

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

КАФЕДРА АСТРОФИЗИКИ И ЗВЕЗДНОЙ АСТРОНОМИИ

КАФЕДРА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ АСТРОНОМИИ

**УТВЕРЖДАЮ**

**Декан физического факультета**

**МГУ**

\_\_\_\_\_/ **Н.Н. Сысоев** /

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ **20** г.

## **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Наименование дисциплины:**

**ПРАКТИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ ЗВЕЗДНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ**

**Уровень высшего образования:**

Специалитет

**Направление подготовки:**

03.05.01 Астрономия

**Направленность (профиль) ОПОП:**

Общая специальность

Квалификация «Специалист»

**Форма обучения:** Очная форма обучения

Рабочая программа рассмотрена и одобрена

Ученым советом физического факультета МГУ

(протокол № \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_)

Москва 20\_\_\_\_

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по специальности 03.05.01 Астрономия.

Год (годы) приема на обучение \_\_\_\_\_

**Авторы–составители:**

1. К.ф.-м.н. Пахомов Юрий Васильевич, с.н.с. отдела нестационарных звезд и звездной спектроскопии Института астрономии РАН

Заведующий кафедрой

Д.ф.-м.н. профессор Постнов Константин Александрович

Д.ф.-м.н. профессор Расторгуев Алексей Сергеевич

## **Аннотация к рабочей программе дисциплины «Практические вопросы звездной спектроскопии»**

Дисциплина «Практические вопросы звездной спектроскопии» является специальным курсом астрофизики. На лекциях студенты знакомятся с современными оптическими методами исследования звезд, звездных систем и межзвездной среды. В курс включены лекции по теории звездных атмосфер, а также по устройству спектральных приборов, методам наблюдений, их обработке и анализу. На практических занятиях студенты учатся обрабатывать спектральные наблюдения, определять характеристики звезд и межзвездной среды, находить нужные атомные данные и определять содержания химических элементов в звездных атмосферах.

### **Разделы рабочей программы**

1. Место дисциплины в структуре основной профессиональной образовательной программы высшего образования (ОПОП ВО).
2. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия (при наличии)
3. Результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с формируемыми компетенциями
4. Форма обучения.
5. Язык обучения.
6. Содержание дисциплины.
7. Объем дисциплины
8. Структурированное по темам (разделам) содержание дисциплины (модуля) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий
9. Текущий контроль и промежуточная аттестация.
10. Фонд оценочных средств (ФОС) для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю).
11. Шкала оценивания.
12. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения текущего контроля успеваемости.
13. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения промежуточной аттестации.
14. Материально-техническая база, информационные технологии, программное обеспечение и информационные справочные системы

## 1. Место дисциплины в структуре ОПОП ВО

Дисциплина «Практические вопросы звездной спектроскопии» реализуется на 5-ом курсе во 10-ом семестре и является составной частью профессионального блока вариативной части.

## 2. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия

Прохождение курсов «Общая астрономия», «Общая астрофизика», «Теоретическая астрофизика», «Атомная физика», «Молекулярная физика», «Термодинамика и статистическая физика», «Оптика»

## 3. Результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с формируемыми компетенциями

В результате освоения дисциплины у обучающихся должны быть сформированы:

Формируемые компетенции (код компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю)
УК-1.Б	<b>З-1 Знать:</b> основные понятия физики звездных атмосфер <b>З-2 Знать:</b> физику формирования спектральных линии в звездных атмосферах и межзвездной среде <b>У-1 Уметь:</b> находить в архивах и обрабатывать спектральные наблюдения <b>У-2 Уметь:</b> анализировать звездные спектры, вычислять синтетические спектры, определять характеристики звезд <b>В-1 Владеть:</b> методами обработки спектров <b>В-2 Владеть:</b> методами определения параметров звездных атмосфер и межзвездных облаков
ОПК-1.Б	<b>З-1 Знать:</b> основные методы, используемые в звездной спектроскопии <b>У-1 Уметь:</b> решать типовые задачи спектроскопии и физики звездных атмосфер <b>В-1 Владеть:</b> практическими навыками анализа звездных атмосфер

2. **Форма обучения:** очная.

3. **Язык обучения:** русский.

## 4. Содержание дисциплины

### Тема 1. Введение

Введение в звездную спектроскопию. История спектроскопии. Открытия, сделанные с помощью спектрального анализа. Спектральная классификация звезд. Диаграмма Герцшпрунга-Рассела. Информация, содержащаяся в спектрах звезд. Возможности современной звездной спектроскопии.

### Тема 2. Приборы и наблюдения

Спектрографы, их типы и характеристики. Калибровки спектров. Современные спектрографы высокого разрешения. Приемники излучения и их характеристики. Путь

сигнала от звезды до файла. Источники регистрируемого сигнала. Организация спектральных наблюдений в современных обсерваториях. Заявки на получение наблюдательного времени. Состав файлов спектральных наблюдений. Архивы звездных спектров. FITS формат. Системы координат в FITS.

### Тема 3. Обработка спектров

Комплекс обработки и анализа изображений и спектров MIDAS. Предварительная обработка ПЗС кадров. Обработка спектров, полученных на спектрографе с длинной щелью. Учет поглощения в земной атмосфере и межзвездной среде. Абсолютная калибровка по потокам. Обработка эшелле-спектров. Калибровка эшелле-спектров.

### Тема 4. Межзвездные облака

Формирование межзвездных линий поглощения. Удаление теллурических и звездных линии из спектра звезды. Измерение характеристик межзвездных линий. Определение параметров межзвездных облаков

### Тема 5. Звездные атмосферы

Основные уравнения. Формирование спектральных линий в звездных атмосферах. Расщепления спектральных линий: изотопное, сверхтонкое. Базы атомных данных. Формат базы данных VALD. Поведение спектральных линий. Кривая роста. Определение содержаний химических элементов и микротурбулентной скорости. Методы определения параметров звездных атмосфер. Синтетический спектр. Программа анализа звездных спектров VinMag. Формирование спектральных линий в звездной атмосфере в присутствии магнитного поля. Профили спектральных линий в звездной хромосфере. Формирование спектральных линий в звездной атмосфере при отказе от ЛТР.

## 7. Объем дисциплины

НАЗВАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ	Трудоемкость в зачетных единицах	объем учебной нагрузки в ак. часах				
		Общая трудоемкость	в том числе ауд. занятий			Самостоятельная работа студентов
			Общая аудиторная нагрузка	Лекций	Семинаров	
Практические вопросы звездной спектроскопии	3	108	68	34	34	40

## 8. Структурированное по темам (разделам) содержание дисциплины (модуля) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий

Изучение курса «Практические вопросы звездной спектроскопии» включает в себя лекции, на которых рассматривается теоретическое содержание курса; семинарские занятия, предусматривающие углубленное изучение и обсуждение вопросов, обозначенных в темах дисциплины; практические занятия, самостоятельную работу, заключающуюся в подготовке к лекционным и семинарским занятиям, а также в работе над практическими задачами. Темы, рассматриваемые на лекциях и изучаемые самостоятельно, закрепляются на

семинарских и практических занятиях, по вопросам, вызывающим затруднения, проводятся консультации.

№ темы	Наименование раздела дисциплины	Виды учебной нагрузки и их трудоемкость, часы					Форма текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации
		Всего часов	Лекции	Научно-практические занятия	Семинары	Самостоятельная работа	
1	<i>Введение</i>	6	2	-	2	2	Собеседование, опрос
2	<i>Приборы и наблюдения</i>	12	4	-	4	4	
3	<i>Обработка спектров</i>	16	4	-	4	8	
4	<i>Межзвездные облака</i>	8	2	-	2	4	
5	<i>Звездные атмосферы</i>	60	22	-	22	16	
	Промежуточная аттестация	6				6	Экзамен в форме письменной работы с последующим собеседованием
<b>ИТОГО:</b>		<b>108</b>	<b>34</b>	<b>-</b>	<b>34</b>	<b>40</b>	

## 9. Текущий контроль и промежуточная аттестация.

Текущий контроль по дисциплине «Практические вопросы звездной спектроскопии» осуществляется на лекциях, семинарских и практических занятиях и заключается в оценке активности и качества участия в опросах и собеседованиях по проблемам, изучаемых в рамках тем лекционных занятий, аргументированности позиции; оценивается широта используемых теоретических знаний и приобретенных практических навыков.

Промежуточная аттестация по дисциплине «Практические вопросы звездной спектроскопии» проводится в форме зачета и экзамена. Зачет в форме отчета по практическим работам, экзамен в форме письменной работы с последующим собеседованием по программе.

Результаты сдачи экзамена оцениваются по шкале «неудовлетворительно», «удовлетворительно», «хорошо», «отлично». Оценки «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» означают успешное прохождение промежуточной аттестации.

#### 10. Фонд оценочных средств (ФОС) для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю).

##### Требования к структуре и содержанию фонда оценочных средств текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине

Перечень оценочных средств, применяемых на каждом этапе проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине, представлены в таблице

Наименование оценочного средства	Краткая характеристика оценочного средства	Представление оценочного средства в фонде
<b>Оценочные средства текущего контроля</b>		
Тематический опрос (в форме ответов на вопросы)	Средство контроля, организованное как специальная беседа по тематике предыдущей лекции и рассчитанное на выяснение объема и качества знаний, усвоенных обучающимися по определенному разделу, теме, проблеме.	Перечень тем, изучаемых в рамках дисциплины
Собеседование (в форме беседы, дискуссии по теме)	Средство контроля, организованное как свободная беседа, дискуссия по тематике изучаемой дисциплины, рассчитанное на выяснение объема знаний обучающегося по всем изученным разделам, темам; свободного использования терминологии для аргументированного выражения собственной позиции.	Перечень тем, изучаемых в рамках дисциплины
<b>Оценочные средства промежуточной аттестации</b>		
Письменная работа	Средство, позволяющее оценить сформированность систематических представлений о методах научно-исследовательской деятельности.	Перечень вопросов к экзамену
Собеседование	Средство, позволяющее получить экспертную оценку знаний, умений и навыков по для оценивания и анализа различных фактов и явлений в своей профессиональной области.	Требования к порядку проведения собеседования

#### 11. Шкала оценивания.

Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения			
	2	3	4	5
ЗНАТЬ:	Отсутствие знаний об	В целом	В	Успешные и

основные понятия физики звездных атмосфер УК-1.Б 3-1	основных понятиях физики звездных атмосфер	успешные, но не систематическое знание основных понятий физики звездных атмосфер	целом успешно е, но содержащее отдельные пробелы знания основных понятий физики звездных атмосфер	систематическое знание основных понятий физики звездных атмосфер
ЗНАТЬ: физику формирования спектральных линий в звездных атмосферах и межзвездной среде УК-1.Б 3-2	Отсутствие знаний или фрагментарное знание физики формирования спектральных линий в звездных атмосферах и межзвездной среде	В целом успешное, но не систематическое знание физики формирования спектральных линий в звездных атмосферах и межзвездной среде	В целом успешно е, но содержащее отдельные пробелы знания физики формирования спектральных линий в звездных атмосферах и межзвездной среде	Успешное и систематическое знание основных понятий физики формирования спектральных линий в звездных атмосферах и межзвездной среде
ЗНАТЬ: основные методы, используемые в звездной спектроскопии и ОПК-1.Б 3-1	Отсутствие знаний или фрагментарное применение основных методов, используемых в звездной спектроскопии	В целом успешное, но не систематическое применение основных методов, используемых в звездной спектроскопии	В целом успешно е, но содержащее отдельные пробелы знания основных методов, используемых в звездной спектроскопии	Успешное и систематическое знание основных методов, используемых в звездной спектроскопии
УМЕТЬ: находить в архивах и обрабатывать спектральные наблюдения УК-1.Б У-1	Отсутствие умения находить в архивах и обрабатывать спектральные наблюдения	В целом успешное, но не систематическое умение находить в архивах и обрабатывать спектральные наблюдения	В целом успешно е, но содержащее отдельные пробелы умение находить в архивах и обрабатывать спектральные наблюдения анализ данных	Успешное и систематическое умение находить в архивах и обрабатывать спектральные наблюдения
УМЕТЬ: анализировать	Отсутствие умения анализировать звездные	В целом успешное, но	В целом успешно	Успешное и систематическое



<p>ь звездные спектры, вычислять синтетические спектры, определять характеристики звезд</p> <p>УК-1.Б У-2</p>	<p>спектры, вычислять синтетические спектры, определять характеристики звезд</p>	<p>не систематическое умение анализировать звездные спектры, вычислять синтетические спектры, определять характеристик и звезд</p>	<p>е, но содержащее отдельные пробелы умение анализировать звездные спектры, вычислять синтетические спектры, определять характеристик и звезд</p>	<p>ое умение анализировать звездные спектры, вычислять синтетические спектры, определять характеристик и звезд</p>
<p>УМЕТЬ: решать типовые задачи спектроскопии и физики звездных атмосфер</p> <p>ОПК-1.Б У-1</p>	<p>Отсутствие умения решать типовые задачи спектроскопии и физики звездных атмосфер</p>	<p>В целом успешное, но не систематическое умение решать типовые задачи спектроскопии и физики звездных атмосфер</p>	<p>В целом успешно е, но содержащее отдельные пробелы умение решать типовые задачи спектроскопии и физики звездных атмосфер</p>	<p>Успешное и систематическое умение решать типовые задачи спектроскопии и физики звездных атмосфер</p>
<p>ВЛАДЕТЬ: методами обработки спектров</p> <p>УК-1.Б В-1</p>	<p>Отсутствие/фрагментарное владение методами обработки спектров</p>	<p>В целом успешное, но не систематическое владение методами обработки спектров</p>	<p>В целом успешно е, но содержащее отдельные пробелы владение методами обработки спектров</p>	<p>Успешное и систематическое владение методами обработки спектров</p>
<p>ВЛАДЕТЬ: методами определения параметров звездных атмосфер и межзвездных облаков</p> <p>УК-1.Б В-2</p>	<p>Отсутствие/методами определения параметров звездных атмосфер и межзвездных облаков</p>	<p>В целом успешное, но не систематическое владение методами определения параметров звездных атмосфер и межзвездных облаков</p>	<p>В целом успешно е, но содержащее отдельные пробелы владение методами определения параметров звездных атмосфер и межзвездных облаков</p>	<p>Успешное и систематическое владение методами определения параметров звездных атмосфер и межзвездных облаков</p>
<p>ВЛАДЕТЬ:</p>	<p>Отсутствие/фрагментар</p>	<p>В целом</p>	<p>В</p>	<p>Успешное и</p>

практическим и навыками анализа звездных атмосфер ОПК-1.Б В-1	ное владение практическими навыками анализа звездных атмосфер	успешное, но не систематическое владение практическими навыками анализа звездных атмосфер	целом успешно, но содержащее отдельные пробелы владение практическими навыками анализа звездных атмосфер	систематическое владение практическими навыками анализа звездных атмосфер
--	---	---	--	---

## 12. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения текущего контроля успеваемости.

### *Материалы текущего контроля успеваемости обучающихся*

Задачи можно найти по адресу: <http://spectrum.inasan.ru/SAI/Q.html>

**Пример:** Определить эффективную температуру Солнца по солнечной постоянной  $1360 \text{ Вт/м}^2$ , зная что его угловой диаметр равен  $31' 59''$

## 13. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения промежуточной аттестации.

### *Материалы промежуточной аттестации обучающихся*

Вопросы к экзамену можно найти по адресу: <http://spectrum.inasan.ru/sai>

**Пример:** Спектрографы, их типы и характеристики. Калибровки спектров. Современные спектрографы высокого разрешения. Приемники излучения и их характеристики. Путь сигнала от звезды до файла. Что содержит полученный сигнал?

## 14. Материально-техническая база, информационные технологии, программное обеспечение и информационные справочные системы

### Основная литература.

1. Мустель Э.Р. «Звездные атмосферы» Москва 1960
2. Михалас Д. «Звездные атмосферы» т.1, 2. М.: Мир, 1982
3. Грей Д. «Наблюдения и анализ звездных фотосфер» М.: Мир, 1980
4. Сахибуллин Н.А. «Методы моделирования в астрофизике: Звездные атмосферы» Казань: Фэн, 1997
5. Сахибуллин Н.А. «Методы моделирования в астрофизике: Определение параметров звезд» Казань: Фэн, 2003
6. Любимков Л.С. «Химический состав звезд: метод и результаты анализа» НПФ «Астропринт», 1995

### Дополнительная литература.

1. Засов А.В., Постнов К.А. «Общая астрофизика» Фрязино, 2006
2. Соболев В.В. «Курс теоретической астрофизики» М.:Наука, 1975

3. Stellar Atmosphere Modeling. Proceedings of an International Workshop in Tuebingen, Germany, 8-12 April 2002. ASP Conference Ser., vol. 288, 2003
4. Modelling of Stellar Atmospheres. Proceedings of the 210<sup>th</sup> IAU Symp. held at Uppsala University, Uppsala, Sweden 17-21 June 2002. Eds. N. Piskunov, W.W. Weiss, D.F. Gray. ASP, 2003

#### Интернет-ресурсы.

1. <http://spectrum.inasan.ru/sai> — материал по лекциям и практическим занятиям
2. <http://spectrum.inasan.ru/SAI/links/Lect.pdf> — русскоязычные лекции по MIDAS
3. <http://spectrum.inasan.ru/SAI/links/MIDASintro.pdf> и <http://spectrum.inasan.ru/SAI/links/MIDASintroP.pdf> — презентации по возможностям MIDAS
4. <http://spectrum.inasan.ru/SAI/links/full1.pdf> — команды MIDAS
5. <http://spectrum.inasan.ru/SAI/links/vol1.pdf> и <http://spectrum.inasan.ru/SAI/links/vol2.pdf> — англоязычная документация по MIDAS
6. <http://fits.gsfc.nasa.gov> — документация по формату FITS
7. <http://simbad.u-strasbg.fr/simbad/sim-fid> — астрономическая база данных
8. <http://obswww.unige.ch/gcpd/ph13.html> — фотометрические данные
9. <http://vald.inasan.ru/~vald3/php/vald.php> - база данных VALD
10. [https://portal.vamdc.eu/vamdc\\_portal/home.seam](https://portal.vamdc.eu/vamdc_portal/home.seam) — портал пользователя VAMDC
11. <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2005ApJ...626..465R/abstract> — статья по фотометрическим калибровкам
12. <http://wwwuser.oats.inaf.it/castelli/grids.html> — модели звездных атмосфер ATLAS9
13. <http://marcs.astro.uu.se/> - модели звездных атмосфер MARCS
14. <http://www.astro.uu.se/~oleg/soft.html> — программное обеспечение для анализа звездных спектров

#### Материально-техническое обеспечение

В соответствии с требованиями п. 5.3. образовательного стандарта МГУ по направлению подготовки «Физика».

Курс может быть прочитан в поточной аудитории при наличии: работающих электрических розеток, компьютера, проектора, экрана, учебной доски.