

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ  
СПЕЦИАЛЬНАЯ АСТРОФИЗИЧЕСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

На правах рукописи  
УДК 524.338-337

**МОИСЕЕВА Анастасия Валерьевна**

**Фундаментальные параметры выборки СР звезд по результатам  
спектроскопии на 6-м телескопе**

(01.03.02 — астрофизика и звездная астрономия)

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук

Нижний Архыз — 2019

Работа выполнена в лаборатории «Исследование звездного магнетизма»  
Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Специальной  
астрофизической обсерватории Российской академии наук.

Научный руководитель: **Романюк Иосиф Иванович,**  
доктор физико-математических наук,  
зав. лаб.

Официальные оппоненты: **Холтыгин Александр Федорович,**  
доктор физико-математических наук,  
Санкт-Петербургский Государственный университет, профессор кафедры астрономии.

**Погодин Михаил Александрович,**  
доктор физико-математических наук,  
Главная (Пулковская) Астрономическая Обсерватория РАН, зав. лаб.

Ведущая организация: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования Казанский (Приволжский) федеральный университет

Защита состоится «19» апреля 2019 г. в 10 часов на заседании диссертационного совета Д.002.203.01 при Специальной астрофизической обсерватории РАН по адресу: 369167, КЧР, Зеленчукский р-н., пос. Нижний Архыз.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке САО РАН.

Автореферат разослан «\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
Д.002.203.01  
кандидат физико-  
математических наук

Шолухова О.Н.

## Общая характеристика работы

### Актуальность проблемы

Надежно определенные фундаментальные параметры звезд необходимы для построения теории их образования и эволюции. Теоретические расчеты, например, построение эволюционных треков, которые по положению объекта на диаграмме Герцшпрунга-Рассела объясняют механизмы образования звезд и их дальнейшую эволюцию, невозможны без знания параметров исследуемых объектов.

Одной из важнейших проблем современной астрофизики является вопрос о влиянии магнитных полей на звездную эволюцию. Их проявления наблюдаются и изучаются в разнообразных объектах Галактики длительное время. Однако опыт исследований показывает, что наиболее точную и надежную информацию о взаимном влиянии поля и процессов, происходящих в звездных атмосферах, можно получить из исследований классических магнитных химически пекулярных звезд (Romanyuk, 2004). Они составляют примерно около 10% от общего количества В и А-звезд Главной последовательности (ГП) (Romanyuk et al, 2008; Glagolevskij, 2018).

Фундаментальные параметры химически пекулярных звезд изучены недостаточно хорошо. В целом, химически пекулярные звезды имеют схожие параметры и положения на диаграмме ГП, что и нормальные звезды этих же температур. Однако, скорости вращения у них в целом в 3-4 раза ниже, чем у нормальных (Romanyuk, 2007). Причина этого явления до сих пор неясна: либо магнитное поле затормозило звезду во время ее формирования из межзвездного облака, либо только у медленно вращающихся звезд возникли магнитные поля.

В настоящее время фундаментальные параметры (эффективная температура, ускорение силы тяжести, светимость, масса, радиус) определены примерно для 150 магнитных химически пекулярных звезд (Kochukhov et al, 2006), что составляет около 20% от общего количества найденных такого типа объектов (Renson, Manfroid, 2009). Однако, исследуя различные литературные источники, можно заметить, что данные разных авторов для одной и той же звезды различаются. Чаще всего авторы определяют фундаментальные параметры магнитных химически пекулярных звезд, используя данные фотометрии, которые не могут дать хорошую точность, так как континуум этих объектов аномален (North, Cramer, 1984). Особенно плохо определяется возраст одиночных магнитных звезд - ошибки могут превышать 100%. Это основная причина большого рассеивания

экспериментальных результатов, которые не позволяют найти реальные связи с возрастом и другими параметрами и оценить влияние магнитного поля на эволюцию звезд.

Для создания надежной наблюдательной базы, на которой могут основываться теории образования и эволюции магнитных полей химически пекулярных звезд, необходимо как можно точнее определить фундаментальные параметры этих объектов. Для решения этой проблемы необходимо использовать единую методику, которая подходит для анализа химически пекулярных звезд, и однородный спектральный материал, чтобы определить параметры большой выборки объектов. Для исследований эволюции звезд целесообразнее всего использовать объекты, у которых точно определен их возраст, а это возможно только при изучении звезд, входящих в состав рассеянных скоплений разного возраста. Такая задача может быть решена путем спектральных наблюдений магнитных химически пекулярных звезд на 6-м телескопе БТА (Romanyuk et al, 2013).

## **Цели и задачи работы**

**Целью** данной работы является определение и изучение фундаментальных параметров и магнитных полей большой выборки магнитных химически пекулярных звезд по однородным спектрам, полученных на 6-м телескопе, используя стандартные общепринятые методы обработки и анализа.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие **задачи**:

1. Обработать имеющийся наблюдательный материал (507 пар циркулярно-поляризованных спектров), для тех объектов, у которых его недостаточно, получить новый на Основном звездном спектрографе БТА.
2. Измерить эффективное продольное магнитное поле  $V_e$  большой выборки химически пекулярных звезд.
3. Найти фундаментальные параметры ( $T_{\text{eff}}$ ,  $\log g$ ,  $L/L_{\odot}$ ,  $M/M_{\odot}$ ,  $R/R_{\odot}$ ), лучевые скорости  $V_R$ , проекции скоростей вращения  $v_e \sin i$  для звезд выборки, уделяя особое внимание исследованиям параметров звезд ассоциации Орион OB1.
4. Провести анализ полученных данных.

## Научная новизна

1. Обнаружены магнитные поля у 30 химически пекулярных звезд, из которых 21 объект - звезды поля с депрессиями (3%), и 9 - звезды в ассоциации Орион OB1; были использованы спектрополяриметрические данные, полученные на 6-м телескопе спектрографом ОЗСП.
2. Измерены *впервые* фундаментальные параметры, лучевые скорости и проекции скоростей вращения  $v_e \sin i$  для 106 магнитных или потенциально магнитных объектов, и для 60 химически пекулярных звезд в ассоциации Орион OB1 по единой методике и с использованием однородных спектральных данных.
3. *Впервые* проведены детальные исследования магнитных полей и фундаментальных параметров двух звезд с сильными депрессиями (5%): HD 5601, HD 19712. Показано, что обе звезды имеют почти идентичные параметры, конфигурацию магнитного поля и интенсивности депрессий, но различный химический состав.
4. *Впервые* получены спектрополяриметрические данные для полной выборки 60 химически пекулярных звезд ассоциации Орион OB1. Найдено, что доля пекулярных звезд в ассоциации падает с возрастом относительно нормальных, и доля магнитных звезд относительно пекулярных также падает с возрастом в интервале  $\log t = 6-7$ .
5. *Впервые* получены фазовые кривые переменности эффективного продольного магнитного поля для 11 звезд ассоциации Орион OB1. Они указывают на преимущественно дипольную структуру поля. Меньше 10% звезд в ассоциации обладают полями недипольной конфигурацией.

## Научная и практическая ценность

1. На основании измерений, выполненных автором по единой методике, создан и опубликован каталог (Moiseeva et al, 2019) фундаментальных параметров химически пекулярных звезд. Он насчитывает 106 объектов, большинство из которых составляют Ар-звезды. Каталог может быть использован при исследовании эволюции магнитных полей химически пекулярных звезд разной массы, эффективной температуры, светимости и скорости вращения.
2. Получено и обработано 507 спектров циркулярно-поляризованного излучения для 166 химически пекулярных звезд. У 30 объектов магнитные поля обнаружены впервые. Полученный наблюдательный материал может быть в дальнейшем использован для

длительного магнитного мониторинга звезд, с целью изучения сверхмедленных ротаторов.

3. Результаты комплексного исследования фундаментальных параметров и магнитных полей химически пекулярных звезд с сильными депрессиями HD 5601 и HD 19712 могут быть использованы при исследованиях эволюции магнитных химически пекулярных звезд.

4. Получены спектрополяриметрические наблюдения полной выборки химически пекулярных звезд ассоциации Орион OB1. Для каждой звезды проведено не менее 4-х наблюдений в разные фазы периода вращения. Материал может быть использован для изучения спектральной и магнитной переменности этих объектов и построения их магнитных моделей. Для быстрых ротаторов ( $v_e \sin i > 50 \text{ км с}^{-1}$ ) можно выполнить магнитное картирование поверхности.

5. Для 60 химически пекулярных звезд ассоциации Орион OB1 определены физические параметры, которые могут быть использованы при изучении эволюции магнитных химически пекулярных звезд. Для 11 объектов ассоциации построены фазовые кривые продольной компоненты магнитного поля, которые могут использоваться при решении проблемы возникновения магнитных полей у химически пекулярных звезд.

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

1. Результаты определения и исследования фундаментальных параметров, магнитных полей, содержания химических элементов, проведения магнитного моделирования для двух CP звезд с депрессиями континуума (5%): HD 5601 и HD 19712. Показано, что у этих звезд идентичные значения параметров, но имеются различия в содержании некоторых химических элементов.

2. Результаты спектрополяриметрического анализа 166 CP звезд: 106 объектов поля и 60 членов ассоциации Орион OB1. Открыто 30 новых магнитных звезд: 21 - среди объектов поля и 9 - в ассоциации Орион OB1. Для 11 звезд ассоциации построены фазовые кривые переменности эффективного продольного магнитного поля. Показано, что в первом приближении 10 из них имеют дипольную структуру поля, а HD 36668 - более сложную; периоды вращения для 10 звезд короче 5 суток, а у HD 37058 - 14.6 суток.

3. Результаты определения фундаментальных параметров, лучевых скоростей и проекций скоростей вращения 106 CP звезд поля. Сформирован и опубликован однородный каталог фундаментальных параметров CP звезд. Большинство объектов в нем составляют Ар-звезды. Физические параметры примерно 70% CP звезд находятся в интервалах:  $T_{\text{eff}} = 8700\text{-}11750 \text{ К}$ ,  $\log g = 3.55\text{-}3.91$ ,  $\log L/L_{\odot} = 1.3\text{-}2.0$ ,  $M/M_{\odot} = 1.9\text{-}2.9$ ,  $R/R_{\odot} =$

2.6-4.6,  $v_e \sin i = 30.9-60.3 \text{ км с}^{-1}$ .

4. Результаты определения и исследования фундаментальных параметров, лучевых скоростей и проекций скоростей вращения для 60 CP звезд ассоциации Орион OB1, из которых 59 -- Vp-звезды. Проведено сравнение параметров звезд из подгрупп A, B, C, D, на которые принято делить ассоциацию. Систематических различий в зависимости от возраста не выявлено. Доля магнитных CP звезд относительно немагнитных в ассоциации падает с возрастом.

## **Структура диссертации**

Диссертация состоит из Введения, четырех глав, заключения, списков литературы, рисунков и таблиц, а также приложений А, Б и В. Общий объем диссертации составляет 196 страниц текста, включая 24 таблицы и 69 рисунков. Список литературы насчитывает 171 наименование.

## **Основное содержание работы**

Во **Введении** обосновывается актуальность диссертационной работы, указаны цели и задачи, сформулированы научная новизна и практическая значимость представляемой работы. Представлены пункты, выносимые на защиту, отмечен личный вклад автора. Даны сведения об апробации результатов диссертационного исследования. Приведен список публикаций, содержащих основные результаты диссертации.

**Первая глава** посвящена обзору литературных данных о современном состоянии проблемы магнетизма в химически пекулярных звездах.

В *разделе 1.1* приводятся общие сведения о магнитных полях.

В *разделе 1.2* рассмотрены основные методы регистрации и оценки магнитных полей звезд.

В *разделе 1.3* приводится исторический обзор литературных данных по химически пекулярным звездам.

В *разделе 1.4* рассматривается функция распределения магнитных полей химически пекулярных звезд.

В *разделе 1.5* обсуждаются наиболее распространенные теории образования магнитных полей у химически пекулярных звезд.

**Вторая глава** посвящена описанию спектрополяметрических приборов.

В *разделе 2.1* приведен обзор спектрополяриметрических приборов, которые используются для измерений магнитных полей звезд.

В *разделе 2.2* подробно описан Основной звездный спектрограф, при помощи которого был получен весь исследуемый спектральный материал.

В *разделе 2.3* рассматривается методика проведения наблюдений на данном спектрографе и обработки полученного спектрального материала. Подробности процесса обработки были вынесены в Приложение А.

**Третья глава** посвящена исследованию магнитных свойств большой выборки химически пекулярных звезд, которая состоит из двух частей: химически пекулярные звезды с депрессиями континуума до 3%, и химически пекулярные звезды ассоциации Орион OB1.

В *разделе 3.1* представлены результаты анализа магнитных полей первой части выборки химически пекулярных звезд. Основной спектральный материал для данной работы был получен в 2009-2011 гг. За этот период была открыта 21 новая магнитная звезда. Также в этом разделе показаны результаты детального исследования двух объектов с сильными депрессиями континуума около 5%: HD 5601, HD 19712. Для каждой звезды был обработан весь имеющийся спектральный материал, измерено эффективное продольное магнитное поле, проведено магнитное моделирование, определены фундаментальные параметры и оценено химическое содержание элементов. Проведено сравнение полученных результатов с параметрами других изученных звезд с сильными депрессиями: HD 27404, HD 40711, HD 45583, HD 178892. Показано, что исследуемые звезды HD 5601 и HD 19712 имеют идентичные параметры, исключая химический состав. Однако при сравнении с другими объектами общих свойств, кроме наличия сильных депрессий и магнитных полей, обнаружено не было. Среди них встречаются как горячие представители (HD 45583), так и холодные (HD 178892); быстрые ротаторы (HD 45583), умеренные (HD 19712, HD 27404), медленные (HD 178892, HD 40711). Величины магнитного поля: HD 19712, HD 5601, HD 27404, HD 45583 имеют схожие значения, однако поле HD 178892 отличается. Периоды вращения в целом схожи, кроме звезды HD 178892. Химическое содержание элементов различается: особо сильное отличие видно в содержании магния, кремния, титана, хрома и марганца. В целом же химический состав типичен для Ar/Vr звезд. Исследуемые звезды были нанесены на диаграмму Герцшпрунга-Рассела с целью определить их возраст. Показано, что все исследуемые объекты принадлежат главной последовательности, но имеют различное положение - есть массивный горячий молодой объект HD 45583, звезды



средних масс примерно одинакового возраста HD 19712, HD 5601, HD 27404, HD 40711, и маломассивный старый объект HD 178892.

В *разделе 3.2* показаны результаты исследования магнитных свойств химически пекулярных звезд из ассоциации Орион OB1. Приведена история изучения данной ассоциации, обоснован выбор объектов для исследования. Было открыто 9 новых магнитных звезд в дополнение к 20 уже ранее известным. Для 11 звезд в ассоциации впервые проведены детальные исследования магнитных полей и построены фазовые кривые эффективного продольного магнитного поля. Показано, что для 10 звезд в первом приближении поле представляет собой дипольную структуру. По фотометрическим данным HIPPARCOS (van Leeuwen, 2007) совместно с поляриметрическими были определены периоды вращения для этих звезд: десять из них относятся к быстрым ротаторам.

В последней **Четвертой главе** представлены результаты определения фундаментальных параметров для большой выборки химически пекулярных звезд.

В *разделе 4.1* рассматриваются использованные общепринятые методы определения параметров, которые применяют для химически пекулярных звезд.

В *разделе 4.2* показаны результаты измерения фундаментальных параметров объектов первой части выборки химически пекулярных звезд поля с депрессиями континуума около 3%. Всего исследовано 146 звезд, из которых 106 магнитные или потенциально магнитные объекты. Сформированный каталог фундаментальных параметров вынесен в Приложение В и опубликован в работе (Moiseeva et al, 2019). Для изучения распределения параметров построены гистограммы. Для их статистического анализа использовался критерий Пирсона ( $\chi^2$ ). Показано, что распределения всех параметров подчиняются лог-нормальному закону.

В *разделе 4.3* показаны результаты исследования фундаментальных параметров второй части выборки химически пекулярных звезд -- объектов ассоциации Орион OB1. Всего проанализировано 60 химически пекулярных звезд. Значения фундаментальных параметров даны в Приложении В. Из работы (Brown et al, 1994) были взяты параметры нормальных звезд ассоциации. На этом основании проведено сравнение распределений фундаментальных параметров нормальных и химически пекулярных звезд в каждой подгруппе ассоциации Орион OB1 используя критерий Стьюдента (t-критерий). Построены гистограммы для изучения распределения параметров. При статистическом анализе использовался критерий Пирсона ( $\chi^2$ ). Показано, что распределения всех параметров также подчиняются лог-нормальному закону. Анализ показал, что в подгруппах ассоциации А, В,

C, на которые принято делить ассоциацию, систематических различий фундаментальных параметров не найдено, а при сравнении с нормальными звездами были выявлены различия на уровне значимости меньше 5%. Доля магнитных звезд относительно немагнитных в ассоциации падает с возрастом.

В **Заключении** приведены основные результаты работы.

### **Апробация работы**

1. Конкурс-конференция, Нижний Архыз, 05.02.2016 г. "Определение фундаментальных параметров CP-звезд по наблюдениям 2009 года"
2. Международная конференция "Stars: from collapse to collapse", Нижний Архыз, 3-7.10.2016 г. "Determination of Fundamental Parameters of New mCP Stars"
3. Конкурс-конференция, Нижний Архыз, 08.02.2017 г. "Определение фундаментальных параметров CP-звезд по наблюдениям 2010 года"
4. Международная конференция Stellar Magnetism: Challenges, Connections, and Prospects. 14th Potsdam Thinkshop!, Telegrafenberg, Potsdam, DE, 12-16.06.2017 "Determination of Fundamental Parameters of mCP Stars in association Orion OB1"
5. Международная конференция "Звезды, планеты и их магнитные поля", Санкт-Петербург, 17-21.09.2018 г., "Определение фундаментальных параметров звезд по наблюдениям на 6-м телескопе БТА"
6. Международная конференция "Physics of Magnetic Stars", Нижний Архыз, 1-5.10.2018, "Determination of CP stars in association Orion OB1"

### **Публикации по теме диссертации**

1. Joshi, S; Semenko, E; Moiseeva, A; Joshi, G.; Joshi, Y.; Sachkov, M.  
*Photometric and Spectroscopic Analysis of CP Stars Under Indo-Russian Collaboration // ASP,*  
v. 494, p.210 (2015)
2. Romanyuk, I. I.; Semenko, E. A.; Kudryavtsev, D. O.; Moiseeva, A. V.  
*Results of magnetic field measurements performed with the 6-m telescope. IV. Observations in 2009 // Astrophysical Bulletin, v. 71, n. 3, pp.327-340 (2016)*

3. Romanyuk, I. I.; Semenko, E. A.; Yakunin, I. A.; Kudryavtsev, D. O.; Moiseeva, A. V.  
*Magnetic field of CP stars in the Ori OB1 association. I. HD35456, HD35881, HD36313 A, HD36526 // Astrophysical Bulletin, v. 71, n. 4, pp.436-446 (2016)*
4. Romanyuk, I. I.; Kudryavtsev, D. O.; Semenko, E. A.; Moiseeva, A. V.  
*Magnetic stars with wide depressions in the continuum. I. The Ap star with strong silicon lines HD5601 // Astrophysical Bulletin, v. 71, n. 4, pp.447-452 (2016)*
5. Joshi, S.; Semenko, E.; Moiseeva, A.; Sharma, K.; Joshi, Y.; et al.  
*High-resolution Spectroscopy and Spectropolarimetry of Selected  $\delta$ -Sct Pulsating Variables // MNRAS, v. 467, n. 1, p.633-645 (2017)*
6. Romanyuk, I. I.; Semenko, E. A.; Kudryavtsev, D. O.; Moiseeva, A. V.; Yakunin, I. A.  
*Results of magnetic field measurements performed with the 6-m telescope. IV. Observations in 2010 // Astrophysical Bulletin, v. 72, Issue 4, pp.391-410 (2017)*
7. Moiseeva, A. V.; Romanuyk, I. I.; Semenko, E. A.  
*Determination of Fundamental Parameters of New mCP Stars // Stars: From Collapse to Collapse, Proceedings of a : Astronomical Society of the Pacific, p.237 (2017)*
8. Romanyuk, I. I.; Semenko, E. A.; Yakunin, I. A.; Kudryavtsev, D. O.; Moiseeva, A. V.  
*Magnetic field of CP stars in the Ori OB1 association. II. HD36540, HD36668, HD36916, HD37058 // Astrophysical Bulletin, v. 72, n. 2, pp. 165-177 (2017)*
9. Romanyuk, I. I.; Semenko, E. A.; Yakunin, I. A.; Kudryavtsev, D. O.; Moiseeva, A. V.  
*Magnetic chemically peculiar stars in the Orion OB1 association // Astronomische Nachrichten, vol. 338, issue 8, pp. 919-925 (2017)*
10. Romanyuk, I. I.; Semenko, E. A.; Moiseeva, A. V.; Kudryavtsev, D. O.; Yakunin, I. A.  
*Results of Magnetic-Field Measurements with the 6-m Telescope. V. Observations in 2011 // Astrophysical Bulletin, v. 73, Issue 2, pp.178-200 (2018)*
11. Romanyuk, I. I.; Semenko, E. A.; Moiseeva, A. V.; Yakunin, I. A.; Kudryavtsev, D. O.  
*Magnetic fields of CP-stars in association OB1. III. Stars of Orion OB1 subgroup (A) // Astrophysical Bulletin, vol. 74, N. 1, pp. 55-61 (2019)*
12. Moiseeva, A. V., Romanyuk, I. I.; Semenko, E. A.

### **Личный вклад автора**

Участие в проведении наблюдений на 6-м телескопе БТА [1-12]. Первичная обработка спектров циркулярно-поляризованного излучения со спектрографа ОЗСП при помощи системы MIDAS в контексте ZEEMAN [1-12]. Измерение продольной компоненты магнитного поля  $B_e$  двумя способами: методом центра тяжести и регрессии [1, 2, 4, 5, 6, 7, 10, 12]. Проведение магнитного моделирования: оценка углов наклона оси вращения  $i$  оси диполя  $\beta$ , величины магнитного поля на полюсе диполя  $B_p$  [1, 3, 4, 5, 7, 8]. Определение фундаментальных параметров, лучевых скоростей  $V_R$ , проекций скоростей вращения  $v_e \sin i$  [1-2]. Участие в обсуждении выводов и формулировке результатов, в подготовке статей [1-12] наравне с соавторами.

### **Список литературы**

- Brown, A. G. A.; de Geus, E. J.; de Zeeuw, P. T. The Orion OB1 association. 1: Stellar content // *Astronomy and Astrophysics*. - 1994. - volume 289. - page 101-120
- Glagolevskij, Yu.V. Progress in Studies of the Evolution of the Magnetic Fields of CP-Stars. I // *Astrophysics*. - 2018. - volume 61. - page 413-434
- Kochukhov, O.; Bagnulo, S. Evolutionary state of magnetic chemically peculiar stars // *Astronomy and Astrophysics*. - 2006. - volume 450. - page 763-775
- van Leeuwen, F. Validation of the new Hipparcos reduction // *Astronomy and Astrophysics*. - 2007. - volume 474. - page 653-664
- Moiseeva, A. V., Romanyuk, I. I.; Semenko, E. A. Results of fundamental parameters measurements for CP-stars, performed with the 6-m telescope. I. Observations in 2009-2011 // *Astrophysical Bulletin*, vol. 74, N. 1, pp. 64
- North, P., Cramer, N. Evidence of decay of the magnetic fields of AP stars // *Astronomy and*

Astrophysics, Supplement. - 1984. - volume 58,. - page 387-403

Renson, P., Manfroid, J. Catalogue of Ap, HgMn and Am stars // Astronomy and Astrophysics. - 2009. - volume 498. - page 961-966

Romanyuk, I.I. Magnetic field of CP stars. Observational aspects // Magnetic Stars: Glagolevskij, Y.V. , Kudryavtsev, D.O. , Romanyuk, I.I. - Arkhyz, N., 2004. -page. 33-63

Romanyuk, I.I. Main-sequence magnetic CP stars: II. Physical parameters and chemical composition of the atmosphere // Astrophysical Bulletin. - 2007. - volume 62. - page 62-89

Romanyuk, I. I.; Kudryavtsev, D. O. Magnetic fields of chemically peculiar stars. I. The catalog of magnetic CP stars // Astrophysical Bulletin. - 2008. - volume 63. - page 139-155

Romanyuk, I. I.; Semenko, E. A.; Yakunin, I. A.; Kudryavtsev, D. O. Chemically peculiar stars in the orion OB1 association. I. Occurrence frequency, spatial distribution, and kinematics // Astrophysical Bulletin. - 2013. - volume 68. - page 300-337

Бесплатно

Моисеева Анастасия Валерьевна

Фундаментальные параметры выборки CP звезд по результатам спектроскопии на 6-м  
телескопе