

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

Моделирование и анализ сложных астрофизических объектов Б1.Б.46

Специальность: 03.05.01 - Астрономия

Специализация: не предусмотрено

Квалификация выпускника: Астроном. Преподаватель

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

**Автор(ы):**

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 6205019

## 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) 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 физического состояния, эволюции, формирования излучения сложных астрофизических систем, теоретических основ тех методов, которые используются в астрофизике при определении фундаментальных характеристик звезд.

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

Данная учебная дисциплина включена в раздел "Б1.Б.46 Дисциплины (модули)" основной образовательной программы 03.05.01 Астрономия и относится к базовой (общепрофессиональной) части. Осваивается на 5 курсе, 9 семестр.

Данная учебная дисциплина включена в раздел 'Б1.Б.42 Дисциплины (модули)' основной профессиональной образовательной программы 03.05.01 'Астрономия (не предусмотрено)' и относится к базовой (общепрофессиональной) части. Осваивается на 5 курсе в 9 семестре.

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-12 (профессиональные компетенции)	владение методами физического и математического моделирования при анализе глобальных проблем на основе глубоких знаний фундаментальных физико-математических дисциплин, теории наблюдений и эксперимента с использованием электронных средств получения, хранения и обработки информации
ПК-2 (профессиональные компетенции)	владение методами физического, математического и алгоритмического моделирования при анализе научных проблем астрономии и смежных наук
ПК-5 (профессиональные компетенции)	способность вести междисциплинарные исследования на стыке астрономии с физикой и математикой и другими естественными науками

В результате освоения дисциплины студент:

1. должен знать:

- теорию эволюции одиночных звезд и тесных двойных систем;
- теорию физического строения звезд;
- методы наблюдений звезд и их первичной обработки;
- теорию формирования атмосфер и спектров звезд;
- методы моделирования излучения сложных астрофизических систем;
- методы определения параметров систем из анализа наблюдений

2. должен уметь:

- проводить первичную обработку различного наблюдательного материала;
- применять современные методы анализа оптического излучения двойных систем;
- использовать современные комплексы моделирования оптического излучения;
- строить карты распределения излучения в сложных системах;
- определять фундаментальные параметры систем из наблюдений;
- анализировать результаты с точки зрения теории формирования и эволюции звезд.

3. должен владеть:

- терминологическим аппаратом в области звезд и сложных астрофизических систем;
- методами моделирования и количественного анализа оптического излучения;
- методами критического обобщения результатов исследований.

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

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных(ые) единиц(ы) 144 часа(ов).

Форма промежуточного контроля дисциплины: экзамен 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. Современные подходы в моделировании звездных атмосфер.	9		2	0	0	
2.	Тема 2. Формирование атмосфер звезд в двойных системах.	9		2	4	0	
3.	Тема 3. Эволюция звезд больших и умеренных масс.	9		2	4	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	
4.	Тема 4. Эволюция двойных систем умеренных масс.	9		2	0	0	
5.	Тема 5. Предкатаклизмические переменные	9		2	4	0	
6.	Тема 6. Маломассивные катаклизмические переменные	9		2	6	0	
7.	Тема 7. Новые и карликовые Новые разных типов.	9		2	6	0	
8.	Тема 8. 8. Поляры и промежуточные поляры.	9		2	6	0	
9.	Тема 9. Эволюция двойных систем больших масс.	9		2	6	0	
.	Тема . Итоговая форма контроля	9		0	0	0	Экзамен
	Итого			18	36	0	

#### 4.2 Содержание дисциплины

##### Тема 1. Современные подходы в моделировании звездных атмосфер.

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

Источники непрозрачности в рентгеновском, ультрафиолетовом и оптическом диапазонах спектра. Методы температурной коррекции. Учет эффектов конвекции. Современные модели атмосфер нормальных звезд.

##### Тема 2. Формирование атмосфер звезд в двойных системах.

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

Общая задача о формировании облученной атмосферы и ее аналитическое решение. Функции нагрева атмосфер внешним излучением и способы их представления. Функция охлаждения звездного газа. Современные результаты моделирования облучаемых атмосфер. Температурная структура атмосфер с различными типами внешнего облучения.

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

Моделирование структуры и выходящего излучения звездных атмосфер разных спектральных классов с варьированием характеристик падающего рентгеновского и ультрафиолетового излучения.

##### Тема 3. Эволюция звезд больших и умеренных масс.

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

Особенности жизни на стадиях голубых и красных сверхгигантов, LBV-, WRN- и WRC-звезд. Потеря вещества со звездным ветром и его влияние на эволюцию звезд. Вспышки SNIbc и SNIИ с образованием нейтронных звезд и черных дыр. Распределении масс релятивистских объектов. Формирование планетарных туманностей, субкарликов пост-асимптотической и пост-горизонтальной ветви и их последующая эволюция. Современные результаты моделирования эволюционных треков одиночных звезд.

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

Первичная обработка мультиполосных фотометрических наблюдений избранных предкатаклизмических переменных (ПП) с анализом переменности звезд поля, точности апертурной фотометрии и построением фазовых кривых блеска ПП в шкале орбитального периода.

#### **Тема 4. Эволюция двойных систем умеренных масс.**

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

Системы с общей оболочкой и происходящие в них процессы. Механизм потери углового момента. Формы и структура планетарных туманностей вокруг тесных двойных систем.

#### **Тема 5. Предкатаклизмические переменные**

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

Современная классификация предкатаклизмических переменных (ПП). Физическое состояние и эволюция компонент ПП. Механизмы потери углового момента и эволюция систем к стадии катаклизмических переменных. Методы анализа наблюдений ПП и определения их параметров. Факторы, учитываемые при моделировании излучения ПП. Исследование химического состава ПП. Характеристики ПП разных типов и их особенности. Моделирование и анализ кривых блеска ПП с учетом эффектов отражения и несферичности и получение оценок радиусов компонент и углов наклона орбит.

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

Моделирование и анализ спектров ПП с определением параметров и химического состава атмосфер их компонент, измерением наборов лучевых скоростей, построением и исследованием кривых лучевых скоростей с вычислением функций масс и масс компонент.

#### **Тема 6. Маломассивные катаклизмические переменные**

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

Общие характеристики и современная классификация маломассивных катаклизмических переменных (КП). Условия формирования дисковой аккреции. Теория  $\alpha$ -дисков Шакуры-Сюняева и природа турбулентной вязкости. Современные гидродинамические расчеты структуры аккреционных дисков. Условия формирования колонковой аккреции. Понятие альвеновского радиуса и его влияние на характер аккреции.

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

Исследование мультиполосных кривых блеска избранных катаклизмических переменных (КП) с определением их фотометрических и орбитальных периодов, амплитуд обычных вспышек, сверхвспышек, сверхгорбов и квазипериодических осцилляций.

#### **Тема 7. Новые и карликовые Новые разных типов.**

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

Природа термоядерных вспышек классических Новых и их влияние на эволюцию катаклизмических переменных. Механизм вспышек карликовых Новых и последующая эволюция их аккреционных дисков. Методы моделирования и анализа излучения и определения параметров КП. Способы измерения лучевых скоростей в системах с точеными и протяженными источниками излучения. Доплеровская томография и особенности ее применения.

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

Анализ наблюдаемых спектров КП в низком состоянии с модельным описанием их оптическим излучением белых карликов и определением их параметров атмосфер. Использование трехпараметрических моделей белых карликов для нахождения их фундаментальных параметров (массы радиуса). Вычисление размеров полостей Роша КП по измерениям межпиковых ширин бальмеровских линий H $\beta$ .

#### **Тема 8. Поляры и промежуточные поляры.**

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

Магнитное поле полярных звезд. Типы аккреции в полярных звездах, понятие о синхронизации. Характеристики рентгеновского излучения полярных звезд и его влияния на формирование оптических спектров. Природа циклотронного излучения и способы его моделирования. Методы анализа наблюдений полярных звезд и определения их характеристик.

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

Исследование оптических спектров классических полярных измерением лучевых скоростей их компонент, построением кривых лучевых скоростей и вычислением функций масс.  
Доплеровское картирование полярных по оптическим спектрам с нахождением доминирующих зон излучения линий. Определение фундаментальных параметров полярных с применением эволюционных треков звезд Главной Последовательности.

### Тема 9. Эволюция двойных систем больших масс.

#### лекционное занятие (2 часа(ов)):

Вспышки Сверхновых и образование массивных рентгеновских систем (MPC). Ветровая и дисковая аккреция вещества в массивных системах. Понятие сверхкритической аккреции и условия ее формирования. Рентгеновское излучение MPC и его влияние на оптические спектры. Высокие и низкие состояния, вспышки в MPC и их природа. Способы моделирования кривых блеска и спектров массивных систем, измерения и анализа их лучевых скоростей. Методы и современные результаты определения характеристик MPC.

#### практическое занятие (6 часа(ов)):

Исследование оптических спектров и кривых блеска массивных рентгеновских систем Cyg X-1 и Sco X-1. Получение оценок эффектов отражения, углов наклона орбит и параметров атмосфер горячих сверхгигантов в этих системах.

### 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
2.	Тема 2. Формирование атмосфер звезд в двойных системах.	9		подготовка отчета по практическому заданию темы 2	4	Прием отчета по практическому заданию темы 2
5.	Тема 5. Предкатаклизмические переменные	9		подготовка общего отчета по практическим заданиям тем 3 и 5	6	Прием общего отчета по практическим заданиям тем 3 и 5
6.	Тема 6. Маломассивные катаклизмические переменные	9		подготовка отчета по практическому заданию темы 6	8	Прием отчета по практическому заданию темы 6
7.	Тема 7. Новые и карликовые Новые разных типов.	9		подготовка общего отчета по практическим заданиям тем 6 и 7	6	Прием общего отчета по практическим заданиям тем 6 и 7

№	Раздел дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды самостоятельной работы студентов	Трудоемкость (в часах)	Формы контроля самостоятельной работы
8.	Тема 8. 8. Поляры и промежуточные поляры.	9		подготовка отчета по практическому заданию темы 8	6	Прием отчета по практическому заданию темы 8
9.	Тема 9. Эволюция двойных систем больших масс.	9		подготовка отчета по практическому заданию темы 9	6	Прием отчета по практическому заданию темы 9
	Итого				36	

## 5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения

Образовательная технология включает гибкое взаимодействие двух основных форм обучения - лекционного изложения материала и практической реализацией конкретных методов исследования сложных систем разных типов. Практические работы предусматривают как стандартную первичную обработку наблюдательных данных, так и численное моделирование излучения с применением современных специализированных программных комплексов. Для большинства типов объектов предполагается совместный анализ фотометрического и спектроскопического материала с привлечением литературных данных о моделях строения строения и эволюции объектов. Конечным результатом работ считается классификация систем, определение их физического состояния и наборов фундаментальных параметров. Особое внимание уделяется развитию у учащихся навыков применения современных теоретических и методических достижений в прикладных исследованиях.

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

### Тема 1. Современные подходы в моделировании звездных атмосфер.

### Тема 2. Формирование атмосфер звезд в двойных системах.

Прием отчета по практическому заданию темы 2 , примерные вопросы:

Структуры моделей атмосфер и спектральное распределение излучаемых потоков для звезд разных типов с внешним облучением. Выводы о влиянии рентгеновского и ультрафиолетового облучения на структуру модели и профили линий.

### Тема 3. Эволюция звезд больших и умеренных масс.

### Тема 4. Эволюция двойных систем умеренных масс.

### Тема 5. Предкатаклизмические переменные

Прием общего отчета по практическим заданиям тем 3 и 5 , примерные вопросы:

Классификация, кривые блеска и лучевых скоростей, фундаментальные параметры и химический состав избранных ПП. Вывод об их эволюционном состоянии и механизмах взаимодействия компонент.

### Тема 6. Маломассивные катаклизмические переменные

Прием отчета по практическому заданию темы 6 , примерные вопросы:

Классификация, кривые блеска и оценки фотометрической переменности избранных КП. Вывод о характере активности КП и фазах ее нахождения в различных состояниях.

### **Тема 7. Новые и карликовые Новые разных типов.**

Прием общего отчета по практическим заданиям тем 6 и 7, примерные вопросы:

Параметры атмосфер белых карликов в КП и наборы их фундаментальных параметров.

### **Тема 8. Поляры и промежуточные поляры.**

Прием отчета по практическому заданию темы 8, примерные вопросы:

Классификация, кривые лучевых скоростей, доплеровское картирование и фундаментальные параметры избранных полярных звезд. Вывод о структуре аккреционных потоков в полярах и областях формирования оптически линий.

### **Тема 9. Эволюция двойных систем больших масс.**

Прием отчета по практическому заданию темы 9, примерные вопросы:

Параметры атмосфер и оценки эффектов отражения в избранных массивных рентгеновских системах.

### **Итоговая форма контроля**

экзамен (в 9 семестре)

Примерные вопросы к итоговой форме контроля

Источники непрозрачности в рентгеновском и ультрафиолетовом диапазонах спектра. Методы температурной коррекции. Учет эффектов конвекции. Современные модели атмосфер нормальных звезд.

Аналитическое решение для структуры облученной атмосферы. Функции нагрева и охлаждения газа в атмосферах с внешним излучением. Результаты расчетов облучаемых атмосфер. Температурная структура атмосфер с различными типами внешнего облучения.

Особенности жизни звезд на стадиях голубых и красных сверхгигантов, LBV-, WRN- и WRC-звезд. Потеря вещества со звездным ветром. Вспышки SNIbc и SNIi с образованием нейтронных звезд и черных дыр. Формирование субкарликов пост-асимптотической и пост-горизонтальной ветви и их последующая эволюция. Современные результаты моделирования эволюционных треков одиночных звезд.

Системы с общей оболочкой и происходящие в них процессы. Формирование разделенных тесных систем и их последующая эволюция. Потеря углового момента с магнитным звездным ветром и излучением гравитационных волн.

Современная классификация предкатаклизмических переменных (ПП). Физическое состояние и эволюция компонент ПП. Методы анализа наблюдений ПП и определения их параметров. Факторы, учитываемые при моделировании излучения ПП. Исследование химического состава ПП. Характеристики ПП разных типов и их особенности.

Классификация маломассивных катаклизмических переменных (КП). Условия формирования дисковой аккреции. Теория  $\alpha$ -дисков Шакуры-Сюняева и природа вязкости.

Гидродинамические расчеты структуры аккреционных дисков.

Механизм вспышек классических Новых. Природа вспышек карликовых Новых и эволюция их аккреционных дисков. Методы моделирования и определения параметров КП. Способы измерения лучевых скоростей в системах с точечными и протяженными источниками излучения. Доплеровская томография и особенности ее применения.

### **7.1. Основная 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. [Электронный ресурс]. - 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. [Электронный ресурс].- 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. [Электронный ресурс]. - URL: <https://kpfu.ru/portal/docs/F932600094/Sakhibullin.N.A..Teoreticheskaya.astrofizika.ch.3..pdf>
5. Астрофизика космических лучей [Электронный ресурс]: Учебное пособие для вузов. / В.С. Мурзин. - М.: Логос, 2017. - 488 с. - Режим доступа: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785987041716.html>

## 7.2. Дополнительная литература:

1. Бисикало, Д. В. Газодинамика тесных двойных звезд / Д. В. Бисикало, А. Г. Жилкин, А. А. Боярчук. - Москва: Физматлит, 2012. - 630 с. - Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/48292>
2. Сурдин, В.Г. Звезды. [Электронный ресурс]. - Электрон. дан. - М.: Физматлит, 2009. - 428 с. - Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/2332>
3. Черепашук, А.М. Тесные двойные звезды. В 2 ч. Часть I. [Электронный ресурс]. - Электрон. дан. - М.: Физматлит, 2013. - 560 с. - Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/59647>
4. Черепашук, А.М. Тесные двойные звезды. В 2 ч. Часть II. [Электронный ресурс]. - Электрон. дан. - М.: Физматлит, 2016. - 572 с. - Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/91138>

## 7.3. Интернет-ресурсы:

NASA - [www.nasa.gov](http://www.nasa.gov)

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)

сайт правительства РФ - [government.ru](http://government.ru)

Специальная Астрофизическая обсерватория - [www.sao.ru](http://www.sao.ru)

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

Освоение дисциплины "Моделирование и анализ сложных астрофизических объектов" предполагает использование следующего материально-технического обеспечения:

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.

количество единиц вычислительной техники, имеющей архитектуру x86-64 - 15

доступ к электронным ресурсам КГУ и сети Интернет с стационарных компьютеров и личных мобильных устройств через WiFi-маршрутизатор с встроенными функциями адаптера к высокоскоростным сетям LAN 10/100Mbit;

полный набор операционных систем Windows 7x64

для поддержки мультимедиа-презентаций во время лекционных занятий используются следующие программные продукты: Microsoft Power Point в составе Microsoft Office 2007 (2 академические лицензии), OpenOffice.org 3.0 Impress (открытая лицензия GPL), Adobe Reader 9 (предоставлено физическим факультетом для 20 рабочих мест на условиях академической лицензии Microsoft);

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. \_\_\_\_\_

"\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.

Рецензент(ы):

Бикмаев И.Ф. \_\_\_\_\_

"\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.