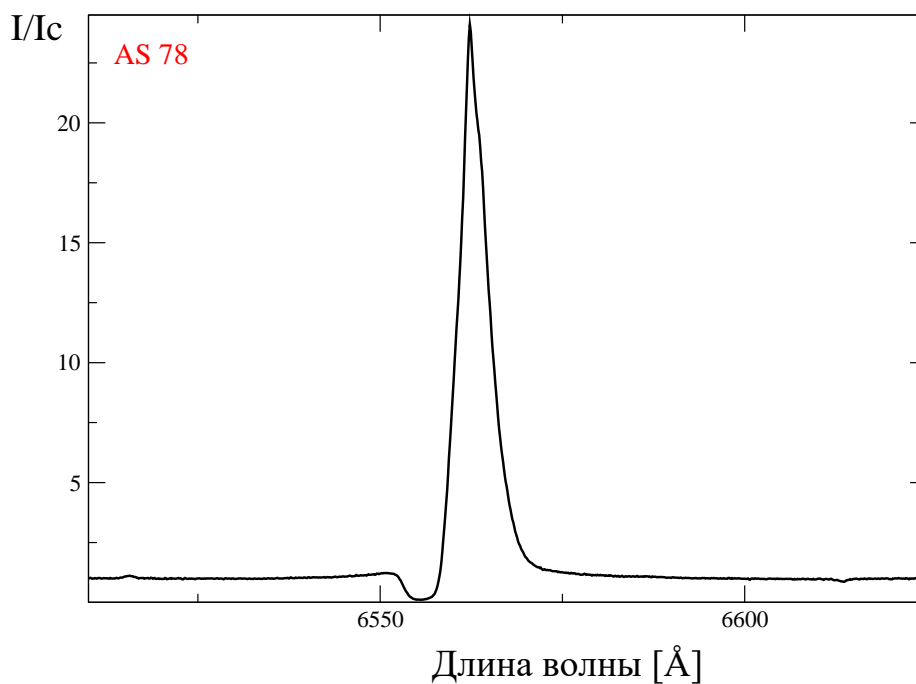
### Спектроскопия объекта AS 78

В спектрах звезды AS 78, полученных с 10.10.2001 г. по 16.12.2021 г. были измерены следующие спектральные линии:

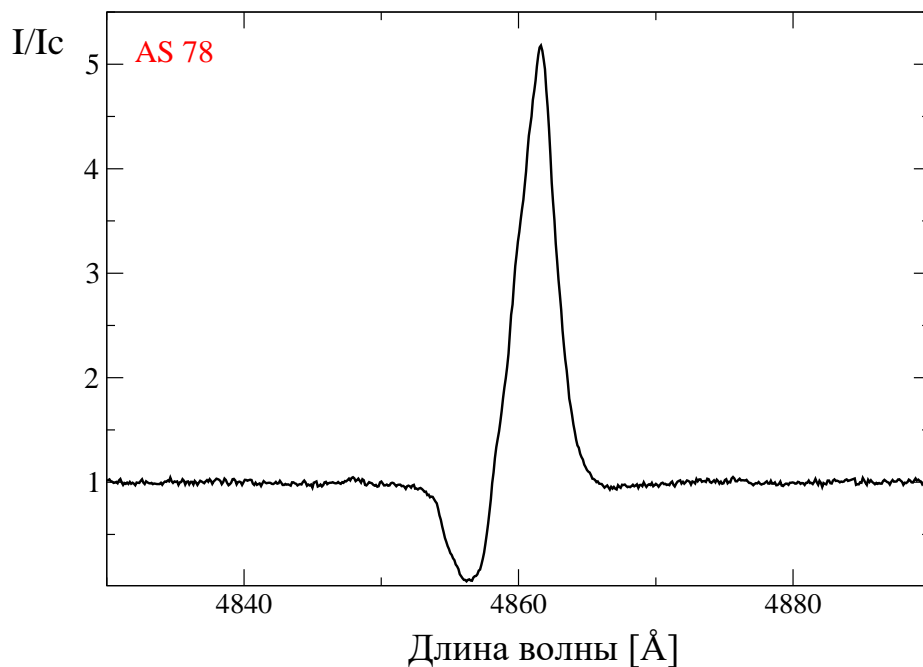
- H $\alpha$ : на длине волны 6562.82 Å; EW, RV интенсивности пиков
- Ti II: на длине волны 4501.27 Å;
- He I на длинах волн 4471.48 Å, 5875.63 Å, 6678.15 Å; RV
- Mg II на длине волны 4481.23 Å; RV
- Si II на длине волны 5056.02 Å; RV

На рисунке 3.5.4 показаны профили линий H $\alpha$  и H $\beta$  в спектре объекта AS 78. Это профили типа P Cygni, обычно образующиеся в сферических оболочках и существенно отличаются от профилей этих линий в спектре FS CMa. Качественно такие профили объясняются сферическим звездным ветром, но могут быть объяснены и комбинацией звездного ветра и околосредного диска в случае, когда луч зрения проходит через плоскость диска. Подобные профили наблюдаются у нескольких других объектов типа FS CMa [84] и могут быть интерпретированы существованием диска вокруг горячей звезды. Различие между профилями говорит о том, что мы смотрим на эти оболочки под разными углами. В обоих случаях этот угол практически

равен  $90^\circ$  по отношению к оси вращения системы и практически  $0^\circ$  по отношению к плоскости диска. По вертикальной оси представлена интенсивность по отношению к интенсивности континуума, по горизонтальной – длины волн в ангстремах ( $\text{\AA}$ ).



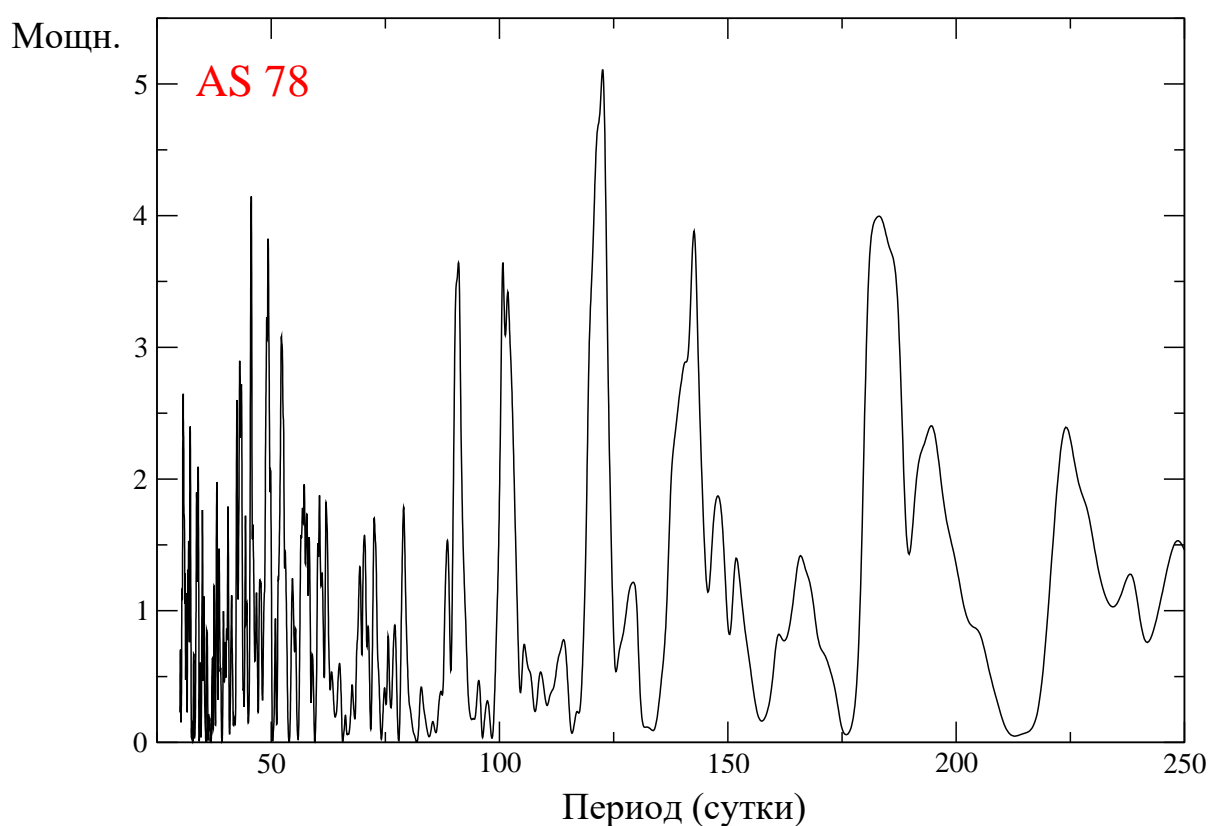
а) линия  $H\alpha$  в спектре AS 78



б) линия  $H\beta$  в спектре AS 78

Рисунок 3.5.4 – Бальмеровские эмиссионные линии в спектре AS 78, полученного на Canada-France-Hawaii Telescope (CFHT) 30 ноября 2020 года (спектральное разрешение  $R = 65000$ )

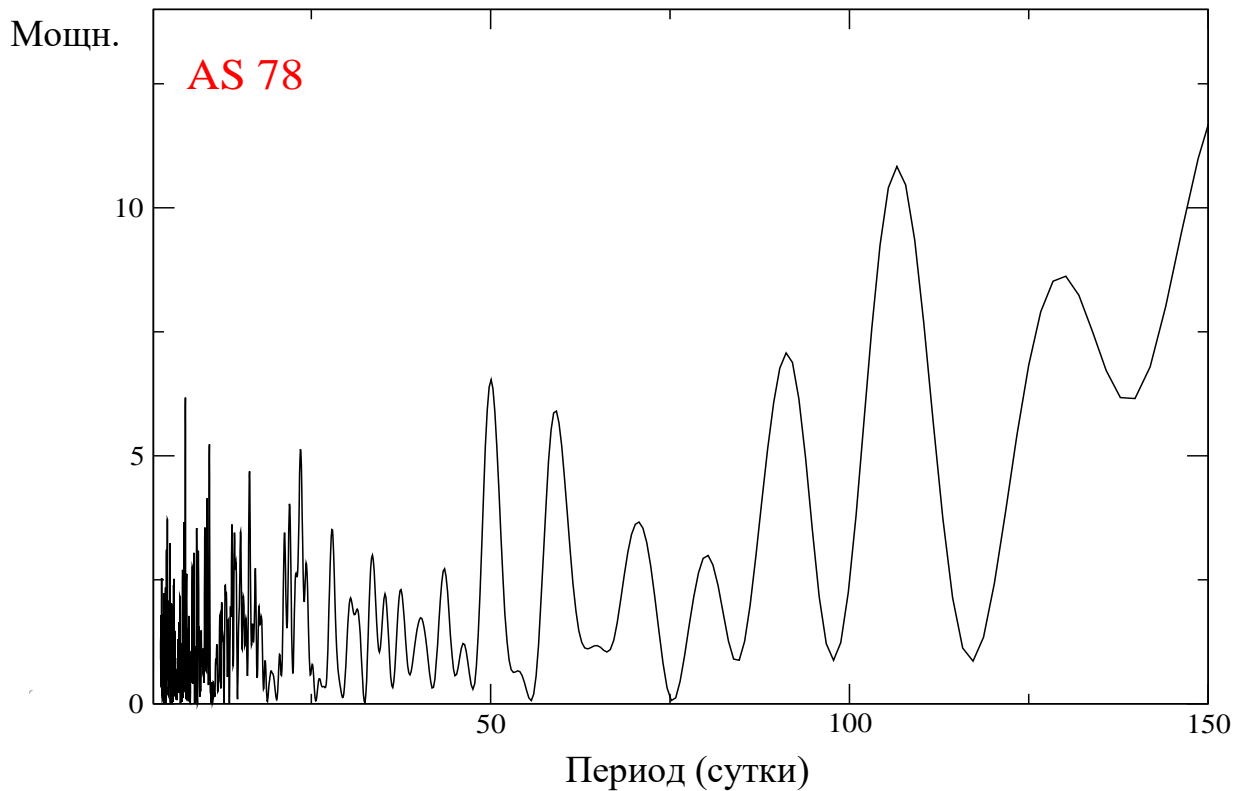
На рисунке 3.5.5 а) показан спектр мощности преобразования Фурье изменения положения линии кремния в спектре AS 78 в фильтре V. Эта линия образуется в атмосфере звезды и периодические изменения ее положения являются прямым следствием движения звезды по орбите относительно центра массы системы, то есть присутствия второй звезды в этой системе. Поскольку горячая звезда, которой является AS 78, показывает немного линий в спектре, часть которых искажена или полностью скрыта эмиссионными линиями, образующимися в околозвездной газовой оболочке, то можно было измерять положения очень ограниченного количества линий. Реальность обнаруженного периода подтверждается обнаружением такого же периода в спектре мощности, полученном для изменений блеска объекта в фильтре g, представленном на рисунке 3.5.5 б).



а) RV Si II 5056 Å, период 120 дней, по результатам спектральных наблюдений

Рисунок 3.5.5 – Спектр мощности преобразования Фурье от изменений блеска и лучевой скорости





б) g filter (470 нм), период 120 дней (ASAS SN [75])

Рисунок 3.5.5 – Спектр мощности преобразования Фурье от изменений блеска и лучевой скорости

В результате анализа фотометрических наблюдений с помощью преобразования Фурье был найден сильный пик в спектре мощности, соответствующий периоду в 120 дней. Кроме того, было измерено положение наиболее симметричной линии (Si II 5056 Å, показанной на рисунке 3.5.6) в полученных спектрах объекта и обнаружен доминирующий пик в спектре мощности преобразования Фурье, который соответствует тому же периоду.

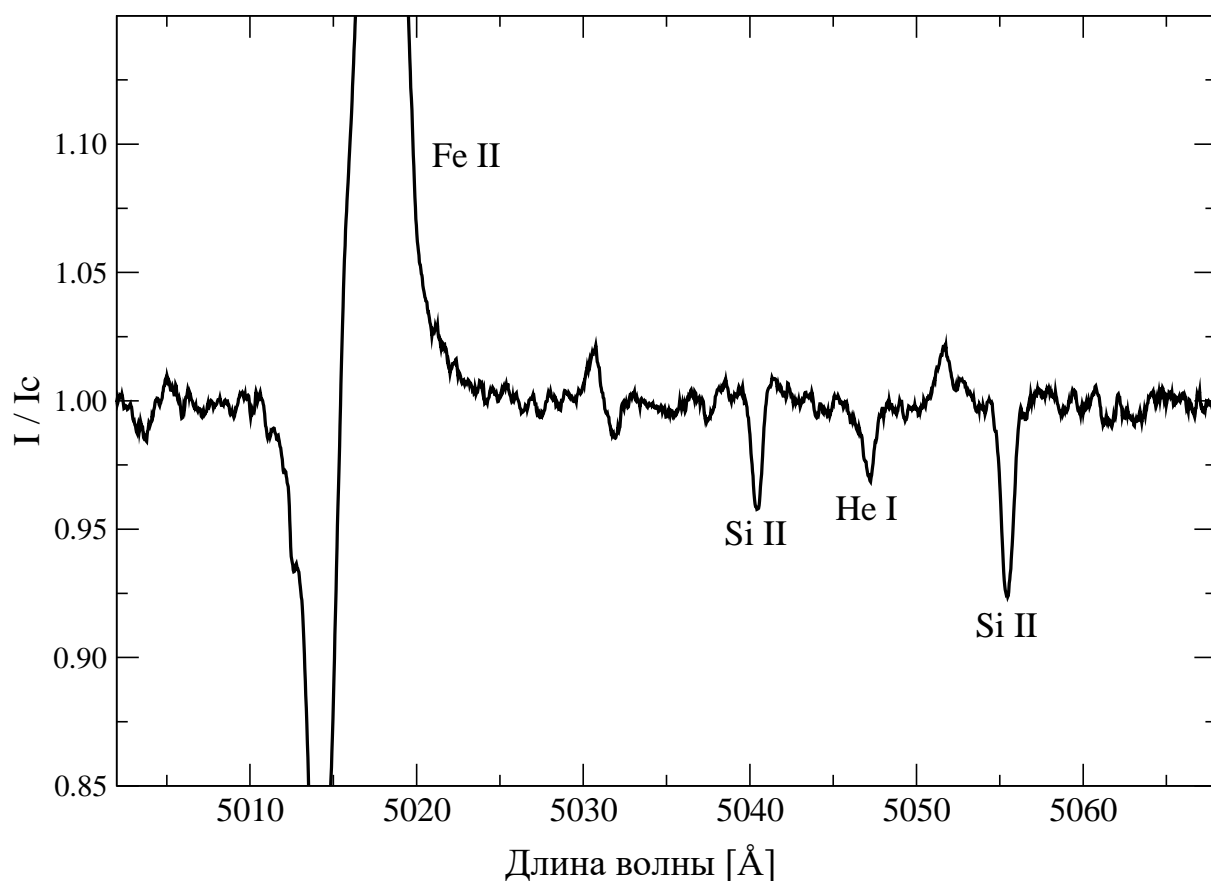


Рисунок 3.5.6 – Участок спектра высокого разрешения звезды AS 78, полученного на Canada-France-Hawaii Telescope (CFHT) 30 ноября 2020 года (спектральное разрешение  $R = 65000$ ). Участок включает линию Si II 5056 Å. Отождествленные линии в этом участке подписаны. Интенсивность выражена в единицах локального континуума

Таким образом, можно с уверенностью предположить, что и AS 78 является двойной системой. В случае обоих исследованных объектов, вторая звезда в системе, по-видимому, является значительно более слабой, чем главная звезда спектрального класса B, и ее линии не видны в спектре. Это является типичной ситуацией для объектов типа FS CMa.

Была измерена переменность EW, RV и интенсивность линии H $\alpha$  в спектре AS 78, приведенные на рисунках 3.5.7-3.5.9, по данным, полученным на телескопах SPM, MCD, CFHT.

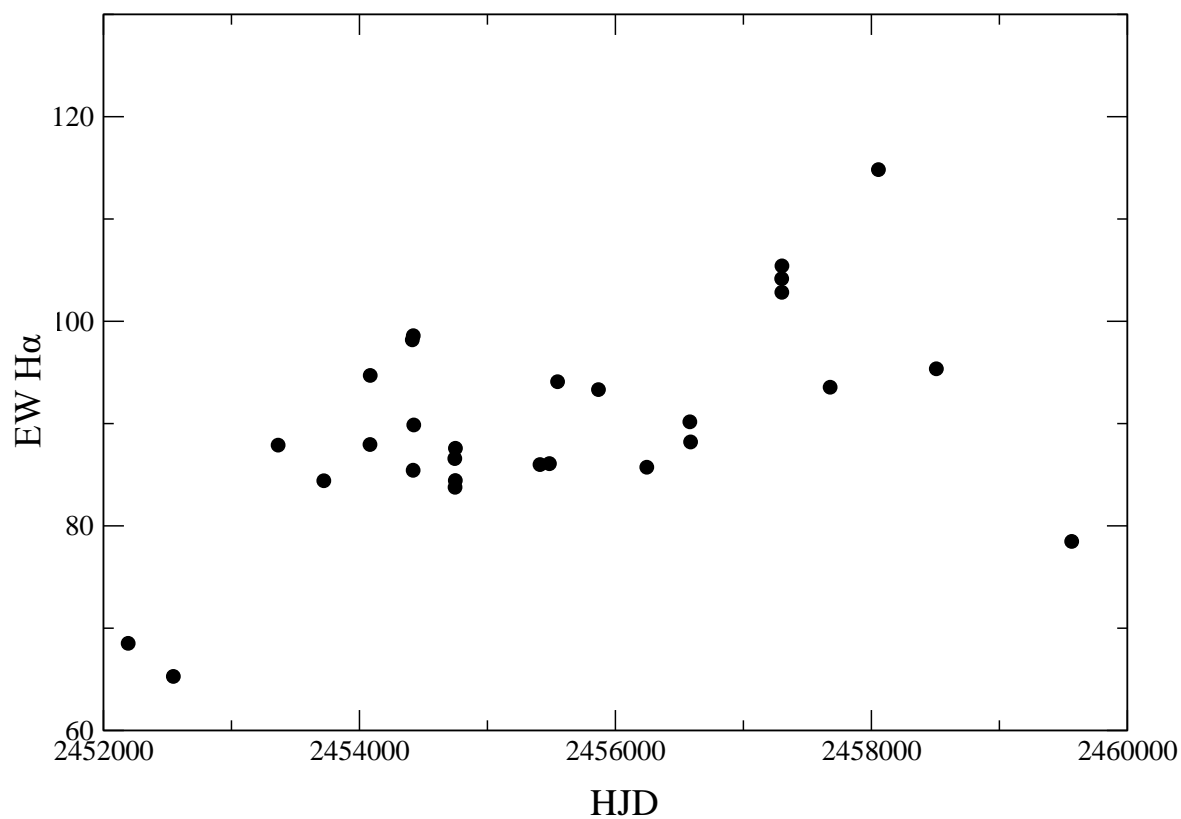


Рисунок 3.5.7 – Переменность эквивалентной ширины линии Hα

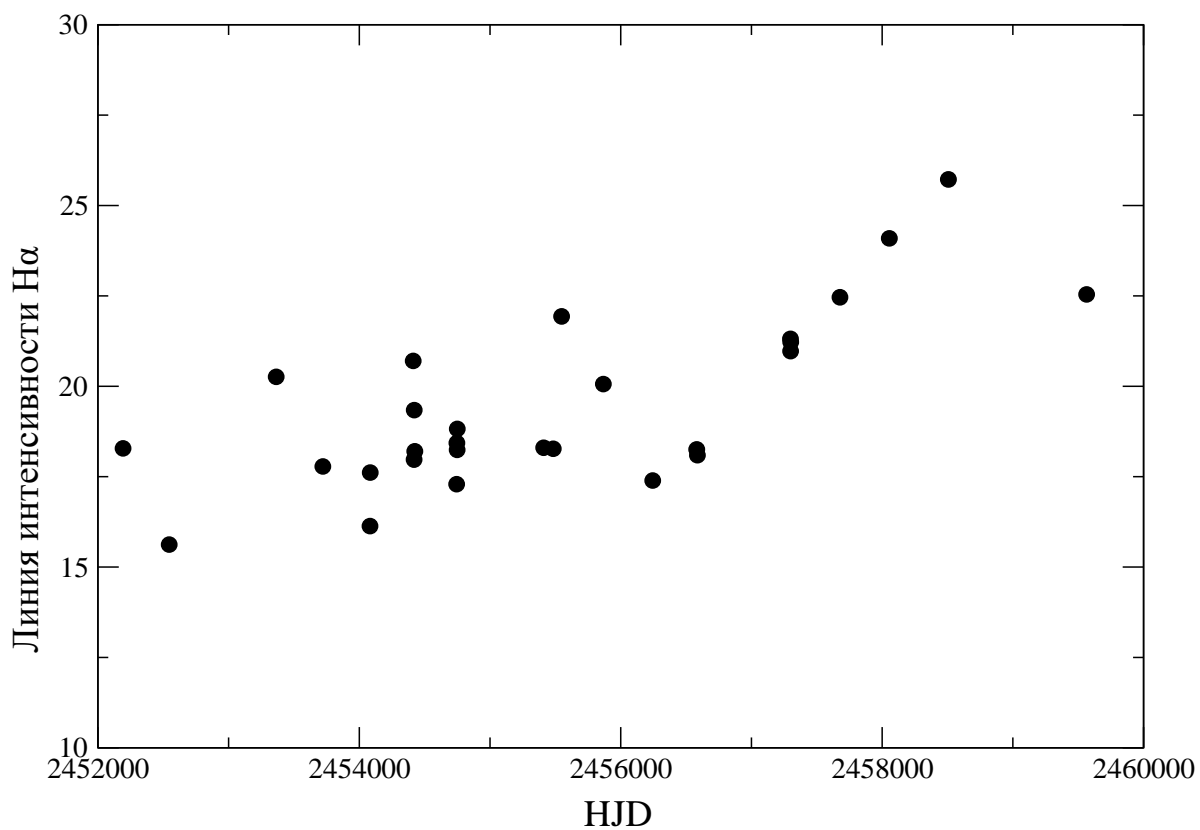


Рисунок 3.5.8 – Переменность интенсивности линии Hα

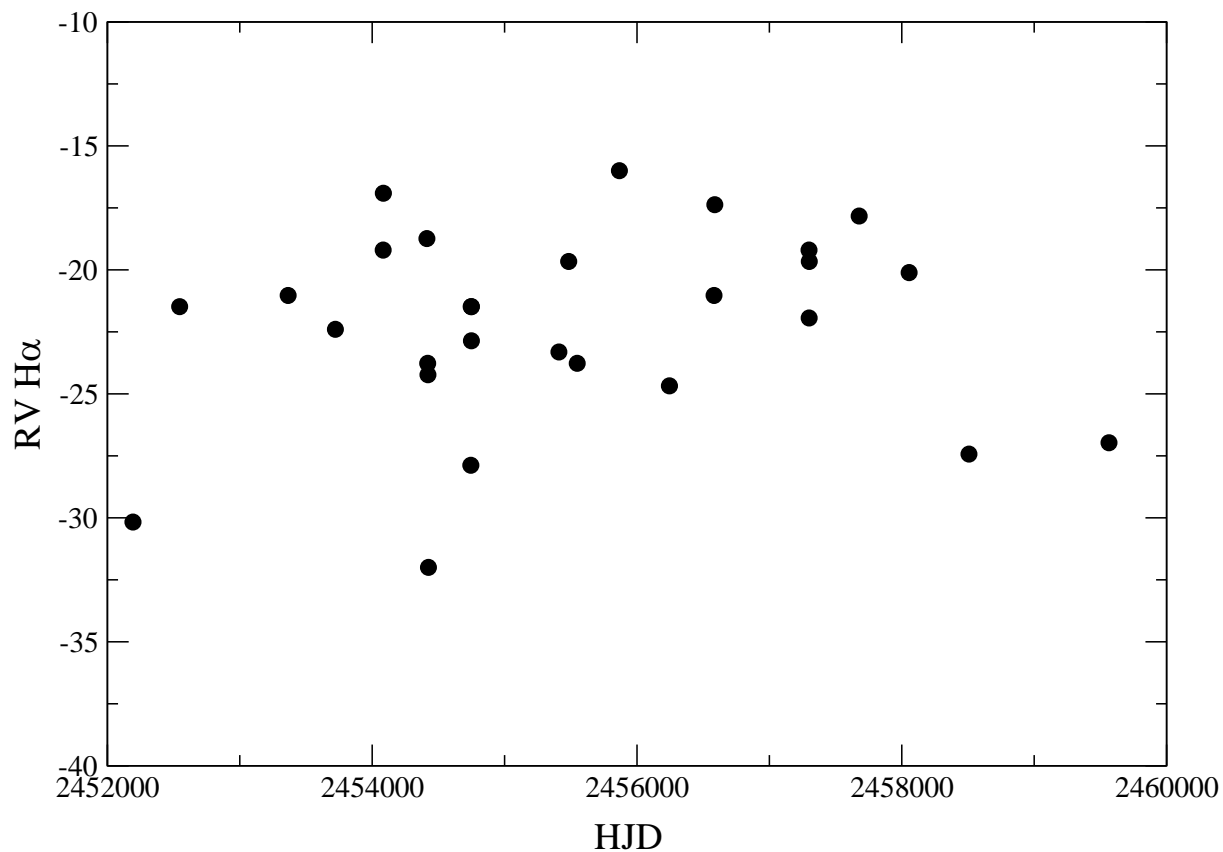


Рисунок 3.5.9 – Переменность лучевой скорости линии H $\alpha$

В таблице 3.5.1 приведены параметры измеренных линий объекта AS 78. Кроме эмиссионных линий серии Бальмера в спектре AS 78 наблюдаются и запрещенные линии, типичные для объектов типа FS CMa (например, линии запрещенного нейтрального кислорода  $\lambda\lambda$  6300, 6363 Å), а также линии поглощения, образующиеся в атмосфере звезды.

Таблица 3.5.1 – Параметры спектральных линий объекта AS 78

HJD	$\lambda\text{H}\alpha$	RV H $\alpha$	EW H $\alpha$	Линия инт. H $\alpha$	$\lambda\text{Ti II}$	RV Ti II	$\lambda\text{He I}$	RV He I	$\lambda\text{Mg II}$	RV Mg II	$\lambda\text{Si II}$	RV Si II	$\lambda\text{He I}$	RV He I	$\lambda\text{He I}$	RV He I
2452192.889	6562,16	-30,17	68,52	18,28	–	–	–	–	–	–	–	–	5875,16	-24,00	6677,50	-29,20
2452545.910	6562,35	-21,48	65,29	15,62	–	–	–	–	–	–	–	–	5875,14	-25,02	6677,18	-43,57
2453721.702	6562,33	-22,40	84,42	17,78	4500,81	-30,66	4471,05	-28,85	4480,16	-71,63	5055,47	-32,63	5875,18	-22,98	6677,31	-37,74
2454082.780	6562,40	-19,20	87,96	16,13	4499,80	-97,97	4470,93	-36,90	4480,99	-16,07	5055,54	-28,48	5875,40	-11,74	6677,81	-15,27
2454083.768	6562,45	-16,91	94,71	17,61	4500,28	-65,98	4470,81	-44,95	4480,62	-40,84	5055,43	-35,01	5875,09	-27,57	6677,27	-39,53
2454412.928	6562,41	-18,74	98,19	20,70	4499,73	-102,64	4471,15	-22,14	4480,60	-42,18	5055,51	-30,26	5875,03	-30,64	6677,00	-51,66
2454418.839	6562,30	-23,77	85,44	17,97	4499,88	-92,64	4471,17	-20,80	4480,77	-30,80	5055,64	-22,55	5875,06	-29,10	6676,88	-57,05
2454420.781	6562,29	-24,23	98,59	19,34	4500,08	-79,31	4471,10	-25,49	4480,81	-28,12	5055,41	-36,19	5875,21	-21,44	6676,97	-53,01
2454424.897	6562,12	-32,00	89,87	18,20	4499,93	-89,31	4470,95	-35,56	4480,73	-33,47	5055,44	-34,41	5875,04	-30,12	6676,55	-71,88
2454744.889	6562,21	-27,88	86,59	17,29	4499,72	-103,30	4471,12	-24,15	4480,24	-66,28	5055,55	-27,89	5875,03	-30,64	6678,79	28,75
2454746.907	6562,35	-21,48	83,78	18,43	4500,37	-59,98	4471,19	-19,46	4480,54	-46,19	5054,35	-99,09	5875,24	-19,91	6677,39	-34,14
2454748.897	6562,32	-22,86	84,44	18,24	4500,72	-36,66	4471,05	-28,85	4480,73	-33,47	5055,91	-6,53	5875,16	-24,00	6677,38	-34,59
2454749.888	6562,35	-21,48	87,59	18,82	4500,11	-77,31	4471,06	-28,18	4480,63	-40,17	5055,58	-26,11	5875,13	-25,53	6677,32	-37,29
2455483.918	6562,39	-19,66	86,09	18,27	4500,13	-75,98	4470,17	-87,89	4480,33	-60,25	5055,94	-4,75	5875,28	-17,87	6677,00	-51,66
2455866.861	6562,47	-16,00	93,33	20,06	4500,51	-50,65	4470,82	-44,28	4480,63	-40,17	5055,63	-23,14	5875,19	-22,47	6677,19	-43,13
2456244.844	6562,28	-24,68	85,74	17,39	4500,13	-75,98	4471,09	-26,17	4480,67	-37,49	5055,46	-33,23	5875,37	-13,28	6677,82	-14,82
2456581.908	6562,36	-21,03	90,18	18,25	–	–	–	–	–	–	5055,72	-17,80	5875,35	-14,30	6677,67	-21,56
2456586.845	6562,44	-17,37	88,21	18,09	–	–	–	–	–	–	5055,53	-29,07	5875,26	-18,89	6677,81	-15,27
2457298.916	6562,40	-19,20	104,17	21,31	4499,66	-107,30	4471,21	-18,11	4480,83	-26,78	5055,68	-20,17	5875,23	-20,42	6677,64	-22,91
2457299.843	6562,34	-21,94	102,84	20,97	4499,81	-97,31	4471,08	-26,84	4480,70	-35,48	5055,63	-23,14	5875,24	-19,91	6677,45	-31,45
2457300.885	6562,39	-19,66	105,42	21,22	4500,06	-80,64	4471,21	-18,11	4480,86	-24,77	5055,55	-27,89	5875,27	-18,38	6677,45	-31,45
2457677.899	6562,43	-17,83	93,56	22,46	4500,03	-82,64	4471,25	-15,43	4480,85	-25,44	5055,64	-22,55	5875,42	-10,72	6677,73	-18,87
2458054.865	6562,38	-20,11	114,83	24,09	4499,79	-98,64	4471,15	-22,14	4480,69	-36,15	5055,58	-26,11	5875,18	-22,98	6677,63	-23,36
2453364.89	6562,36	-21,03	87,90	20,26	4500,02	-83,31	4471,10	-25,49	4480,80	-28,79	5055,52	-29,67	5875,12	-26,04	6677,50	-29,20
2455410.643	6562,31	-23,31	86,00	18,30	4499,87	-93,31	4471,04	-29,52	4480,74	-32,80	5055,24	-46,28	5875,19	-22,47	6677,42	-32,79
2455548.260	6562,30	-23,77	94,10	21,93	4500,00	-84,64	4471,11	-24,82	4480,71	-34,81	5055,53	-29,07	5875,35	-14,30	6677,16	-44,47
2458507.387	6562,22	-27,43	95,36	25,72	4500,71	-37,32	4471,06	-28,18	4480,70	-35,48	5055,48	-32,04	5875,07	-28,59	6677,41	-33,24
2459564.632	6562,23	-26,97	78,48	22,54	4500,61	-43,99	4471,06	-28,18	4480,69	-36,15	5055,52	-29,67	5875,11	-26,55	6677,49	-29,65

Примеры разрешенных эмиссионных линий, а также линий поглощения, характеризующих температуру поверхности, в спектре высокого разрешения звезды AS 78, полученном на телескопе CFHT, показаны на рисунке 3.5.10.

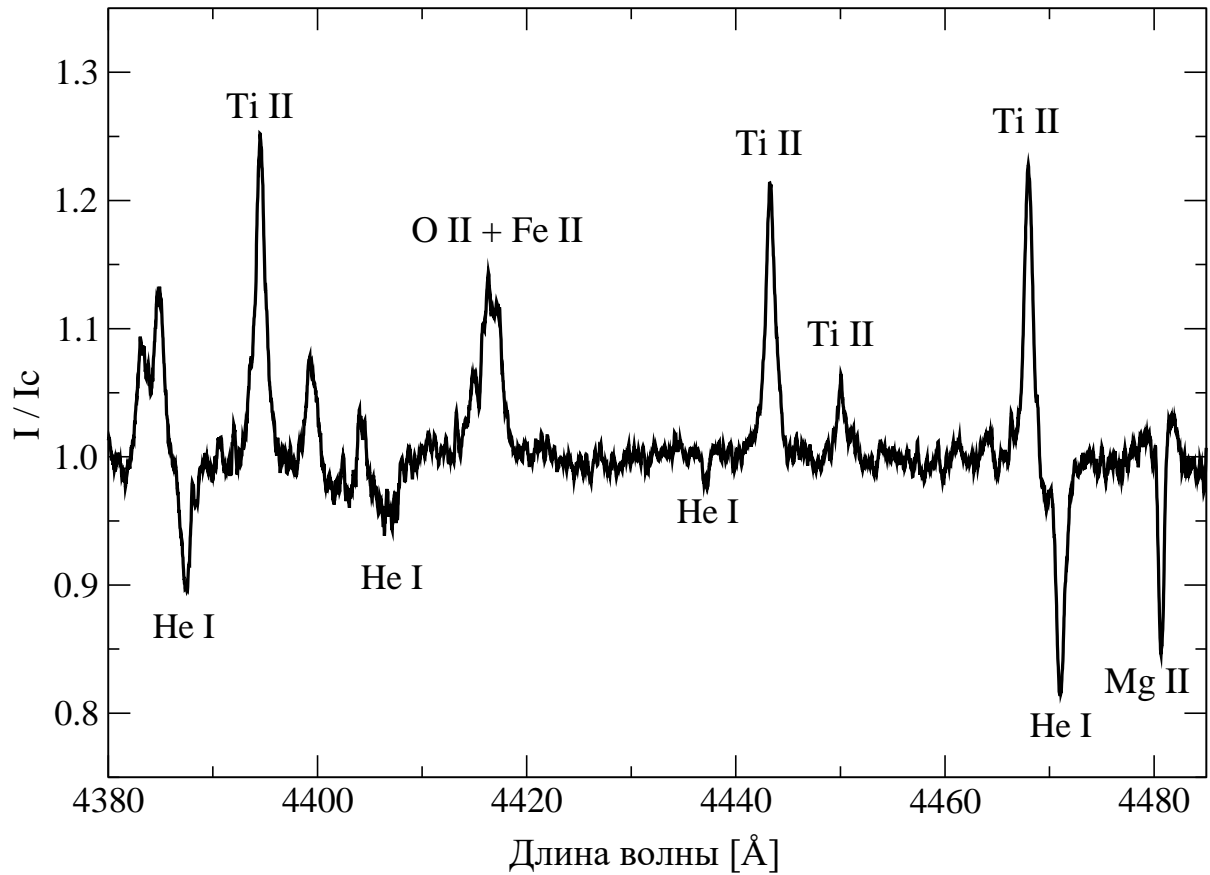


Рисунок 3.5.10 – Часть спектра высокого разрешения звезды AS 78, полученного на Canada-France-Hawaii Telescope (CFHT) 30 ноября 2020 года (спектральное разрешение  $R = 65000$ ). Отождествленные линии в этом участке подписаны. Интенсивность выражена в единицах локального континуума

Как и в случае HD 45677, на нем видны линии поглощения нейтрального гелия (He I), образующиеся в атмосфере звезды. Однако, линия He I  $\lambda 4471 \text{ \AA}$  и линия магния Mg II  $\lambda 4482 \text{ \AA}$  в спектре AS 78 близки по интенсивности, хотя линия гелия и несколько сильнее. Это говорит о более низкой температуре поверхности AS 78, хотя она также должна находиться между 15000 K и 20000 K, что было рассмотрено на примере HD 45677. Поэтому вполне обосновано принять  $T_{\text{eff}}$  AS 78 равной  $17000 \pm 2000 \text{ K}$ , что согласуется с оценкой из работы [83]. Однако, новая оценка получена на более качественном материале и указывает на постоянство температуры поверхности AS 78, что требовало проверки по результатам работы [83].

Таким образом, учитывая определенные в данном исследовании температуры объектов, имеющиеся оценки межзвездного поглощения, и

недавно определенные и более точные расстояния по данным измерения параллаксов космическим телескопом Gaia [87], появляется возможность уточнить светимости объектов, а, следовательно, и их положения на эволюционной диаграмме ГР. Результаты расчета светимостей приведены в следующей таблице 3.5.2.

Таблица 3.5.2 – Результаты расчета светимостей исследованных объектов AS 78 и HD 45677

Параметр	AS 78	HD 45677
V	11.20±0.05	7.40±0.10
B – V	0.75±0.05	0.10±0.05
(B – V) <sub>0</sub>	–0.18±0.02	–0.20±0.02
E(B – V)	0.93±0.07	0.30±0.05
A <sub>v</sub>	2.91±0.21	0.93±0.15
T <sub>eff</sub> (К)	17000±2000 К	18000±2000 К
B.C.	–1.55±0.20	–1.80±0.20
D (парсек)	2,530±110	562±15
M <sub>v</sub>	–3.77±0.15	–2.28±0.10
M <sub>bol</sub>	–5.27±0.25	–4.08±0.15
log L/L <sub>☉</sub>	4.00±0.11	3.60±0.10

В таблице приведены следующие параметры: V – средняя наблюдаемая звездная величина в фильтре V, B – V – средний наблюдаемый показатель цвета, (B – V)<sub>0</sub> – нормальный показатель цвета для принятой T<sub>eff</sub> согласно работе [88], E(B – V) – избыток цвета за счет суммарного (межзвездного и околос звездного) поглощения излучения звезды, T<sub>eff</sub> – эффективная температура звезды, B.C. – болометрическая поправка для принятой температуры звезды согласно работе [89], D – расстояние до объекта согласно измерениям параллакса космическим телескопом Gaia [87], M<sub>v</sub> – абсолютная визуальная звездная величина в фильтре V, M<sub>bol</sub> – абсолютная болометрическая звездная величина, log L/L<sub>☉</sub> – светимость объекта в логарифмической шкале, выраженная в единицах светимости Солнца.

Расчет светимостей проводился по следующим классическим формулам:

$$E(B - V) = (B - V) - (B - V)_0, \quad (3.5.1)$$

$$A_v = 3.13 E(B - V), \quad (3.5.2)$$

$$M_v = V - A_v + 5 - 5 \log D, \quad (3.5.3)$$

$$M_{bol} = M_v + B.C., \quad (3.5.4)$$

$$\log L/L_{\odot} = 0.4 (M_{bol\odot} - M_{bol}), \quad (3.5.5)$$

при этом коэффициент для пересчета из избытка цвета  $E(B-V)$  в поглощение и болометрическая звездная величина Солнца ( $M_{bol\odot} = 4.75$ ) были взяты из работ [88, 89].

#### **Выводы по главе**

В результате определения светимостей и температур объектов можно сделать вывод об их эволюционном статусе при сравнении с моделями эволюции одиночных звезд различных масс. Сравнение с одиночными звездами возможно, поскольку не наблюдается свидетельств тому, что в настоящее время происходит процесс обмена веществом между компонентами двойной системы. Такими свидетельствами могут быть необычные и сильно переменные профили спектральных линий, что не наблюдается ни у одного из объектов исследования. Положения обоих объектов на ДГР, показанные на рисунке 3.5.11, близки и предполагают, что обе звезды имеют массу порядка 7–9 масс Солнца. При этом оба объекта расположены за пределами Главной Последовательности, что дополнительно опровергает их молодость. Молодые звезды таких масс не достигшие ГП эволюционируют быстро и могут наблюдаться только после рассеяния протозвездных облаков, в которых они образовались, находясь очень близко к ГП. Кроме того, никаких признаков облаков, из которых эти объекты могли образоваться, вокруг них не наблюдается.

По горизонтальной оси отложена эффективная температура звезд в логарифмической шкале в градусах Кельвина. По вертикальной оси отложена светимость в логарифмической шкале в единицах светимости Солнца.

Неподписанные символы показывают положение других объектов типа FS CMa с известными параметрами. Сплошные линии показывают эволюционные треки одиночных звезд с начальными массами, подписанными цифрами в единицах солнечной массы. Треки взяты из работы [77]. Начальные положения треков соединены линией, представляющей Начальную ГП, откуда звезды начинают свою эволюцию. Пунктирной линией отмечена «линия рождения» звезд согласно работе [90]. Звезды, находящиеся выше этой линии по оси светимостей, не должны быть наблюдаемы в оптическом диапазоне спектра, так как все еще окружены протозвездными облаками.



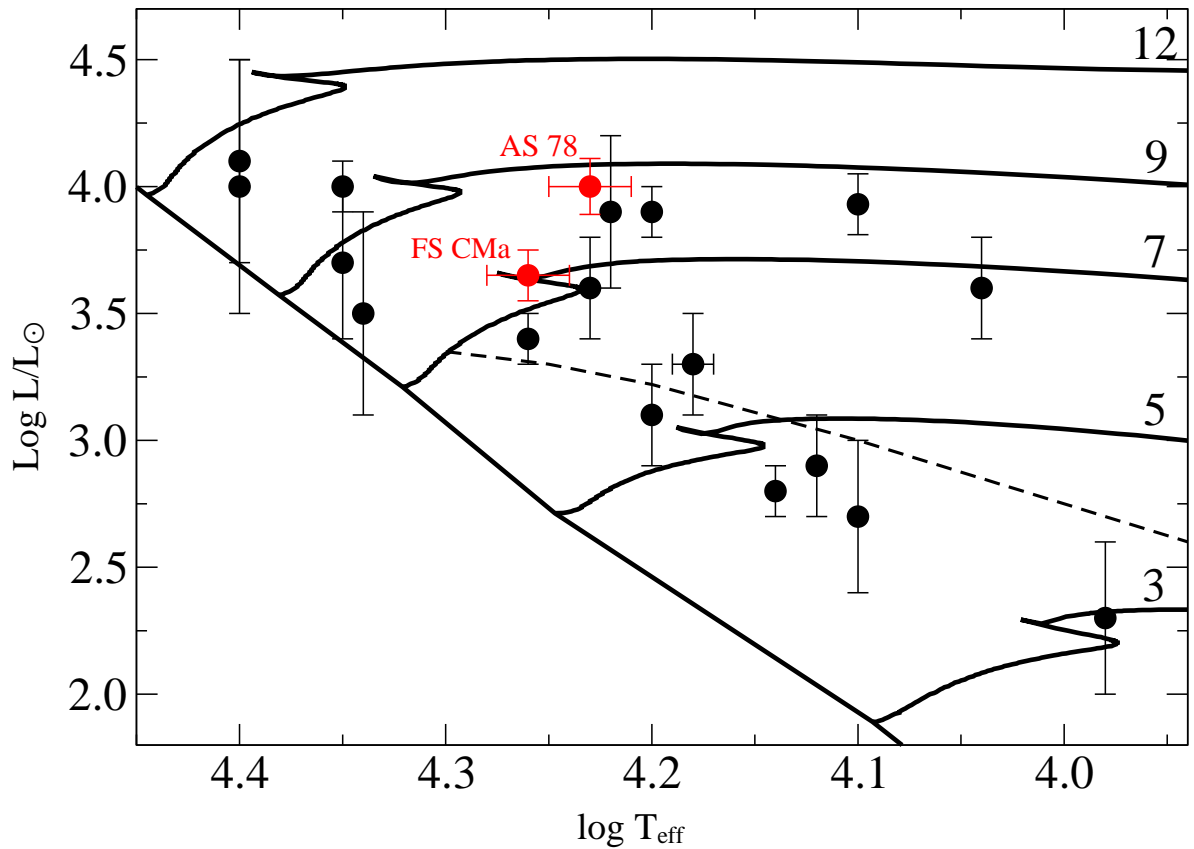


Рисунок 3.5.11 – Эволюционная ДГР. Положение объектов исследования на ДГР подписаны красным цветом

Как видно на диаграмме, оба объекта исследования располагаются примерно в той же области, что и другие объекты этого типа. Этот результат согласуется с гипотезой о том, что объекты типа FS CMa, находятся на продвинутой стадии эволюции и, вероятно, на стадии после обмена веществом со вторичными звездными компонентами двойных систем, который является причиной образования околозвездной газопылевой оболочки.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследования, проведенные в диссертационной работе, сводятся к следующим основным результатам:

Диссертационная работа посвящена разделу астрофизики, изучающему природу горячих звезд с околзвездными газопылевыми оболочками, показал, что одной из наименее исследованных групп таких объектов является группа звезд типа FS CMa, содержащая несколько десятков объектов, характеризующихся присутствием сильных эмиссионных линий в оптических спектрах, включая запрещенные линии, и с сильными инфракрасными избытками, которые объясняются присутствием в оболочках звезд околзвездной пыли. Природа возникновения околзвездных оболочек к настоящему моменту полностью неизвестна. Однако, современная теория звездной эволюции предсказывает слишком слабые темпы потери вещества звездами спектрального класса В, находящимися на ГП или сразу после окончания этой эволюционной стадии. Основная гипотеза для объяснения существования этих объектов предполагает, что оболочки образуются из вещества, переносимого между компонентами в двойных системах при окончании эволюции на ГП более массивного компонента. К настоящему времени среди объектов типа FS CMa подтверждено около 15 двойных систем, что недостаточно для распространения данной гипотезы на всю группу. Поскольку основными методами обнаружения двойных систем являются систематическая фотометрия и спектроскопия, исследование большего количества объектов группы на длительных промежутках времени является важным направлением исследования в астрофизике. Настоящая работа посвящена исследованию спектральных и фотометрических характеристик двух объектов типа FS CMa, прототипа этой группы переменной звезды FS CMa = HD 45677 и недавно обнаруженного члена этой группы звезды AS 78 = MO Cam, а также разработке критериев поиска новых кандидатов в данную группу объектов.

В результате исследования фотометрических характеристик группы объектов типа FS CMa по данным каталогов оптических и инфракрасных обзоров неба были разработаны несколько критериев, представляющих собой двуцветные диаграммы (диаграммы показателей цвета), на которых не только удается выделить объекты с пылевыми оболочками, но и разделить отдельные типы звезд с пылевыми оболочками. В то же время, применение этих критериев не гарантирует, что все попавшие в области диаграмм, в которых были найдены известные объекты типа FS CMa, будут являться таковыми. Возможна мимикрия холодных звезд как с оболочками, так и без них под покрасневшие горячие звезды с пылевыми оболочками. Также не гарантируется и наличие эмиссионных линий в спектрах выявленных кандидатов. Поэтому необходимо проводить спектральные наблюдения кандидатов с целью их проверки на присутствие эмиссионных линий, что можно делать с помощью спектрографов низкого разрешения на небольших

телескопах. Подтвержденные объекты с феноменом В[е] следует изучать с более высоким спектральным разрешением для количественного определения их фундаментальных параметров и физических характеристик околозвездных оболочек.

С помощью разработанных критериев был найден 81 кандидат в горячие звезды с оболочками. Проведенные спектральные наблюдения позволили выявить 25 звезд с эмиссионными линиями, а также несколько холодных звезд и визуальных звездных пар, не связанных друг с другом физически без присутствия эмиссионных линий. Выявленные эмиссионные объекты предложены для дальнейшего более подробного изучения.

Кроме того, анализ эволюционных моделей двойных систем с переносом вещества между компонентами системы позволил отобрать 23 ярких короткопериодических двойных систем как возможных объектов, находящихся на ранних стадиях процесса переноса массы. Спектральные наблюдения этих систем с высоким разрешением не потребуют привлечения больших телескопов и могут быть использованы для независимой проверки эволюционных моделей, а также поиска дополнительных кандидатов в группу объектов типа FS CMa.

В результате проведенного исследования:

- Разработаны фотометрические критерии поиска кандидатов в группу объектов типа FS CMa, позволившие обнаружить 25 новых объектов;

- Определены физические параметры и эволюционный статус звезд типа FS CMa и AS 78. Проведенные наблюдения и их анализ показывают, что эти объекты не могут быть молодыми звездами.

- Обнаружены периодические изменения отношения интенсивности пиков в профилях водородных линий с периодом 184 дня, и, как следствие, это может быть связано с орбитальным движением компонентов двойной системы. Такие явления наблюдаются у Ве звезд. Этот результат является более надежным подтверждением предположения о двойственности, полученного с помощью спектро-астрометрии [91].

- Обнаружено отсутствие систематического изменения блеска звезды AS 78 в оптическом диапазоне, указывающая на то, что звезда находится на стабильной стадии эволюции.

- Обнаружены периодические изменения положения фотосферной линии Si II 5056 Å и оптического блеска с периодом около 120 дней, что указывает на присутствие второго компонента в двойной системе.

По результатам диссертационной работы был получен положительный отзыв из Института астрономии Общества Макса Планка (Германия) от Захой О.В., приведенный в Приложении Б.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Allen D.A., Swings J.-P., The Spectra of Peculiar Be Stars with Infrared Excesses // *Astronomy and Astrophysics*. – 1976. – Vol. 47. – PP. 293-302.
- 2 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 (Russia), April 26–30, 2021, P. 48
- 3 Osterbrock D.E. *Astrophysics of gaseous nebulae and active galactic nuclei* // *University Science Books*. – 1989. – P. 408.
- 4 Finkenzeller U., Mundt R. The Herbig Ae/Be Stars associated with nebulosity // *Astronomy and Astrophysics Supplement Series*. – 1984. – Vol. 55. – PP. 109-141.
- 5 Böhm T., Catala C. Forbidden lines in Herbig Ae/Be stars: the [O I] (1F) 6300.31 Å and 6363.79 Å lines // *Astronomy and Astrophysics*. – 1994. – Vol. 290. – PP. 167-175.
- 6 Мирошниченко А.С. Фотометрические и спектральные исследования горячих звезд с газопылевыми оболочками: дис. док.ф.-м. наук: 01.03.02 // РАН. Специальная астрофизическая обсерватория. – Нижний Архыз. – 2008. – С. 250.
- 7 Бергнер Ю.К., Мирошниченко А.С., Судник И.С., Юдин Р.В., Ютанов Н.Ю., Кривцов А.А., Соколов А.Н., Куратов К.С., Муканов Д.Б. MWC 342 – молодая звезда // *Астрофизика*. – 1990. – Т. 32. – № 2. – С. 203-220.
- 8 Bergner Yu.K., Miroshnichenko A.S., Yudin R.V., Kuratov K.S., Mukanov D.B., Sheikina T.A. Observations of emission-line stars with IR excesses. II. Multicolor photometry of B[e] stars // *Astronomy and Astrophysics Supplement*. – 1995. – Vol. 112. – PP. 221.
- 9 Miroshnichenko A.S. New Possible Binaries among B[e] stars // *Astronomical and Astrophysical Transactions*. – 1995. – Vol. 6. – P. 251-263.
- 10 Clark J.S., Miroshnichenko A.S., Larionov V.M., Lyuty V.M., Hynes R.I., Pooley G.G., Coe M.J., McCollough M., Dieters S., Efimov Yu.S., Fabregat J., Goranskii V.P., Haswell C.A., Metlova N.V., Robinson E.L., Roche P., Shenavrin V.I., Welsh W.F. Photometric observations of the radio bright B[e]/X-ray binary CI Cam // *Astronomy and Astrophysics*. – 2000. – Vol. 356. – PP. 50-62.
- 11 Miroshnichenko A.S. Photometry, Polarimetry and Interferometry of B[e] Stars Variability // *B[e] stars: Proceedings of the Paris workshop*. *Astrophysics and Space Science Library*. – 1998. – Vol. 233. – P. 145.
- 12 van der Veen W.E.C.J., Habing H.J. The IRAS two-colour diagram as a tool for studying late stages of stellar evolution // *Astronomy and Astrophysics*. – 1988. – Vol. 194. – PP. 125-134.

- 13 Carlson E.D, Henize K.G. Twenty southern peculiar emission-line stars // *Vistas in Astronomy*. – 1979. – Vol. 23. – Issue 3. – PP. 213-263.
- 14 Miroshnichenko A.S., Levato H., Bjorkman K.S., Grosso M. Properties of galactic B[e] supergiants II. HDE 327083 // *Astronomy and Astrophysics*. – 2003. – V. 406. – pP 673-683.
- 15 Dong Y.-S., Hu J.-Y. Early — type emission — line stars with large infrared excesses // *Chinese Astronomy and Astrophysics*. – 1991. – Vol. 15. – PP. 275-283.
- 16 IRAS PSC. <https://heasarc.gsfc.nasa.gov/W3Browse/iras/iraspsc.html>
- 17 Wackerling L.R. A catalogue of early-type stars whose spectra have shown emission lines // *Memoirs of the Royal Astronomical Society*. – 1970. – Vol. 73. – P. 153.
- 18 Miroshnichenko A.S., Bjorkman K.S., Klochkova V.G., Chentsov E.L. Be Binaries with Warm Dust and Exotic High-Luminosity A-F Emission-Line Stars // *Exotic Stars as Challenges to Evolution, ASP Conference Proceedings, IAU Colloquium 187, Astronomical Society of the Pacific*. – 2002. – Vol. 279. – P. 303.
- 19 Lamers H.J.G.L.M., Zickgraf F.-J., de Winter D., Houziaux L., Zorec, J. An improved classification of B[e]-type stars // *Astronomy and Astrophysics*. – 1998. – Vol. 340. – PP. 117-128.
- 20 Kenyon S.J. *The symbiotic stars* // Cambridge: University Press. – 1986.
- 21 Miroshnichenko A.S. Toward Understanding the B[e] Phenomenon. I. Definition of the Galactic FS CMa Stars // *Astrophysical Journal*. – 2007. – Vol. 667. – PP. 497-504.
- 22 Zamanov R.K., Bode M.F., Melo C.H.F., Porter J.M., Gomboc A., Konstantinova-Antova R. Rotational velocities of the giants in symbiotic stars – I. D'-type symbiotics. // *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. – 2006. – Vol. 365. – № 4. – PP. 1215-1219.
- 23 Men'shchikov A.B., Miroshnichenko A.S. Properties of galactic B[e] supergiants. V. Two-dimensional radiative transfer model of RY Sct and its dusty disc // *Astronomy and Astrophysics*. – 2005. – Vol. 443. – PP. 211-222.
- 24 Miroshnichenko A.S., *Galactic B[e] Stars: A Review of 30 Years of Investigation* // *Stars with the B[e] Phenomenon. ASP Conference Series*. – 2006. – Vol. 355. – P. 13
- 25 Krtićka, J. Mass loss in main-sequence B stars // *Astronomy and Astrophysics*. – 2014. – Vol. 564. – id.A70. – P. 10.
- 26 Swings, J.-P. A Grandfather's Question: Why Have these Stars Been Called B[e]s? // *Stars with the B[e] Phenomenon. ASP Conference Series, Astronomical Society of the Pacific* – 2006. – Vol. 355. – P. 3.
- 27 Отчет о научно-исследовательской работе «Исследование эволюции двойных систем промежуточных масс», 2018-2020 гг., Ф.0795
- 28 IRAS Catalog of Point Sources. – Version 2.0. *VizieR Online Catalog II/125*, 1986.

29 Miroshnichenko, A.S., Zharikov, S.V. FS CMa Type Binaries // EAS Publication Series. – 2015. – Vol. 71–72. – PP. 181–186.

30 A. K. Kuratova, A. S. Miroshnichenko, K. S. Kuratov, A. Zh. Naurzbayeva, 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.

31 D. Korcakova, A.S. Miroshnichenko, F. Sestito, S. V. Zharikov, N. Manset, V. Votruba, M. Slechta, S. Danford, P. Kroupa, A. Raj, N. Dvorakova, S. A. Khokhlov, A. V. Kusakin, I. V. Reva, R. I. Kokumbaeva, Ch. T. Omarov, S. D. Chojnowski, N. Sh. Alimgazinova, 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 (Russia), April 26–30, 2021, P. 43.

32 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.

33 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.

34 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.

35 Zacharias, N., Monet, D.G., Levine, S.E., Urban, S.E., Gaume, R., Wycoff, G.L. The Naval Observatory Merged Astrometric Dataset (NOMAD) // Bulletin of the American Astronomical Society. – 2004. – Vol. 36. – P. 1418.

36 Cutri, R.M., Skrutskie, M.F., van Dyk, S., et al. 2MASS All-Sky Catalog of Point Sources // Vizie Online Catalog II/246. – 2003.

37 Wright, E.L., Eisenhardt, P.R.M., Mainzer, A.K., et al. The wide-field survey explorer (WISE): mission description and initial on-orbit performance // Astronomical Journal. – 2010 – Vol. 140. – P. 1868–1881.

38 Murakami, H., Baba, H., Berthel, P., et al. The infrared astronomical mission AKARI // Publications of the Astronomical Society of Japan. – 2007. – Vol. 59. – P. 369–376.

39 Pojmanski, G. The All Sky Automated Survey // Acta Astronomica. – 1997. – Vol. 47. – P. 467–481.

40 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. – T. 856. – № 2. – P. 1-13.

41 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. – P. 1-9.

42 van Rensbergen, W., De Greve, J.P., De Loore, C., Mennekens, N. Spin-up and hot spots can drive mass out of a binary // *Astronomy and Astrophysics*, 2008. – Vol. 487. – P. 1129–1138.

43 van Rensbergen, W., de Greve, J. P., Mennekens, N., Jansen, K., de Loore, C. Mass loss out of close binaries. The formation of Algol-type systems, completed with case B RLOF // *Astronomy and Astrophysics*, 2011. – Vol. 528. – A16.

44 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.

45 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 IRAS07080, a Less Evolved Example of the Red Rectangle // *Odessa Astronomical Publication*, Ukraine. – 2020. – Vol. 33. – PP. 141-146.

46 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.

47 ESA, The Hipparcos and Tycho Catalogues (vol. 1-17) // *European Space Agency SP-1200*, 1997.

48 Shoenfeld, E. *Bonner Durchmusterung des sudlichen Himmels* // Eds Marcus and Weber's Verlag, Bonn, 0. – 1886.

49 Merrill, Paul W., Burwell, Cora G. Additional Stars whose Spectra have a Bright H  $\alpha$  Line // *Astrophysical Journal*. – 1950. – Vol.112. – P.72.

50 Burnichon M.L., Chalonge D., Divan L., Swings L. Etude de l'etoile Be HD 45677 // *Journal des Observateurs*. – 1967. – Vol. 50. – PP. 391-396.

51 De Winter D., van der Ancker M.E., Perez M.R., Swings J.-P., Thé P.S., Johnson S.B., Molster F.J., van Loon J.T. The peculiar B[e] star HD 45677. Photometric observations // *Astronomy and Astrophysics Supplement Series*. – 1996. – Vol. 119. – PP. 1-5.

52 Samus N.N., Kazarovets E.V., Durlevich O.V., Kireeva N.N., Pastukhova E.N. General Catalogue of Variable Stars: Version GCVS 5.1 // *Astronomy Reports*. – 2017. – Vol. 61. – № 1. – PP. 80-88.

53 Kazarovets E.V., Samus N.N., Durlevich O.V., Kireeva N.N., Pastukhova E.N., *IAU Information Bulletin on Variable Stars*. – 2006. – Vol. 5721. – № 1. – PP. 1-45.

54 Rufener F. Third catalogue of stars measured in the Geneva Observatory photometric system // *Astronomy and Astrophysics, Supplement Series*. – 1981. – Vol. 45. – P. 207-366.

55 Herbig, G.H. The nature and evolutionary status of Herbig Ae/Be stars // *Astronomical Society of the Pacific Conference Series*, Vol. 62. Proceedings of the

First International Meeting held in Amsterdam, 26-29 October 1993, San Francisco: Astronomical Society of the Pacific (ASP). –1994 | edited by Pik Sin The, Mario R. Perez, and Edward P. J. Van den Heuvel. – P. 3

56 Wichittanakom, C., Oudmaijer, R.D., Fairlamb, J.R., Mendigutia, I., Vioque, M., Ababakr, K.M. The accretion rates and mechanisms of Herbig Ae/Be stars // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society – 2020. –Vol. 493. – Issue 1. P. 234-249

57 Swings J.P. Spectrographic observations of the peculiar Be star with infrared excess HD 45677 // Astronomy and Astrophysics. – 1973. – Vol. 26. – PP. 443-455.

58 Sorrel W. H. Modelling the dust grains around the peculiar Be star HD 45677 // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. – 1989. – Vol. 241. – PP. 89-108.

59 van der Hucht K.A., Williams P.M., Thé P.S. On the output of energy, gas and dust by Wolf-Rayet stellar winds // Quarterly Journal of Royal Astronomical Society. – 1987. – Vol. 28. – P. 254-260.

60 Cohen, M., Barlow, M. J., Kuhl, L. V. Wolf-Rayet stars. VI. The nature of the optical and infrared continuum. // Astronomy and Astrophysics. – 1975. – Vol. 40. – PP. 291-302.

61 Sitko M.L. Spectral energy distributions of hot stars with circumstellar dust // Astrophysical Journal. – 1981. – Vol. 247. – PP. 1024-1038.

62 Jones, T. W., Merrill, K. M. Model dust envelopes around late-type stars // Astrophysical Journal. – 1976. – Vol. 209. – PP. 509-524.

63 Rowan-Robinson M., Harris, S. Radiative transfer in dust clouds. II. Circumstellar dust shells around early M giants and supergiants. // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. – 1982. – Vol. 200. – PP. 197-215.

64 Rowan-Robinson M. Double-shell circumstellar dust shells // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. – 1982. – Vol. 201. – PP. 281-288.

65 Adams, Fred C., Lada, Charles J., Shu, Frank H. The Disks of T Tauri Stars with Flat Infrared Spectra // Astrophysical Journal. – 1988. – Vol. 326. PP. 865.

66 Sitko, M. L., Savage, B. D. Ultraviolet, visual, and infrared observations of the peculiar Be star HD 45677 // Astrophysical Journal. – 1980. – Vol. 237. – PP. 82-88.

67 Hecht, J. H. A Physical Model for the 2175 Angstrom Interstellar Extinction Feature // Astrophysical Journal. – 1986. – Vol. 305. – P. 817.

68 Olon, F. M., Raimond, E. IRAS catalogues and atlases. Atlas of low-resolution spectra // Les Ulis: Ed. de Physique. – 1986.

69 Code A.D. Radiative Transfer in Circumstellar Dust Clouds // Interstellar Dust and Related Topics. IAU Symposium. – 1973. № 52. – P. 505.

70 Mathis, J. S., Rumpl, W., Nordsieck, K. H. The size distribution of interstellar grains // Astrophysical Journal. – 1977. – Vol. 217. – PP. 425-433.



71 Wolfire, M. G., Cassinelli, J. P. The Temperature Structure in Accretion Flows onto Massive Protostars // *Astrophysical Journal*. – 1986. – V. 310. – P. 207.

72 Low, F. J., Johnson, H. L., Kleinmann, D. E., Latham, A. S., Geisel, S. L. Photometric and Spectroscopic Observations of Infrared Stars // *Astrophysical Journal*. – 1970. – Vol. 160. – P. 531.

73 Ciatti, F., D'Odorico, S., Mammano, A. Properties and evolution of BQ[] stars // *Astronomy and Astrophysics*. – 1974. – Vol. 34. – P. 181-186.

74 Halbedel, E.M. Recent Photometric Behavior of the Unusual Be Star HD 45677 = FS Canis Majoris // *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*. – 1989. – Vol. 101. – P. 999.

75 ASAS-SN. <https://asas-sn.osu.edu/>

76 SIMBAD Astronomical database. <http://simbad.u-strasbg.fr/simbad/sim-basic>

77 Ekström, S., Georgy, C., Eggenberger, P., Meynet, G., Mowlavi, N., Wyttenbach, A., Granada, A., Decressin, T., Hirschi, R., Frischknecht, U., Charbonnel, C., Maeder, A. Grids of stellar models with rotation. I. Models from 0.8 to 120 Msun at solar metallicity ( $Z = 0.014$ ) // *Astronomy & Astrophysics*. – 2012. – Vol. 537. – A146. pp. 18.

78 PGRAM. <https://exoplanetarchive.ipac.caltech.edu/cgi-bin/Pgram/nph-pgram>

79 Zharikov, S.V., Miroshnichenko, A.S., Pollmann, E., Danford, S., Bjorkman, K.S., Morrison, N.D., Favaro, A., Guarro Fló, J., Terry, J.N., Desnoux, V., Garrel, T., Martineau, G., Buchet, Y., Ubaud, S., Mauclaire, B., Kalbermatten, H., Buil, C., Sawicki, C. J., Blank, T., Garde, O. Doppler tomography of the circumstellar disk of  $\pi$  Aquarii // *Astronomy & Astrophysics*. – 2013. – Vol. 560. – id.A30. – P. 6.

80 Miller, William C., Merrill, Paul W. Spectroscopic Observations of Be Stars // *Astrophysical Journal*. – 1951. – Vol. 113. – P. 624.

81 Miroshnichenko, A. S., Corporon, P., Shejkina, T. A. B-type emission-line stars with compact dusty envelopes // American Astronomical Society, 194th AAS Meeting id.13.07, *Bulletin of the American Astronomical Society*. – 1999. – Vol. 31. – P. 845.

82 Kuratov, K. S., Miroshnichenko, A. S., Bergner, Y. K. Observations of Galactic B[e] Stars at the Tien-Shan Observatory // *B[e] stars : Proceedings of the Paris workshop*. – 1998. – Vol. 233. – P. 165.

83 Miroshnichenko, A. S., Chentsov, E. L., Klochkova, V. G., Kuratov, K. S., Shejkina, T. A., Mukanov, D. B., Bjorkman, K. S., Gray, R. O., Rudy, R. J., Lynch, D. K., Mazuk, S., Puetter, R., García-Lario, P., Perea, J. V., Bergner, Yu. K. Spectroscopy and photometry of the emission-line B-type stars AS 78 and MWC 657 // *Astronomy and Astrophysics Supplement*. – 2000. – Vol. 147. – PP. 5-24.

84 Straizys V. & Kuriliene G. Fundamental Stellar Parameters Derived from the Evolutionary Tracks // *Astrophysics and Space Science*. – 1981. – Vol. 80. – Issue 2. – P. 353-368.

85 Shejkina, T. A., Miroshnichenko, A. S. Spectroscopy and Photometry of B[e]-Star Candidates AS 78 and LS II +22°8 // *B[e] stars : Proceedings of the Paris workshop*. – 1998. – Vol. 233. – P.135.

86 Barlow, M. J., Cohen, M. Infrared photometry and mass loss rates for OBA supergiants and Of stars // *Astrophysical Journal*. – 1977. – Vol. 213. – PP. 737-755.

87 Bailer-Jones, C.A.L., Rybizki, J., Fouesneau, M., Demleitner, M. Andrae, R. Estimating Distances from Parallaxes. V. Geometric and Photogeometric Distances to 1.47 Billion Stars in Gaia Early Data Release 3 // *Astronomical Journal*. – 2021 – Vol. 146. – № 3. Id. 147. PP. 24

88 Kurucz R. Atomic Data for Ca, Sc, Ti, V, and Cr // *Atomic Data for Ca, Sc, Ti, V, and Cr*. Cambridge, Mass.: Smithsonian Astrophysical Observatory. – 1994. – No. 20.

89 Divan, L., Zorec, J. BCD spectrophotometry of the Be-shell star 88 Her // *IAU Symposium*. – 1982. – No. 98. – PP. 61-63.

90 Oudmaijer, Rene D., Proga, Daniel, Drew, Janet E., de Winter, Dolf. The evolved B[e] star HD 87643: observations and a radiation-driven disc wind model for B[e] stars // *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. – 1998. – Vol. 300. – № 1. – PP. 170-182.

91 Baines, Deborah, Oudmaijer, René D., Porter, John M., Pozzo, Monica. On the binarity of Herbig Ae/Be stars // *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. – 2006. – Vol. 367. – № 2. PP. 737-753.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

### Параметры спектральных линий объекта HD 45677

Таблица А.1 – Параметры спектральной линии H $\beta$  (4861 Å) объекта HD 45677

HJD	H $\beta$ с.п.		RV с.п.	H $\beta$ ц.д.		RV ц.д.	H $\beta$ к.п.		RV к.п.	H $\beta$ V/R	RVк.п. – RVс.п.
	Л.и.	$\lambda$ H $\beta$		Л.и.	$\lambda$ H $\beta$		Л.и.	$\lambda$ H $\beta$			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<i>ТСО</i>											
2456625.792	2.60	4860.26	-66.03	0.90	4861.41	4.94	4.40	4862.48	70.97	0.59	137.00
2456628.767	2.59	4860.16	-72.20	0.85	4861.45	7.41	4.33	4862.44	68.50	0.60	140.70
2456637.735	2.07	4860.35	-60.48	0.77	4861.52	11.73	4.57	4862.54	74.67	0.45	135.15
2456639.778	2.60	4860.33	-61.71	0.86	4861.54	12.96	5.08	4862.54	74.67	0.51	136.38
2456642.760	2.43	4860.50	-51.22	0.91	4861.57	14.81	5.26	4862.62	79.61	0.46	130.83
2456653.710	2.20	4860.51	-50.60	0.82	4861.62	17.90	5.13	4862.76	88.25	0.43	138.85
2456654.714	2.14	4860.55	-48.13	0.84	4861.64	19.13	5.31	4862.74	87.01	0.40	135.15
2456661.678	2.28	4860.59	-45.67	0.83	4861.65	19.75	5.19	4862.74	87.01	0.44	132.68
2456670.690	2.65	4860.65	-41.96	0.95	4861.72	24.07	5.24	4862.78	89.48	0.51	131.45
2456674.671	2.40	4860.74	-36.41	0.89	4861.76	26.54	4.69	4862.84	93.18	0.51	129.59
2456677.688	2.55	4860.76	-35.18	0.91	4861.78	27.77	4.66	4862.82	91.95	0.55	127.13
2456678.624	2.34	4860.78	-33.94	0.84	4861.80	29.00	4.58	4862.85	93.80	0.51	127.74
2456682.617	2.36	4860.78	-33.94	0.89	4861.79	28.39	4.92	4862.91	97.50	0.48	131.45
2456689.623	2.37	4860.79	-33.32	0.89	4861.78	27.77	5.15	4862.93	98.74	0.46	132.06
2457061.616	2.01	4860.33	-61.71	0.80	4861.53	12.34	4.37	4862.70	84.54	0.46	146.26
2457097.512	2.34	4860.42	-56.16	0.89	4861.59	16.04	4.59	4862.80	90.72	0.51	146.87
2457418.610	2.46	4860.46	-53.69	0.94	4861.56	14.19	5.26	4862.69	83.93	0.47	137.62
2457430.595	2.41	4860.26	-66.03	0.82	4861.56	14.19	4.84	4862.69	83.93	0.50	149.96
2457437.576	2.44	4860.35	-60.48	0.85	4861.56	14.19	5.38	4862.68	83.31	0.45	143.79
2457445.550	2.19	4860.23	-67.88	0.78	4861.56	14.19	5.46	4862.65	81.46	0.40	149.34
2457737.686	4.53	4860.52	-49.99	0.88	4861.60	16.66	6.06	4862.78	89.48	0.75	139.47
2457782.621	3.00	4860.45	-54.31	0.88	4861.65	19.75	5.67	4862.73	86.40	0.53	140.70
2457815.558	2.63	4860.57	-46.90	0.85	4861.65	19.75	5.05	4862.82	91.95	0.52	138.85
2457829.518	2.55	4860.09	-76.52	0.87	4861.65	19.75	5.56	4862.75	87.63	0.46	164.15
2458101.707	3.93	4860.56	-47.52	0.87	4861.69	22.22	5.37	4862.71	85.16	0.73	132.68
2458103.726	3.50	4860.54	-48.75	0.82	4861.70	22.83	5.14	4862.72	85.78	0.68	134.53
2458120.692	3.41	4860.61	-44.43	0.83	4861.70	22.83	5.82	4862.70	84.54	0.59	128.98
2458123.665	3.30	4860.63	-43.20	0.82	4861.67	20.98	5.50	4862.69	83.93	0.60	127.13
2458125.687	3.60	4860.66	-41.35	0.87	4861.73	24.68	6.27	4862.68	83.31	0.57	124.66
2458134.657	3.53	4860.64	-42.58	0.89	4861.67	20.98	6.37	4862.73	86.40	0.55	128.98
2458139.653	3.41	4860.59	-45.67	0.86	4861.68	21.60	5.06	4862.75	87.63	0.67	133.30
2458142.626	3.89	4860.59	-45.67	0.95	4861.68	21.60	6.05	4862.70	84.54	0.64	130.21
2458144.634	3.50	4860.61	-44.43	0.89	4861.67	20.98	5.76	4862.69	83.93	0.61	128.36
2458149.601	3.46	4860.57	-46.90	0.90	4861.67	20.98	5.43	4862.62	79.61	0.64	126.51
2458150.615	3.35	4860.56	-47.52	0.87	4861.69	22.22	5.45	4862.63	80.22	0.61	127.74
2458155.616	3.10	4860.51	-50.60	0.86	4861.67	20.98	5.56	4862.65	81.46	0.56	132.06
2458158.603	3.70	4860.46	-53.69	0.88	4861.66	20.36	5.47	4862.67	82.69	0.68	136.38
2458180.528	3.07	4860.50	-51.22	0.81	4861.65	19.75	4.90	4862.68	83.31	0.63	134.53
2458182.546	3.29	4860.41	-56.77	0.80	4861.60	16.66	4.95	4862.61	78.99	0.66	135.77
2458185.526	2.97	4860.48	-52.45	0.80	4861.68	21.60	4.70	4862.72	85.78	0.63	138.23

Продолжение таблицы А.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2458200.523	3.03	4860.54	-48.75	0.85	4861.67	20.98	4.80	4862.67	82.69	0.63	131.45
2458214.523	3.12	4860.42	-56.16	0.87	4861.65	19.75	4.94	4862.66	82.08	0.63	138.23
2458443.824	4.56	4860.63	-43.20	1.04	4861.70	22.83	5.66	4862.75	87.63	0.81	130.83
2458470.727	5.03	4860.60	-45.05	1.14	4861.71	23.45	5.74	4862.80	90.72	0.88	135.77
2458475.740	4.35	4860.59	-45.67	1.01	4861.69	22.22	5.17	4862.76	88.25	0.84	133.91
2458479.710	4.31	4860.63	-43.20	1.03	4861.70	22.83	5.61	4862.77	88.86	0.77	132.06
2458489.694	4.77	4860.59	-45.67	1.07	4861.70	22.83	5.37	4862.77	88.86	0.89	134.53
2458499.664	4.41	4860.64	-42.58	1.06	4861.66	20.36	5.44	4862.75	87.63	0.81	130.21
2458510.648	3.48	4860.66	-41.35	1.02	4861.66	20.36	4.81	4862.73	86.40	0.72	127.74
2458561.515	3.15	4860.50	-51.22	0.80	4861.63	18.51	4.80	4862.72	85.78	0.66	137.00
2458823.790	4.70	4860.64	-42.58	1.20	4861.71	23.45	5.30	4862.77	88.86	0.89	131.45
2458837.714	4.30	4860.61	-44.43	1.04	4861.70	22.83	5.12	4862.76	88.25	0.84	132.68
2458877.623	3.26	4860.61	-44.43	1.01	4861.67	20.98	4.81	4862.80	90.72	0.68	135.15
2458897.563	3.88	4860.59	-45.67	1.08	4861.67	20.98	5.44	4862.73	86.40	0.71	132.06
2458902.554	3.67	4860.61	-44.43	0.99	4861.67	20.98	5.04	4862.77	88.86	0.73	133.30
2459173.778	4.06	4860.60	-45.05	0.94	4861.61	17.28	4.96	4862.72	85.78	0.82	130.83
2459175.820	3.87	4860.60	-45.05	0.98	4861.62	17.90	5.25	4862.71	85.16	0.74	130.21
2459177.780	3.52	4860.49	-51.84	0.90	4861.60	16.66	4.70	4862.72	85.78	0.75	137.62
2459185.787	3.58	4860.52	-49.99	0.89	4861.62	17.90	5.23	4862.70	84.54	0.68	134.53
2459191.755	3.24	4860.39	-58.01	0.88	4861.63	18.51	5.06	4862.73	86.40	0.64	144.40
2459194.733	3.25	4860.54	-48.75	0.96	4861.63	18.51	4.89	4862.76	88.25	0.66	137.00
2459210.726	4.35	4860.42	-56.16	0.99	4861.64	19.13	5.62	4862.71	85.16	0.77	141.32
2459213.692	4.13	4860.41	-56.77	0.97	4861.61	17.28	5.72	4862.72	85.78	0.72	142.55
2459221.662	4.20	4860.42	-56.16	1.06	4861.60	16.66	5.36	4862.72	85.78	0.78	141.94
2459225.697	3.91	4860.45	-54.31	0.98	4861.61	17.28	5.24	4862.71	85.16	0.75	139.47
2459233.655	4.24	4860.48	-52.45	1.08	4861.63	18.51	5.40	4862.75	87.63	0.79	140.09
2459237.654	3.52	4860.53	-49.37	1.00	4861.62	17.90	5.73	4862.79	90.10	0.61	139.47
2459277.559	2.88	4860.77	-34.56	0.94	4861.64	19.13	5.19	4862.70	84.54	0.55	119.10
<i>HCT</i>											
2458470.192	5.67	4860.41	-56.77	1.04	4861.56	14.19	6.55	4862.63	80.22	0.87	137.00
2458524.060	4.18	4860.54	-48.75	0.73	4861.91	35.79	5.98	4862.77	88.86	0.70	137.62
<i>SPM</i>											
2453653.969	4.03	4860.23	-67.88	1.33	4861.27	-3.70	4.84	4862.38	64.80	0.83	132.68
2453656.956	2.75	4860.18	-70.97	1.39	4861.37	2.47	3.25	4862.62	79.61	0.85	150.58
2454082.918	2.60	4860.45	-54.31	1.04	4861.52	11.73	4.29	4862.66	82.08	0.61	136.38
2454083.974	3.00	4860.36	-59.86	1.10	4861.49	9.87	4.56	4862.59	77.76	0.66	137.62
2454084.885	3.47	4860.35	-60.48	1.20	4861.50	10.49	5.05	4862.62	79.61	0.69	140.09
2454085.775	3.25	4860.42	-56.16	1.15	4861.50	10.49	4.93	4862.68	83.31	0.66	139.47
2454413.035	4.24	4860.40	-57.39	1.16	4861.62	17.90	4.91	4862.66	82.08	0.86	139.47
2454415.952	3.93	4860.28	-64.80	1.16	4861.46	8.02	5.00	4862.51	72.82	0.79	137.62
2454421.867	4.44	4860.50	-51.22	1.11	4861.61	17.28	4.83	4862.70	84.54	0.92	135.77
2454425.004	3.29	4860.17	-71.59	1.44	4861.37	2.47	4.69	4862.66	82.08	0.70	153.66
2454744.995	3.84	4860.36	-59.86	1.14	4861.60	16.66	4.77	4862.70	84.54	0.81	144.40
2454745.967	3.91	4860.34	-61.09	1.22	4861.57	14.81	5.14	4862.67	82.69	0.76	143.79
2454747.998	3.43	4860.38	-58.63	1.12	4861.58	15.43	4.55	4862.76	88.25	0.75	146.87
2454748.963	3.40	4860.41	-56.77	1.05	4861.65	19.75	4.74	4862.76	88.25	0.72	145.02
2455140.912	3.00	4860.34	-61.09	1.04	4861.60	16.66	4.45	4862.77	88.86	0.67	149.96
2455485.018	2.88	4859.62	-105.53	1.06	4861.09	-14.81	4.58	4862.22	54.92	0.63	160.45
2455488.020	3.01	4859.57	-108.61	1.06	4861.09	-14.81	4.91	4862.20	53.69	0.61	162.30
2455866.977	4.09	4860.62	-43.82	1.04	4861.79	28.39	5.21	4862.84	93.18	0.79	137.00
2455869.012	4.13	4860.62	-43.82	1.02	4861.79	28.39	5.06	4862.82	91.95	0.82	135.77
2455869.963	4.30	4860.49	-51.84	1.09	4861.66	20.36	5.22	4862.68	83.31	0.82	135.15

Продолжение таблицы А.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2455872.018	3.85	4859.99	-82.69	1.04	4861.17	-9.87	4.91	4862.26	57.39	0.78	140.09
2456244.931	3.47	4860.62	-43.82	1.03	4861.78	27.77	4.91	4862.83	92.57	0.71	136.38
2456249.958	3.64	4860.56	-47.52	1.06	4861.68	21.60	5.16	4862.81	91.33	0.71	138.85
2456583.001	3.58	4860.52	-49.99	1.10	4861.67	20.98	4.92	4862.79	90.10	0.73	140.09
2457301.008	2.29	4860.15	-72.82	0.86	4861.53	12.34	4.33	4862.75	87.63	0.53	160.45
2457302.008	2.26	4860.17	-71.59	0.86	4861.49	9.87	4.15	4862.77	88.86	0.54	160.45
2457677.003	4.47	4860.42	-56.16	1.02	4861.71	23.45	5.16	4862.95	99.97	0.87	156.13
2457677.997	4.37	4860.39	-58.01	0.88	4861.68	21.60	4.85	4862.91	97.50	0.90	155.51
2458053.934	3.39	4860.36	-59.86	0.84	4861.64	19.13	4.93	4862.73	86.40	0.69	146.26
2458095.911	4.31	4860.60	-45.05	0.99	4861.78	27.77	5.07	4862.89	96.27	0.85	141.32
<i>MCD</i>											
2453721.852	2.77	4860.73	-37.03	1.09	4861.67	20.98	4.50	4862.67	82.69	0.62	119.72
2453723.805	2.87	4860.72	-37.64	1.14	4861.68	21.60	4.40	4862.66	82.08	0.65	119.72
2453724.859	2.77	4860.72	-37.64	1.11	4861.69	22.22	4.65	4862.70	84.54	0.60	122.19
2454092.796	3.30	4860.61	-44.43	1.20	4861.69	22.22	5.70	4862.72	85.78	0.58	130.21
2454095.847	3.24	4860.62	-43.82	1.20	4861.70	22.83	5.40	4862.66	82.08	0.60	125.89
2454096.804	3.11	4860.61	-44.43	1.10	4861.70	22.83	5.23	4862.63	80.22	0.59	124.66
2454097.877	3.30	4860.57	-46.90	1.19	4861.70	22.83	5.66	4862.61	78.99	0.58	125.89
2454815.809	3.83	4860.40	-57.39	1.19	4861.69	22.22	5.27	4862.72	85.78	0.73	143.17
<i>CFHT</i>											
2453363.889	4.61	4860.62	-43.82	1.23	4861.70	22.83	5.32	4862.69	83.93	0.87	127.74
2457284.650	2.61	4860.22	-68.50	0.90	4861.18	-9.26	4.61	4862.63	80.22	0.57	148.72
2457290.652	1.91	4860.19	-70.35	0.62	4861.54	12.96	3.99	4862.60	78.37	0.48	148.72
2457295.653	2.40	4860.09	-76.52	0.98	4861.20	-8.02	4.66	4862.60	78.37	0.52	154.90
2457325.573	3.45	4860.35	-60.48	1.21	4861.21	-7.41	5.13	4862.65	81.46	0.67	141.94
2457409.490	2.43	4860.42	-56.16	1.04	4861.69	22.22	5.94	4862.66	82.08	0.41	138.23
2457415.505	2.37	4860.34	-61.09	1.05	4861.69	22.22	6.06	4862.63	80.22	0.39	141.32
2458066.484	3.15	4860.36	-59.86	0.97	4861.68	21.60	5.18	4862.81	91.33	0.61	151.19
2458441.601	5.39	4860.55	-48.13	1.04	4861.68	21.60	6.75	4862.62	79.61	0.80	127.74
2458442.405	6.12	4860.55	-48.13	1.09	4861.70	22.83	7.29	4862.63	80.22	0.84	128.36
2459180.447	3.98	4860.57	-46.90	0.87	4861.67	20.98	5.35	4862.64	80.84	0.74	127.74
2459181.466	3.97	4860.54	-48.75	0.85	4861.67	20.98	5.70	4862.66	82.08	0.70	130.83

Примечание:

- 1 – гелиоцентрическая юлианская дата
- 2 – линия интенсивности синесмещенного пика линии H $\beta$
- 3 – длина волны линии H $\alpha$  синесмещенного пика линии H $\beta$
- 4 – лучевая скорость синесмещенного пика линии H $\beta$
- 5 – линия интенсивности центральной депрессии линии H $\beta$
- 6 – длина волны линии H $\alpha$  центральной депрессии линии H $\beta$
- 7 – лучевая скорость центральной депрессии линии H $\beta$
- 8 – линия интенсивности красносмещенного пика линии H $\beta$
- 9 – длина волны линии H $\alpha$  красносмещенного пика линии H $\beta$
- 10 – лучевая скорость красносмещенного пика линии H $\beta$
- 11 – отношение интенсивности синесмещенного пика к красносмещенному пику линии H $\beta$
- 12 – разность лучевой скорости красносмещенного и синесмещенного пика линии H $\beta$

Таблица А.2 – Параметры спектральных линий He I (4471, 5876 Å), Mg II (4481 Å) объекта HD 45677

HJD	$\lambda$ He I 4471 Å	Л.и.	EW	RV He I	$\lambda$ Mg II 4481 Å	Л.и.	EW	RV MgII	$\lambda$ He I 5876 Å	Л.и.	EW	RV He I
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
<i>TCO</i>												
2456625.792	4471.75	0.76	0.63	18.10	4481.57	0.92	0.10	22.80	5876.11	0.79	0.41	24.51
2456628.767	4471.87	0.69	0.86	26.20	4481.46	0.98	0.13	15.40	5876.19	0.73	0.45	28.59
2456637.735	4471.77	0.85	0.49	19.50	4481.41	0.99	0.25	12.10	5875.58	0.88	0.41	-2.55
2456639.778	4471.90	0.77	0.69	28.20	4481.50	0.92	0.10	18.10	5876.25	0.78	0.53	31.66
2456642.760	4471.96	0.77	0.66	32.20	4481.11	0.93	0.11	-8.00	5876.17	0.72	0.94	27.57
2456653.710	4471.80	0.87	0.68	35.60	4481.55	0.94	0.10	21.40	5876.17	0.74	0.72	27.57
2456654.714	4472.01	0.77	0.49	35.60	4481.55	0.96	0.03	21.40	5876.35	0.87	0.23	36.76
2456661.678	4471.86	0.70	0.52	25.50	–	–	–	–	5875.92	0.90	0.24	14.81
2456670.690	4471.78	0.52	0.65	20.10	4481.89	0.85	0.23	44.20	5876.38	0.74	0.78	38.29
2456674.671	4471.96	0.72	0.22	32.20	4481.78	0.93	0.04	36.80	5876.08	0.75	0.60	22.98
2456677.688	4471.88	0.73	0.60	26.80	4481.57	0.88	0.19	22.80	5876.13	0.74	0.68	25.53
2456678.624	4471.85	0.79	0.28	24.80	4481.33	0.97	0.04	6.700	5875.87	0.88	0.23	12.25
2456682.617	4471.91	0.77	0.57	28.80	4481.74	0.93	0.08	34.10	5876.33	0.84	0.34	35.74
2456689.623	4471.65	0.73	0.60	11.40	–	–	–	–	5876.02	0.86	0.34	19.91
2457061.616	4471.79	0.75	0.58	20.80	4481.93	0.95	0.10	46.90	5876.22	0.82	0.51	30.12
2457097.512	4472.23	0.63	0.80	50.30	4481.79	0.89	0.21	37.50	5876.72	0.73	0.74	55.65
2457418.610	4471.85	0.78	0.80	24.80	4481.54	0.92	0.13	20.80	5876.19	0.76	0.77	28.59
2457430.595	4472.06	0.76	0.47	38.90	4482.05	0.99	0.04	54.90	5876.42	0.83	0.36	40.34
2457437.576	4471.75	0.75	0.61	18.10	4481.78	0.99	0.03	36.80	5876.29	0.85	0.29	33.70
2457445.550	4472.19	0.73	0.98	47.60	4481.58	0.93	0.13	23.40	5876.43	0.77	0.76	40.85
2457737.686	4471.91	0.85	0.62	28.80	4481.83	0.91	0.11	40.20	5876.21	0.84	0.49	29.61
2457782.621	4471.67	0.70	0.61	12.70	–	–	–	–	5876.48	0.91	0.17	43.40
2457815.558	4471.18	0.84	0.59	-20.1	4481.79	0.94	0.06	37.50	5876.23	0.76	0.56	30.64
2457829.518	4471.54	0.70	0.75	4.00	–	–	–	–	5876.20	0.85	0.37	29.10
2458101.707	4471.85	0.76	0.59	24.80	4481.82	0.94	0.03	39.50	5876.37	0.82	0.32	37.78
2458103.726	4471.70	0.77	0.72	14.80	4481.37	0.93	0.08	9.40	5876.09	0.79	0.62	23.49
2458120.692	4471.89	0.75	0.64	27.50	4481.80	0.91	0.08	38.20	5876.31	0.78	0.57	34.72
2458123.665	4472.01	0.77	0.51	35.60	4481.59	0.99	0.04	24.10	5876.23	0.84	0.38	30.64
2458125.687	4471.95	0.75	0.54	31.50	4482.05	0.94	0.04	54.90	5876.65	0.91	0.19	52.08
2458134.657	4471.77	0.73	0.70	19.50	4481.64	0.89	0.13	27.40	5876.12	0.78	0.55	25.02
2458139.653	4471.95	0.75	0.58	31.50	4481.78	0.91	0.11	36.80	5876.14	0.80	0.45	26.04
2458142.626	4472.01	0.70	0.91	35.60	4482.21	0.84	0.39	65.60	5876.92	0.70	0.89	65.87
2458144.634	4471.75	0.72	0.76	18.10	4481.49	0.94	0.10	17.40	5876.01	0.78	0.56	19.40
2458149.601	4472.06	0.66	0.78	38.90	4481.87	0.86	0.22	42.80	5876.7	0.69	0.96	54.63
2458150.615	4471.83	0.80	0.37	23.50	4481.62	0.98	0.10	26.10	5876.26	0.87	0.28	32.17
2458155.616	4471.89	0.70	0.83	27.50	4481.58	0.90	0.18	23.40	5876.25	0.73	0.70	31.66
2458158.603	4471.88	0.70	0.70	26.80	4481.81	0.89	0.14	38.80	5876.46	0.79	0.43	42.38
2458180.528	4471.90	0.72	0.79	28.20	4481.75	0.87	0.18	34.80	5876.19	0.73	0.75	28.59
2458182.546	4471.72	0.70	0.74	16.10	4481.56	0.90	0.10	22.10	5876.2	0.78	0.54	29.10
2458185.526	4471.73	0.77	0.62	16.80	4481.51	0.95	0.10	18.70	5876.14	0.83	0.43	26.04
2458200.523	4471.86	0.72	0.87	25.50	4481.67	0.90	0.19	29.50	5876.03	0.76	0.75	20.42
2458214.523	4471.78	0.73	0.73	20.10	4481.73	0.94	0.07	33.50	5876.15	0.79	0.63	26.55
2458443.824	4471.98	0.81	0.55	33.50	4481.30	0.96	0.03	4.70	5877.20	0.88	0.13	80.16
2458470.727	4472.08	0.73	0.81	40.30	4482.57	0.85	0.41	89.70	5876.93	0.80	0.60	66.38
2458475.740	4471.81	0.76	0.66	22.10	4481.80	0.99	0.02	38.20	5876.16	0.84	0.35	27.06
2458479.710	4471.92	0.74	0.73	29.50	4481.83	0.96	0.03	40.20	5876.31	0.82	0.18	34.72
2458489.694	4471.96	0.73	0.80	32.20	4481.76	0.93	0.07	35.50	5876.58	0.81	0.50	48.51

Продолжение таблицы А.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
2458499.664	4471.72	0.73	0.70	16.10	4481.37	0.92	0.09	9.40	5875.93	0.82	0.47	15.32
2458510.648	4471.78	0.73	0.77	20.10	4481.56	0.90	0.11	22.10	5876.17	0.73	0.72	27.57
2458561.515	4471.90	0.72	0.67	28.20	4481.83	0.93	0.08	40.20	5876.25	0.80	0.50	31.66
2458823.790	4471.87	0.73	0.70	26.20	4481.78	0.90	0.12	36.80	5876.26	0.78	0.48	32.17
2458837.714	4471.87	0.73	0.80	26.20	4481.59	0.96	0.04	24.10	5876.26	0.80	0.57	32.17
2458877.623	4471.91	0.76	0.72	28.80	4481.83	0.97	0.04	40.20	5876.16	0.78	0.50	27.06
2458897.563	4471.85	0.71	0.78	24.80	4481.70	0.90	0.14	31.50	5876.23	0.73	0.78	30.64
2458902.554	4471.65	0.78	0.70	11.40	—	—	—	—	5877.68	0.93	0.41	104.67
2459173.778	4471.87	0.76	0.69	26.20	4481.93	0.92	0.08	46.90	5876.21	0.85	0.36	29.61
2459175.820	4471.92	0.66	0.88	29.50	4481.77	0.86	0.16	36.20	5876.28	0.70	0.84	33.19
2459177.780	4471.95	0.78	0.53	31.50	4482.08	0.94	0.07	56.90	5876.51	0.91	0.16	44.93
2459185.787	4471.94	0.70	0.86	30.90	4481.45	0.89	0.19	14.70	5876.26	0.76	0.66	32.17
2459191.755	4471.98	0.77	0.63	33.50	4481.88	0.91	0.10	43.50	5876.6	0.81	0.28	49.53
2459194.733	4471.86	0.75	0.57	25.50	4481.77	0.93	0.09	36.20	5876.10	0.83	0.32	24.00
2459210.726	4471.91	0.69	0.89	28.80	4481.53	0.88	0.17	20.10	5876.49	0.71	0.89	43.91
2459213.692	4471.84	0.70	0.76	24.20	4481.56	0.91	0.12	22.10	5876.17	0.79	0.72	27.57
2459221.662	4471.83	0.71	0.74	23.50	4481.51	0.94	0.08	18.70	5876.10	0.76	0.71	24.00
2459225.697	4471.83	0.74	0.59	23.50	4481.75	0.94	0.05	34.80	5876.07	0.80	0.60	22.47
2459233.655	4471.98	0.70	0.87	33.50	4481.88	0.93	0.07	43.50	5876.80	0.77	0.87	59.74
2459237.654	4471.80	0.72	0.70	21.50	4481.56	0.95	0.03	22.10	5876.01	0.79	0.53	19.40
2459277.559	4471.92	0.75	0.71	29.50	4482.07	0.95	0.07	56.20	5876.63	0.79	0.56	51.06
<i>HCT</i>												
2458470.192	4471.82	0.68	0.93	22.80	4482.28	0.86	0.45	70.30	5876.41	0.73	0.93	39.83
2458524.060	4471.99	0.71	0.61	34.20	4481.97	0.92	0.09	49.50	5876.17	0.79	0.47	27.57
<i>SPM</i>												
2453653.969	4471.60	0.76	0.43	8.10	4481.01	0.83	0.15	-14.70	5875.42	0.68	0.95	-10.72
2453656.956	4471.69	0.82	0.56	14.10	4481.28	0.92	0.12	3.30	5875.90	0.80	0.78	13.79
2454082.918	4471.71	0.79	0.70	15.40	4481.29	1.00	0.03	4.00	5875.93	0.90	0.18	15.32
2454083.974	4471.72	0.75	0.69	16.10	4481.47	0.99	0.02	16.10	5876.27	0.85	0.17	32.68
2454084.885	4471.93	0.78	0.70	30.20	4482.86	0.93	0.16	109.10	5876.83	0.82	0.68	61.27
2454085.775	4471.87	0.77	0.56	26.20	4481.77	0.97	0.03	36.20	5876.43	0.86	0.28	40.85
2454413.035	4471.77	0.72	0.75	19.50	4481.55	0.85	0.19	21.40	5876.11	0.74	0.77	24.51
2454415.952	4471.60	0.71	0.74	8.10	4481.42	0.89	0.15	12.70	5875.79	0.69	0.93	8.17
2454421.867	4471.76	0.77	0.52	18.80	4481.57	0.99	0.08	22.80	5876.17	0.83	0.35	27.57
2454425.004	4471.42	0.75	0.67	-4.00	4481.19	0.97	0.04	-2.70	5875.37	0.81	0.66	-13.28
2454744.995	4471.86	0.80	0.44	25.50	—	—	—	—	5876.66	0.90	0.29	52.59
2454745.967	4471.75	0.70	0.73	18.10	4481.79	0.95	0.08	37.50	5876.51	0.80	0.71	44.93
2454747.998	4471.79	0.75	0.67	20.80	4481.44	0.90	0.09	14.10	5876.14	0.77	0.72	26.04
2454748.963	4471.83	0.77	0.49	23.50	4481.56	0.96	0.02	22.10	5876.21	0.78	0.56	29.61
2455140.912	4471.89	0.76	0.58	27.50	4481.58	0.89	0.10	23.40	5876.36	0.79	0.49	37.27
2455485.018	4471.19	0.74	0.77	-19.5	4481.05	0.87	0.28	-12.10	5875.60	0.85	0.41	-1.53
2455488.020	4471.44	0.71	0.82	-2.70	4481.21	0.81	0.26	-1.30	5875.88	0.76	0.76	12.76
2455866.977	4471.89	0.76	0.53	27.50	4481.59	0.98	0.08	24.10	5876.42	0.73	0.99	40.34
2455869.012	4471.78	0.83	0.37	20.10	4481.79	1.00	0.04	37.50	5876.57	0.83	0.49	47.99
2455869.963	4471.97	0.73	0.67	32.90	4481.62	0.96	0.05	26.10	5876.85	0.73	0.90	62.29
2455872.018	4471.25	0.79	0.55	-15.4	4480.79	0.99	0.06	-29.50	5875.13	0.87	0.30	-25.53
2456244.931	4471.87	0.85	0.22	26.20	4481.45	1.01	0.07	14.70	5876.34	0.82	0.43	36.25
2456249.958	4471.81	0.74	0.63	22.10	4481.64	0.86	0.19	27.40	5876.08	0.75	0.72	22.98
2456583.001	—	—	—	—	—	—	—	—	5876.21	0.79	0.47	29.61
2457301.008	4472.08	0.68	0.85	40.30	4481.73	0.87	0.17	33.50	5876.86	0.67	0.99	62.80
2457302.008	4472.06	0.74	0.62	38.90	4481.84	0.92	0.09	40.80	5876.56	0.76	0.74	47.48

Продолжение таблицы А.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
2457677.003	4471.96	0.77	0.51	32.20	4481.63	0.98	0.04	26.80	5876.79	0.82	0.54	59.23
2457677.997	4471.95	0.76	0.60	31.50	4481.79	0.96	0.04	37.50	5876.54	0.83	0.48	46.46
2458053.934	4471.89	0.74	0.56	27.50	4482.04	0.81	0.19	54.20	5876.97	0.87	0.41	68.42
2458095.911	4471.87	0.78	0.47	26.20	4481.58	0.98	0.06	23.40	5876.34	0.90	0.16	36.25
<i>MCD</i>												
2453721.852	4471.87	0.74	0.65	26.20	4481.52	0.90	0.15	19.40	5876.20	0.74	0.69	29.10
2453723.805	4471.94	0.76	0.66	30.90	4481.75	0.90	0.03	34.80	5876.31	0.82	0.65	34.72
2453724.859	4471.72	0.76	0.72	16.10	4481.63	0.94	0.06	26.80	5875.92	0.85	0.54	14.81
2454092.796	4471.94	0.77	0.65	30.90	4481.78	0.96	0.05	36.80	5876.36	0.85	0.34	37.27
2454095.847	4471.95	0.77	0.49	31.50	4482.03	0.92	0.12	53.60	5876.51	0.80	0.52	44.93
2454096.804	4471.91	0.80	0.36	28.80	4482.30	0.95	0.07	71.60	5876.52	0.88	0.26	45.44
2454097.877	4471.85	0.73	0.66	24.80	4481.65	0.92	0.08	28.10	5876.13	0.82	0.48	25.53
2454815.809	4471.96	0.69	0.93	32.20	4481.70	0.67	0.63	31.50	5876.40	0.67	0.90	39.31
<i>CFHT</i>												
2453363.889	4471.94	0.67	0.84	30.90	4481.69	0.88	0.11	30.80	5876.49	0.70	0.95	43.91
2457284.650	4471.89	0.78	0.06	27.50	4481.61	0.95	0.01	25.40	5876.19	0.85	0.04	28.59
2457290.652	4471.84	0.72	0.06	24.20	4481.95	0.80	0.02	48.20	5876.17	0.81	0.06	27.57
2457295.653	4471.81	0.76	0.06	22.10	4481.55	0.92	0.01	21.40	5876.06	0.79	0.05	21.96
2457325.573	4471.89	0.71	0.08	27.50	4481.68	0.89	0.01	30.10	5876.30	0.73	0.10	34.21
2457409.490	4471.88	0.75	0.06	26.80	4481.58	0.95	0.01	23.40	5876.34	0.81	0.05	36.25
2457415.505	4472.02	0.77	0.07	36.20	–	–	–	–	5877.44	0.86	0.08	92.42
2458066.484	4471.96	0.71	0.08	32.20	4481.82	0.84	0.03	39.50	5876.52	0.69	0.12	45.44
2458441.601	4471.84	0.65	0.19	24.20	4481.58	0.82	0.29	23.40	5876.15	0.66	0.09	26.55
2458442.405	4472.05	0.69	0.09	38.20	4481.96	0.87	0.03	48.90	5876.87	0.66	0.13	63.31
2459180.447	4471.92	0.75	0.06	29.50	4482.06	0.96	0.01	55.60	5876.25	0.80	0.06	31.66
2459181.466	4471.82	0.75	0.06	22.80	4481.64	0.95	0.01	27.40	5876.07	0.80	0.06	22.47
Примечание:												
1	– гелиоцентрическая юлианская дата											
2	– длина волны линии He I (4471 Å)											
3	– линия интенсивности He I (4471 Å)											
4	– эквивалентная ширина линии He I (4471 Å)											
5	– лучевая скорость линии He I (4471 Å)											
6	– длина волны линии Mg II (4481 Å)											
7	– линия интенсивности Mg II (4481 Å)											
8	– эквивалентная ширина линии Mg II (4481 Å)											
9	– лучевая скорость линии Mg II (4481 Å)											
10	– длина волны линии He I (5876 Å)											
11	– линия интенсивности He I (5876 Å)											
12	– эквивалентная ширина линии He I (5876 Å)											
13	– лучевая скорость линии He I (5876 Å)											



Таблица А.3 – Параметры спектральных линий Na I (5889, 5895 Å), O I (6300 Å) объекта HD 45677

HJD	$\lambda_{\text{Na}}$ 5889 Å	Л.и.	EW	RV Na I	$\lambda_{\text{Na}}$ 5895 Å	Л.и.	EW	RV Na I	$\lambda_{\text{O I}}$ 6300 Å	Л.и.	EW	RV O I
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
<i>TCO</i>												
2456625.792	5890.35	0.65	0.21	20.40	5896.35	0.71	0.16	21.90	6300.73	3.28	2.40	23.81
2456628.767	5890.31	0.60	0.24	18.30	5896.35	0.66	0.19	21.90	6300.75	3.28	2.34	24.76
2456637.735	5890.34	0.62	0.19	19.90	5896.34	0.67	0.16	21.40	6300.75	3.09	2.06	24.76
2456639.778	5890.35	0.60	0.18	20.40	5896.37	0.63	0.17	22.90	6300.75	3.37	2.43	24.76
2456642.760	5890.35	0.62	0.19	20.40	5896.35	0.68	0.15	21.90	6300.75	3.47	2.46	24.76
2456653.710	5890.35	0.65	0.17	20.40	5896.35	0.71	0.13	21.90	6300.73	3.27	2.37	23.81
2456654.714	5890.36	0.66	0.15	20.90	5896.35	0.72	0.13	21.90	6300.74	3.30	2.33	24.28
2456661.678	5890.35	0.60	0.18	20.40	5896.35	0.68	0.14	21.90	6300.74	3.32	2.31	24.28
2456670.690	5890.33	0.63	0.21	19.40	5896.33	0.67	0.17	20.90	6300.73	3.59	2.80	23.81
2456674.671	5890.32	0.64	0.17	18.80	5896.32	0.73	0.13	20.40	6300.71	3.43	2.52	22.86
2456677.688	5890.37	0.60	0.20	21.40	5896.37	0.62	0.18	22.90	6300.74	3.53	2.56	24.28
2456678.624	5890.35	0.62	0.19	20.40	5896.36	0.68	0.16	22.40	6300.74	3.28	2.33	24.28
2456682.617	5890.35	0.65	0.19	20.40	5896.34	0.71	0.15	21.40	6300.76	3.24	2.41	25.24
2456689.623	5890.27	0.62	0.24	16.30	5896.28	0.67	0.18	18.30	6300.68	3.19	2.32	21.43
2457061.616	5890.34	0.61	0.22	19.90	5896.32	0.63	0.19	20.40	6300.73	3.19	2.26	23.81
2457097.512	5890.38	0.60	0.22	21.90	5896.37	0.66	0.20	22.90	6300.79	3.35	2.40	26.67
2457418.610	5890.29	0.65	0.27	17.30	5896.31	0.68	0.16	19.80	6300.74	3.54	2.56	24.28
2457430.595	5890.31	0.53	0.30	18.30	5896.32	0.59	0.21	20.40	6300.75	3.42	2.40	24.76
2457437.576	5890.35	0.55	0.20	20.40	5896.33	0.61	0.17	20.90	6300.73	3.57	2.54	23.81
2457445.550	5890.36	0.60	0.19	20.90	5896.32	0.64	0.16	20.40	6300.74	3.70	2.53	24.28
2457737.686	5890.37	0.60	0.19	21.40	5896.37	0.66	0.15	22.90	6300.73	3.35	2.37	23.81
2457782.621	5890.40	0.61	0.18	22.90	5896.39	0.67	0.15	23.90	6300.75	3.26	2.23	24.76
2457815.558	5890.38	0.53	0.24	21.90	5896.39	0.60	0.20	23.90	6300.75	3.38	2.25	24.76
2457829.518	5890.38	0.53	0.21	21.90	5896.36	0.58	0.19	22.40	6300.74	3.53	2.39	24.28
2458101.707	5890.36	0.50	0.22	20.90	5896.35	0.57	0.20	21.90	6300.73	3.67	2.52	23.81
2458103.726	5890.37	0.48	0.23	21.40	5896.35	0.57	0.19	21.90	6300.74	3.50	2.33	24.28
2458120.692	5890.38	0.55	0.20	21.90	5896.36	0.60	0.17	22.40	6300.75	3.58	2.42	24.76
2458123.665	5890.38	0.53	0.20	21.90	5896.36	0.58	0.18	22.40	6300.76	3.52	2.41	25.24
2458125.687	5890.39	0.53	0.20	22.40	5896.37	0.57	0.18	22.90	6300.79	3.68	2.61	26.67
2458134.657	5890.35	0.55	0.23	20.40	5896.35	0.58	0.20	21.90	6300.74	3.72	2.59	24.28
2458139.653	5890.38	0.56	0.25	21.90	5896.37	0.62	0.21	22.90	6300.76	3.48	2.43	25.24
2458142.626	5890.35	0.57	0.24	20.40	5896.33	0.59	0.21	20.90	6300.74	3.81	2.76	24.28
2458144.634	5890.33	0.59	0.20	19.40	5896.33	0.62	0.18	20.90	6300.73	3.61	2.61	23.81
2458149.601	5890.34	0.51	0.25	19.90	5896.32	0.58	0.21	20.40	6300.75	3.72	2.61	24.76
2458150.615	5890.34	0.49	0.27	19.90	5896.34	0.55	0.22	21.40	6300.75	3.62	2.51	24.76
2458155.616	5890.34	0.59	0.20	19.90	5896.33	0.62	0.18	20.90	6300.74	3.70	2.61	24.28
2458158.603	5890.36	0.60	0.20	20.90	5896.34	0.62	0.18	21.40	6300.74	3.69	2.57	24.28
2458180.528	5890.35	0.59	0.21	20.40	5896.34	0.66	0.18	21.40	6300.74	3.55	2.46	24.28
2458182.546	5890.35	0.58	0.21	20.40	5896.31	0.60	0.20	19.80	6300.74	3.52	2.46	24.28
2458185.526	5890.38	0.57	0.20	21.90	5896.35	0.62	0.19	21.90	6300.77	3.41	2.40	25.71
2458200.523	5890.36	0.57	0.22	20.90	5896.34	0.59	0.20	21.40	6300.75	3.53	2.44	24.76
2458214.523	5890.34	0.54	0.22	19.90	5896.31	0.61	0.20	19.80	6300.71	3.71	2.63	22.86
2458443.824	5890.41	0.63	0.18	23.40	5896.41	0.69	0.16	24.90	6300.77	3.71	2.68	25.71
2458470.727	5890.40	0.65	0.18	22.90	5896.41	0.71	0.15	24.90	6300.78	3.90	2.96	26.19
2458475.740	5890.40	0.69	0.15	22.90	5896.40	0.70	0.14	24.40	6300.76	3.53	2.54	25.24
2458479.710	5890.39	0.66	0.17	22.40	5896.40	0.72	0.13	24.40	6300.76	3.65	2.69	25.24

Продолжение таблицы А.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
2458489.694	5890.40	0.61	0.23	22.90	5896.39	0.64	0.19	23.90	6300.77	3.82	2.85	25.71
2458499.664	5890.36	0.60	0.21	20.90	5896.36	0.66	0.18	22.40	6300.75	3.77	2.77	24.76
2458510.648	5890.40	0.67	0.19	22.90	5896.39	0.69	0.16	23.90	6300.77	3.60	2.66	25.71
2458561.515	5890.37	0.56	0.30	21.40	5896.36	0.59	0.24	22.40	6300.79	3.29	2.35	26.67
2458823.790	5890.37	0.56	0.25	21.40	5896.38	0.63	0.21	23.40	6300.78	3.65	2.77	26.19
2458837.714	5890.35	0.60	0.22	20.40	5896.36	0.67	0.17	22.40	6300.77	3.56	2.60	25.71
2458877.623	5890.36	0.64	0.23	20.90	5896.36	0.65	0.18	22.40	6300.77	3.32	2.41	25.71
2458897.563	5890.44	0.55	0.31	25.00	5896.42	0.58	0.26	25.40	6300.77	3.57	2.67	25.71
2458902.554	5890.40	0.60	0.21	22.90	5896.39	0.66	0.18	23.90	6300.78	3.43	2.62	26.19
2459173.778	5890.40	0.64	0.17	22.90	5896.38	0.67	0.15	23.40	6300.75	3.63	2.67	24.76
2459175.820	5890.38	0.58	0.21	21.90	5896.38	0.64	0.18	23.40	6300.77	3.71	2.73	25.71
2459177.780	5890.41	0.60	0.22	23.40	5896.40	0.65	0.18	24.40	6300.74	3.48	2.52	24.28
2459185.787	5890.37	0.51	0.26	21.40	5896.36	0.57	0.23	22.40	6300.73	3.75	2.76	23.81
2459191.755	5890.37	0.54	0.23	21.40	5896.35	0.58	0.19	21.90	6300.72	3.66	2.56	23.33
2459194.733	5890.37	0.55	0.20	21.40	5896.39	0.61	0.17	23.90	6300.77	3.73	2.72	25.71
2459210.726	5890.38	0.58	0.19	21.90	5896.37	0.63	0.16	22.90	6300.78	3.94	2.85	26.19
2459213.692	5890.36	0.58	0.20	20.90	5896.38	0.63	0.16	23.40	6300.78	3.88	2.85	26.19
2459221.662	5890.36	0.63	0.16	20.90	5896.37	0.66	0.13	22.90	6300.77	4.05	2.95	25.71
2459225.697	5890.37	0.59	0.18	21.40	5896.37	0.63	0.17	22.90	6300.78	3.89	2.81	26.19
2459233.655	5890.37	0.63	0.16	21.40	5896.37	0.64	0.14	22.90	6300.77	4.15	2.97	25.71
2459237.654	5890.37	0.62	0.16	21.40	5896.36	0.64	0.14	22.40	6300.78	3.97	2.84	26.19
2459277.559	5890.40	0.59	0.20	22.90	5896.37	0.60	0.19	22.90	6300.76	3.93	2.85	25.24
<i>HCT</i>												
2458470.192	5890.19	0.11	0.28	12.20	5896.18	0.15	0.25	13.20	6300.58	4.44	2.79	16.67
2458524.060	5890.34	0.11	0.27	19.90	5896.32	0.15	0.24	20.40	6300.73	4.20	2.63	23.81
<i>SPM</i>												
2453653.969	5890.02	0.57	0.27	3.60	5896.02	0.61	0.22	5.10	6300.38	3.61	2.74	7.14
2453656.956	5889.77	0.81	0.10	-9.20	5895.87	0.88	0.1	-2.50	6299.31	2.81	2.28	-43.81
2454082.918	5890.25	0.76	0.15	15.30	5896.30	0.80	0.12	19.30	6300.83	3.39	2.26	28.57
2454083.974	5890.25	0.76	0.15	15.30	5896.27	0.77	0.12	17.80	6300.85	3.73	2.56	29.52
2454084.885	5890.24	0.70	0.14	14.80	5896.25	0.76	0.11	16.80	6300.84	3.90	2.70	29.05
2454085.775	5890.29	0.74	0.15	17.30	5896.31	0.78	0.11	19.80	6300.89	3.74	2.58	31.43
2454413.035	5890.26	0.46	0.38	15.80	5896.26	0.53	0.30	17.30	6300.61	3.87	2.67	18.09
2454415.952	5890.20	0.50	0.33	12.70	5896.24	0.60	0.26	16.30	6300.51	4.04	2.84	13.33
2454421.867	5890.29	0.45	0.32	17.30	5896.26	0.55	0.27	17.30	6300.68	3.82	2.75	21.43
2454425.004	5890.41	0.80	0.16	23.40	5896.31	0.83	0.14	19.80	6300.47	3.35	2.81	11.43
2454744.995	5890.25	0.53	0.22	15.30	5896.27	0.61	0.19	17.80	6300.83	3.58	2.50	28.57
2454745.967	5890.28	0.56	0.22	16.80	5896.25	0.59	0.17	16.80	6300.88	3.37	2.52	30.95
2454747.998	5890.29	0.53	0.26	17.30	5896.24	0.54	0.19	16.30	6300.99	3.32	2.49	36.19
2454748.963	5890.28	0.46	0.27	16.80	5896.31	0.51	0.22	19.80	6300.85	3.30	2.44	29.52
2455140.912	5890.42	0.54	0.25	23.90	5896.37	0.58	0.18	22.90	6300.93	2.97	2.24	33.33
2455485.018	5889.72	0.47	0.27	-11.7	5895.68	0.56	0.18	-12.20	6300.21	3.40	2.44	-0.95
2455488.020	5889.71	0.37	0.26	-12.2	5895.66	0.49	0.21	-13.20	6300.06	3.48	2.54	-8.09
2455866.977	5890.55	0.40	0.30	30.60	5896.51	0.45	0.25	30.00	6301.21	2.81	2.22	46.66
2455869.012	5890.57	0.40	0.26	31.60	5896.52	0.50	0.21	30.50	6301.24	2.80	2.14	48.09
2455869.963	5890.45	0.47	0.22	25.50	5896.41	0.57	0.18	24.90	6301.16	2.87	2.28	44.28
2455872.018	5889.32	0.43	0.23	-32.1	5895.28	0.51	0.19	-32.60	6299.31	2.90	2.37	-43.81
2456244.931	5890.50	0.51	0.25	28.00	5896.47	0.55	0.18	28.00	6300.98	3.30	2.32	35.71
2456249.958	5890.43	0.49	0.34	24.40	5896.41	0.58	0.26	24.90	6300.95	3.36	2.48	34.28
2456583.001	5890.45	0.67	0.14	25.50	5896.40	0.69	0.14	24.40	6301.09	2.90	2.51	40.95
2457301.008	5890.39	0.48	0.22	22.40	5896.37	0.52	0.18	22.90	6300.94	3.55	2.67	33.81

Продолжение таблицы А.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
2457302.008	5890.41	0.44	0.23	23.40	5896.38	0.51	0.18	23.40	6300.94	3.45	2.48	33.81
2457677.003	5890.38	0.48	0.20	21.90	5896.35	0.55	0.16	21.90	6300.71	4.05	2.69	22.86
2457677.997	5890.35	0.35	0.23	20.40	5896.26	0.47	0.19	17.30	6300.82	2.63	2.20	28.09
2458053.934	5890.35	0.34	0.25	20.40	5896.31	0.38	0.22	19.80	6300.81	2.67	2.24	27.62
2458095.911	5890.42	0.55	0.17	23.90	5896.38	0.63	0.16	23.40	6300.89	2.58	2.29	31.43
<i>MCD</i>												
2453721.852	5890.37	0.10	0.33	21.40	5896.36	0.15	0.29	22.40	–	–	–	–
2453723.805	5890.38	0.10	0.34	21.90	5896.36	0.14	0.29	22.40	–	–	–	–
2453724.859	5890.38	0.13	0.33	21.90	5896.36	0.13	0.29	22.40	–	–	–	–
2454092.796	5890.36	0.10	0.29	20.90	5896.34	0.10	0.25	21.40	–	–	–	–
2454095.847	5890.36	0.10	0.28	20.90	5896.34	0.10	0.24	21.40	–	–	–	–
2454096.804	5890.37	0.10	0.27	21.40	5896.34	0.11	0.24	21.40	–	–	–	–
2454097.877	5890.36	0.10	0.28	20.90	5896.34	0.10	0.24	21.40	–	–	–	–
2454815.809	5890.36	0.10	0.37	20.90	5896.35	0.10	0.33	21.90	–	–	–	–
<i>CFHT</i>												
2453363.889	5890.36	0.10	0.32	20.90	5896.35	0.11	0.28	21.90	6300.74	4.21	2.61	24.28
2457284.650	5890.35	0.04	0.03	20.40	5896.33	0.07	0.03	20.90	6300.76	4.11	0.25	25.24
2457290.652	5890.34	0.11	0.03	19.90	5896.32	0.05	0.02	20.40	6300.76	4.22	0.24	25.24
2457295.653	5890.36	0.06	0.03	20.90	5896.33	0.06	0.03	20.90	6300.76	4.06	0.25	25.24
2457325.573	5890.35	0.05	0.03	20.40	5896.33	0.06	0.03	20.90	6300.75	4.16	0.26	24.76
2457409.490	5890.35	0.03	0.05	20.40	5896.33	0.05	0.03	20.90	6300.75	3.80	0.23	24.76
2457415.505	5890.35	0.03	0.03	20.40	5896.33	0.04	0.03	20.90	6300.75	3.88	0.23	24.76
2458066.484	5890.36	0.05	0.04	20.90	5896.34	0.06	0.03	21.40	6300.75	3.70	0.23	24.76
2458441.601	5890.36	0.02	0.03	20.90	5896.34	0.05	0.03	21.40	6300.74	4.38	0.28	24.28
2458442.405	5890.36	0.05	0.03	20.90	5896.34	0.06	0.03	21.40	6300.74	4.31	0.28	24.28
2459180.447	5890.36	0.05	0.03	20.90	5896.33	0.05	0.03	20.90	6300.76	3.80	0.24	25.24
2459181.466	5890.36	0.06	0.03	20.90	5896.33	0.07	0.03	20.90	6300.76	3.78	0.24	25.24
Примечание:												
1	– гелиоцентрическая юлианская дата											
2	– длина волны линии Na I (5889 Å)											
3	– линия интенсивности Na I (5889 Å)											
4	– эквивалентная ширина линии Na I (5889 Å)											
5	– лучевая скорость линии Na I (5889 Å)											
6	– длина волны линии Na I (5895 Å)											
7	– линия интенсивности Na II (5895 Å)											
8	– эквивалентная ширина линии Na I (5895 Å)											
9	– лучевая скорость линии Na I (5895 Å)											
10	– длина волны линии O I (6300 Å)											
11	– линия интенсивности O I (6300 Å)											
12	– эквивалентная ширина линии O I (6300 Å)											
13	– лучевая скорость линии O I (6300 Å)											

Таблица А.4 – Параметры спектральной линии He I (6678, 7065 Å) объекта HD 45677

HJD	$\lambda$ HeI 6678 Å	Л.и.	EW	RV He I 6678	$\lambda$ He I 7065 Å	Л.и.	EW	RV He I 7065
1	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>TCO</i>								
2456625.792	6678.60	0.83	0.20	20.22	7065.93	0.89	0.21	31.42
2456628.767	6678.54	0.84	0.56	17.52	7065.81	0.88	0.31	26.33
2456637.735	6678.21	0.87	0.38	2.70	7065.73	0.95	0.17	22.93
2456639.778	6678.59	0.85	0.23	19.77	7066.13	0.90	0.25	39.91
2456642.760	6678.36	0.84	0.71	9.43	7065.90	0.92	0.31	30.15
2456653.710	6678.55	0.84	0.56	17.97	7065.92	0.90	0.28	31.00
2456654.714	6678.50	0.91	0.17	15.72	7065.66	0.93	0.13	19.96
2456661.678	6678.29	0.95	0.17	6.29	7065.71	0.94	0.10	22.08
2456670.690	6678.85	0.87	0.50	31.45	7065.81	0.86	0.29	26.33
2456674.671	6678.77	0.84	0.59	27.85	7065.95	0.96	0.22	32.27
2456677.688	6678.40	0.85	0.64	11.23	7065.73	0.91	0.27	22.93
2456678.624	6678.06	0.92	0.17	-4.04	7065.59	0.90	0.13	16.98
2456682.617	6678.51	0.88	0.25	16.17	7065.90	0.93	0.17	30.15
2456689.623	6678.44	0.93	0.29	13.03	7065.63	0.95	0.17	18.68
2457061.616	6678.97	0.90	0.34	36.84	7065.58	0.94	0.15	16.56
2457097.512	6679.28	0.84	0.80	50.76	7066.20	0.90	0.34	42.89
2457418.610	6678.70	0.84	0.66	24.71	7066.02	0.93	0.29	35.24
2457430.595	6678.71	0.88	0.27	25.16	7065.90	0.92	0.16	30.15
2457437.576	6678.16	0.94	0.23	0.45	7066.96	0.97	0.08	75.16
2457445.550	6678.71	0.82	0.61	25.16	7066.32	0.94	0.22	47.98
2457737.686	6678.08	0.90	0.37	-3.14	7065.70	0.90	0.03	21.66
2457782.621	6678.32	0.95	0.18	7.64	7065.58	0.93	0.15	16.56
2457815.558	6678.89	0.87	0.44	33.24	7065.54	0.94	0.23	14.86
2457829.518	6678.57	0.87	0.20	18.87	7065.52	0.95	0.16	14.01
2458101.707	6678.45	0.87	0.21	13.48	7065.46	0.91	0.15	11.46
2458103.726	6678.60	0.82	0.43	20.22	7065.89	0.88	0.26	29.72
2458120.692	6678.59	0.85	0.43	19.77	7065.95	0.92	0.20	32.27
2458123.665	6678.65	0.89	0.27	22.46	7065.89	0.98	0.12	29.72
2458125.687	6678.51	0.96	0.14	16.17	7066.70	0.93	0.04	64.12
2458134.657	6678.63	0.86	0.45	21.56	7065.37	0.91	0.25	7.64
2458139.653	6678.84	0.88	0.31	31.00	7065.95	0.91	0.19	32.27
2458142.626	6679.19	0.79	0.94	46.72	7065.87	0.93	0.36	28.87
2458144.634	6678.28	0.84	0.42	5.84	7065.69	0.88	0.27	21.23
2458149.601	6678.97	0.77	0.86	36.84	7066.14	0.86	0.41	40.34
2458150.615	6677.93	0.89	0.23	-9.88	7065.64	0.96	0.10	19.11
2458155.616	6678.51	0.84	0.51	16.17	7065.64	0.92	0.38	19.11
2458158.603	6678.81	0.85	0.47	29.65	7065.48	0.88	0.27	12.31
2458180.528	6678.99	0.83	0.63	37.74	7066.56	0.90	0.25	58.17
2458182.546	6678.34	0.86	0.37	8.54	7065.69	0.94	0.24	21.23
2458185.526	6678.40	0.90	0.29	11.23	7065.57	0.96	0.18	16.14
2458200.523	6678.40	0.86	0.67	11.23	7065.69	0.94	0.30	21.23
2458214.523	6678.81	0.87	0.51	29.65	7065.54	0.91	0.33	14.86
2458443.824	6678.63	0.95	0.03	21.56	7065.64	0.96	0.04	19.11
2458470.727	6679.58	0.83	0.61	64.24	7066.15	0.90	0.30	40.76
2458475.740	6678.29	0.87	0.35	6.29	7065.95	0.91	0.18	32.27
2458479.710	6678.77	0.86	0.33	27.85	7065.99	0.90	0.18	33.97

Продолжение таблицы А.4

1	2	3	4	5	6	7	8	9
2458489.694	6679.13	0.89	0.56	44.02	7065.85	0.90	0.22	28.02
2458499.664	6678.31	0.87	0.42	7.19	7065.34	0.92	0.24	6.37
2458510.648	6678.44	0.85	0.59	13.03	7065.66	0.90	0.23	19.96
2458561.515	6678.60	0.87	0.39	20.22	7065.35	0.92	0.14	6.79
2458823.790	6678.66	0.86	0.36	22.91	7065.94	0.87	0.26	31.85
2458837.714	6678.63	0.87	0.41	21.56	7065.83	0.90	0.26	27.18
2458877.623	6678.69	0.88	0.51	24.26	7065.99	0.94	0.27	33.97
2458897.563	6678.56	0.84	0.71	18.42	7065.53	0.88	0.37	14.44
2458902.554	6678.22	0.92	0.37	3.14	7065.01	0.95	0.11	-7.64
2459173.778	6678.49	0.90	0.25	15.27	7066.21	0.92	0.19	43.31
2459175.820	6678.73	0.80	0.58	26.06	7066.10	0.84	0.40	38.64
2459177.780	6678.44	0.98	0.04	13.03	7065.94	0.94	0.02	31.85
2459185.787	6678.61	0.85	0.51	20.66	7065.90	0.89	0.29	30.15
2459191.755	6678.98	0.91	0.23	37.29	7065.84	0.93	0.12	27.60
2459194.733	6678.54	0.91	0.18	17.52	7065.95	0.90	0.19	32.27
2459210.726	6678.96	0.82	0.82	36.39	7065.80	0.88	0.12	25.90
2459213.692	6678.57	0.85	0.62	18.87	7065.82	0.90	0.35	26.75
2459221.662	6678.50	0.85	0.55	15.72	7065.90	0.91	0.29	30.15
2459225.697	6678.57	0.88	0.41	18.87	7065.91	0.93	0.21	30.57
2459233.655	6679.38	0.87	0.63	55.25	7066.31	0.91	0.34	47.56
2459237.654	6678.45	0.85	0.43	13.48	7065.61	0.90	0.27	17.83
2459277.559	6679.21	0.88	0.41	47.62	7066.15	0.94	0.18	40.76
<i>HCT</i>								
2458470.192	6678.72	0.83	0.70	25.61	7065.91	0.87	0.25	30.57
2458524.060	6678.36	0.85	0.39	9.43	7065.56	0.92	0.22	15.71
<i>SPM</i>								
2453653.969	–	–	–	–	–	–	–	–
2453656.956	–	–	–	–	–	–	–	–
2454082.918	6678.35	0.92	0.22	8.98	–	–	–	–
2454083.974	6678.68	0.90	0.48	23.81	–	–	–	–
2454084.885	6678.91	0.87	0.53	34.14	–	–	–	–
2454085.775	6679.00	0.90	0.24	38.18	–	–	–	–
2454413.035	6677.94	0.59	0.52	-9.43	–	–	–	–
2454415.952	6678.18	0.68	0.37	1.35	–	–	–	–
2454421.867	–	–	–	–	–	–	–	–
2454425.004	–	–	–	–	–	–	–	–
2454744.995	6678.98	0.93	0.36	37.29	–	–	–	–
2454745.967	6679.34	0.85	0.40	53.46	–	–	–	–
2454747.998	6678.55	0.81	0.73	17.97	–	–	–	–
2454748.963	6678.46	0.83	0.58	13.93	–	–	–	–
2455140.912	6678.99	0.85	0.41	37.74	–	–	–	–
2455485.018	6678.10	0.87	0.47	-2.25	7065.12	0.91	0.13	-2.97
2455488.020	6678.35	0.82	0.71	8.98	7065.26	0.89	0.29	2.97
2455866.977	6679.07	0.83	0.67	41.33	7066.35	0.88	0.41	49.26
2455869.012	6678.42	0.93	0.26	12.13	7066.41	0.89	0.36	51.80
2455869.963	6679.46	0.83	0.72	58.85	7066.52	0.87	0.46	56.47
2455872.018	6677.39	0.91	0.27	-34.14	7065.60	0.92	0.31	17.41
2456244.931	6678.74	0.87	0.37	26.50	7066.14	0.95	0.09	40.34
2456249.958	6678.69	0.83	0.53	24.26	7066.24	0.90	0.28	44.58
2456583.001	6678.83	0.83	0.48	30.55	7065.64	0.91	0.24	19.11
2457301.008	6679.27	0.78	0.83	50.31	7065.38	0.87	0.60	8.07
2457302.008	6678.99	0.85	0.52	37.74	7065.42	0.90	0.44	9.77

Продолжение таблицы А.4

1	2	3	4	5	6	7	8	9
2457677.003	6679.38	0.87	0.44	55.25	7065.78	0.88	0.32	25.05
2457677.997	6679.30	0.87	0.46	51.66	7065.18	0.94	0.23	-0.42
2458053.934	6679.62	0.91	0.31	66.04	–	–	–	60.30
2458095.911	6678.68	0.91	0.19	23.81	7065.44	0.90	0.23	10.62
<i>MCD</i>								
2453721.852	6678.56	0.90	0.24	18.42	–	–	–	–
2453723.805	6678.84	0.96	0.05	31.00	–	–	–	–
2453724.859	6678.22	0.96	0.10	3.14	–	–	–	–
2454092.796	6678.84	0.87	0.50	31.00	–	–	–	–
2454095.847	6678.82	0.85	0.45	30.10	–	–	–	–
2454096.804	6678.73	0.90	0.31	26.06	–	–	–	–
2454097.877	6678.47	0.84	0.54	14.38	–	–	–	–
2454815.809	6678.74	0.78	0.84	26.50	–	–	–	–
<i>CFHT</i>								
2453363.889	6678.91	0.78	0.75	34.14	7066.02	0.88	0.41	35.24
2457284.650	6678.63	0.92	0.03	21.56	7066.08	0.90	0.02	37.79
2457290.652	6678.65	0.88	0.04	22.46	7065.86	0.94	0.02	28.45
2457295.653	6678.45	0.87	0.03	13.48	7065.76	0.92	0.02	24.20
2457325.573	6678.91	0.84	0.06	34.14	7066.10	0.85	0.04	38.64
2457409.490	6678.69	0.85	0.05	24.26	7065.88	0.92	0.02	29.30
2457415.505	6680.10	0.91	0.06	87.60	7066.94	0.94	0.03	74.31
2458066.484	6679.01	0.80	0.08	38.63	7066.17	0.88	0.05	41.61
2458441.601	6678.63	0.76	0.07	21.56	7065.94	0.78	0.05	31.85
2458442.405	6679.24	0.78	0.09	48.97	7066.36	0.87	0.05	49.68
2459180.447	6678.84	0.89	0.04	31.00	7066.15	0.92	0.03	40.76
2459181.466	6678.37	0.87	0.03	9.88	7065.75	0.92	0.02	23.78
Примечание:								
1	– гелиоцентрическая юлианская дата							
2	– длина волны линии He I (6678 Å)							
3	– линия интенсивности He I (6678 Å)							
4	– эквивалентная ширина линии He I (6678 Å)							
5	– лучевая скорость линии He I (6678 Å)							
6	– длина волны линии He I (7065 Å)							
7	– линия интенсивности He I (7065 Å)							
8	– эквивалентная ширина линии He I (7065 Å)							
9	– лучевая скорость линии He I (7065 Å)							

# ПРИЛОЖЕНИЕ Б

## Отзыв на диссертационную работу

### Max-Planck-Institut für Astronomie

Max-Planck-Institut für Astronomie · Königstuhl 17 · 69117 Heidelberg

Dr. Olga Zakhzhay  
Researcher  
Department of Planet and Star Formation  
Tel: +49-6221-528-260 e-mail: zakhzhay@mpia.de



#### REFERENCE LETTER

for dissertational work of Aizhan K. Kuratova  
on the subject of "Photometric and spectral regularities of FS CMa type hot stars"  
that is presented for a degree of Doctor of Philosophy (Ph.D.)  
on "6D061100 – Physics and Astronomy" specialty

25.04.2022

Dissertational work is dedicated to photometric and spectral research of HD 45677 and AS 78 objects of FS CMa type stars that has been carried out on 8 telescopes within 2-3 decades. The aim of the work is to determine the nature and evolutionary status of these objects. First chapter shows state-of-the-art review of FS CMa type hot stars physics; discovering of the stars with the B[e] Phenomenon; classification of dust formation of these objects. Second chapter presents development of FS CMa type objects search and identification criteria as well as catalog formation of candidates for group. Third chapter is comprised of observation data analysis of HD 45677 and AS 78.

Physical parameters and evolutionary status of HD 45677 and AS 78 were determined in the way that they could not be young stars. The discovered periodicity changes of the peaks intensity ratio in hydrogen lines profile implies the period of 184 days of HD 45677 star. The periodicity changes of AS 78 of Si II 5056 Å photosphere line and optical luminosity were discovered with the period of 120 days are the evidences of the second component presence which imply that the objects are binary systems. New results of long-term observations have made significant contribution to international experimental database. Observations and their interpretation are important for understanding of mechanism of stars with dusty envelopes formation; hot stars dust composition for better understanding of evolutionary processes existing in the Universe.

The results of dissertational research have been published in 12 papers including 2 papers in peer-reviewed journals with IF=5.75 (Q1) and reported on international scientific conferences.

I'm convinced that Aizhan K. Kuratova has completed objectives to be achieved and that the aim of the dissertation is absolutely attained. My estimation is that dissertation satisfies to all requirements acceptable for a PhD degree. Having regard to the above, I highly recommend dissertational work of Aizhan K. Kuratova to Dissertation Council for a public defense for a PhD degree on 6D061100 – Physics and Astronomy specialty wishing her further scientific achievements.

Dr. Olga Zakhzhay

