

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
НАУКИ СПЕЦИАЛЬНАЯ АСТРОФИЗИЧЕСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

На правах рукописи

*УДК 524.338-337*

**Якунин Илья Андреевич**

**Поиск и исследование магнитных В<sub>r</sub> звезд Главной  
последовательности**

01.03.02 - астрофизика и звездная астрономия

Автореферат

диссертации на соискание учёной степени  
кандидата физико-математических наук

Нижний Архыз — 2014

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Специальной астрофизической обсерватории Российской академии наук

Научный руководитель: доктор физико-математических наук,  
**Романюк Иосиф Иванович**,  
САО РАН, зав. лабораторией

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук,  
**Сачков Михаил Евгеньевич**,  
Институт астрономии Российской академии наук, зам. директора

кандидат физико-математических наук,  
**Шиманский Владислав Владимирович**,  
Казанский (Приволжский) Федеральный  
Университет, доцент

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория Российской академии наук

Защита состоится 18 апреля 2014 г. в 10 часов на заседании диссертационного совета Д.002.203.01 при Специальной астрофизической обсерватории РАН по адресу: 369167, Карачаево-Черкесская республика, Зеленчукский р-н, пос. Нижний Архыз.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке САО РАН.

Автореферат разослан “\_\_\_” \_\_\_\_\_ года.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
Д.002.203.01, к.ф.-м.н.

Шолухова О.Н.

## Общая характеристика работы

### Актуальность проблемы

Изучение магнитных полей является одним из актуальных направлений исследований в современной звездной астрофизике. Сложность получения данных, пригодных для изучения проблемы звездного магнетизма, и, как следствие, их фрагментарность и малое количество, является одной из главных причин этого. Особо выделяется группа так называемых химически peculiarных (CP) звезд с температурами от 7000 до 25000 К, у которых на поверхности обнаружены крупномасштабные магнитные структуры с величиной индукции от десятков гаусс до нескольких десятков килогаусс. Как правило, эти магнитные структуры стабильны во времени и имеют простую (в основном дипольную) конфигурацию. Поэтому анализ магнитных полей CP звезд в достаточной степени прост и однозначен, что делает эти объекты главным надежным количественным источником сведений, необходимых для понимания механизмов возникновения звездных магнитных полей и построения теории их совместной эволюции вместе со звездой во время ее жизни до, во время, и после нахождения на Главной последовательности.

В настоящее время значительно возросшее качество и точность получаемых спектрополяриметрических данных позволяют анализировать детали поляризованных профилей. Как следствие этого, магнитные поля сложной конфигурации были обнаружены у звезд солнечного типа и у более холодных объектов, имеются сведения о регистрации полей у звезд типа T Tau, Ae/Be Хербига и некоторых других. При помощи специальных методик строятся карты распределения магнитных полей и химических аномалий по поверхности звезды.

Старт изучению магнитных полей в звездах спектрального класса В положила работа Ландстрита и др [1], открывших в B2V звезде  $\sigma$  Ori E сильное глобальное магнитное поле. Систематические наблюдения этих объектов (например, [2, 3]) показали, что некоторые В<sub>r</sub> звезды усиленными линиями гелия показывают наличие полей порядка килогаусса. Совсем недавно, после ввода в строй спектрополяриметров нового поколения, магнитные поля были зарегистрированы у других ранних В звезд, некоторые из которых имеют ано-

малии гелиевых линий (например, [4–6]), а некоторые не обладают никакими спектральными пекулярностями (например, [7, 8]).

Предпринимались многочисленные попытки сравнить магнитные поля СР звезд спектральных классов А и В (Ар и Вр-звезд) разного возраста, однако, как показано в [9], ошибки вычисления возраста методом эволюционных треков могут достигать порядка величины. Значительно надежнее и точнее возраст объекта можно определить если он является членом рассеянного звездного скопления.

Как правило, Ар-звезды встречаются в рассеянных скоплениях гораздо реже, чем Вр-звезды, группировки последних могут быть многочисленными. Например, в молодой ассоциации Орион ОВ1 насчитывается несколько десятков Вр-звезд [2, 10].

Для изучения механизмов генерации и эволюции звездных магнитных полей целесообразно, в первую очередь, рассматривать быстро эволюционирующие объекты – массивные звезды, обладающие сильными магнитными полями. Наиболее подходящими объектами для исследования эволюции звездных магнитных полей являются магнитные Вр-звезды. Возрасты Вр-звезд находятся в широких пределах: от нескольких миллионов до нескольких сотен миллионов лет. Периоды вращения различаются слабо, поэтому эффекты эволюции можно отличить от эффектов, связанных с вращением.

Реликтовая теория образования, говорит о том, что наблюдаемые в СР-звездах поля не генерируются механизмом динамо внутри звезды, но, скорее всего, являются реликтовыми — медленно затухающими остатками поля, сжатого или возникшего на стадии формирования звезды. На сегодня эта теория поддерживается большинством исследователей. В соответствии с ее предсказаниями, наиболее сильные и сложные по структуре магнитные поля следует искать среди звезд, находящихся на ранних стадиях эволюции. Актуальной для теории звездного магнетизма становится задача поиска границы, выше которой стабильные крупномасштабные поля химически пекулярных звезд не образуются. Для нахождения подобной границы необходимы систематические наблюдения молодых объектов.

## Цели и задачи работы

**Целью** данной работы является комплексное исследование магнитных полей массивных магнитных звезд типа Вр.

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

1. На основе спектрополяриметрических наблюдений, проведенных на 6-м телескопе и литературных данных составить каталог магнитных Вр-звезд;
2. Провести статистическое исследование характеристик магнитного поля и возраста выборки Вр-звезд, разработать критерии поиска новых магнитных звезд с экстремально сильными полями;
3. Провести анализ магнитных полей химически пекулярных звезд молодой ассоциации Орион OB1;
4. Детально исследовать структуру и топологию магнитного поля 1-2-х Вр-звезд.

## Научная новизна

- На основе спектрополяриметрических наблюдений, проведенных для 98 Вр-звезд, *впервые* обнаружено 12 ранее неизвестных магнитных звезд. *Впервые* получены спектры с анализатором линейной поляризации звезды HD 37776, обладающей сложной структурой магнитного поля. По ним найдено отсутствие линейной поляризации практически во всех линиях (за исключением ядер самых сильных) в различные фазы периода вращения звезды.
- *Впервые* проведен статистический анализ свойств магнитных полей Вр-звезд на основе составленного нами каталога. Сравнение выборок Вр и Ар-звезд показывает, что среднеквадратические магнитные поля массивных звезд (находящихся в интервале спектральных классов В2 - В9) больше, чем у Ар-звезд. *Впервые* систематически проанализирован возраст Ар и Вр-звезд. Показано, что возраст Ар-звезд, найденный методом моделей атмосфер, находится в интервале  $\log t = 8-9$ , в то время как для Вр-звезд значения возраста (определенного как методом моделей атмосфер, так и по принадлежности к скоплению) лежат в интервале  $\log t = 6-8$ .

- На основе выделенной нами выборки из 85 CP-звезд ассоциации Орион OB1 *впервые* найдено, что доля CP-звезд в подгруппах ассоциации уменьшается с возрастом, от 20% в самой молодой подгруппе до 10% в самой старой. *Впервые* показано, что частота встречаемости Вр-звезд в ассоциации по отношению к нормальным В-звездам (14%) в два раза выше частоты встречаемости Ар звезд (8%) по отношению к нормальным А-звездам. Получены поляризованные спектры всех 62 Вр-звезд ассоциации и, таким образом, мы *впервые* провели спектрополяриметрические наблюдения всех известных пекулярных В-звезд в ассоциации. *Впервые* в выделено 23 магнитных Вр-звезды, из которых 4 обнаружено нами.
- Результаты комплексного анализа звезды HD 35298. *Впервые* по спектрополяриметрическим данным, полученным на 6-м телескопе, проведено исследование магнитного поля и физических параметров звезды с аномальными линиями гелия HD 35298. Продольный компонент поля меняется от -3 кГс до +3 кГс, найдены параметры атмосферы и построена модель поля в рамках модели наклонного ротатора.

#### **Научная и практическая ценность**

- Составлен каталог характеристик магнитных Вр-звезд, насчитывающий 125 объектов. Анализ данных каталога и сравнение результатов с аналогичной выборкой для Ар-звезд показали наличие тренда уменьшения среднеквадратического магнитного поля с ростом спектрального класса звезды.
- Получено и обработано более 500 циркулярно поляризованных спектров для 120 пекулярных В-звезд. Магнитные наблюдения 98 объектов выполнены впервые, среди них обнаружено 12 новых магнитных звезд. Полученный наблюдательный материал имеет может быть использован в дальнейшем для определения лучевых скоростей и скоростей вращения изучаемых звезд, определения фундаментальных параметров и проведения анализа химического состава атмосфер.
- Проведенные с анализатором линейной поляризации наблюдения показали практически полное отсутствие оной на уровне 0.5% в спектральных линиях звезды с усиленными линиями гелия HD 37776. Полученные дан-

ные привели к построению новой модели магнитного поля звезды с меньшей его величиной на поверхности.

- Для предварительно выделенных 85 CP-звезд ассоциации Орион OB1 определены расстояния и физические параметры. Показано, что 23 Am звезды не принадлежат ассоциации, остальные 62 объекта – это Vp-звезды. Получены зеемановские спектры всех 62 Vp-звезд.
- Исследование звезды HD 184927 позволили сделать выводы о топологии магнитного поля, химическом составе и характеристиках магнитосферы объекта. Работа была выполнена с применением передовых методик, таких как Least-Square Deconvolution и доплер-зеемановское картирование. Результаты использованы в рамках работы международного проекта по изучению магнитных полей массивных звезд MiMeS: Magnetism In Massive Stars.

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

- Результаты измерения магнитных полей 120 пекулярных В-звезд по спектрам, полученным на 6-м телескопе. Наблюдения 98 объектов выполнены впервые, среди них обнаружено 12 новых магнитных звезд. Показано, что в случае небольшого числа широких линий в спектре для измерения магнитного поля лучше пользоваться методом линейной регрессии.
- Результаты исследования химически пекулярных звезд в ассоциации Орион OB1: выделено 85 CP-звезд из 814 объектов звездного населения ассоциации. Доля CP-звезд уменьшается с возрастом, от 20% в самой молодой подгруппе скопления до 10% в самой старой. Установлено, что все 23 выделенные Am-звезды являются объектами переднего плана и не принадлежат ассоциации. Найдено 4 новых магнитных звезды в ассоциации.
- Результаты наблюдений и обработки 10 спектров звезды HD 37776 с усиленными линиями гелия, полученных с анализатором линейной поляризации. Впервые показано отсутствие линейной поляризации в линиях на уровне 0.5% во всех фазах периода вращения звезды.
- Результаты наблюдений и комплексного анализа звезды HD 35298. Установлено, что продольное магнитное поле звезды HD 35298 меняется от -3

до +3 кГс. Структура магнитного поля объяснена в рамках модели наклонного ротатора.

### **Структура диссертации.**

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списков рисунков и таблиц и списка цитируемой литературы. Общий объем диссертации составляет 166 страниц текста, включая 29 рисунков и 22 таблицы и список литературы из 121 наименования.

### **Основное содержание работы**

Во **введении** обосновывается актуальность диссертационной работы, формулируются цели, ставятся задачи работы, сформулированы научная новизна и практическая значимость представляемой работы. Приведены пункты, выносимые на защиту, отмечены личный вклад автора и апробация результатов. Приведен список публикаций, содержащих основные результаты диссертации.

**Первая глава** посвящена истории обзору литературных сведений о современном состоянии проблемы магнетизма в химически пекулярных звездах. Обосновывается выбор объектов для исследования.

В разделе 1.1 приведен обзор литературы по проблеме исследования физических и статистических характеристик магнитных CP-звезд.

В разделе 1.2 обосновывается выбор Vp-звезд в качестве основных объектов исследования.

В разделе 1.3 приведена история изучения и информация о звездах молодой ассоциации OriOB1.

Во **Второй главе** представлены результаты наблюдений и исследования выборки магнитных Vp-звезд Главной последовательности. В результате наблюдательной программы нами было открыто 12 новых магнитных звезд, еще у нескольких объектов магнитное поле было заподозрено. К сожалению, нам не удалось обнаружить косвенных спектральных критериев наличия магнитного поля в Vp-звездах, таких как депрессии континуума на  $\lambda 5200$  у Ap-звезд.

На основе каталога [11] и собственных наблюдений нами составлены и проанализированы списки магнитных Ар- и Вр-звезд. Показано, что возраст Вр-звезд распределен равномерно в интервале  $\log t = 6.4 - 8.5$ , в то время, как большинство Ар-звезд имеют возраст  $\log t = 8.20-8.90$ , причем точность определения  $\log t$  Вр-звезд выше. Мы сравнили средние величины магнитных полей  $\langle B_e \rangle$  Ар- и Вр-звезд с 8 и более измерениями магнитного поля. Показано, что с достаточной степенью достоверности магнитные поля более горячих и массивных Вр-звезд в 1.5 раза выше, чем у более холодных Ар-звезд ( $\overline{\langle B_e \rangle} = 1170$  Гс для Ар и  $\overline{\langle B_e \rangle} = 1776$  Гс для Вр).

В разделе 2.1 рассмотрены наблюдательные проявления эффектов магнитного поля в звездных спектрах, описана методика их регистрации и редукции получаемых данных.

Раздел 2.2 посвящен описанию различных методов измерения магнитных полей СР-звезд.

В разделе 2.3 рассмотрены результаты выполнения наблюдательной программы на 6-м телескопе, представлены данные о 12 новых магнитных звездах и 3 звездах с заподозренным полем. Описываются критерии отбора и проводится сравнение возраста и полей выборок магнитных Ар- и Вр-звезд.

**Третья глава** посвящена исследованию химически пекулярных звезд ассоциации OriOB1.

В Разделе 2.1, на основе списка звезд, принадлежащих ассоциации, взятом из работы [12], каталога химически пекулярных звезд [13], и других работ, посвященных изучению СР-звезд ассоциации ([2, 10]), мы выделили 85 СР-звезд в направлении ассоциации OriOB1. Произведен анализ физических параметров СР-звезд ассоциации. Для сравнения расстояний, определенных разными методами, мы выделили из общего списка объекты с эффективной температурой  $T_{\text{eff}}$  не выше 9000 К и выбрали те из них, для которых были измерены параллаксы. Показано, что данными миссии HIPPARCOS [14] для определения расстояний можно пользоваться только если изучаемые объекты находятся ближе 250 пк.

В результате анализа пространственного распределения выделенных СР-звезд, было продемонстрировано, что все Am-звезды находятся ближе, чем передняя граница ассоциации, и, судя по всему, не принадлежат ей. Большая часть объектов сконцентрирована в центре ассоциации. Показано, что доля пе-

кулярных звёзд наименьшая среди самой старой подгруппы ассоциации (a) —  $\sim 8\%$ , и в два раза большая в существенно более молодой (b) —  $\sim 15\%$ . Если взять исключительно звёзды с эффективными температурами  $\log T_{\text{eff}} < 4$ , то подобный тренд становится менее выраженным, но сохраняется ((a) —  $\sim 11\%$ , (b) —  $\sim 14\%$ ).

Раздел 3.2 посвящен исследованию магнитных звезд ассоциации. Нами было выделено 23 магнитные звезды (4 из которых обнаружены в результате выполнения нашей наблюдательной программы), 22 из которых принадлежат к спектральному классу Вр. Семнадцать из них — это звёзды с аномальными линиями гелия.

В подгруппе (a) найдено 6 магнитных звёзд среди 24 пекулярных (25%), в подгруппе (b) — 9 магнитных звёзд из 21 пекулярной (43%), и в подгруппе (c) — 8 из 37 пекулярных (21%). Видим, что доля магнитных звёзд во внутренней подгруппе (b) в два раза больше, чем во внешних (a) и (c). Видна тенденция — магнитные звёзды преимущественно концентрируются в более молодой подгруппе. Однако, в самой молодой подгруппе (d) ни у одной из трех CP-звёзд сильное поле не найдено.

В Разделе 3.3 приведены основные выводы главы.

**Четвертая глава** посвящена детальному анализу отдельных магнитных звезд с аномалиями гелия.

В разделе 4.1 продемонстрированы результаты наблюдений He-rich звезды HD 37776 с анализатором линейной поляризации. Эта звезда уникальна тем, что магнитное поле на ее поверхности достигает 30 кГс. Циркулярная поляризация в линиях достигает 5% [15].

После обработки наблюдений, вопреки ожиданиям, линейная поляризация в линиях звезды не была найдена на уровне 0.5%. Этот результат привел к пересмотру существующей магнитной модели звезды [16].

Раздел 4.2 посвящен исследованию магнитного поля звезд HD 35298 с ослабленными линиями гелия. Наблюдения, проведенные на 6-м телескопе в течение 2010 – 2012 гг позволили построить кривую изменения продольного магнитного поля, которое варьируется в интервале от -3 до +3 кГс. Показано, что в случае горячих звезд метод линейной регрессии оказывается более точен. В рамках модели наклонного ротатора показано, что магнитное поле HD 35298 может быть объяснено центральным диполем с параметрами  $i = 60^\circ$ ,

$\beta = 95^\circ$ ,  $B_p = 11500$ . Мы считаем, что картина переменности спектральных линий может говорить о том, что поверхность звезды весьма неоднородна по распределению химических элементов, которые собираются в пятна.

Раздел 4.3 посвящен детальному исследованию атмосферы, вращения и магнитного поля He-rich звезды HD 184927, которое выполнялось в рамках международной коллаборации MiMeS: Magnetism In Massive Stars. Используя данные из литературы и собственные наблюдения нами был уточнен период вращения звезды, его новое значение составило

$$\text{JD}(B_e^+) = (2455706.517 \pm 0.48) + (9.53102 \pm 0.0007) \cdot E \quad (1)$$

Магнитное поле, измеренное по построенным нами LSD профилям и отдельным линиям химических элементов показало, что поведение поля, измеренного по бальмеровским линиям, резко отличается от поля, измеренного по линиям металлов. Продемонстрировано, что данный эффект является следствием того, что химические элементы распределены по поверхности звезды крайне неоднородно. Аномально широкие линии гелия в спектрах звезды HD 184927 могут быть объяснены наличием на ее поверхности пятна с высоким содержанием гелия. Построена модель атмосферы и определены физические параметры звезды.

В **Заключении** приведены основные результаты работы.

#### **Апробация работы**

Основные результаты работы докладывались на различных всероссийских и международных конференциях:

1. Международная конференция “Магнитные звезды”, САО РАН, Нижний Архыз, 27 августа – 1 сентября 2010 г.
2. Международная конференция “Magnetic fields in stars and exoplanets”, Потсдам, Германия, 22–25 августа, 2011 г.
3. Конференция стран СНГ “50 лет космической эры: реальные и виртуальные исследования неба”, Академия Наук Армении, Ереван, Армения, 21–25 ноября 2011 г.
4. The MiMeS 6 Workshop, CEA, Сакле, Франция, 21–25 мая 2012 г.

5. IV Пулковская молодежная астрономическая конференция, Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория, Санкт-Петербург, 18–20 сентября 2012 г.
6. Всероссийская молодежная астрономическая конференция “Наблюдаемые проявления эволюции звезд”, САО РАН, Нижний Архыз, 15–19 октября 2012 г.
7. Симпозиум МАС “Magnetic Fields Throughout Stellar Evolution”, Биарриц, Франция, 25–30 августа 2013 г.

#### Публикации автора по теме диссертации

- 1) Yakunin I.A., Chountonov G.A., Semenko E.A.; Romanyuk I.I. *Linear Polarization of HD 37776*  
Proceedings of International Conference "Magnetic Stars" (Eds.: I.I. Romanyuk, D.O. Kudryavtsev), 2011, p.137-141.
- 2) Kudryavtsev D. O.; Romanyuk I. I.; Semenko E. A.; Yakunin I. A. *New magnetic CP stars found at the 6-m telescope*  
Astronomische Nachrichten, 2011, v.332, p.961
- 3) Yakunin, I., Romanyuk, I., Kudryavtsev, D., Semenko, E. *Results of magnetic field observations of stars with helium anomalies with the 6-m telescope*  
Astronomische Nachrichten, 2011, v.332, p.974
- 4) Романюк И.И., Якунин И.А. *Магнитные В-звезды Главной последовательности. 1. Постановка задачи и выбор объектов для наблюдений*  
Астрофизический Бюллетень, 2012, т.67, с.186-216
- 5) Yakunin, I., Romanyuk, I., Kudryavtsev, D., Semenko, E. *Results of magnetic field observations of stars with helium anomalies using the 6-m telescope*  
“50 years of Cosmic Era: Real and Virtual Studies of the Sky” Proceedings of the Conference of Young Scientists of CIS Countries, held 21–25 Nov 2011 in Yerevan, Armenia. Editors: A.M. Mickaelian, O.Yu. Malkov, N.N. Samus, 2012, p.148-154
- 6) Якунин И.А. *Измерение магнитного поля звезды HD 35298*  
Астрофизический Бюллетень, 2013, т.68, с.226-231

- 7) Романюк И.И., Семенко Е.А., Якунин И.А., Кудрявцев Д.О. *Химически пекулярные звезды в ассоциации Орион OB1. 1. Частота встречаемости, пространственное распределение и кинематика*  
Астрофизический бюллетень, 2013, т.68, с.318-355

#### Личный вклад автора.

В работе 1 автор принимал участие в наблюдениях и обработке полученных данных.

В работах 2,3,4,5 автор принимал участие в постановке задачи, наблюдениях и обработке данных, вклад автора равен вкладу соавторов.

В работе 7 автор принимал участие в постановке задачи, самостоятельно выполнил наблюдения и их обработку, принимал участие в интерпретации результатов.

#### Список литературы

1. Landstreet J. D., Borra E. F. The magnetic field of Sigma Orionis E // *ApJ*. 1978. aug. Т. 224. С. L5–L8.
2. Borra E. F., Landstreet J. D. // *ApJ*. 1979. mar. Т. 228. С. 809–816.
3. Magnetic field measurements of helium-strong stars / D. A. Bohlender, J. D. Landstreet, D. N. Brown [и др.] // *ApJ*. 1987. dec. Т. 323. С. 325–337.
4. Magnetic fields and pulsation in B and Be stars / C. Neiner, H. F. Henrichs, A.-M. Hubert [и др.] // *EAS Publications Series* / под ред. J. Arnaud, N. Meunier. Т. 9 из *EAS Publications Series*. 2003. С. 257.
5. Discovery of a strong magnetic field in the rapidly rotating B2Vn star HR 7355 / M. E. Oksala, G. A. Wade, W. L. F. Marcolino [и др.] // *MNRAS*. 2010. jun. Т. 405. С. L51–L55.
6. HR 5907: Discovery of the most rapidly rotating magnetic early B-type star by the MiMeS Collaboration / J. H. Grunhut, T. Rivinius, G. A. Wade [и др.] // *MNRAS*. 2012. jan. Т. 419. С. 1610–1627.

7. Discovery of the magnetic field in the pulsating B star  $\beta$  Cephei / H. F. Henrichs, J. A. de Jong, E. Verdugo [и др.] // A&A. 2013. jul. T. 555. C. A46.
8. Discovery of the first  $\tau$  Sco analogues: HD 66665 and HD 63425 / V. Petit, D. L. Massa, W. L. F. Marcolino [и др.] // MNRAS. 2011. mar. T. 412. C. L45–L49.
9. Searching for links between magnetic fields and stellar evolution. III. Measurement of magnetic fields in open cluster Ap stars with ESPaDOnS / J. D. Landstreet, J. Silaj, V. Andretta [и др.] // A&A. 2008. apr. T. 481. C. 465–480.
10. Klochkova V. G. The Bp-Stars in the ORION-OB1 Association // Soviet Astronomy Letters. 1985. jul. T. 11. C. 209–213.
11. Романюк И.И., Кудрявцев Д.О. Магнитные поля химически пекулярных звезд. I. Каталог магнитных CP-звезд // Астрофизический бюллетень. 2008. apr. T. 63. C. 148–165.
12. Brown A. G. A., de Geus E. J., de Zeeuw P. T. The Orion OB1 association. 1: Stellar content // A&A. 1994. sep. T. 289. C. 101–120.
13. Renson P., Manfroid J. Catalogue of Ap, HgMn and Am stars // A&A. 2009. may. T. 498. C. 961–966.
14. van Leeuwen F. Validation of the new Hipparcos reduction // A&A. 2007. nov. T. 474, № 2. C. 653–664.
15. Spectrum and magnetic variations of the remarkable helium-strong star HD 37776 I. Observations and data reduction. / I. I. Romanyuk, V. G. Elkin, D. O. Kudryavtsev [и др.] // Bulletin of the Special Astrophysics Observatory. 1998. T. 45. C. 93–104.
16. The Extraordinary Complex Magnetic Field of the Helium-strong Star HD 37776 / O. Kochukhov, A. Lundin, I. Romanyuk [и др.] // ApJ. 2011. jan. T. 726. C. 24.



Бесплатно

Якунин Илья Андреевич

Поиск и исследование магнитных Вр звезд Главной последовательности

Зак.№194с

Уч. изд. л. – 1.0

Тираж 100

---

САО РАН