

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

Физика и эволюция звезд

Специальность: 03.05.01 - Астрономия

Специализация: Астрофизика и космология

Квалификация выпускника: Астроном. Преподаватель

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Год начала обучения по образовательной программе: 2025

## Содержание

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения ОПОП ВО
2. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО
3. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся
4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий
  - 4.1. Структура и тематический план контактной и самостоятельной работы по дисциплине (модулю)
  - 4.2. Содержание дисциплины (модуля)
5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)
6. Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю)
7. Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)
8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)
9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)
10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)
11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)
12. Средства адаптации преподавания дисциплины (модуля) к потребностям обучающихся инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья
13. Приложение №1. Фонд оценочных средств
14. Приложение №2. Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)
15. Приложение №3. Перечень информационных технологий, используемых для освоения дисциплины (модуля), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем

Программу дисциплины разработал(а)(и): главный научный сотрудник, д.н. Бикмаев И.Ф. (НИЛ астрофотометрии и звездных атмосфер, Кафедра астрономии и космической геодезии), Ifan.Bikmaev@kpfu.ru ; старший преподаватель, к.н. Галиуллин И.И. (Кафедра астрономии и космической геодезии, Отделение астрофизики и космической геодезии), IhiGaliullin@kpfu.ru

# 1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения ОПОП ВО

Обучающийся, освоивший дисциплину (модуль), должен обладать следующими компетенциями:

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
ОПК-3	Способен проводить научные исследования физических объектов, систем и процессов, обрабатывать и представлять экспериментальные данные
ПК-1	Владение методами астрономического, физического и математического исследования при анализе глобальных проблем на основе глобальных знаний фундаментальных физико-математических дисциплин

Обучающийся, освоивший дисциплину (модуль):

Должен знать:

физические процессы, протекающие в недрах звезд, основные физические параметры звезд, расположенных в различных частях диаграммы Герцшпрунга-Рессела, специфику астрофизических наблюдений звезд как с Земли, так и с космических аппаратов

Должен уметь:

использовать приобретенные знания для астрофизических исследований звезд различных спектральных классов.

Должен владеть:

принципами интерпретации результатов наземных и космических наблюдений звезд, находящихся на различных стадиях эволюции.

Должен демонстрировать способность и готовность:

применять полученные навыки для практического использования в новейших исследованиях в области физики звезд

## 2. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО

Данная дисциплина (модуль) включена в раздел "Б1.О.32 Дисциплины (модули)" основной профессиональной образовательной программы 03.05.01 "Астрономия (Астрофизика и космология)" и относится к обязательной части ОПОП ВО.

Осваивается на 4 курсе в 7 семестре.

### 3. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся

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

Контактная работа - 69 часа(ов), в том числе лекции - 34 часа(ов), практические занятия - 34 часа(ов), лабораторные работы - 0 часа(ов), контроль самостоятельной работы - 1 часа(ов).

Самостоятельная работа - 48 часа(ов).

Контроль (зачёт / экзамен) - 27 часа(ов).

Форма промежуточного контроля дисциплины: экзамен в 7 семестре.

### 4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

#### 4.1 Структура и тематический план контактной и самостоятельной работы по дисциплине (модулю)

N	Разделы дисциплины / модуля	Се-местр	Виды и часы контактной работы, их трудоемкость (в часах)						Само-стоя-тельная ра-бота
			Лекции, всего	Лекции в эл. форме	Практи-ческие занятия, всего	Практи-ческие в эл. форме	Лабора-торные работы, всего	Лабора-торные в эл. форме	
1.	Тема 1. Определение понятия "звезда".	7	4	0	0	0	0	0	6
2.	Тема 2. Перенос лучистой энергии в звезде.	7	6	0	8	0	0	0	9
3.	Тема 3. Уравнение состояния вещества.	7	6	0	6	0	0	0	0
4.	Тема 4. Источники энергии звезд. Нейтрино и звездная эволюция.	7	6	0	4	0	0	0	9
5.	Тема 5. Методы построения эволюционных моделей звезд.	7	6	0	6	0	0	0	8
6.	Тема 6. Эволюция массивных одиночных звезд. Эволюция звезд с малой массой.	7	4	0	6	0	0	0	8
7.	Тема 7. Конечные стадии эволюции звезд.	7	2	0	4	0	0	0	8
	Итого		34	0	34	0	0	0	48

#### 4.2 Содержание дисциплины (модуля)

##### Тема 1. Определение понятия "звезда".

Определение понятия "звезда". Эволюция звезды как физический процесс. Наблюдательные критерии правильности теории эволюции звезд.

Уравнение гидродинамического равновесия (УГР). Строгость выполнения УГР в звезде.

##### Тема 2. Перенос лучистой энергии в звезде.

Перенос лучистой энергии в звезде. Общее уравнение переноса излучения и его решение. Лучистое равновесие внутри звезды.

Устойчивость теплового равновесия.

Перенос энергии путем конвекции.

Условие устойчивости лучистого равновесия.

##### Тема 3. Уравнение состояния вещества.

Уравнение состояния вещества. Метод расчета концентрации атомов и электронов для случая идеального газа. Давление излучения и его учет. Врождение электронов: полное нерелятивистское и релятивистское, частичное и полурелятивистское. Диаграмма "Температура - плотность" для уравнения состояния. Влияние плотности и температуры на состояние вещества. Понятие холодного вещества.

#### **Тема 4. Источники энергии звезд. Нейтрино и звездная эволюция.**

Источники энергии звезд. Условия, необходимые для возникновения термоядерных реакций. Протон-протонные реакции и углеродно-азотный цикл. Энергетика и вероятность реакций. Вывод интерполяционных формул для величины энергии, выделяющейся на 1 г звездного вещества.  $\beta$ -процесс. Скорости измерения содержания H и He. Горение C, O, Si. e-процесс, s, r, p-процессы как процессы, обеспечивающие образование изотопов тяжелых элементов. Образование редких легких элементов. Реакции нетермоядерной природы. Реакции скалывания. Содержание Li в атмосферах звезд как фактор возраста.

#### **Тема 5. Методы построения эволюционных моделей звезд.**

Методы построения эволюционных моделей звезд. Система дифференциальных уравнений, лежащих в основе моделирования. Граничные условия. Основные этапы методики расчета моделей звезд на разных стадиях эволюции. Условия возникновения конвективных зон в центре и на поверхности.

#### **Тема 6. Эволюция массивных одиночных звезд. Эволюция звезд с малой массой.**

Эволюция массивной звезды. Эволюционный трек на диаграмме Г-Р и его краткое физическое описание. Периоды пульсационной неустойчивости. Сравнение с наблюдениями, диаграмма Г-Р. Сложности расчета моделей звезд на поздних стадиях эволюции; неопределенность критерия конвективной устойчивости, влияние потери массы: WR, OBN, OBC-звезды; трудности классической теории, не учитывающей потерю массы; эволюционный трек на диаграмме Г-Р с учетом потери массы; роль вращения и магнитного поля. Изменение химического состава звезды и межзвездной среды в процессе эволюции.

#### **Тема 7. Конечные стадии эволюции звезд.**

Конечные стадии эволюции звезд.

Белые карлики. Данные наблюдений.

Особенности состояния недр белого карлика.

Соотношение Эмдена.

Предел Чандрасекара и его обоснование.

### **5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)**

Самостоятельная работа обучающихся выполняется по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия. Самостоятельная работа подразделяется на самостоятельную работу на аудиторных занятиях и на внеаудиторную самостоятельную работу. Самостоятельная работа обучающихся включает как полностью самостоятельное освоение отдельных тем (разделов) дисциплины, так и проработку тем (разделов), осваиваемых во время аудиторной работы. Во время самостоятельной работы обучающиеся читают и конспектируют учебную, научную и справочную литературу, выполняют задания, направленные на закрепление знаний и отработку умений и навыков, готовятся к текущему и промежуточному контролю по дисциплине.

Организация самостоятельной работы обучающихся регламентируется нормативными документами, учебно-методической литературой и электронными образовательными ресурсами, включая:

Порядок организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования - программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры (утвержден приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 6 апреля 2021 года №245)

Письмо Министерства образования Российской Федерации №14-55-99бин/15 от 27 ноября 2002 г. "Об активизации самостоятельной работы студентов высших учебных заведений"

Устав федерального государственного автономного образовательного учреждения "Казанский (Приволжский) федеральный университет"

Правила внутреннего распорядка федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет"

Локальные нормативные акты Казанского (Приволжского) федерального университета

### **6. Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю)**

Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю) включает оценочные материалы, направленные на проверку освоения компетенций, в том числе знаний, умений и навыков. Фонд оценочных средств включает оценочные средства текущего контроля и оценочные средства промежуточной аттестации.

В фонде оценочных средств содержится следующая информация:

- соответствие компетенций планируемым результатам обучения по дисциплине (модулю);

- критерии оценивания сформированности компетенций;
- механизм формирования оценки по дисциплине (модулю);
- описание порядка применения и процедуры оценивания для каждого оценочного средства;
- критерии оценивания для каждого оценочного средства;
- содержание оценочных средств, включая требования, предъявляемые к действиям обучающихся, демонстрируемым результатам, задания различных типов.

Фонд оценочных средств по дисциплине находится в Приложении 1 к программе дисциплины (модулю).

## 7. Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)

Освоение дисциплины (модуля) предполагает изучение основной и дополнительной учебной литературы. Литература может быть доступна обучающимся в одном из двух вариантов (либо в обоих из них):

- в электронном виде - через электронные библиотечные системы на основании заключенных КФУ договоров с правообладателями;
- в печатном виде - в Научной библиотеке им. Н.И. Лобачевского. Обучающиеся получают учебную литературу на абонементе по читательским билетам в соответствии с правилами пользования Научной библиотекой.

Электронные издания доступны дистанционно из любой точки при введении обучающимся своего логина и пароля от личного кабинета в системе "Электронный университет". При использовании печатных изданий библиотечный фонд должен быть укомплектован ими из расчета не менее 0,5 экземпляра (для обучающихся по ФГОС 3++ - не менее 0,25 экземпляра) каждого из изданий основной литературы и не менее 0,25 экземпляра дополнительной литературы на каждого обучающегося из числа лиц, одновременно осваивающих данную дисциплину.

Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля), находится в Приложении 2 к рабочей программе дисциплины. Он подлежит обновлению при изменении условий договоров КФУ с правообладателями электронных изданий и при изменении комплектования фондов Научной библиотеки КФУ.

## 8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)

сайт российской Астрономической сети; - [www.astronet.ru](http://www.astronet.ru)

сайт свободной энциклопедии - [ru.wikipedia.org](http://ru.wikipedia.org)

Сайт Федерального космического агентства - <http://www.federspace.ru/1307/>

сайт электронной библиотеки по физике и астрономии; - [adsabs.harvard.edu/](http://adsabs.harvard.edu/)

Эволюция звезд, электронное пособие - <http://www.astronet.ru/db/msg/1188340>

## 9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

Вид работ	Методические рекомендации
лекции	Для освоения дисциплины читаются лекции, проводятся практические занятия. Учащимся рекомендуется самостоятельно вести конспекты лекций, где стоит особое внимание уделить собственным вопросам, возникающим во время слушания лекций. Если эти вопросы останутся после самостоятельной проработки лекционного материала с использованием рекомендованной литературы, то их следует задать преподавателю на следующей лекции.
практические занятия	Практические занятия представляют собой решение задач и тематически сопровождают лекции. Важно приходить на практические занятия с собственным набором конкретных вопросов для преподавателя. При этом ему легче определить проблемы каждого студента и дать более четкие рекомендации. Чрезвычайно важны систематические занятия, полное выполнение заданий, расчетных работ, предлагаемых преподавателем.
самостоятельная работа	Нельзя забывать, что основной формой обучения является самостоятельная работа с учебником и учебными пособиями. Каждый студент с самого начала занятий должен выработать для себя рациональную систему работы над курсом и постоянно практиковаться в решении задач. В противном случае усвоение и практическое использование учебного материала затруднены.
экзамен	Курс "Физика и эволюция звезд" завершается экзаменом. Вопросы, включенные в экзаменационные билеты, охватывают все темы и предоставляются студентам заранее. Подготовку к экзамену облегчают регулярные посещения лекционных и практических занятий и, главное, систематическая, углубленная самостоятельная работа.



**10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)**

Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем, представлен в Приложении 3 к рабочей программе дисциплины (модуля).

**11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)**

Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине (модулю) включает в себя следующие компоненты:

Помещения для самостоятельной работы обучающихся, укомплектованные специализированной мебелью (столы и стулья) и оснащенные компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду КФУ.

Учебные аудитории для контактной работы с преподавателем, укомплектованные специализированной мебелью (столы и стулья).

Компьютер и принтер для распечатки раздаточных материалов.

Мультимедийная аудитория.

**12. Средства адаптации преподавания дисциплины к потребностям обучающихся инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья**

При необходимости в образовательном процессе применяются следующие методы и технологии, облегчающие восприятие информации обучающимися инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья:

- создание текстовой версии любого нетекстового контента для его возможного преобразования в альтернативные формы, удобные для различных пользователей;
- создание контента, который можно представить в различных видах без потери данных или структуры, предусмотреть возможность масштабирования текста и изображений без потери качества, предусмотреть доступность управления контентом с клавиатуры;
- создание возможностей для обучающихся воспринимать одну и ту же информацию из разных источников - например, так, чтобы лица с нарушениями слуха получали информацию визуально, с нарушениями зрения - аудиально;
- применение программных средств, обеспечивающих возможность освоения навыков и умений, формируемых дисциплиной, за счёт альтернативных способов, в том числе виртуальных лабораторий и симуляционных технологий;
- применение дистанционных образовательных технологий для передачи информации, организации различных форм интерактивной контактной работы обучающегося с преподавателем, в том числе вебинаров, которые могут быть использованы для проведения виртуальных лекций с возможностью взаимодействия всех участников дистанционного обучения, проведения семинаров, выступления с докладами и защиты выполненных работ, проведения тренингов, организации коллективной работы;
- применение дистанционных образовательных технологий для организации форм текущего и промежуточного контроля;
- увеличение продолжительности сдачи обучающимся инвалидом или лицом с ограниченными возможностями здоровья форм промежуточной аттестации по отношению к установленной продолжительности их сдачи:
- продолжительности сдачи зачёта или экзамена, проводимого в письменной форме, - не более чем на 90 минут;
- продолжительности подготовки обучающегося к ответу на зачёте или экзамене, проводимом в устной форме, - не более чем на 20 минут;
- продолжительности выступления обучающегося при защите курсовой работы - не более чем на 15 минут.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО и учебным планом по специальности: 03.05.01 "Астрономия" и специализации "Астрофизика и космология".

### Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)

Специальность: 03.05.01 - Астрономия

Специализация: Астрофизика и космология

Квалификация выпускника: Астроном. Преподаватель

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Год начала обучения по образовательной программе: 2025

#### Основная литература:

1. Гусейханов, М. К. Основы астрофизики : учебное пособие / М. К. Гусейханов. - 4-е изд., стер. - Санкт-Петербург : Лань, 2019. - 208 с. - ISBN 978-5-8114-4037-5. - Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. - URL: <https://e.lanbook.com/book/114694> (дата обращения: 21.04.2020). - Режим доступа: для авториз. пользователей.
2. Бисикало, Я. В. Газодинамика тесных двойных звезд / Я. В. Бисикало, А. Г. Жилкин, А. А. Боярчук. - Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2012. - 630 с. - ISBN 978-5-9221-1404-2. - Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. - URL: <https://e.lanbook.com/book/48292> (дата обращения: 21.04.2020). - Режим доступа: для авториз. пользователей.
3. Черепашук, А. М. Тесные двойные звезды : монография : в 2 частях / А. М. Черепашук. - Москва : ФИЗМАТЛИТ, [б. г.]. - Часть I - 2013. - 560 с. - ISBN 978-5-9221-1416-5. - Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. - URL: <https://e.lanbook.com/book/59647> (дата обращения: 21.04.2020). - Режим доступа: для авториз. пользователей.
4. Черепашук, А. М. Тесные двойные звезды : монография : в 2 частях / А. М. Черепашук. - Москва : ФИЗМАТЛИТ, [б. г.]. - Часть II - 2016. - 572 с. - ISBN 978-5-9221-1467-7. - Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. - URL: <https://e.lanbook.com/book/91138> (дата обращения: 21.04.2020). - Режим доступа: для авториз. пользователей.

#### Дополнительная литература:

1. Бескин, В. С. Гравитация и астрофизика : учебное пособие / В. С. Бескин. - Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2009. - 158 с. - ISBN 978-5-9221-1054-9. - Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. - URL: <https://e.lanbook.com/book/2114> (дата обращения: 21.04.2020). - Режим доступа: для авториз. пользователей.
2. Бескин, В. С. Осесимметричные стационарные течения в астрофизике : учебное пособие / В. С. Бескин. - Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2005. - 384 с. - ISBN 5-9221-0646-5. - Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. - URL: <https://e.lanbook.com/book/2113> (дата обращения: 21.04.2020). - Режим доступа: для авториз. пользователей.
3. Сурдин, В. Г. Звезды : учебное пособие / В. Г. Сурдин. - 2-е изд., испр. и доп. - Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2009. - 428 с. - ISBN 978-5-9221-1116-4. - Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. - URL: <https://e.lanbook.com/book/2332> (дата обращения: 21.04.2020). - Режим доступа: для авториз. пользователей.
4. Общая астрофизика : учебное пособие / А. В. Засов, К. А. Постнов ; МГУ, Физ. фак., Гос. астроном. ин-т им. П.К. Штернберга. - [2-е изд., испр. и доп.]. - Фрязино : Век 2, 2015. - 573 с. (НБ - 15 экз.).



*Приложение 3  
к рабочей программе дисциплины (модуля)  
Б1.О.32 Физика и эволюция звезд*

**Перечень информационных технологий, используемых для освоения дисциплины (модуля), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем**

Специальность: 03.05.01 - Астрономия

Специализация: Астрофизика и космология

Квалификация выпускника: Астроном. Преподаватель

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Год начала обучения по образовательной программе: 2025

Освоение дисциплины (модуля) предполагает использование следующего программного обеспечения и информационно-справочных систем:

Операционная система Microsoft Windows 7 Профессиональная или Windows XP (Volume License)

Пакет офисного программного обеспечения Microsoft Office 365 или Microsoft Office Professional plus 2010

Браузер Mozilla Firefox

Браузер Google Chrome

Adobe Reader XI или Adobe Acrobat Reader DC

Kaspersky Endpoint Security для Windows

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе Издательства "Лань", доступ к которой предоставлен обучающимся. ЭБС Издательства "Лань" включает в себя электронные версии книг издательства "Лань" и других ведущих издательств учебной литературы, а также электронные версии периодических изданий по естественным, техническим и гуманитарным наукам. ЭБС Издательства "Лань" обеспечивает доступ к научной, учебной литературе и научным периодическим изданиям по максимальному количеству профильных направлений с соблюдением всех авторских и смежных прав.