

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
"Казанский (Приволжский) федеральный университет"  
Институт физики



УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по образовательной деятельности КФУ  
Проф. Д.А. Таюрский

\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

подписано электронно-цифровой подписью

### Программа дисциплины

Спецпрактикум по физике межзвездной среды Б1.В.ОД.13

Специальность: 03.05.01 - Астрономия

Специализация: не предусмотрено

Квалификация выпускника: Астроном. Преподаватель

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

**Автор(ы):**

Шиманская Н.Н. , Шиманский В.В.

**Рецензент(ы):**

Жуков Г.В.

**СОГЛАСОВАНО:**

Заведующий(ая) кафедрой: Бикмаев И. Ф.

Протокол заседания кафедры No \_\_\_\_\_ от "\_\_\_\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г

Учебно-методическая комиссия Института физики:

Протокол заседания УМК No \_\_\_\_\_ от "\_\_\_\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г

Регистрационный No 6183919

## Содержание

1. Цели освоения дисциплины
2. Место дисциплины в структуре основной образовательной программы
3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины /модуля
4. Структура и содержание дисциплины/ модуля
5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения
6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов
7. Литература
8. Интернет-ресурсы
9. Материально-техническое обеспечение дисциплины/модуля согласно утвержденному учебному плану

Программу дисциплины разработал(а)(и) доцент, к.н. (доцент) Шиманская Н.Н. Кафедра астрономии и космической геодезии Отделение астрофизики и космической геодезии , Nelli.Shimanskaya@kpfu.ru ; доцент, к.н. (доцент) Шиманский В.В. Кафедра астрономии и космической геодезии Отделение астрофизики и космической геодезии , Slava.Shimansky@kpfu.ru

### 1. Цели освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины (модуля) "Спецпрактикум: физика межзвездной среды" является получение обучающимися практических навыков в анализе фотометрических, спектроскопических и поляриметрических наблюдений горячих газовых туманностей и межзвездного газа с использованием методов теоретического моделирования их излучения и определением фундаментальных характеристик среды.

### 2. Место дисциплины в структуре основной образовательной программы высшего профессионального образования

Данная учебная дисциплина включена в раздел "Б1.В.ОД.13 Дисциплины (модули)" основной образовательной программы 03.05.01 Астрономия и относится к обязательным дисциплинам. Осваивается на 5 курсе, 9 семестр.

Дисциплина относится к циклу С3 (профессиональный цикл).

Изучению данной дисциплины должно предшествовать изучение следующих физико-математических дисциплин: математический цикл (все разделы), общая физика (все разделы), теоретическая физика (электродинамика, квантовая физика, теория поля); профессиональных дисциплин: общая астрономия, практическая астрофизика, общая астрофизика, теоретическая астрофизика, теория эволюции звезд, современные методы наблюдений.

### 3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины /модуля

В результате освоения дисциплины формируются следующие компетенции:

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
ОК-6 (общекультурные компетенции)	владение культурой мышления, быть способным к обобщению, анализу, критическому осмыслению, систематизации, прогнозированию, постановке целей и выбору путей их достижения
ПК-4 (профессиональные компетенции)	владение навыками самостоятельной работы, самостоятельно оценивать результаты своей деятельности
ПСК-1.2	знанием основных физических процессов, ответственных за природу и наблюдаемые особенности космических объектов и явлений
ПСК-1.5	умение использовать приобретенные знания для астрофизических исследований

В результате освоения дисциплины студент:

1. должен знать:

- современные технологии получения наблюдательных данных для горячих газовых туманностей и холодного межзвездного газа
- методы теоретического анализа наблюдений

- способы определения межзвездной среды на основе сравнения модельных и теоретических характеристик их излучения

2. должен уметь:

- использовать методики анализа оптических и радиоастрономических наблюдений межзвездной среды
- использовать всемирные банки информации при проведении исследований
- корректно обрабатывать оптические спектры межзвездной среды и отождествлять в них линии с применением атомных данных
- определять физические характеристики межзвездного газа и обучающих его звезд

3. должен владеть:

- навыками в обработке спектроскопических наблюдений межзвездной среды
- методиками анализа эмиссионных и абсорбционных линий
- основными методами определения характеристик межзвездной среды
- способами качественной и количественной оценки точности результатов.

4. должен демонстрировать способность и готовность:

-

#### 4. Структура и содержание дисциплины/ модуля

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных(ые) единиц(ы) 108 часа(ов).

Форма промежуточного контроля дисциплины: зачет в 9 семестре.

Суммарно по дисциплине можно получить 100 баллов, из них текущая работа оценивается в 50 баллов, итоговая форма контроля - в 50 баллов. Минимальное количество для допуска к зачету 28 баллов.

86 баллов и более - "отлично" (отл.);

71-85 баллов - "хорошо" (хор.);

55-70 баллов - "удовлетворительно" (удов.);

54 балла и менее - "неудовлетворительно" (неуд.).

#### 4.1 Структура и содержание аудиторной работы по дисциплине/ модулю

##### Тематический план дисциплины/модуля

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практи- ческие занятия	Лабора- торные работы	
1.	Тема 1. Получение параметров газа по запрещенным линиям	9	1-4	8	0	8	Контрольная работа
2.	Тема 2. Анализ плотности и оптической толщины туманностей на основе изучения их бальмеровских декрементов	9	5-8	8	0	8	Контрольная работа

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практи- ческие занятия	Лабораторные работы	
3.	Тема 3. Определение температур горячих звезд по методу Занстра	9	9-13	8	0	8	Контрольная работа
4.	Тема 4. Определение характеристик областей H $\alpha$ методом дублетов	9	14-18	8	0	8	Контрольная работа
.	Тема . Итоговая форма контроля	9		0	0	0	Зачет
	Итого			32	0	32	

## 4.2 Содержание дисциплины

### Тема 1. Получение параметров газа по запрещенным линиям

#### **лекционное занятие (8 часа(ов)):**

Эмиссионные туманности, поглощение и переработка жесткого излучения горячих звезд, фактор диллюции. Планетарные туманности, звезды Вольфа-Райе, горячие sdO-субкарлики. Методы исследования туманностей: многополосная фотометрия, спектроскопия, спектрофотометрия, поляриметрия, астрометрия. Условия формирования запрещенных линий, метастабильные уровни, уравнения для определения населенностей энергетических уровней и интенсивности излучения линий.

#### **лабораторная работа (8 часа(ов)):**

Обработка и анализ наблюдаемых спектров 3 туманностей (Abell46, Abell63, Abell65) с определением температуры и электронной концентрации газа по линиям [OIII] 4363, 4959, 5007A.

### Тема 2. Анализ плотности и оптической толщины туманностей на основе изучения их бальмеровских декрементов

#### **лекционное занятие (8 часа(ов)):**

эмиссионные линии в спектре, условия формирования разрешенных эмиссионных линий водорода и гелия в спектрах туманностей, эффекты флуоресценции, ионизация и рекомбинация атомов/ионов, каскадные переходы. Условие статистического равновесия, ударные и радиативные переходы, оптическая толщина, эйнштейновские коэффициенты, мензеловские коэффициенты, локальное термодинамическое равновесие. Линии Бальмеровской серии водорода, бальмеровский декремент, эффект межзвездного покраснения.

#### **лабораторная работа (8 часа(ов)):**

Обработка и анализ наблюдаемых спектров 3 туманностей (Abell46, Abell63, Abell65) с определением их оптической толщины из отношений интенсивностей линий Hbeta, Hgamma, Hdelta (бальмеровского декремента).

### Тема 3. Определение температур горячих звезд по методу Занстра

#### **лекционное занятие (8 часа(ов)):**

Диаграмма Гротриана атома водорода, Лаймановский и Бальмеровский континуумы, линии Лаймановской и Бальмеровской серий, рекомбинация на верхние уровни, каскадные переходы. Интенсивность выходящего от звезды излучения, эквивалентная ширина линии. Блеск звезды в разных диапазонах спектра, эффективная температура звезды, цветовая температура звезды. Метод Занстра I и II типа, чернотельное излучение, функция Планка, метод моделей атмосфер, параметры атмосферы звезды, эффекты бланкетирования ультрафиолетового излучения звезды линиями тяжелых элементов, уравнение баланса фотонов.

**лабораторная работа (8 часа(ов)):**

Обработка и анализ комбинированных наблюдаемых спектров 3 туманностей (Abell46, Abell63, Abell65) с их центральными звездами и определение эффективной температуры последних методом Занстра в чернотельном приближении и с использованием моделей звездных атмосфер.

**Тема 4. Определение характеристик областей H $\alpha$  методом дублетов**

**лекционное занятие (8 часа(ов)):**

Межзвездные линии поглощения, их отличительные особенности, доплеровское смещение, полуширина профиля спектральной линии, рнзонансные линии. Уравнение переноса излучения, оптическая толщина газа, коэффициент поглощения в линии, функция уширения линии, доплеровская полуширина линии, тепловая скорость движения атомов, скорость турбулентных движений в поглощающем газе, электронная температура газа, эквивалентная ширина линии поглощения, зависимость эквивалентной ширины от числа поглощающих атомов (кривая роста). Метод дублетов, соотношение между доплеровскими полуширинами линий дублета и между оптическими толщинами среды в центре линий.

**лабораторная работа (8 часа(ов)):**

Обработка и анализ наблюдаемых спектров высокого разрешения далеких O-сверхгигантов V1357 Cyg и alpha Cam и определение содержаний кальция и натрия и скорости турбулентных движений в холодных межзвездных облаках с применением линий CaII и NaI.

**4.3 Структура и содержание самостоятельной работы дисциплины (модуля)**

N	Раздел дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды самостоятельной работы студентов	Трудоемкость (в часах)	Формы контроля самостоятельной работы
1.	Тема 1. Получение параметров газа по запрещенным линиям	9	1-4	подготовка к контрольной работе	11	Контрольная работа
2.	Тема 2. Анализ плотности и оптической толщины туманностей на основе изучения их бальмеровских декрементов	9	5-8	подготовка к контрольной работе	11	Контрольная работа
3.	Тема 3. Определение температур горячих звезд по методу Занстра	9	9-13	подготовка к контрольной работе	11	Контрольная работа
4.	Тема 4. Определение характеристик областей H $\alpha$ методом дублетов	9	14-18	подготовка к контрольной работе	11	Контрольная работа
	Итого				44	

## **5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения**

Образовательная технология предусматривает предварительное ознакомление обучающихся с тематикой каждой задачи, включающее короткий (около 30 минут) лекционный обзор физики исследуемого явления и используемого при этом метода и практическую демонстрацию программных комплексов, баз атомных и наблюдательных данных, необходимых для его реализации.

Лекционный материал подается, как правило, в виде электронной презентации с последующими комментариями в классической форме. Практическая демонстрация осуществляется на основе упрощенного тестового примера с использованием персональных компьютеров, индивидуальных для преподавателя и обучающихся.

Последующая работа выполняется на ЭВМ индивидуально каждым обучающимся в условиях их интерактивного взаимодействия с преподавателем. Сдача отчетов о выполненных заданиях предусматривает их полную демонстрацию на ЭВМ и сопутствующее обсуждение тематики работы.

## **6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов**

### **Тема 1. Получение параметров газа по запрещенным линиям**

Контрольная работа, примерные вопросы:

Контрольные вопросы: 1) Какие линии называют запрещенными? 2) Назовите наиболее сильные запрещенные линии в спектрах туманностей. 3) Насколько различаются вероятности разрешенных и запрещенных переходов? 4) Каковы условия формирования запрещенных линий? 5) Как соотносятся в межзвездной среде вероятности спонтанных, вынужденных и ударных переходов? 6) Опишите модель атома и физические процессы, учитываемые в расчетах интенсивностей запрещенных линий. 7) Объясните способы определения параметров газа в туманностях по запрещенным линиям. 8) Как получены формулы вычисления и каковы ограничения на их применение? 9) Какие сложности в определении параметров газа по запрещенным линиям возникают при анализе наблюдательных данных?

### **Тема 2. Анализ плотности и оптической толщины туманностей на основе изучения их бальмеровских декрементов**

Контрольная работа, примерные вопросы:

Контрольные вопросы: 1) Перечислите механизмы перераспределения по уровням атомов H I и He I. 2) Как для этих атомов определяют скорости радиативной ионизации и рекомбинации? 3) Какие модели туманностей рассматривают при анализе разрешенных линий в их спектрах? 4) Чем в этом случае различаются уравнения статистического равновесия уровней? 5) Назовите основные особенности в заселении уровней H I в рамках разных моделей. 6) Как определяются интенсивности разрешенных линий по известным населенностям? 7) Интенсивности каких пар линий обычно исследуют в наблюдаемых спектрах? 8) Что называют Бальмеровским декрементом? Каковы особенности декрементов для разных моделей туманностей? 9) Какие наблюдения необходимо использовать для определения типа туманностей по Бальмеровскому декременту? Опишите основные сложности, возникающие при таких исследованиях.

### **Тема 3. Определение температур горячих звезд по методу Занстра**

Контрольная работа, примерные вопросы:

Контрольные вопросы: 1) Опишите действие модели ультрафиолетовой флюоресценции в газе туманности. 2) Какие предположения используют в рамках этой модели? 3) Постройте уравнение баланса Лаймановских и Бальмеровских квантов и получите формулы для определения их количества в туманности. 4) Что называют методами Занстра I и II типов? 5) Какими способами вычисляют количество Лаймановских и Бальмеровских квантов в практических исследованиях? 6) Для каких элементов можно использовать метод Занстра? Перечислите причины, снижающие его точность. 7) Что называют методом Амбарцумяна? 8) Какие спектры необходимо исследовать при использовании метода Занстра? 9) Опишите методику определения температуры звезд на основе измеренных эквивалентных ширин линий. 10) Оценку какой температуры получают при использовании метода Занстра?

#### **Тема 4. Определение характеристик областей HII методом дублетов**

Контрольная работа, примерные вопросы:

Контрольные вопросы: 1) Что называют межзвездными линиями поглощения? 2) Назовите основные линии в оптическом диапазоне спектра и их наблюдаемые особенности. 3) Какие линии могут формироваться как межзвездные? Перечислите условия их формирования. 4) Постройте уравнение переноса для случая чистого поглощения в холодном газе и получите его решение. 5) Назовите факторы, влияющие на уширение межзвездных линий. Каким способом можно определить вклад каждого из них? 6) Что называют кривой роста линий поглощения? Какие участки на ней выделяют? Сформулируйте граничное условие этого разделения. 7) Какие характеристики межзвездной среды можно получить по линиям на линейном участке? 8) Сформулируйте общую идею метода дублетов. Какие линии можно в нем использовать? 9) Постройте основное уравнение метода дублетов и опишите способ его решения. 10) Какие характеристики среды определяют данным методом?

#### **Итоговая форма контроля**

зачет (в 9 семестре)

Примерные вопросы к итоговой форме контроля

Текущий контроль осуществляется по результатам работы на лабораторных занятиях.

Промежуточный контроль - отчеты о выполненных заданиях.

Итоговый контроль - зачет.

#### **7.1. Основная литература:**

1. Засов, А.В. Астрономия [Электронный ресурс]: учебное пособие / А.В. Засов, Э.В. Кононович. - Электрон. дан. - Москва: Физматлит, 2011. - 256 с. - Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/2370>

2. Бескин, В.С. Гравитация и астрофизика [Электронный ресурс]: учебное пособие / В.С. Бескин. - Электрон. дан. - Москва: Физматлит, 2009. - 158 с. - Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/2114>

3. Шиманский В.В. Астрофизический спецпрактикум. Часть 2. Физика межзвездной среды. Учебно-методическое пособие / В.В. Шиманский, Р.С. Плясун, Н.Н. Шиманская // Казанский университет. - Казань. - 2011. - 50 с. - URL: [https://kpfu.ru/portal/docs/F\\_275312329/Shimanskij.Astrof..specpraktikum.ch.2.pdf](https://kpfu.ru/portal/docs/F_275312329/Shimanskij.Astrof..specpraktikum.ch.2.pdf)

#### **7.2. Дополнительная литература:**

1. Сахибуллин Н.А. Теоретическая астрофизика. Звездные атмосферы. Часть 1. Учебное пособие. / Н.А. Сахибуллин, И.Ф. Бикмаев // Институт физики Казанского (Приволжского) федерального университета. - Казань. - 2015. - 116 с. - URL: <https://kpfu.ru/portal/docs/F2146538929/Sakhibullin.N.A..Teoreticheskaya.astrofizika.ch.1..pdf>

2. Сахибуллин Н.А. Теоретическая астрофизика. Звездные атмосферы. Часть 2. Учебное пособие. / Н.А. Сахибуллин, И.Ф. Бикмаев // Институт физики Казанского (Приволжского) федерального университета. - Казань. - 2015. - 112 с. - URL: [https://kpfu.ru/portal/docs/F\\_891964453/Sakhibullin.N.A..Teoreticheskaya.astrofizika.ch.2..pdf](https://kpfu.ru/portal/docs/F_891964453/Sakhibullin.N.A..Teoreticheskaya.astrofizika.ch.2..pdf)
3. Сахибуллин Н.А. Теоретическая астрофизика. Звездные атмосферы. Часть 3. Учебное пособие. / Н.А. Сахибуллин, И.Ф. Бикмаев // Институт физики Казанского (Приволжского) федерального университета. - Казань. - 2015. - 45 с. - URL: <https://kpfu.ru/portal/docs/F932600094/Sakhibullin.N.A..Teoreticheskaya.astrofizika.ch.3..pdf>
4. Пятьдесят лет космических исследований [Электронный ресурс]: сборник научных трудов / под ред. А.В. Захарова. - Электрон. дан. - Москва: Физматлит, 2009. ? 277 с. - Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/48266>
5. Курс теоретической астрофизики: учебник для студентов / В. В. Соболев. - Москва: Наука, 1985. - 504 с. + табл., ил. (НБ КФУ- 21 экз.)

### 7.3. Интернет-ресурсы:

Strasbourg Astronomical Data Center (европейская поисковая и информационная база астрофизических и астрономических данных) - [cdsweb.u-strasbg.fr](http://cdsweb.u-strasbg.fr)

The SAO/NASA Astrophysics Data System (всемирная поисковая и информационная база астрофизической и спектроскопической литературы) - [adsabs.harvard.edu](http://adsabs.harvard.edu)

Интегральный каталог ресурсов Федеральный портал - <http://siop-catalog.informika.ru/>

Федеральный портал - <http://www.edu.ru/>

Федеральный фонд учебных курсов - <http://www.ido.edu.ru/ffec/econ-index.html>

### 8. Материально-техническое обеспечение дисциплины(модуля)

Освоение дисциплины "Спецпрактикум по физике межзвездной среды" предполагает использование следующего материально-технического обеспечения:

Мультимедийная аудитория, вместимостью более 60 человек. Мультимедийная аудитория состоит из интегрированных инженерных систем с единой системой управления, оснащенная современными средствами воспроизведения и визуализации любой видео и аудио информации, получения и передачи электронных документов. Типовая комплектация мультимедийной аудитории состоит из: мультимедийного проектора, автоматизированного проекционного экрана, акустической системы, а также интерактивной трибуны преподавателя, включающей тач-скрин монитор с диагональю не менее 22 дюймов, персональный компьютер (с техническими характеристиками не ниже Intel Core i3-2100, DDR3 4096Mb, 500Gb), конференц-микрофон, беспроводной микрофон, блок управления оборудованием, интерфейсы подключения: USB, audio, HDMI. Интерактивная трибуна преподавателя является ключевым элементом управления, объединяющим все устройства в единую систему, и служит полноценным рабочим местом преподавателя. Преподаватель имеет возможность легко управлять всей системой, не отходя от трибуны, что позволяет проводить лекции, практические занятия, презентации, вебинары, конференции и другие виды аудиторной нагрузки обучающихся в удобной и доступной для них форме с применением современных интерактивных средств обучения, в том числе с использованием в процессе обучения всех корпоративных ресурсов. Мультимедийная аудитория также оснащена широкополосным доступом в сеть интернет. Компьютерное оборудование имеет соответствующее лицензионное программное обеспечение.

Компьютерный класс, представляющий собой рабочее место преподавателя и не менее 15 рабочих мест студентов, включающих компьютерный стол, стул, персональный компьютер, лицензионное программное обеспечение. Каждый компьютер имеет широкополосный доступ в сеть Интернет. Все компьютеры подключены к корпоративной компьютерной сети КФУ и находятся в едином домене.

- доступ к электронным ресурсам КГУ и сети Интернет с стационарных компьютеров;

- для поддержки мультимедиа-презентаций во время лекционных занятий используются следующие программные продукты: Mircsft Pwer Pint в составе Mircsft Office 2007 (2 академические лицензии), OpenOffice.org 3.0 Impress (открытая лицензия GPL), Adbe Reader 9 (предоставлено физическим факультетом для 20 рабочих мест на условиях академической лицензии Mircsft);
- стационарное и переносное демонстрационное оборудование (мультимедийные проекторы, ноутбуки)

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВПО и учебным планом по специальности: 03.05.01 "Астрономия" и специализации не предусмотрено .

Автор(ы):

Шиманский В.В. \_\_\_\_\_

Шиманская Н.Н. \_\_\_\_\_

"\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.

Рецензент(ы):

Жуков Г.В. \_\_\_\_\_

"\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.