

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
СПЕЦИАЛЬНАЯ АСТРОФИЗИЧЕСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
(САО РАН)

ПРИНЯТО

решением Ученого совета

САО РАН № 404

от «20» июня 2022 г.

УТВЕРЖДАЮ

Директор САО РАН,

_____ / Г.Г. Валявин /

«__» _____ 2022 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

по дисциплине «СПЕКТРОСКОПИЯ ЗВЕЗД И ЗВЕЗДНАЯ ЭВОЛЮЦИЯ»

Научная специальность 1.3.1. ФИЗИКА КОСМОСА, АСТРОНОМИЯ

Объем занятий: Итого 72 ч. 1 1/3 нед.

Из них:

Лекций 22 ч.

Практических занятий 16 ч.

Самостоятельной работы 34 ч.

п. Нижний Архыз 2022

Рабочая программа составлена в соответствии с федеральными государственными требованиями, утвержденными приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 20 октября 2021 года № 951, утвержденной Программой кандидатского экзамена по специальной дисциплине, соответствующей научной специальности 1.3.1. Физика космоса, астрономия, принятой на заседании Ученого совета САО РАН.

Автор: доктор физ.-мат. наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории астроспектроскопии В.Г. Ключкова.

1. Общие положения

Отдельным вопросом спектроскопических проявлений эволюции звезд посвящены тысячи разрозненных публикаций и несколько монографий, материал последних в основном устарел. В последние 30 лет практически не выполняются переводы англоязычной учебной литературы по данному направлению (да и трудно выделить соответствующую зарубежную монографию). В отечественных университетах отсутствует учебно-научная база, позволяющая проводить первичную подготовку специалистов по исследованию звездной эволюции методами спектроскопии высокого разрешения. Поэтому при подготовке специалистов высшей квалификации используем оригинальные научные работы, выполненные автором в лаборатории астроспектроскопии САО. Практически весь используемый спектральный материал получен на БТА. Под руководством автора защищено несколько кандидатских диссертаций в этом направлении. Автор являлся научным консультантом и докторской диссертации, защищенной по спектроскопии звёзд. При разработке курса использованы также методические материалы, подготовленные автором по программам базовой кафедры оптики и спектроскопии Ставропольского государственного университета при САО РАН (2005-2011 гг).

Дисциплина «Спектроскопия звезд и звездная эволюция» – 2.1.5. относится к элективным дисциплинам образовательного компонента.

Предшествующими курсами, на которых непосредственно базируется дисциплина «Спектроскопия звезд и звездная эволюция», являются базовые дисциплины бакалавриата, магистратуры и специалитета и элективная дисциплина 2.1.2. «Иностранный язык».

Дисциплина «Спектроскопия звезд и звездная эволюция» логически, содержательно и методически связана с последующими компонентами программы аспирантуры – 1.1. «Научная деятельность, направленная на подготовку диссертации на соискание научной степени кандидата наук к защите», 1.2. «Подготовка публикаций и (или) заявок на патенты на изобретения, полезные модели, свидетельства о государственной регистрации программ для электронных вычислительных машин, баз данных», 2.1.3. «Физика космоса, астрономия», факультативными дисциплинами 2.1.4. (Ф) «Интерферометрические методы в спектроскопии звезд», 2.1.7. (Ф) «Исследования звездного магнетизма», 2.1.8. (Ф) «История астрономической спектроскопии», 2.1.9. (Ф) «Лабораторная и астрономическая спектроскопия с высоким и средним разрешением», 2.1.13. (Ф) «Орбитальные и стратосферные астрономические спектрографы», 2.2. «Практика», 3. «Итоговая аттестация».

2. Планируемые результаты освоения дисциплины, соотнесённые с планируемыми результатами освоения программы

№ п/п	Результаты освоения дисциплины	Результаты освоения программы
Аспирант должен знать:		
1.	перечисленную учебно-методическую и научную литературу, включая основные ссылки в последней;	РД-1, РД-2
2.	особенности получения спектроскопических данных с высоким разрешением на телескопах САО РАН;	РД-1, РД-2, РД-3, РД-5
3.	общеупотребительные методы моделирования звездных атмосфер;	РД-3, РД-4, РД-5
4.	правила использования спектроскопических архивных данных;	РД-1, РД-4
5.	основные публикации научного руководителя;	РД-2
Аспирант должен уметь:		
6.	применять системы обработки астрономических данных (SIMBAD, MIDAS, IRAF, DECH);	РД-1, РД-2, РД-3, РД-4
7.	использовать графический материал, получаемый в результате обработки данных, при подготовке публикуемых результатов;	РД-3
8.	осуществлять поиск дополнительной информации (оригинальные исследования, инструкции по использованию наблюдательных данных), в т.ч. и неоцифрованной.	РД-3, РД-4
Аспирант должен владеть:		
9.	пакетами обработки спектроскопических данных;	РД-3, РД-5
10.	методами статистической обработки данных;	РД-1, РД-3
11.	методами моделей атмосфер в приближении ЛТР.	РД-1, РД-3

3. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 1 1/3 недели (72 часа).

№ п/п	Наименование разделов и тем дисциплины, их краткое содержание	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу аспирантов и трудоемкость (в часах)			Формы контроля успеваемости
		Лек.	Практ. зан-я	Сам. раб.	
1.	Наблюдаемые свойства одиночных звезд. Различные классификации спектров звезд.	2		4	

№ п/ п	Наименование разделов и тем дисциплины, их краткое содержание	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу аспирантов и трудоемкость (в часах)			Формы контроля успеваемости
	Диаграмма Герцшпрунга-Рессела. Функция светимости и начальная функция масс звезд. Пульсирующие и переменные звезды. Вращение звезд. Химический состав звезд. Новые и сверхновые звезды. Планетарные туманности.				
2.	Наблюдаемые свойства двойных звезд. Основные свойства двойных звезд. Затменные двойные звезды. Спектрально-двойные звезды. Визуально-двойные звезды. Кратные звезды. Распределение двойных звезд по массам, отношениям масс компонент и большим полуосям орбит.	2		4	
3.	Звездообразование в Галактике. Звездные скопления, ассоциации. Образование гигантских молекулярных облаков. Иерархическое звездообразование.	2		4	
4.	Эволюция массивных одиночных звезд, $M > 8 M_{\odot}$. Горение водорода и гелия в ядре. Влияние потери вещества на эволюцию массивных звезд. Поздние стадии эволюции массивных звезд. Взрыв сверхновой.	2		4	
5.	Эволюция звезд умеренных масс. Эволюция звезд $M < 2.3 M_{\odot}$. Эволюция звезд с $2.3 M_{\odot} < M < 8 M_{\odot}$. Потеря массы красными гигантами и сверхгигантами. Образование планетарных туманностей и вырожденных карликов. Звезды и планеты.	2		4	
6.	Модели атмосфер и основные физические соотношения. Методы определения эффективной температуры. Методы определения ускорения силы тяжести $\log g$.	4		4	
7.	Методы определения металличности. Методы определения содержания химических элементов. Методы определения скоростей осевого вращения звезд. Методы определения турбулентной скорости.	4		4	
8.	Методы определения масс звезд. Методы определения радиусов звезд. Методы определения светимости звезд. Методы определения возраста звезд.	4		6	

№ п/ п	Наименование разделов и тем дисциплины, их краткое содержание	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу аспирантов и трудоемкость (в часах)			Формы контроля успеваемости
9.	Отождествление деталей в спектрах звезд разных типов. Измерение параметров отдельных спектральных линий (глубины, полуширины, эквивалентные ширины, доплеровские смещения, параметры асимметрии).		4		текущий контроль
10.	Работа с критериями спектральной классификации.		2		текущий контроль
11.	Исследование сложных (абсорбционно-эмиссионных) профилей линий.		2		текущий контроль
12.	Определение фундаментальных параметров звездных атмосфер по совокупности измеренных спектральных линий.		4		текущий контроль
13.	Определение содержания химических элементов по совокупности измеренных спектральных линий.		4		текущий контроль итоговый зачет
Итого:		22 ч	16 ч	34 ч	72 ч

4. Наименование и содержание практических занятий

№ п/п	Наименование работы	Кол-во часов	Форма проведения
1.	Тема 9. Отождествление деталей в спектрах звезд разных типов. Измерение параметров отдельных спектральных линий (глубины, полуширины, эквивалентные ширины, доплеровские смещения, параметры асимметрии).	4	разноуровневые индивидуальные задания
2.	Тема 10. Работа с критериями спектральной классификации.	2	разноуровневые индивидуальные задания
3.	Тема 11. Исследование сложных (абсорбционно-эмиссионных) профилей линий.	2	разноуровневые индивидуальные задания
4.	Тема 12. Определение фундаментальных параметров звездных атмосфер по совокупности измеренных спектральных линий.	4	разноуровневые индивидуальные задания
5.	Тема 13. Определение содержания химических элементов по совокупности измеренных спектральных линий.	4	разноуровневые индивидуальные задания итоговый зачет
Итого:		16 ч	

5. Текущий контроль успеваемости и промежуточная аттестация

5.1. Форма проведения текущего контроля успеваемости

Текущий контроль осуществляется по результатам работы на практических занятиях. Промежуточный контроль – быстрый опрос на лекциях.

Текущий контроль работы аспирантов проводится преподавателем, ведущим занятия по дисциплине.

Итоговый зачет проводится в рамках промежуточной аттестации.

Перед итоговым зачетом по дисциплине аспиранту необходимо полностью выполнить практические работы по дисциплине. При наличии задолженностей по практическим работам аспирант к итоговому зачету не допускается.

5.2. Форма проведения промежуточной аттестации

Промежуточная аттестация проводится в форме итогового зачета по дисциплине. Итоговый зачет по дисциплине предусмотрен в устной форме.

Оценивание знаний обучающегося происходит по результатам устного ответа на два вопроса из перечня. На подготовку к ответу отводится 30 минут. При подготовке к ответу аспиранту предоставляется право пользования программой дисциплины.

Итоговый контроль работы аспирантов проводится преподавателем, ведущим занятия по дисциплине.

При сдаче итогового зачета по дисциплине отметка «зачет» выставляется, если аспирант демонстрирует знание основного материала, излагает его, применяет теоретические положения при решении практических задач.

Отметка «незачет» выставляется в случае, если аспирант не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки в изложении основного материала, не может увязывать теорию с практикой.

5.3. Вопросы к зачету

1. Наблюдаемые свойства одиночных звезд. Различные классификации спектров звезд. Диаграмма Герцшпрунга-Рессела. Функция светимости и начальная функция масс звезд. Пульсирующие и переменные звезды. Вращение звезд. Химический состав звезд. Новые и сверхновые звезды. Планетарные туманности.
2. Наблюдаемые свойства двойных звезд. Основные свойства двойных звезд. Затменные двойные звезды. Спектрально-двойные звезды. Визуально-двойные звезды. Кратные звезды. Распределение двойных звезд по массам, отношениям масс компонент и большим полуосям орбит.
3. Звездообразование в Галактике. Звездные скопления, ассоциации. Образование гигантских молекулярных облаков. Иерархическое звездообразование.
4. Эволюция массивных одиночных звезд, $M > 8 M_{\odot}$. Горение водорода и гелия в ядре. Влияние потери вещества на эволюцию массивных звезд. Поздние стадии эволюции массивных звезд. Взрыв сверхновой.
5. Эволюция звезд умеренных масс. Эволюция звезд $M < 2.3 M_{\odot}$. Эволюция звезд с $2.3 M_{\odot} < M < 8 M_{\odot}$. Потеря массы красными гигантами и сверхгигантами. Образование планетарных туманностей и вырожденных карликов. Звезды и планеты.
6. Модели атмосфер и основные физические соотношения. Методы определения эффективной температуры. Методы определения ускорения силы тяжести $\log g$.
7. Методы определения металличности. Методы определения содержания химических элементов. Методы определения скоростей осевого вращения звезд. Методы определения турбулентной скорости.
8. Методы определения масс звезд. Методы определения радиусов звезд. Методы определения светимости звезд. Методы определения возраста звезд.

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

6.1. Перечень основной литературы, необходимой для освоения дисциплины

1. Д. Грей. Наблюдения и анализ звездных атмосфер. «Мир», М., 1980, 496с.
2. К. де Ягер. Звезды наибольшей светимости. «Мир», М., 1984, 493с.
3. С. Потташ. Планетарные туманности. «Мир», М., 1987, 351с.
4. А.Г.Масевич, А.В.Тутуков. Эволюция звезд: теория и наблюдения. «Наука», ФМ, М., 1988, 280с.
5. И.М. Копылов. Избранные труды. Изд. САО РАН, Нижний Архыз, 2002, 381с.
6. В.Г. Ключкова, В.Е.Панчук, «От звезды к планетарной туманности». Природа. 2002. No.3. с.28-37.
7. Н.А.Сахибуллин. Методы моделирования в астрофизике. II. Определение фундаментальных параметров звезд. «Фэн», Казань, 2003, 388с.
8. В.Г.Ключкова. 6-м телескоп в поиске проявления эволюции звезд вблизи AGB. В сб. «САО РАН 40 лет». Нижний Архыз, 2006, с.107-148.
9. В.Г.Ключкова. «Ярче ста тысяч солнц». Природа. 2009. No.11. с.12-19.
10. Г.А.Шайн. Избранные труды. «Наукова думка», Киев, 2012. 629с.
11. В.Г.Ключкова. Исследование физики и эволюции звезд на 6-м телескопе БТА. Астрофизический бюллетень. 2012. т.67. No.4. с.399–428.
12. V.G. Klochkova. Circumstellar envelope manifestations in the optical spectra of evolved stars. Astrophysical Bulletin, 2014. Vol. 69, Iss. 3, pp.279-295.
13. V.G. Klochkova, V.E. Panchuk, M.V. Yushkin. Results of Selected Stellar Spectroscopy Programs at the 6-m Telescope of the Special Astrophysical Observatory of the Russian Academy of Sciences Performed with the NES Echelle Spectrograph. Astrophysical Bulletin, 2022. Vol. 77, Iss. 1, p.84-93.

6.2. Перечень дополнительной литературы, рекомендуемой для освоения дисциплины

1. И.С. Шкловский. Проблемы современной астрофизики. Наука, ФМ, М., 1982, 223с.
2. Н.Г. Бочкарев, Р.Е. Гершберг, М.А. Лившиц. Идеи С.Б. Пикельнера в контексте современной астрофизики. Космосинформ, М., 2014, 137с.
3. Г.Н. Ресселл, Р.С. Дэган, Дж.К. Стюарт. Астрономия. Т.II. Астрофизика, звездная астрономия. ОНТИ-НКТП-СССР, М.-Л., 1935, 416с.
4. А.Унзольд. Физика звездных атмосфер. ИЛ, М., 1949. 630с.
5. Звездные атмосферы. Под. ред. Дж. Л. Гринстейна. ИЛ, М., 1963, 706с.
6. В. Е. Панчук, Ю. Ю. Балега, В. Г. Ключкова, М. Е. Сачков. Исследование экзопланет спектроскопическими методами. Успехи физических наук, 2020, т.190, с.605–626.
7. V.G. Klochkova, Yu.V. Sheldakova, V.V. Vlasyuk, A.V. Kudryashov, Improving the Efficiency of High-Resolution Spectroscopy on the 6-m Telescope Using Adaptive Optics Techniques. Astrophysical Bulletin, 2020. Vol. 75, Iss. 4, p.468-481.

6.3. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины

- Сеть Астронет: <http://www.astronet.ru/db/msg/1169494/index.html#Contents>
- Астрофизическая информационная система ADS - <https://ui.adsabs.harvard.edu/>
- База данных по внегалактическим объектам: <http://ned.ipac.caltech.edu/>
- База данных объектов за пределами Солнечной с-мы SIMBAD <http://simbad.u-strasbg.fr/simbad/>
- Звёздный каталог VIZIER - <http://vizier.u-strasbg.fr/viz-bin/VizieR>
- Цифровой обзор неба DSS - <http://archive.eso.org/dss/dss>
- Слоановский цифровой небесный обзор SDSS: <http://www.sdss.org/>

7. Перечень информационных технологий, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем, профессиональных баз данных

Системы обработки астрономических данных SIMBAD, MIDAS, IRAF, DECH;

8. Материально-техническое обеспечение

- экран;
- мультимедийный проектор;
- компьютер;
- выход в Интернет и интранет САО РАН в лабораторных корпусах;
- сервер общего доступа для обработки и хранения данных;
- текстовые и электронные ресурсы Научной библиотеки САО РАН;
- оборудование научно-исследовательских лабораторий САО РАН.

9. Особенности освоения дисциплины лицами с ограниченными возможностями здоровья

Освоение дисциплины лицами с ограниченными возможностями здоровья осуществляется на основе адаптированной рабочей программы с использованием специальных методов обучения и дидактических материалов, составленных с учетом особенностей психофизического развития, индивидуальных возможностей и состояния здоровья таких аспирантов.

Адаптированная рабочая программа входит в структуру адаптированной программы аспирантуры, которая разрабатывается под потребности конкретного обучающегося по его личному заявлению или решению комиссии по определению вида инклюзии и условий обучения сразу после зачисления такого аспиранта на 1 курс.

Порядок разработки адаптированной рабочей программы определяется локальным нормативным актом.