

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



подписано электронно-цифровой подписью

**Программа дисциплины**  
**Теоретическая астрофизика Б1.Б.29**

Специальность: 03.05.01 - Астрономия

Специализация: не предусмотрено

Квалификация выпускника: Астроном. Преподаватель

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

**Автор(ы):**

Сахибуллин Н.А. , Шиманский В.В.

**Рецензент(ы):**

Бикмаев И.Ф.

**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 6184419

## 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) профессор, д.н. (профессор) Сахибуллин Н.А. Кафедра астрономии и космической геодезии Отделение астрофизики и космической геодезии , Nail.Sakhbullin@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

- освоение студентами основных положений о сведениях из теории образования спектров небесных тел (звезд), теоретических основ тех методов, которые используются в астрофизике при определении фундаментальных характеристик звезд.
- освоение студентами основных положений о сведениях из теории образования спектров небесных тел (газовых туманностей), теоретических основ тех методов, которые используются в астрофизике при определении фундаментальных характеристик этих объектов.

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

Данная учебная дисциплина включена в раздел "Б1.Б.29 Дисциплины (модули)" основной образовательной программы 03.05.01 Астрономия и относится к базовой (общепрофессиональной) части. Осваивается на 4 курсе, 7, 8 семестры.

Дисциплина относится к профессиональному циклу базовой части Б1.

Изучению данной дисциплины должно предшествовать изучение следующих физико-математических дисциплин: математический анализ, тензорный анализ, численные методы, физика (все разделы), теоретическая физика (электродинамика, квантовая физика, теория поля); дисциплин общекультурного профиля: история астрономии, история мировой культуры; профессиональных дисциплин: общая астрономия, теория эволюции звезд, внегалактическая астрономия, современные методы наблюдений.

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

В результате освоения дисциплины формируются следующие компетенции:

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
ОПК-1 (профессиональные компетенции)	способность ориентироваться в базовых астрономических и физико-математических теориях и применять их в научных исследованиях
ПК-1 (профессиональные компетенции)	владение методами астрономического, физического и математического исследования при анализе глобальных проблем на основе глубоких знаний фундаментальных физико-математических дисциплин
ПК-4 (профессиональные компетенции)	владение наблюдательными и экспериментальными методами исследований астрономических и физических объектов и явлений

В результате освоения дисциплины студент:

1. должен знать:

- теорию образования непрерывного и линейчатого спектра звезд;

- методы определения физических условий на поверхности звезд.
- теории строения звездных атмосфер
- физические процессы и явления в разреженных средах
- теорию формирования излучения оптически тонкого газа
- методы определения параметров межзвездной среды из наблюдений

2. должен уметь:

- решать уравнение переноса при различных условиях
- определять параметры астрофизических объектов из анализа наблюдений
- корректно применять данные астрофизических исследований в смежных физических и астрономических дисциплинах
- использовать всемирные банки информации при проведении астрофизических исследований
- применять полученные знания в своей профессиональной области

3. должен владеть:

- терминологическим аппаратом в области звездных атмосфер и газовых туманностей
- методами астрономического и физического анализа наблюдательных данных
- методами критического анализа модельных расчетов

4. должен демонстрировать способность и готовность:

-

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

Общая трудоемкость дисциплины составляет 9 зачетных(ые) единиц(ы) 324 часа(ов).

Форма промежуточного контроля дисциплины: экзамен в 7 семестре; экзамен в 8 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. Физические законы для газа в звездных атмосферах.	7	1	4	2	0	

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	
2.	Тема 2. Модели лучистых звездных атмосфер в сером приближении.	7	2-3	6	2	0	
3.	Тема 3. Источники непрерывного поглощения в фотосферах звезд.	7	4-5	6	2	0	
4.	Тема 4. Расчеты моделей звездных фотосфер и их спектров.	7	6-7	4	4	0	
5.	Тема 5. Модели фотосфер для звезд разных классов.	7	8	4	2	0	Контрольная работа
6.	Тема 6. Образование линий в спектрах звезд.	7	9-10	6	4	0	
7.	Тема 7. Источники селективного поглощения.	7	11-12	6	2	0	
8.	Тема 8. Образование спектральных линий.	7	13-14	4	4	0	
9.	Тема 9. Особенности формирования линий водорода, гелия и металлов.	7	15-16	6	2	0	Контрольная работа
10.	Тема 10. Специальные проблемы анализа спектров звезд.	7	17-18	4	4	0	
11.	Тема 11. Состав и характеристики межзвездной среды.	8	1	2	0	0	
12.	Тема 12. Свойства межзвездного газа.	8	2-3	2	2	2	
13.	Тема 13. Ионизация газа в зонах HII.	8	3-4	2	2	2	
14.	Тема 14. Формирование излучения зон HII.	8	5	2	2	2	
15.	Тема 15. Формирование спектров рекомбинационных линий.	8	6	2	2	0	Контрольная работа
16.	Тема 16. Линии HI в радиодиапазоне.	8	7	2	2	2	
17.	Тема 17. Формирование запрещенных линий.	8	8	4	2	2	
18.	Тема 18. Методы Занстра.	8	9	2	2	2	
19.	Тема 19. Формирование непрерывных спектров зон HII.	8	10	2	2	2	
20.	Тема 20. Тепловое состояние зон HII.	8	11	2	2	0	Контрольная работа
21.	Тема 21. Ионизация газа в зонах HI	8	12	2	2	0	

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	
22.	Тема 22. Формирование молекул в холодном газе.	8	13	2	2	0	
23.	Тема 23. Формирование линий поглощения в зонах H <sub>I</sub> .	8	14	2	2	2	
24.	Тема 24. Формирование и наблюдения линии H <sub>I</sub> 21 см.	8	15	2	2	2	
25.	Тема 25. Молекулярные линии и мазеры	8	16-17	4	2	0	
26.	Тема 26. Тепловое состояние областей H <sub>I</sub> .	8	17-18	2	2	0	Контрольная работа
.	Тема . Итоговая форма контроля	7		0	0	0	Экзамен
.	Тема . Итоговая форма контроля	8		0	0	0	Экзамен
	Итого			86	58	18	

#### 4.2 Содержание дисциплины

##### Тема 1. Физические законы для газа в звездных атмосферах.

###### **лекционное занятие (4 часа(ов)):**

Механизм переноса энергии в атмосферах звезд. Характеристики поля излучения. Взаимодействие излучения и вещества. Коэффициенты поглощения и излучения. Истинное поглощение и рассеяние.

###### **практическое занятие (2 часа(ов)):**

Уравнение переноса. Функция источника. Условие лучистого равновесия. Понятие о ЛТР. Формулы Больцмана, Саха, Максвелла. Функция

##### Тема 2. Модели лучистых звездных атмосфер в сером приближении.

###### **лекционное занятие (6 часа(ов)):**

Теория лучистого равновесия для коэффициента поглощения, не зависящего от частоты.

###### **практическое занятие (2 часа(ов)):**

Распределение температуры в фотосфере с глубиной, закон потемнения диска звезды к краю, непрерывный спектр.).

##### Тема 3. Источники непрерывного поглощения в фотосферах звезд.

###### **лекционное занятие (6 часа(ов)):**

Коэффициенты непрерывного поглощения. Коэффициент поглощения для водородоподобных атомов: фотоионизация, учет вынужденного излучения, свободно-свободные переходы. Другие источники поглощения: неводородоподобные атомы, отрицательные ионы водорода, рассеяние излучения свободными электронами.

###### **практическое занятие (2 часа(ов)):**

Источники поглощения излучения в фотосферах звезд различных спектральных классов.

##### Тема 4. Расчеты моделей звездных фотосфер и их спектров.

###### **лекционное занятие (4 часа(ов)):**

Основные принципы расчетов моделей звездных фотосфер.

###### **практическое занятие (4 часа(ов)):**

Использование моделей фотосфер для интерпретации непрерывных спектров звезд, скачки в излучении, градиенты.

#### **Тема 5. Модели фотосфер для звезд разных классов.**

##### ***лекционное занятие (4 часа(ов)):***

Некоторые общие решения проблемы лучистого равновесия и строения фотосфер звезд различных спектральных классов: методы последовательных приближений Стремгрена, Унзоьлда. Современное состояние теории звездных фотосфер.

##### ***практическое занятие (2 часа(ов)):***

Итоги применения к Солнцу, к звездам спектральных классов, близких к солнечному, к горячим звездам классов O и B.

#### **Тема 6. Образование линий в спектрах звезд.**

##### ***лекционное занятие (6 часа(ов)):***

Механизм образования линий в спектрах звезд: истинное поглощение и рассеяние. Вероятности переходов между уровнями атома. Решение уравнения переноса для линии в случае когерентного рассеяния.

##### ***практическое занятие (4 часа(ов)):***

Вывод уравнения переноса с учетом процессов рассеяния и истинного поглощения. Решение уравнения переноса для частот внутри линии поглощения: а) для модели Милна-Эддингтона, б) численное интегрирование.

#### **Тема 7. Источники селективного поглощения.**

##### ***лекционное занятие (6 часа(ов)):***

Коэффициенты селективного поглощения. Затухание вследствие излучения, совместное действие затухания и движения атомов.

##### ***практическое занятие (2 часа(ов)):***

Эффекты давления: статистическое уширение линий и уширение вследствие столкновений

#### **Тема 8. Образование спектральных линий.**

##### ***лекционное занятие (4 часа(ов)):***

Элементарная теория контуров спектральных линий, элементарная теория кривых роста. Методы построения кривых роста по наблюдениям.

##### ***практическое занятие (4 часа(ов)):***

Кривые роста для модели Милна-Эддингтона. Сравнение различных моделей. Турбулентные скорости в атмосферах звезд.

#### **Тема 9. Особенности формирования линий водорода, гелия и металлов.**

##### ***лекционное занятие (6 часа(ов)):***

Истолкование наблюдаемых контуров линий в спектрах Солнца и звезд. Изменение контуров линий от центра к краю диска. Учет некогерентности процессов рассеяния, центральные остаточные интенсивности.

##### ***практическое занятие (2 часа(ов)):***

Линии металлов и турбулентность, бальмеровская серия, определение ускорения силы тяжести по линиям бальмеровской серии. Линии гелия. Искажение контуров вращением звезд, звезды с магнитным полем.

#### **Тема 10. Специальные проблемы анализа спектров звезд.**

##### ***лекционное занятие (4 часа(ов)):***

Методы изучения химсостава звезд. Применение элементарной теории кривых роста, уточненные методы изучения химического состава звезд. Результаты изучения химсостава звезд.

##### ***практическое занятие (4 часа(ов)):***

Современное состояние теории образования линий. Не-ЛТР подход к теории образований линий.

#### **Тема 11. Состав и характеристики межзвездной среды.**

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Компоненты межзвездной среды. Газ во Вселенной. Параметры и распределение газа в Галактике. Наблюдаемые формы и характеристики газа. Пыль: основные параметры и условия наблюдений. Космические лучи: распределение по энергиям и направлениям. Магнитное поле Галактики.

**Тема 12. Свойства межзвездного газа.**

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Основные принципы описание межзвездной плазмы. Условие идеальности газа. Распределение частиц по скоростям: времена установления максвелловского распределения и кинетической температуры. Фактор диллюции. Характеристики межзвездного поля излучения.

**практическое занятие (2 часа(ов)):**

Теорема Росселанда. Уравнения стационарности и его компоненты. Механизмы перераспределения атомов по состояниям.

**лабораторная работа (2 часа(ов)):**

**Тема 13. Ионизация газа в зонах III.**

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Скорости ионизации и рекомбинации газа. Степень ионизации атомов в окрестностях горячих звезд. Случаи оптически тонких и толстых туманностей.

**практическое занятие (2 часа(ов)):**

Зоны Стремгрена и модель слоистой структуры туманностей.

**лабораторная работа (2 часа(ов)):**

**Тема 14. Формирование излучения зон III.**

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Краткий обзор наблюдений областей III.

**практическое занятие (2 часа(ов)):**

Механизмы свечения туманностей: рекомбинационный, ударного возбуждения.

**лабораторная работа (2 часа(ов)):**

**Тема 15. Формирование спектров рекомбинационных линий.**

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Рекомбинационные линии. Уравнения стационарности. Населенности атома H I. Интенсивности линий. Мера эмиссии. Бальмеровский декремент.

**практическое занятие (2 часа(ов)):**

Определение межзвездного поглощения по рекомбинационным линиям.

**Тема 16. Линии H I в радиодиапазоне.**

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Возбуждение уровней атомов H I с  $i > 40$  в зоне III.

**практическое занятие (2 часа(ов)):**

Условия, необходимые для мазерного усиления рекомбинационных линий H I.

**лабораторная работа (2 часа(ов)):**

**Тема 17. Формирование запрещенных линий.**

**лекционное занятие (4 часа(ов)):**

Запрещенные линии. Условия свечения в запрещенных линиях. Скорости ударного возбуждения тяжелых атомов. Уравнения стационарности.

**практическое занятие (2 часа(ов)):**

Интенсивности линий. Определение Te и Ne по запрещенным линиям.

**лабораторная работа (2 часа(ов)):**

### **Тема 18. Методы Занстра.**

#### ***лекционное занятие (2 часа(ов)):***

Методы Занстра I и II типов и Амбарцумяна. Источники ошибок разных методов и способы их уменьшения.

#### ***практическое занятие (2 часа(ов)):***

Определение температуры возбуждающей звезды по рекомбинационным линиям.

#### ***лабораторная работа (2 часа(ов)):***

### **Тема 19. Формирование непрерывных спектров зон III.**

#### ***лекционное занятие (2 часа(ов)):***

Непрерывный спектр. Тормозное и рекомбинационное излучение. Двухфотонное излучение. Распределение энергии в радиодиапазоне.

#### ***практическое занятие (2 часа(ов)):***

Определение меры эмиссии по частоте перегиба спектра.

#### ***лабораторная работа (2 часа(ов)):***

### **Тема 20. Тепловое состояние зон III.**

#### ***лекционное занятие (2 часа(ов)):***

Функции нагрева и охлаждения.

#### ***практическое занятие (2 часа(ов)):***

Общее уравнение теплового состояния и его решение.

### **Тема 21. Ионизация газа в зонах II**

#### ***лекционное занятие (2 часа(ов)):***

Краткий обзор наблюдений областей II. Ионизационное равновесие.

#### ***практическое занятие (2 часа(ов)):***

Фотоионизация тяжелых атомов, ионизация космическими лучами, реакции перезарядки.

### **Тема 22. Формирование молекул в холодном газе.**

#### ***лекционное занятие (2 часа(ов)):***

Механизмы образования и диссоциации молекул в м/з среде. Механизмы образование распространенных молекул.

#### ***практическое занятие (2 часа(ов)):***

Систематика энергетических состояний молекул.

### **Тема 23. Формирование линий поглощения в зонах II.**

#### ***лекционное занятие (2 часа(ов)):***

Линии поглощения межзвездной среды. Теоретическая кривая роста. Метод дублетов.

#### ***практическое занятие (2 часа(ов)):***

Определение лучевой концентрации поглощающих атомов, температур и дисперсии скоростей облаков II.

#### ***лабораторная работа (2 часа(ов)):***

### **Тема 24. Формирование и наблюдения линии II 21 см.**

#### ***лекционное занятие (2 часа(ов)):***

Линия II 21 см. Интенсивность линии в эмиссии и в поглощении.

#### ***практическое занятие (2 часа(ов)):***

Определение концентрации водорода в Галактике и температуры облаков нейтрального водорода.

#### ***лабораторная работа (2 часа(ов)):***

### **Тема 25. Молекулярные линии и мазеры**

#### ***лекционное занятие (4 часа(ов)):***

Молекулярные радиолнии. Уравнение теплового состояния молекулярных облаков. Межзвездные мазеры. Механизмы накачки. Ненасыщенный и насыщенный мазеры.

**практическое занятие (2 часа(ов)):**

Определение температур облаков и концентрации молекул.

**Тема 26. Тепловое состояние областей III.**

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Стационарная многофазная модель межзвездной среды.

**практическое занятие (2 часа(ов)):**

Источники нагрева и охлаждения.

**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
5.	Тема 5. Модели фотосфер для звезд разных классов.	7	8	подготовка к контрольной работе	24	Контрольная работа
9.	Тема 9. Особенности формирования линий водорода, гелия и металлов.	7	15-16	подготовка к контрольной работе	24	контрольная работа
15.	Тема 15. Формирование спектров рекомбинационных линий.	8	6	подготовка к контрольной работе	14	контрольная работа
20.	Тема 20. Тепловое состояние зон III.	8	11	подготовка к контрольной работе	12	контрольная работа
26.	Тема 26. Тепловое состояние областей III.	8	17-18	подготовка к контрольной работе	16	контрольная работа
	Итого				90	

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

Основная образовательная технология - лекционная подача материала.

Лекционный материал подается как в классической форме информационной лекции, так и форме подачи видеоматериала с последующими комментариями; проведение интерактивных занятий: лекция-визуализация, проблемная лекция.

На лекциях предусматриваются выступления студентов с информационными сообщениями с последующим обсуждением, организация "круглых столов" по изучаемой проблеме, постановка проблемы и ее решение методом "мозгового штурма", попытки выдвижения и анализа возможных гипотез.

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

**Тема 1. Физические законы для газа в звездных атмосферах.**

**Тема 2. Модели лучистых звездных атмосфер в сером приближении.**

**Тема 3. Источники непрерывного поглощения в фотосферах звезд.**

**Тема 4. Расчеты моделей звездных фотосфер и их спектров.**

**Тема 5. Модели фотосфер для звезд разных классов.**

Контрольная работа , примерные вопросы:

Контрольная работа с решением задач по моделированию фотосфер звезд.

**Тема 6. Образование линий в спектрах звезд.**

**Тема 7. Источники селективного поглощения.**

**Тема 8. Образование спектральных линий.**

**Тема 9. Особенности формирования линий водорода, гелия и металлов.**

контрольная работа , примерные вопросы:

Контрольная работа с решением задач по моделированию звездных спектров.

**Тема 10. Специальные проблемы анализа спектров звезд.**

**Тема 11. Состав и характеристики межзвездной среды.**

**Тема 12. Свойства межзвездного газа.**

**Тема 13. Ионизация газа в зонах HII.**

**Тема 14. Формирование излучения зон HII.**

**Тема 15. Формирование спектров рекомбинационных линий.**

контрольная работа , примерные вопросы:

Контрольная работа с решением задач по расчету ионизационного равновесия и интенсивностей разрешенных линий в зонах HII.

**Тема 16. Линии HI в радиодиапазоне.**

**Тема 17. Формирование запрещенных линий.**

**Тема 18. Методы Занстра.**

**Тема 19. Формирование непрерывных спектров зон HII.**

**Тема 20. Тепловое состояние зон HII.**

контрольная работа , примерные вопросы:

Контрольная работа с решением задач по расчету интенсивностей запрещенных линий и непрерывного спектра в зонах HII.

**Тема 21. Ионизация газа в зонах HI**

**Тема 22. Формирование молекул в холодном газе.**

**Тема 23. Формирование линий поглощения в зонах HI.**

**Тема 24. Формирование и наблюдения линии HI 21 см.**

**Тема 25. Молекулярные линии и мазеры**

**Тема 26. Тепловое состояние областей HI.**

контрольная работа , примерные вопросы:

Контрольная работа с решением задач по ионизационного равновесия, интенсивностей линий поглощения металлов и молекулярных линий в зонах HI.

**Итоговая форма контроля**

экзамен (в 7 семестре)

**Итоговая форма контроля**

экзамен (в 8 семестре)

### Примерные вопросы к итоговой форме контроля

1. Основные уравнения состояния электронов, ионов и атомов в м/з среде.
2. Теорема Росселанда.
3. Степень ионизации H в областях HII для случаев оптически тонкой и оптически толстой сред в лаймановском континууме.
4. Зоны Стремгрена: степень ионизации, радиус зоны, толщина переходной области.
5. У каких атомов могут наблюдаться запрещенные линии? Какие ограничения на концентрацию частиц в зоне HII накладывает свечение в запрещенных линиях?
8. Населенности возбужденных уровней атомов H и интенсивности бальмеровских линий в зоне HII.
9. Возбуждение уровней атомов HI с  $i > 40$  в зоне HII. Условия, необходимые для мазерного усиления рекомбинационных линий H.
10. Заселение уровней электронным ударом и интенсивности запрещенных линий.
11. Функции нагрева и охлаждения областей HII.
12. Методы определения Te в зонах HII.
13. Методы определения Ne в областях HII.
14. Непрерывный спектр ПТ в визуальной части спектра.
15. Непрерывный спектр зон HII в радиодиапазоне.
16. Определение температуры центральной звезды методами Занстра.
17. Степень ионизации H и тяжелых атомов в областях HI.
18. Молекулы в областях HI. механизмы ассоциации и диссоциации.
19. Межзвездные линии поглощения. Теоретическая кривая роста линий поглощения м/з среды. Метод дублетов.
20. Образование межзвездной линии  $\lambda$  21 см в эмиссии и абсорбции. Интенсивность линии.
21. Молекулярные линии в поглощении и излучении, условия их формирования.
22. Методы определения Te и nH в областях HI.
23. Мазерные линии, мазеры. Условия формирования линий, мазерная накачка.
24. Функции нагрева и охлаждения областей HI и их тепловое равновесие.

### 7.1. Основная литература:

1. Общая астрофизика / А. В. Засов, К. А. Постнов ; МГУ, Физ. фак., Гос. астроном. ин-т им. П. К. Штернберга .? 3-е изд., [испр. и доп.] .? Фрязино : Век 2, 2015 .? 573 с. : ил.
2. 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)
3. 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/Sakhbullin.N.A..Teoreticheskaya.astrofizika.ch.1..pdf>
4. 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/Sakhbullin.N.A..Teoreticheskaya.astrofizika.ch.2..pdf](https://kpfu.ru/portal/docs/F_891964453/Sakhbullin.N.A..Teoreticheskaya.astrofizika.ch.2..pdf)
5. 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/Sakhbullin.N.A..Teoreticheskaya.astrofizika.ch.3..pdf>

## 7.2. Дополнительная литература:

1. Соболев В. В. Курс теоретической астрофизики, 3-е изд., перераб. М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1985. 504 с. (НБ-21 экз.)
2. Бисикало, Я.В. Газодинамика тесных двойных звезд. [Электронный ресурс] / Я.В. Бисикало, А.Г. Жилкин, А.А. Боярчук. Электрон. дан. М.: Физматлит, 2012. 630 с. Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/48292>
3. Астрономические наблюдения / Г. Уокер. Москва: Мир, 1990. 351 с. (НБ -11 экз.)
4. Труды Всероссийской астрономической конференции ВАК - 2007 / [ред.: Н. А. Сахибуллин и др.]. Казань: Изд-во Казанского государственного университета, 2007. 535 с.: ил.; 21.

В надзаг.: Рос. акад. наук, Правительство Респ. Татарстан, Рос. Фонд фундамент. исслед., Казан. гос. ун-т, Акад. наук Респ. Татарстан. Библиогр. в конце отд. ст., 350. (НБ - 2 экз., фонд кафедры - 15 экз.)

## 7.3. Интернет-ресурсы:

В.В. Иванов - Физика переноса излучения - [www.astro.spbu.ru](http://www.astro.spbu.ru)

всемирная поисковая и информационная база астрофизической и спектроскопической литературы - [adsabs.harvard.edu](http://adsabs.harvard.edu)

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

Нагирнер Д.И. Лекции по теории переноса излучения - [www.astro.spbu.ru](http://www.astro.spbu.ru)

Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU Подробности:

[http://kpfu.ru/main\\_page?p\\_sub=8226](http://kpfu.ru/main_page?p_sub=8226) Любое использование материалов допускается только при наличии гиперссылки на портал КФУ ([kpfu.ru](http://kpfu.ru)) - eLIBRARY.RU

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

Освоение дисциплины "Теоретическая астрофизика" 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.

- студенты имеют возможность получать доступ к электронным ресурсам КГУ и сети Интернет через в аудитории для самостоятельной работы и с личных мобильных устройств через WiFi-станцию;
- 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):

Сахибуллин Н.А. \_\_\_\_\_

Шиманский В.В. \_\_\_\_\_

"\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.

Рецензент(ы):

Бикмаев И.Ф. \_\_\_\_\_

"\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.