

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. Таюрский Д.А.

" " 20\_\_ г.

**Программа дисциплины**  
Теоретическая астрофизика Б1.Б.31

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 № \_\_\_\_ от "\_\_\_\_" \_\_\_\_ 201\_\_ г

Учебно-методическая комиссия Института физики:

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

Регистрационный №

Казань  
2019

## **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.Sakhibullin@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.31 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<br>(профессиональные компетенции) | способность ориентироваться в базовых астрономических и физико-математических теориях и применять их в научных исследованиях  |
| ПК-1<br>(профессиональные компетенции)  | владение методами астрономического, физического и математического исследования при анализе глобальных проблем на основе глубоких знаний фундаментальных физико-математических дисциплин |
| ПК-4<br>(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<br>Дисциплины/<br>Модуля   | Семестр | Неделя<br>семестра | Виды и часы<br>аудиторной работы,<br>их трудоемкость<br>(в часах) |                         |                        | Текущие формы<br>контроля |
|----|---|---------|--------------------|---|-------------------------|------------------------|---------------------------|
|    |   |         |                    | Лекции  | Практические<br>занятия | Лабораторные<br>работы |                           |
| 1. | Тема 1. Физические<br>законы для газа в<br>звездных атмосферах.         | 7       | 1                  | 4   | 2                       | 0                      |                           |
| 2. | Тема 2. Модели<br>лучистых звездных<br>атмосфер в сером<br>приближении. | 7       | 2-3                | 6   | 2                       | 0                      |                           |

| N   | Раздел<br>Дисциплины/<br>Модуля                                    | Семестр | Неделя<br>семестра | Виды и часы<br>аудиторной работы,<br>их трудоемкость<br>(в часах) |                         |                        | Текущие формы<br>контроля |
|-----|--|---------|--------------------|---|-------------------------|------------------------|---------------------------|
|     |  |         |                    | Лекции  | Практические<br>занятия | Лабораторные<br>работы |                           |
| 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<br>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<br>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<br>работа     |
| 16. | Тема 16. Линии H I 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                      |                           |

| N   | Раздел<br>Дисциплины/<br>Модуля                     | Семестр | Неделя<br>семестра | Виды и часы<br>аудиторной работы,<br>их трудоемкость<br>(в часах) |                         |                        | Текущие формы<br>контроля |
|-----|---|---------|--------------------|---|-------------------------|------------------------|---------------------------|
|     |   |         |                    | Лекции  | Практические<br>занятия | Лабораторные<br>работы |                           |
| 19. | Тема 19. Формирование непрерывных спектров зон HII. | 8       | 10                 | 2   | 2                       | 2                      |                           |
| 20. | Тема 20. Тепловое состояни зон HII.                 | 8       | 11                 | 2   | 2                       | 0                      | Контрольная<br>работа     |
| 21. | Тема 21. Ионизация газа в зонах HI                  | 8       | 12                 | 2   | 2                       | 0                      |                           |
| 22. | Тема 22. Формирование молекул в холодном газе.      | 8       | 13                 | 2   | 2                       | 0                      |                           |
| 23. | Тема 23. Формирование линий поглощения в зонах HI.  | 8       | 14                 | 2   | 2                       | 2                      |                           |
| 24. | Тема 24. Формирование и наблюдения линии HI 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 HI.            | 8       | 17-18              | 2   | 2                       | 0                      | Контрольная<br>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, Унзольда. 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 О и В.

### **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. Турублентные 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 образования 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 HII.**

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

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

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

Зоны Стремгrena и модель слоистой структуры туманностей.

**лабораторная работа (2 часа(ов)):**

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

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Краткий обзор наблюдений областей HII.

**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 HII.

Интенсивности линий. Мера эмиссии. Бальмеровский декремент.

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

Определение межзвездного поглощения по рекомбинационным линиям.

## **Тема 16. Линии H<sub>I</sub> в радиодиапазоне.**

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

Возбуждение уровней атомов H<sub>I</sub> с  $i > 40$  в зоне H<sub>II</sub>.

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

Условия, необходимые для мазерного усиления рекомбинационных линий H<sub>I</sub>.

### **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 H<sub>II</sub>.**

### **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 состояния зон H<sub>II</sub>.**

### **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 H<sub>I</sub>**

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

Краткий обзор наблюдений областей H<sub>I</sub>. 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 образования распространенных молекул.

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

Систематика энергетических состояний молекул.

## **Тема 23. Формирование линий поглощения в зонах H<sub>I</sub>.**

### **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 HI.

**лабораторная работа (2 часа(ов)):**

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

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Линия HI 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 радиолинии. 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 HI.**

**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<br>Дисциплины   | Семестр | Неделя<br>семестра | Виды<br>самостоятельной<br>работы<br>студентов | Трудоемкость<br>(в часах) | Формы контроля<br>самостоятельной<br>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 HII.                               | 8       | 11                 | подготовка к контрольной работе                | 12                        | контрольная работа                          |
| 26.   | Тема 26. Тепловое состояние областей HI.                           | 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 состояни 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 HII.

**Итоговая форма контроля**

экзамен (в 8 семестре)

**Итоговая форма контроля**

экзамен (в 7 семестре)

Примерные вопросы к экзамену:

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 Стремгrena: 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 H I 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 HII.
18. Молекулы в областях HII. механизмы ассоциации и диссоциации.
19. Межзвездные линии поглощения. Теоретическая кривая роста линий поглощения м/з среды. Метод дублетов.
20. Образование межзвездной линии 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 HII.
23. Мазерные линии, мазеры. Условия формирования линий, мазерная накачка.
24. Функции нагрева и охлаждения областей HII 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. ; 22 .? Библиогр.: с. 565-566 .? Предм. указ.: с. 567-573 .? ISBN 978-5-85099-194-4 ((в пер.)) , 1000. (НБ - 13 экз)
2. Шиманский В.В. Астрофизический спецпрактикум: учеб.-метод. пособие / В.В.Шиманский, Р.С. Плясун , Н.Н. Шиманская. - Казань: Казан. ун-т, 2011. - Ч. 2. Физика межзвездной среды. - 50 с. (фонд кафедры - 25 экз.)

3. Шиманский, Владислав Владимирович (канд. физ.-мат. наук ; 1969 -) . Астрофизический спецпрактикум [Текст: электронный ресурс] : учебно-методическое пособие / В. В. Шиманский, Р. С. Плясун, Н. Н. Шиманская .? (Казань : Казанский федеральный университет, 2010) . Ч. 2: Физика межзвездной среды [Текст: электронный ресурс] .? Электронные данные (1 файл: 1,04 Мб) .? (Казань : Казанский федеральный университет, 2010) .? Загл. с экрана .? Для 9-го семестра. Режим доступа: только для студентов и сотрудников КФУ .? URL:[http://libweb.kpfu.ru/ebooks/06-IPh/06\\_046\\_A5-000560.pdf](http://libweb.kpfu.ru/ebooks/06-IPh/06_046_A5-000560.pdf).
4. Гусейханов, М.К. Основы астрофизики [Электронный ресурс] : учеб. пособие / М.К. Гусейханов. ? Электрон. дан. ? Санкт-Петербург : Лань, 2017. ? 208 с. <https://e.lanbook.com/book/93593>

## **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) - eLIBRARY.RU  
Соболев В. В. Курс теоретической астрофизики,? 3-е изд., перераб.? М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1985.?504 с. - [www.astro.spbu.ru](http://www.astro.spbu.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: Micrsft Pwer Pint в составе Micrsft 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 Micrsft);
- 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.