

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
СПЕЦИАЛЬНАЯ АСТРОФИЗИЧЕСКАЯ
ОБСЕРВАТОРИЯ

На правах рукописи
УДК 524.338.3-337

СЕМЕНКО Евгений Алексеевич

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ И
КИНЕМАТИКИ ВЫБОРКИ НОВЫХ МАГНИТНЫХ
ХИМИЧЕСКИ ПЕКУЛЯРНЫХ ЗВЕЗД

Специальность 01.03.02 — астрофизика и радиоастрономия

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Нижний Архыз — 2009

Работа выполнена в Специальной астрофизической
обсерватории Российской академии наук

Научный руководитель: доктор физико-математических
наук РОМАНЮК И.И.

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук, профессор
ГНЕДИН Ю.Н.

Главная астрономическая обсерватория РАН

доктор физико-математических наук, профессор
ЛЕУШИН В.В.

Специальная астрофизическая обсерватория РАН

Ведущая организация: Казанский государственный уни-
верситет им. В.И. Ульянова-Ленина, Казань.

Защита состоится " 15 " апреля 2009 г. в 11³⁰ часов на
заседании Диссертационного совета Д.002.203.01 при Специ-
альной астрофизической обсерватории РАН по адресу: 369167,
Карачаево-Черкесская республика, Зеленчукский р-н, пос. Ниж-
ний Архыз.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке САО
РАН.

Автореферат разослан " _____ " _____ 2009 г.

Ученый секретарь
Диссертационного совета
кандидат физ.-мат. наук

МАЙОРОВА Е.К.

Общая характеристика работы

Актуальность проблемы

Исследования космического магнетизма — одно из важнейших направлений, развиваемых в современной наблюдательной и теоретической астрофизике. Начало исследованию космических магнитных полей было положено Дж. Хэлом, открывшим магнитные поля в солнечных пятнах в 1908 г. В настоящее время магнитные поля обнаружены в разнообразных космических объектах — от межзвездной среды до нейтронных звезд. Особо выделяется группа так называемых химически пекулярных (CP) звезд с температурами от 7000 до 25000 К, у которых на поверхности обнаружены крупномасштабные магнитные структуры индукцией от десятков гаусс до нескольких десятков килогаусс. В настоящее время известно около 350 таких объектов (Романюк, Кудрявцев 2008).

Магнитные химически пекулярные звезды Главной последовательности хорошо подходят для изучения состояния вещества, находящегося в экстремальных условиях: под воздействием высоких температур и в присутствии сильного магнитного поля. Поскольку поля CP-звезд имеют простой, преимущественно дипольный, характер и покрывают всю поверхность, анализ наблюдательных данных достаточно прост и однозначен, а выводы практически не зависят от физических параметров и ограничений принятой модели.

Сейчас общепринята точка зрения на магнитные CP-звезды, как на объекты с химически и фотометрически неоднородной поверхностью и более медленным вращением по сравнению с «нормальными» объектами того же спектрального класса. Для объяснения наблюдаемых химических ано-

маний применяется теория диффузии, разработанная Мишо (Michaud 1970), которая предполагает существование вертикальных и горизонтальных неоднородностей химического состава, тогда как в целом содержание химических элементов остается нормальным. Однако, детали работы механизма магнитной диффузии не совсем ясны.

Хотя большинство исследователей считает, что магнитные поля СР-звезд образовались вместе с ними из межзвездной среды (реликтовое поле), тем не менее эта теория их происхождения имеет ряд серьезных трудностей. Наблюдения позволяют сделать выбор между разными сценариями возникновения магнитных полей СР-звезд. Альтернативные гипотезы образования магнитных полей (реликтовая и турбулентного динамо) предсказывают разную их величину для молодых и старых звезд, быстрых и медленных ротаторов, а также разную геометрию магнитных структур. Аномалии химического состава и распределение химических элементов по поверхности звезды должны быть связаны со структурой поля и зависеть от возраста звезды.

Наблюдения магнитных звезд в САО ведутся с момента начала эксплуатации 6-м телескопа. За это время астрономы САО обнаружили около 120 новых магнитных СР-звезд, т.е. около 30% всех известных объектов этого типа.

Накопленный в САО РАН наблюдательный материал позволяет провести исследования большой выборки магнитных звезд, значительная часть которых расположена существенно дальше от Солнца (до 600 – 700 пк), чем ранее найденные звезды этого типа. Поэтому данные о магнетизме звезд верхней части Главной последовательности, имеющих разные возрасты, массы, скорости вращения, химический состав и

расположенные в разных частях локальной области Галактики, позволяют подойти к решению **актуальных** проблем современной астрофизики — выбору механизма образования и поддержания магнитных полей звезд, и выяснению их роли в процессах, доступных наблюдениям на современных инструментах.

Цели работы

1. Исследовать пространственное распределение, кинематику и вращение большой выборки удаленных CP-звезд, магнитное поле которых впервые было обнаружено в результате наблюдений на 6-м телескопе. Используя собственные и литературные данные изучить кинематику и вращение магнитных CP-звезд, находящихся в разных областях Галактики, вплоть до расстояний 600 – 700 пк от Солнца. Эти данные позволят лучше понять особенности возникновения и эволюции этих объектов.

2. Определить параметры атмосферы и оценить химический состав отдельных новых CP-звезд, имеющих уникальные магнитные поля (как по величине, так и по топологии). Особый интерес к таким объектам вызван тем, что физические условия в атмосферах звезд с сильными полями таковы, что реализуются возможности для работы ряда тонких физических механизмов, например магнитной диффузии химических элементов (Michaud 1970). Экспериментальная проверка механизма магнитной диффузии в лабораторных условиях пока неосуществима из-за слабости эффекта, но в условиях стабильных атмосфер магнитных CP-звезд должна наблюдаться зависимость распределения пятен химического состава

по поверхности от конфигурации поля. У звезд с сильными и сложными полями эта зависимость должна быть более четкой. Так как к настоящему времени в этом направлении имеются только немногочисленные сведения, получение новых наблюдательных данных крайне актуально.

3. Детально изучить факторы, влияющие на форму профилей спектральных линий у звезд с сильными полями. Провести моделирование различных ситуаций, возникающих в реально наблюдаемых спектрах и оценить влияние различных факторов на точность измерения магнитного поля. Изучить возможность появления систематических ошибок в измерениях продольных магнитных полей, особенно у быстровращающихся звезд с широкими и несимметричными линиями, и найти способы их устранения.

Новизна работы

1. Выполнено определение лучевых скоростей и скоростей вращения ($v_e \sin i$) 32 новых магнитных звезд в однородной системе. Для 18 звезд оценка $v_e \sin i$ получена впервые, для остальных — найдено хорошее согласие с предыдущими данными. На основании измерений лучевых скоростей **впервые** обнаружена двойная магнитная звезда HD 9147 и еще 5 заподозрены в двойственности. **Впервые** показано, что вновь открытые более слабые и удаленные магнитные CP-звезды по кинематике не отличаются от нормальных и химически peculiarных звезд той же температуры и светимости, а по вращению — от ранее известных магнитных звезд.

2. **Впервые** по спектрам высокого разрешения, полученным на 6-м телескопе выполнено детальное исследование маг-

нитного поля и физических условий в атмосфере холодной CP-звезды HD 178892. **Впервые** найдены расщепленные зеемановские компоненты, указывающие, что звезда обладает рекордно сильным для холодных пекулярных звезд магнитным полем величиной достигающей 23 кГс. **Впервые** построена модель атмосферы звезды ($T_{\text{эфф}} = 7700$ К, $\lg g = 4.0$), найдена проекция скорости вращения $v_e \sin i = 9$ км/с, определено содержание некоторых химических элементов. Показано, что аномалии химического состава типичны для магнитных CP-звезд.

3. **Впервые** определен химический состав горячей магнитной звезды HD 45583. Показано, что этот объект относится к очень редкому классу магнитных звезд с полем сложной, недипольной структуры, величиной до 5 кГс на поверхности. **Впервые** исследована переменность химического состава с фазой периода вращения звезды, определены: эффективная температура $T_{\text{эфф}} = 13000$ К, проекция скорости вращения $v_e \sin i = 75$ км/с, содержание элементов He, Mg, Si, Ti, Cr, Fe, Nd по сравнению с солнечным.

4. Выполнен анализ химического состава звезды HD-115708, имеющей слабое поле. **Впервые** обнаружена стратификация отдельных химических элементов с глубиной в ее атмосфере. Показано, что степень аномальности содержания большинства исследованных химических элементов у двух звезд с одинаковой температурой и периодом вращения, но имеющих поля существенно разной величины (HD 178892 — 23 кГс, HD 115708 — 3 кГс) — одинакова.

Научная и практическая ценность работы

Результаты диссертационной работы основаны на данных, полученных с использованием спектрометров НЭС и ОЗСП 6-м телескопа САО РАН.

1. Методом моделирования синтетических спектров проанализированы различные факторы, влияющие на точность измерения магнитного поля, особенно у быстровращающихся звезд со сложными профилями линий. Даны рекомендации по устранению или учету систематических ошибок, возникающих из-за недостаточного учета асимметрии профилей линий стандартными методами. Результаты расчетов могут быть использованы при анализе магнитных полей сложной структуры (как, например, у звезды HD 45583).

2. Получено и обработано более 70 спектров. Выполнены измерения лучевых скоростей и скоростей вращения 32-х новых магнитных звезд. Обработанные нами спектры могут быть в дальнейшем использованы для выполнения других задач: оценки параметров атмосферы, исследований химического состава и др.

3. Впервые по спектрам высокого разрешения найдены расщепленные зеемановские компоненты в спектре холодной магнитной звезды HD 178892, позволившие найти рекордно сильное магнитное поле (до 23 кГс) и определен химический состав звезды. Используемая методика может быть применена и для анализа других холодных звезд с сильными полями, в спектрах которых наблюдаются расщепленные зеемановские компоненты.

4. Изучено магнитное поле и химический состав звезды HD 45583. Найдено, что поле имеет сложную, недипольную

конфигурацию, а области аномального содержания некоторых элементов связаны с топологией поля. При анализе эмановских спектров учитывалась асимметрия и другие особенности, способные исказить результаты измерений поля. Результаты указанной работы могут быть на практике использованы при анализе звезд с магнитными полями сложной структуры.

5. Обнаружена и исследована стратификация химических элементов с глубиной в атмосфере звезды HD 115708. Работа была выполнена с применением новейших программ анализа звездных спектров, разработанных в университете г. Уппсала (Швеция) и ИНАСАН РАН.

Результаты данной работы могут быть использованы в научных учреждениях России и зарубежных стран, в которых ведутся исследования магнитных звезд, а также атмосфер звезд Главной последовательности, в том числе: САО РАН, ИНАСАН, ГАИШ МГУ, ГАО РАН, Ростовском и Казанском университетах.

Положения, выносимые на защиту

1. Результаты измерения лучевой скорости и проекции скорости вращения $v_e \sin i$ 32-х новых магнитных звезд по спектрам, полученным на 6-м телескопе. Результаты исследования различных факторов, влияющих на форму профилей спектральных линий и точность измерений магнитного поля, проведенного путем моделирования синтетических спектров.

2. Результаты анализа пространственного распределения, кинематики и вращения выборки магнитных CP-звезд, показавшие, что вновь открытые более слабые и удаленные

объекты этого типа по кинематике не отличаются от нормальных звезд той же температуры и светимости, а по вращению — от ранее известных магнитных звезд (скорости вращения $v_e \sin i$ которых в 3 – 4 раза ниже нормальных).

3. Результаты детального изучения физических параметров и магнитного поля двух уникальных CP-звезд: 1) определены эффективная температура $T_{\text{эфф}} = 7700$ К и проекция скорости вращения $v_e \sin i = 9$ км/с звезды HD 178892, найдено сильное поле дипольной структуры, величина которого (достигающая 23 кГс) является рекордно сильной для холодных CP-звезд; 2) установлено, что магнитное поле другой звезды — HD 45583 имеет сложную, недипольную конфигурацию, определена величина среднего поверхностного поля — 5 кГс, $v_e \sin i = 75$ км/с, эффективная температура $T_{\text{эфф}} = 13000$ К.

4. Результаты определения химического состава трех звезд: HD 178892, HD 45583 и HD 115708. Установлено, что степень аномальности содержания большинства элементов в атмосферах двух звезд с одинаковой температурой, но разной величиной поля (сильное — HD 178892, слабое — HD 115708) не различается. Найдена и исследована стратификация элементов с глубиной в атмосфере звезды HD 115708. Показано, что химический состав горячей CP-звезды со сложным магнитным полем HD 45583 слабо меняется с фазой периода ее вращения.

Структура диссертации

Полный объем диссертации составляет 161 страница (основная часть 149 страниц и 12 страниц приложений), в том числе 19 рисунков и 12 таблиц. Список цитируемой литерату-

ры содержит 165 наименований. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и двух приложений.

Во **Введении** обсуждается актуальность темы, цели работы, ее новизна, научная и практическая значимость. Приведены пункты, выносимые на защиту, кратко описано содержание и структура диссертации, отмечены личный вклад автора и апробация полученных результатов. Перечислены публикации, содержащие основные результаты диссертации.

Первая глава посвящена обзору сведений о пространственном распределении, движениях и физических характеристиках CP-звезд и методах определения их магнитных полей.

В разделе 1.1 рассмотрены сведения о магнитных полях химически пекулярных звезд, перечислены методы измерения величин, характеризующих поле.

В разделе 1.2 рассматриваются основные физические параметры CP-звезд, такие как эффективная температура, масса, вращение и т.п.

В разделе 1.3 приведена информация о пространственном распределении и исследованиях кинематики магнитных звезд.

Во **Второй главе** представлены результаты исследования точности измерения продольной компоненты магнитного поля с использованием комплекса программ *Zeeman* (Kudryavtsev 2000).

Раздел 2.1 посвящен описанию исходных данных для анализа. Рассмотрена терминология, используемая при изучении магнитных полей CP-звезд. Обоснован выбор метода синтетических спектров для проведения исследований. Приведе-

ны параметры моделируемой звезды и ее магнитного поля. Перечислены особенности программы SYNTHMAG (Kochukhov 2007), использованной для расчета синтетических спектров.

В разделе 2.2 представлены результаты исследования точности измерения продольной компоненты поля B_e в зависимости от степени зашумленности спектра и ширины профиля спектральных линий.

В разделе 2.3 исследована зависимость точности измерения B_e от величины магнитного поля на поверхности звезды и ее скорости вращения.

Раздел 2.4 посвящен изучению влияния геометрии магнитного поля звезды на точность измерения B_e в зависимости от скорости вращения $v_e \sin i$.

В разделе 2.5 представлены основные выводы главы. Обнаружено систематическое искажение измеренной величины B_e для быстро вращающихся звезд. Мы полагаем, что в данном случае проявляется асимметрия спектральных линий, вызванная совместным влиянием на форму профилей зеемановского и вращательного уширения, что сказывается на точности определения положения зеемановских компонент в поляризованных спектрах.

Третья глава посвящена изучению вращения и пространственного распределения магнитных CP-звезд в нашей Галактике. Мы дополнили имеющиеся сведения о ранее известных магнитных звездах из каталога Романюка (Romanuk 2000) измерениями лучевых скоростей V_r и скоростей вращения $v_e \sin i$ 32 новых магнитных звезд, обнаруженных на 6-м телескопе САО. Воспользовавшись данными о пространственном движении магнитных звезд с известными параллаксами, мы изучили кинематику и распределение mCP-звезд в Галак-

тике. Для сравнения были использованы сведения о положении и кинематике около 3000 нормальных А/В-звезд Главной последовательности из каталога OSACA (Бобылев *и др.* 2006).

В разделе 3.1 представлено описание использованного в работе наблюдательного материала, полученного на 6-м телескопе.

Раздел 3.2 посвящен описанию результатов измерения лучевых скоростей новых магнитных звезд. Описана методика измерения и контроля точности. По результатам анализа измерений обнаружена новая двойная система с магнитным компонентом (HD 9147) и еще 5 магнитных звезд заподозрены в двойственности.

Метод и результаты измерения скоростей вращения ($v_e \sin i$) выборки из 32 новых магнитных звезд представлены в разделе 3.3. Значения $v_e \sin i$ изученных объектов находятся в диапазоне от 18 до 75 км/с. Нижняя граница определяется спектральным разрешением ОЗСП ($R = 15000$), с помощью которого был получен наблюдательный материал.

В разделе 3.4 проанализировано пространственное распределение и кинематика магнитной выборки из 236 объектов Ар/Вр. Сравнив положение в прямоугольной галактической системе координат (X, Y, Z) магнитных и нормальных звезд того же спектрального класса, мы пришли к заключению, что различий нет. Кинематически магнитные звезды также не выделяются, их пространственные скорости характерны для объектов подсистемы тонкого диска Галактики. Среди известных магнитных звезд нет ни одного объекта с высокой пространственной скоростью. Распределение магнитных звезд по скоростям вращения имеет максимум на отметке 25 км/с. По этому показателю новые магнитные звезды, рассмотренные в

разделе 3.3, не отличаются от ранее известных объектов этого типа.

В разделе 3.5 представлены основные выводы главы.

Четвертая глава посвящена детальному анализу отдельных магнитных звезд, которые по своим параметрам (величина и геометрия магнитного поля) являются уникальными.

В разделе 4.1 описаны спектроскопические наблюдения на 6-м телескопе САО с использованием Основного звездного спектрографа и эшелле-спектрометра высокого разрешения НЭС (Панчук, 2001). Перечислены основные шаги обработки данных с использованием комплексов `Reduce` и `Zeeman`.

Раздел 4.2 посвящен изучению магнитной звезды HD 178892, которая обладает рекордно сильным среди холодных mCP-звезд поверхностным полем ($B_s \approx 23$ кГс). В результате исследования химического состава звезды обнаружены аномалии содержания празеодима и неодима, характерные для быстро осциллирующих звезд, содержание других редкоземельных элементов (Eu, Tb) увеличено по сравнению с Солнцем на несколько порядков, содержание железа и хрома близко к солнечному. Изменение продольного и поверхностного магнитного поля звезды происходит периодическим образом, величина B_s меняется от 17.5 до 23 кГс. Определена эффективная температура $T_{\text{эфф}} = 7700$ К и ускорение сила тяжести $\lg g = 4.0$.

В разделе 4.3 представлены результаты изучения звезды HD 115708. Определены параметры атмосферы звезды и ее химический состав. Обнаружена и подробно исследована вертикальная стратификация Fe, Cr, Mg, Ca и Si в атмосфере звезды. Звезда имеет температуру $T_{\text{эфф}} = 7550$ К, что близко к

$T_{\text{эфф}}$ звезды HD 178892, но магнитное поле существенно меньше (B_s звезды HD 115708 около 3 кГс, максимальное поле на поверхности B_s у HD 178892 — 23 кГс). Сравнение химического состава двух звезд показало, что содержание большинства элементов не отличается.

Раздел 4.4 посвящен изучению магнитной звезды HD 45583 с необычной кривой продольного магнитного поля (Kudryavtsev *et al.* 2006). Найдена эффективная температура $T_{\text{эфф}} = 13000$ К. Исследован химический состав звезды и его переменность с фазой вращения. Методом моделирования удалось установить, что величина поверхностного магнитного поля $B_s \approx 5$ кГс, что несколько больше максимального значения $B_e = 4$ кГс. Расхождение с величиной предсказываемой моделью наклонного ротатора (Preston 1971) может быть вызвано сложной геометрией поля, либо значительной поверхностной неоднородностью химического состава.

В разделе 4.5 содержатся основные выводы главы.

В **заключении** сформулированы основные выводы диссертации.

Апробация работы

Основные результаты диссертации опубликованы в рецензируемых журналах, докладывались на семинарах в САО РАН и Казанском государственном университете, а также на всероссийских и международных конференциях и совещаниях:

- «Астрономия-2005: состояние и перспективы», Москва, ГАИШ, 2005 г.;
- «Физика небесных тел», п. Научный, КрАО, 2005 г.;

- «Physics of Magnetic Stars», САО РАН, 2006 г.;
- «Физика звездных атмосфер», п. Научный, КрАО, 2007 г.;
- «CP#AP Stars», Вена, Австрия 2007 г.

Публикации по теме диссертации

Основное содержание диссертации опубликовано в 8 статьях общим объемом 83 страницы. Три работы представляют собой статьи в рецензируемых журналах.

[1] Ryabchikova T.A., Kochukhov O., Kudryavtsev D., Romanyuk I., Semenko E., Bagnulo S., Lo Curto G., North P., Sachkov M. «*178892 — a cool Ap star with extremely strong magnetic field*» // 2006, *Astron. Astrophys.*, vol. 445, p. 47 – 50

[2] Кудрявцев Д.О., Романюк И.И., Семенко Е.А., Соловьев Г.А. «*Лучевые скорости и скорости вращения выборки магнитных CP-звезд*» // 2007, *Астрофиз. бюллетень*, т. 62/2, с. 162 – 176

[3] Романюк И.И., Семенко Е.А. «*Особенности вращения магнитных CP-звезд*» // 2007, *Известия КрАО*, т. 103, с. 101 – 108

[4] Romanyuk I.I., Semenko E.A. «*Magnetic CP Stars in Our Galaxy*» // 2007, in: «Physics of Magnetic Stars» (Eds.: I.I. Romanyuk, D.O. Kudryavtsev), Intern. Conf., Nizhnij Arkhyz, Spec. Astrophys. Observ., p. 32 – 60

[5] Kudryavtsev D.O., Romanyuk I.I., Semenko E.A., Solov'ev G.A. «*Rotation and kinematics for a sample of new magnetic stars*» // 2007, in: «Physics of Magnetic Stars» (Eds.: I.I. Romanyuk, D.O. Kudryavtsev), Intern. Conf., Nizhnij Arkhyz, Spec. Astrophys. Observ., p. 102 – 104

[6] Kudryavtsev D., Semenko E., Romanyuk I. «*HD 45583 — a star with a complex magnetic field structure*» // 2008, Contrib. Astron. Observ. Skalnaté Pleso, vol. 38, p. 427 – 428

[7] Семенко Е.А., Кудрявцев Д.О., Рябчикова Т.А., Романюк И.И. «*HD 45583 — химически peculiarная звезда с необычной кривой переменности продольного магнитного поля*» // 2008, Астрофиз. бюллетень, т. 63/2, с. 136 – 147

[8] Семенко Е.А., Сачков М.Е., Рябчикова Т.А., Кудрявцев Д.О., Пискунов Н.Е. «*Исследование химического состава и поиск нерадиальных пульсаций в атмосфере химически peculiarной звезды HD 115708*» // 2008, Письма в АЖ, т. 34/6, с. 455 – 464

Личный вклад автора

Постановка задач диссертации выполнена совместно с научным руководителем. В перечисленных выше работах автору принадлежат:

В работах [1 – 8] — участие в наблюдениях на 6-м телескопе САО, частичная обработка наблюдательных данных.

В работе [1] — анализ химического состава звезды HD 178892 частично выполнен автором диссертации, анализ спектральной переменности выполнен единолично. Интерпретация результатов выполнена совместно с соавторами.

В работах [2, 5] — создание программного обеспечения, измерение скоростей вращения новых магнитных звезд. Анализ и интерпретация данных выполнена вместе с группой соавторов.

В работах [3, 4] — анализ результатов наравне с соавтором.

В работах [6 – 8] — моделирование и анализ химического состава атмосфер звезд HD 45583 и HD 115708. Стратификационный анализ в работе [8] выполнен совместно с Т.А. Рябчиковой. Интерпретация результатов выполнена наравне с соавторами.

Список литературы

- [1] Бобылев В.В., Гончаров Г.А., Байкова А.Т. 2006, Астрон. Ж., **83**, 821
- [2] Панчук В.Е. 2001, Препринт САО №154
- [3] Романюк И.И., Кудрявцев Д.О. 2008, Астроф. бюлл., **63**, 148
- [4] Babcock H.W. 1947, *Astrophys. J.*, **105**, 105
- [5] Kochukhov O. 2007, in: «*Magnetic Stars*», Proc. of International Conf., Eds: I.I. Romanyuk and D.O. Kudryavtsev (N. Arkhyz, SAO RAS, 2006), 109
- [6] Kudryavtsev D.O. 2000, *Baltic Astronomy*, **9**, 649
- [7] Kudryavtsev D.O., Romanyuk I.I., Elkin V.G., Paunzen E. 2006, *Mon. Not. R. Astron. Soc.*, **372**, 1804
- [8] Michaud G. 1970, *Astrophys. J.*, **160**, 641
- [9] Romanyuk I.I. 2000, in: «*Magnetic fields of chemically peculiar and related stars*», Proc. of International Conf., Eds: Yu.V. Glagolevskij and I.I. Romanyuk (N. Arkhyz, SAO RAS, 1999), 18

Бесплатно

Семенко Евгений Алексеевич

Исследование физических параметров и кинематики
выборки новых магнитных химически пекулярных звезд

Зак. №181с Уч. изд. л. — 1.0 Тираж 100

Специальная астрофизическая обсерватория РАН