

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

УТВЕРЖДАЮ
Директор по образовательной
деятельности

_____ С.Т. Князев
«__» _____

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА МОДУЛЯ

| Код модуля | Модуль |
|------------|----------------------------------|
| 1155240 | Методы теоретической астрофизики |

Екатеринбург

| Перечень сведений о рабочей программе модуля | Учетные данные |
|---|---|
| Образовательная программа 1. Астрономия | Код ОП 1. 03.05.01/33.01 |
| Направление подготовки 1. Астрономия | Код направления и уровня подготовки 1. 03.05.01 |

Программа модуля составлена авторами:

| № п/п | Фамилия Имя Отчество | Ученая степень, ученое звание | Должность | Подразделение |
|--------------|-----------------------------|--|-----------------------|---|
| 1 | Кузнецов Эдуард Дмитриевич | доктор физико-математических наук, доцент | Заведующий кафедрой | астрономии, геодезии, экологии и мониторинга окружающей среды |
| 2 | Островский Андрей Борисович | без ученой степени, без ученого звания | Старший преподаватель | астрономии, геодезии, экологии и мониторинга окружающей среды |
| 3 | Старицин Евгений Игоревич | кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник | Преподаватель | астрономии и геодезии |

Согласовано:

Управление образовательных программ

Е.С. Комарова

1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МОДУЛЯ Методы теоретической астрофизики

1.1. Аннотация содержания модуля

В модуль входят дисциплины «Теоретическая астрофизика», «Строение и эволюция звезд», «Физика межзвездной среды». В курсе «Теоретическая астрофизика» изучаются механизмы генерации, преобразования и переноса энергии в космических объектах (включая Землю как планету), в данном базовом курсе – лучистой энергии. Зная эти механизмы, студент учится строить модельный спектр объекта, служащий основой для сравнения с наблюдениями. В курсе «Строение и эволюция звезд» студенты изучают физические основы теории строения и эволюции звезд, в том числе вопросы механического равновесия самогравитирующих газовых конфигураций и устойчивости механического равновесия, основы теории адиабатических радиальных пульсаций звезд, ядерные источники энергии в звездных недрах, механизмы переноса энергии в звездах. В курсе «Физика межзвездной среды» дается описание многообразных процессов, происходящих в межзвездной среде, в их единстве. Основное внимание уделяется изучению процессов, приводящих к формированию спектров поглощения и излучения, как в линиях, так и в непрерывном спектре. Рассматриваются основные механизмы взаимодействия излучения и вещества и влияния на них физических условий в среде. Изучаются процессы, ведущие к установлению теплового баланса межзвездной среды.

1.2. Структура и объем модуля

Таблица 1

| № п/п | Перечень дисциплин модуля в последовательности их освоения | Объем дисциплин модуля и всего модуля в зачетных единицах |
|------------------|--|---|
| 1 | Физика межзвездной среды | 3 |
| 2 | Строение и эволюция звезд | 3 |
| 3 | Теоретическая астрофизика | 4 |
| ИТОГО по модулю: | | 10 |

1.3. Последовательность освоения модуля в образовательной программе

| | |
|------------------------------------|---|
| Пререквизиты модуля | 1. Астрофизика |
| Постреквизиты и кореквизиты модуля | 1. Дополнительные главы астрофизики и звездной астрономии |

1.4. Распределение компетенций по дисциплинам модуля, планируемые результаты обучения (индикаторы) по модулю

Таблица 2

| Перечень дисциплин модуля | Код и наименование компетенции | Планируемые результаты обучения (индикаторы) |
|---------------------------|---|---|
| 1 | 2 | 3 |
| Строение и эволюция звезд | ОПК-2 - Способен выполнять исследования при решении фундаментальных и прикладных задач, планировать и осуществлять сложные реальные или модельные эксперименты | <p>З-1 - Демонстрировать понимание принципов, особенностей и задач проведения фундаментальных и прикладных исследований, планирования модельных или реальных экспериментов</p> <p>У-1 - Соотнести цель и задачи исследования с набором методов исследования, выбирать необходимое сочетание цели и средств при планировании исследований</p> <p>Д-2 - Проявлять ответственность и настойчивость в достижении цели</p> |
| | ПК-1 - Владеет методами астрономического, физического и математического исследований при анализе глобальных проблем на основе глубоких знаний фундаментальных физико-математических дисциплин | <p>З-1 - Изложить основные методы астрономических, физических и математических исследований</p> <p>У-1 - Самостоятельно формулировать задачу в рамках рассматриваемой проблемы</p> |
| | ПК-4 - Владеет наблюдательными и экспериментальными методами исследований астрономических и физических объектов и явлений | <p>З-1 - Привести примеры основных методов наблюдательных и экспериментальных исследований астрономических и физических объектов и явлений</p> <p>У-1 - Самостоятельно применять методы наблюдательных и экспериментальных исследований астрономических и физических объектов и явлений</p> |
| Теоретическая астрофизика | ОПК-2 - Способен выполнять исследования при решении фундаментальных и прикладных задач, планировать и осуществлять сложные реальные или модельные эксперименты | <p>З-1 - Демонстрировать понимание принципов, особенностей и задач проведения фундаментальных и прикладных исследований, планирования модельных или реальных экспериментов</p> <p>У-1 - Соотнести цель и задачи исследования с набором методов исследования, выбирать необходимое сочетание цели и средств при планировании исследований</p> |

| | | |
|---------------------------------|--|--|
| | | <p>Д-1 - Демонстрировать аналитические умения и креативное мышление</p> <p>Д-2 - Проявлять ответственность и настойчивость в достижении цели</p> |
| | <p>ПК-1 - Владеет методами астрономического, физического и математического исследований при анализе глобальных проблем на основе глубоких знаний фундаментальных физико-математических дисциплин</p> | <p>З-1 - Изложить основные методы астрономических, физических и математических исследований</p> <p>У-1 - Самостоятельно формулировать задачу в рамках рассматриваемой проблемы</p> |
| | <p>ПК-4 - Владеет наблюдательными и экспериментальными методами исследований астрономических и физических объектов и явлений</p> | <p>З-1 - Привести примеры основных методов наблюдательных и экспериментальных исследований астрономических и физических объектов и явлений</p> <p>У-1 - Самостоятельно применять методы наблюдательных и экспериментальных исследований астрономических и физических объектов и явлений</p> |
| <p>Физика межзвездной среды</p> | <p>ОПК-2 - Способен выполнять исследования при решении фундаментальных и прикладных задач, планировать и осуществлять сложные реальные или модельные эксперименты</p> | <p>З-1 - Демонстрировать понимание принципов, особенностей и задач проведения фундаментальных и прикладных исследований, планирования модельных или реальных экспериментов</p> <p>У-1 - Соотнести цель и задачи исследования с набором методов исследования, выбирать необходимое сочетание цели и средств при планировании исследований</p> <p>Д-1 - Демонстрировать аналитические умения и креативное мышление</p> |
| | <p>ПК-1 - Владеет методами астрономического, физического и математического исследований при анализе глобальных проблем на основе глубоких знаний фундаментальных физико-математических дисциплин</p> | <p>З-1 - Изложить основные методы астрономических, физических и математических исследований</p> <p>У-1 - Самостоятельно формулировать задачу в рамках рассматриваемой проблемы</p> |

| | | |
|--|---|--|
| | ПК-4 - Владеет наблюдательными и экспериментальными методами исследований астрономических и физических объектов и явлений | З-1 - Привести примеры основных методов наблюдательных и экспериментальных исследований астрономических и физических объектов и явлений У-1 - Самостоятельно применять методы наблюдательных и экспериментальных исследований астрономических и физических объектов и явлений |
|--|---|--|

1.5. Форма обучения

Обучение по дисциплинам модуля может осуществляться в очной формах.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
Физика межзвездной среды

Рабочая программа дисциплины составлена авторами:

| № п/п | Фамилия Имя Отчество | Ученая степень, ученое звание | Должность | Подразделение |
|--------------|-----------------------------|---|-----------------------|---|
| 1 | Кузнецов Эдуард Дмитриевич | доктор физико-математических наук, доцент | Заведующий кафедрой | астрономии, геодезии, экологии и мониторинга окружающей среды |
| 2 | Островский Андрей Борисович | без ученой степени, без ученого звания | Старший преподаватель | астрономии, геодезии, экологии и мониторинга окружающей среды |

Рекомендовано учебно-методическим советом института Естественных наук и математики

Протокол № 6 от 15.10.2021 г.

1. СОДЕРЖАНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ДИСЦИПЛИНЫ

Авторы:

- Кузнецов Эдуард Дмитриевич, Заведующий кафедрой, астрономии, геодезии, экологии и мониторинга окружающей среды
- Островский Андрей Борисович, Старший преподаватель, астрономии, геодезии, экологии и мониторинга окружающей среды

1.1. Технологии реализации, используемые при изучении дисциплины модуля

- Традиционная (репродуктивная) технология
- Разноуровневое (дифференцированное) обучение
 - Базовый уровень

**Базовый I уровень – сохраняет логику самой науки и позволяет получить упрощенное, но верное и полное представление о предмете дисциплины, требует знание системы понятий, умение решать проблемные ситуации. Освоение данного уровня результатов обучения должно обеспечить формирование запланированных компетенций и позволит обучающемуся на минимальном уровне самостоятельности и ответственности выполнять задания;*

Продвинутый II уровень – углубляет и обогащает базовый уровень как по содержанию, так и по глубине проработки материала дисциплины. Это происходит за счет включения дополнительной информации. Данный уровень требует умения решать проблемы в рамках курса и смежных курсов посредством самостоятельной постановки цели и выбора программы действий. Освоение данного уровня результатов обучения позволит обучающемуся повысить уровень самостоятельности и ответственности до творческого применения знаний и умений.

1.2. Содержание дисциплины

Таблица 1.1

| Код раздела, темы | Раздел, тема дисциплины* | Содержание |
|-------------------|---|--|
| P1 | Введение | Вопрос о равновесном состоянии и стационарности условий. Отсутствие локального термодинамического равновесия. Вмороженность магнитного поля. Запрещенные линии. |
| P2 | Физические особенности состояния космической плазмы | Вопрос о равновесном состоянии и стационарности условий. Отсутствие локального термодинамического равновесия. Вмороженность магнитного поля. Запрещенные линии. |
| P3 | Возникновение и распространение электромагнитных колебаний в плазме | Прохождение электромагнитных волн через плазму в электрическом и магнитном полях. Поляризация излучения. Тормозное излучение ионизованного. Циклотронное излучение. |
| P4 | Ионизованный водород и зоны НП | Физические условия в зонах НП. Фотоионизация. Рекомбинация. Тепловой баланс. Радиус стационарной зоны НП. Определение параметров зон НП по наблюдаемым данным. Формирование ионизованных зон за счет столкновительных процессов. |
| P5 | Облака нейтрального водорода НI и тепловая | Межзвездный нейтральный водород. Объемный нагрев и охлаждение МЗС. Основные механизмы нагрева газа. Основные механизмы охлаждения. Двухфазная модель межзвездной среды. Молекулярные облака. Радиолиния |

| | | |
|-----------|--|---|
| | неустойчивость межзвездной среды | нейтрального водорода 21 см. Распределение нейтрального водорода в Галактике. Трехфазная модель межзвездной среды. |
| P6 | Ударные волны. Трехфазная модель межзвездной среды | Воздействие вспышек сверхновых звезд на двухфазную структуру межзвездной. Обзор трехфазной модели межзвездной среды. Физические основы трехфазной модели межзвездной среды. Современное состояние проблемы описания межзвездной среды. Газовое гало Галактики и галактические фонтаны. Межзвездная среда в окрестности Солнца (200 пк). |
| P7 | Межзвездная пыль | Наблюдательные свидетельства существования межзвездной пыли. Наблюдательные оценки параметров пылевых частиц. Подходы к описанию физических. Оптические свойства малых пылевых частиц. Теория Ми. Кривая экстинкции. Модели пыли и распределение пылевых частиц по размерам. Вещества, входящие в состав пылевых частиц. Льды в холодных темных облаках. Формирование и разрушение пылевых. Тепловой баланс пыли. Пылевые частицы особо малых размеров. Пылевая компонента в процессах формирования планетных систем. Наблюдательные свидетельства существования межзвездной пыли. Наблюдательные оценки параметров пылевых частиц. Подходы к описанию физических. Оптические свойства малых пылевых частиц. Теория Ми. Кривая экстинкции. Модели пыли и распределение пылевых частиц по размерам. Вещества, входящие в состав пылевых частиц. Льды в холодных темных облаках. Формирование и разрушение пылевых. Тепловой баланс пыли. Пылевые частицы особо малых размеров. Пылевая компонента в процессах формирования планетных систем. |
| P8 | Молекулярные облака | Элементы молекулярной спектроскопии. Энергетические спектры молекул, характерных для МЗС. Молекула водорода. Диффузные молекулярные облака. Химические процессы в диффузных облаках. Полупрозрачные облака. Области доминирования фотонов (PDR). Плотные молекулярные облака. |

1.3. Направление, виды воспитательной деятельности и используемые технологии

Таблица 1.2

| Направление воспитательной деятельности | Вид воспитательной деятельности | Технология воспитательной деятельности | Компетенция | Результаты обучения |
|---|--|---|---|--|
| Профессиональное воспитание | учебно-исследовательская, научно-исследовательская | Технология формирования уверенности и готовности к самостоятельной успешной профессиональной деятельности | ПК-1 - Владеет методами астрономического, физического и математического исследований при анализе глобальных проблем на основе | З-1 - Изложить основные методы астрономических, физических и математических исследований |

| | | | | |
|--|--|--|--|--|
| | | | глубоких знаний фундаментальных физико- математических дисциплин | |
|--|--|--|--|--|

1.4. Программа дисциплины реализуется на государственном языке Российской Федерации .

2. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Физика межзвездной среды

Электронные ресурсы (издания)

1. Соболев, В. В.; Курс теоретической астрофизики : учебник.; Наука, Москва; 1985; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=44295> (Электронное издание)
2. ; Небо и телескоп; Физматлит, Москва; 2017; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=485278> (Электронное издание)
3. Гинзбург, В. Л.; Распространение электромагнитных волн в плазме : монография.; Наука, Москва; 1967; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=222579> (Электронное издание)
4. Собельман, И. И.; Введение в теорию атомных спектров : монография.; Государственное издательство физико-математической литературы, Москва; 1963; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=474158> (Электронное издание)

Печатные издания

1. Соболев, В. В.; Курс теоретической астрофизики : [учебник для студентов вузов по специальности "Астрономия"].; Наука, Москва; 1985 (4 экз.)
2. Собельман, И. И.; Введение в теорию атомных спектров; Наука, Москва; 1977 (15 экз.)
3. Бочкарев, Н. Г.; Основы физики межзвездной среды : учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности "Астрономия".; URSS, Москва; 2015 (2 экз.)
4. Железняков, В. В.; Излучение в астрофизической плазме; Янус-К, Москва; 1997 (1 экз.)
5. Садовский, М. В.; Лекции по статистической физике : [Учеб. пособие для вузов].; Ин-т компьютерных исследований, Москва; 2003 (44 экз.)
6. Сороченко, Р. Л.; Рекомбинационные радиолнии. Физика и астрономия; ФИЗМАТЛИТ, Москва; 2003 (1 экз.)

Профессиональные базы данных, информационно-справочные системы

1. Университетская библиотека онлайн. URL: <http://biblioclub.ru>
2. Электронная научная библиотека. URL: <https://elibrary.ru>
3. Зональная научная библиотека УрФУ. URL: <http://lib.urfu.ru>

Материалы для лиц с ОВЗ

Весь контент ЭБС представлен в виде файлов специального формата для воспроизведения синтезатором речи, а также в тестовом виде, пригодном для прочтения с использованием экранной лупы и настройкой контрастности.

Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

1. Российская государственная библиотека. URL: <http://www.rsl.ru>
2. Государственная публичная научно-техническая библиотека России. URL: <http://www.gpntb.ru>
3. Информационно-поисковая система по астрономии ADS (Astrophysical Data System). URL: <https://ui.adsabs.harvard.edu/#>
4. Информационно-поисковая система препринтов по астрономии arXiv astro-ph. URL: <https://arxiv.org/archive/astro-ph>

3. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Физика межзвездной среды

Сведения об оснащённости дисциплины специализированным и лабораторным оборудованием и программным обеспечением

Таблица 3.1

| № п/п | Виды занятий | Оснащённость специальных помещений и помещений для самостоятельной работы | Перечень лицензионного программного обеспечения |
|-------|---|--|---|
| 1 | Лекции | Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Доска аудиторная Периферийное устройство Подключение к сети Интернет | WinEDUA3 ALNG SubsVL MVL PerUsr STUUseBnft C Student EES Office 365 EDUA5 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES Mozilla Firefox |
| 2 | Консультации | Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Доска аудиторная Периферийное устройство Подключение к сети Интернет | WinEDUA3 ALNG SubsVL MVL PerUsr STUUseBnft C Student EES Office 365 EDUA5 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES Mozilla Firefox |
| 3 | Текущий контроль и промежуточная аттестация | Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов | WinEDUA3 ALNG SubsVL MVL PerUsr STUUseBnft C Student EES Office 365 EDUA5 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES |

| | | | |
|---|----------------------------------|---|---|
| | | <p>Рабочее место преподавателя</p> <p>Доска аудиторная</p> <p>Периферийное устройство</p> <p>Подключение к сети Интернет</p> | <p>Mozilla Firefox</p> |
| 4 | Самостоятельная работа студентов | <p>Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов</p> <p>Персональные компьютеры по количеству обучающихся</p> <p>Подключение к сети Интернет</p> | <p>WinEDUA3 ALNG SubsVL MVL PerUsr STUUseBnft C Student EES</p> <p>Office 365 EDUA5 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES</p> <p>Mozilla Firefox</p> |
| 5 | Практические занятия | <p>Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов</p> <p>Рабочее место преподавателя</p> <p>Доска аудиторная</p> <p>Периферийное устройство</p> <p>Подключение к сети Интернет</p> | <p>WinEDUA3 ALNG SubsVL MVL PerUsr STUUseBnft C Student EES</p> <p>Office 365 EDUA5 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES</p> |

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
Строение и эволюция звезд

Рабочая программа дисциплины составлена авторами:

| № п/п | Фамилия Имя Отчество | Ученая степень, ученое звание | Должность | Подразделение |
|--------------|-----------------------------|--|---------------------|---|
| 1 | Кузнецов Эдуард Дмитриевич | доктор физико-математических наук, доцент | Заведующий кафедрой | астрономии, геодезии, экологии и мониторинга окружающей среды |
| 2 | Старицин Евгений Игоревич | кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник | Преподаватель | астрономии и геодезии |

Рекомендовано учебно-методическим советом института Естественных наук и математики

Протокол № 6 от 15.10.2021 г.

1. СОДЕРЖАНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ДИСЦИПЛИНЫ

Авторы:

- Кузнецов Эдуард Дмитриевич, Заведующий кафедрой, астрономии, геодезии, экологии и мониторинга окружающей среды
- Старицин Евгений Игоревич, Преподаватель, астрономии и геодезии

1.1. Технологии реализации, используемые при изучении дисциплины модуля

- Традиционная (репродуктивная) технология
- Разноуровневое (дифференцированное) обучение
 - Базовый уровень

**Базовый I уровень – сохраняет логику самой науки и позволяет получить упрощенное, но верное и полное представление о предмете дисциплины, требует знание системы понятий, умение решать проблемные ситуации. Освоение данного уровня результатов обучения должно обеспечить формирование запланированных компетенций и позволит обучающемуся на минимальном уровне самостоятельности и ответственности выполнять задания;*
Продвинутый II уровень – углубляет и обогащает базовый уровень как по содержанию, так и по глубине проработки материала дисциплины. Это происходит за счет включения дополнительной информации. Данный уровень требует умения решать проблемы в рамках курса и смежных курсов посредством самостоятельной постановки цели и выбора программы действий. Освоение данного уровня результатов обучения позволит обучающемуся повысить уровень самостоятельности и ответственности до творческого применения знаний и умений.

1.2. Содержание дисциплины

Таблица 1.1

| Код раздела, темы | Раздел, тема дисциплины* | Содержание |
|-------------------|---|---|
| P1 | Механическое равновесие звезд | Элементы ньютоновской теории тяготения. Теорема Гаусса. Уравнение Пуассона. Сферически симметричное распределение вещества. Потенциал сферически симметричного поля тяготения. Давление вещества. Уравнение гидростатического равновесия. Политропы. Теория Лэна—Эмдена. Физические условия в центре звезды |
| P2 | Устойчивость равновесных газовых конфигураций | Постановка задачи. Лагранжева вариация плотности. Лагранжева вариация давления. Линеаризованное уравнение движения. Линейное адиабатическое волновое уравнение. Динамическая неустойчивость звезд |
| P3 | Адиабатические радиальные колебания звезд | Модель звезды с постоянной плотностью. Распределение амплитуды и частоты колебаний в модели звезды с постоянной плотностью. Соотношение период—средняя плотность пульсирующих переменных звезд |
| P4 | Гравитационная энергия звезды | Энергия гравитационного взаимодействия сферически симметричной звезды. Теорема вириала. Гравитационная энергия политропы. Внутренняя и полная энергия политропы. Устойчивость звезд. Физические условия в звездах. Тепловая шкала времени |
| P5 | Ядерная энергия звезды | Запасы ядерной энергии. Ядерная шкала времени. Характер ядерных реакций в звездном веществе. Сечение |

| | | |
|------------|---|---|
| | | взаимодействия для резонансных ядерных реакций и ядерных реакций прямого захвата. Астрофизический фактор. Скорость энерговыделения в ядерных реакциях. Скорость ядерных реакций прямого захвата в веществе звезд. Гамовский пик. Скорость резонансных ядерных реакций в веществе звезд. Ядерные реакции в звездах |
| P6 | Закон сохранения энергии | Закон сохранения энергии в интегральной форме. Первый закон термодинамики в приложении к звездам. Эквивалентность интегральной и дифференциальной форм закона сохранения энергии |
| P7 | Лучистый перенос энергии | Уравнение переноса излучения. Уравнения для моментов. Приближенная зависимость интенсивности излучения от направления. Давление излучения. Диффузионное приближение. Стандартная модель звезды |
| P8 | Непрозрачность звездного вещества | Взаимодействие излучения с веществом. Росселандово среднее. Формулы Крамерса. Томсоновское рассеяние |
| P9 | Перенос энергии конвекцией. Теория пути перемешивания | Критерий конвективной устойчивости. Избыток тепловой энергии конвективного элемента. Перенос энергии конвективными элементами. Среднее значение скорости конвективного элемента. Температура вещества конвективного элемента. Радиативный температурный градиент |
| P10 | Основные результаты численного исследования строения и эволюции звёзд | Система уравнений строения звезды. Численные методы решения системы уравнений строения звезды. Подход к изучению эволюции звезд. Изменение физических условий в центральных частях звезд. Изменение поверхностных характеристик звезд. Конечные этапы эволюции звёзд |
| P11 | Строение белых карликов | Уравнение состояния вещества белых карликов. Случай идеального нерелятивистски вырожденного электронного газа. Случай идеального релятивистски вырожденного электронного газа. Верхний предел массы белых карликов. Нейтронизация. Верхний предел плотности устойчивых белых карликов |
| P12 | Тепловая эволюция белых карликов | Температура вещества белых карликов. Элементарный анализ остывания белых карликов. |

1.3. Направление, виды воспитательной деятельности и используемые технологии

Таблица 1.2

| Направление воспитательной деятельности | Вид воспитательной деятельности | Технология воспитательной деятельности | Компетенция | Результаты обучения |
|---|--|---|--|---|
| Профессиональное воспитание | учебно-исследовательская, научно-исследовательская | Технология формирования уверенности и готовности к самостоятельной успешной профессиональной деятельности | ОПК-2 - Способен выполнять исследования при решении фундаментальных и прикладных задач, планировать и осуществлять | Д-2 - Проявлять ответственность и настойчивость в достижении цели |

| | | | | |
|--|--|-----------------|---|--|
| | | ой деятельности | сложные реальные или модельные эксперименты | |
|--|--|-----------------|---|--|

1.4. Программа дисциплины реализуется на государственном языке Российской Федерации .

2. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Строение и эволюция звезд

Электронные ресурсы (издания)

1. Шапиро, С. Л.; Черные дыры, белые карлики и нейтронные звезды 2. ; Мир, Москва; 1985; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=45372> (Электронное издание)

Печатные издания

1. Шварцшильд, Шварцшильд М., Кононович, Э. В., Масевич, А. Г.; Строение и эволюция звезд; УРСС, Москва; 2004 (1 экз.)
2. Масевич, А. Г.; Эволюция звезд: теория и наблюдения; Наука, Москва; 1988 (4 экз.)
3. Бисноватый-Коган, Г. С.; Физические вопросы теории звездной эволюции; Наука, Москва; 1989 (3 экз.)

Профессиональные базы данных, информационно-справочные системы

1. Университетская библиотека онлайн. URL: <http://biblioclub.ru>
2. Электронная научная библиотека. URL: <https://elibrary.ru>
3. Зональная научная библиотека УрФУ. URL: <http://lib.urfu.ru>

Материалы для лиц с ОВЗ

Весь контент ЭБС представлен в виде файлов специального формата для воспроизведения синтезатором речи, а также в тестовом виде, пригодном для прочтения с использованием экранной лупы и настройкой контрастности.

Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

1. Российская государственная библиотека. URL: <http://www.rsl.ru>
2. Государственная публичная научно-техническая библиотека России. URL: <http://www.gpntb.ru>
3. Информационно-поисковая система по астрономии ADS (Astrophysical Data System). URL: <https://ui.adsabs.harvard.edu/#>
4. Информационно-поисковая система препринтов по астрономии arXiv astro-ph. URL: <https://arxiv.org/archive/astro-ph>

3. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Строение и эволюция звезд

Сведения об оснащении дисциплины специализированным и лабораторным оборудованием и программным обеспечением

Таблица 3.1

| № п/п | Виды занятий | Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы | Перечень лицензионного программного обеспечения |
|-------|---|---|--|
| 1 | Лекции | Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Доска аудиторная | Не требуется |
| 2 | Практические занятия | Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Доска аудиторная | Не требуется |
| 3 | Текущий контроль и промежуточная аттестация | Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Доска аудиторная | Не требуется |
| 4 | Самостоятельная работа студентов | Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Персональные компьютеры по количеству обучающихся Подключение к сети Интернет | Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM WinEDUA3 ALNG SubsVL MVL PerUsr STUUseBnft C Student EES Mozilla Firefox |
| 5 | Консультации | Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Доска аудиторная | Не требуется |

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
Теоретическая астрофизика

Рабочая программа дисциплины составлена авторами:

| № п/п | Фамилия Имя Отчество | Ученая степень, ученое звание | Должность | Подразделение |
|--------------|-----------------------------|---|-----------------------|---|
| 1 | Кузнецов Эдуард Дмитриевич | доктор физико-математических наук, доцент | Заведующий кафедрой | астрономии, геодезии, экологии и мониторинга окружающей среды |
| 2 | Островский Андрей Борисович | без ученой степени, без ученого звания | Старший преподаватель | астрономии, геодезии, экологии и мониторинга окружающей среды |

Рекомендовано учебно-методическим советом института Естественных наук и математики

Протокол № 6 от 15.10.2021 г.

1. СОДЕРЖАНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ДИСЦИПЛИНЫ

Авторы:

- Кузнецов Эдуард Дмитриевич, Заведующий кафедрой, астрономии, геодезии, экологии и мониторинга окружающей среды
- Островский Андрей Борисович, Старший преподаватель, астрономии, геодезии, экологии и мониторинга окружающей среды

1.1. Технологии реализации, используемые при изучении дисциплины модуля

- Традиционная (репродуктивная) технология
- Разноуровневое (дифференцированное) обучение
 - Базовый уровень

**Базовый I уровень – сохраняет логику самой науки и позволяет получить упрощенное, но верное и полное представление о предмете дисциплины, требует знание системы понятий, умение решать проблемные ситуации. Освоение данного уровня результатов обучения должно обеспечить формирование запланированных компетенций и позволит обучающемуся на минимальном уровне самостоятельности и ответственности выполнять задания;*

Продвинутый II уровень – углубляет и обогащает базовый уровень как по содержанию, так и по глубине проработки материала дисциплины. Это происходит за счет включения дополнительной информации. Данный уровень требует умения решать проблемы в рамках курса и смежных курсов посредством самостоятельной постановки цели и выбора программы действий. Освоение данного уровня результатов обучения позволит обучающемуся повысить уровень самостоятельности и ответственности до творческого применения знаний и умений.

1.2. Содержание дисциплины

Таблица 1.1

| Код раздела, темы | Раздел, тема дисциплины* | Содержание |
|-------------------|---------------------------|---|
| P1 | Основные понятия | Характеристики поля излучения: интенсивность, поток, плотность. Моменты интенсивности излучения. Тензор давления излучения. Излучение и вещество: общая картина блуждания кванта, коэффициент поглощения, коэффициент излучения. Истинное поглощение и рассеяние. Понятие о функции перераспределения по углам и частотам. Профиль коэффициента излучения. Приближение полного перераспределения по частотам. Уравнение переноса излучения (УПИ). Оптическая глубина и функция источников. Формальное решение. Уравнение Шварцшильда-Милна. Моменты уравнения переноса – энергии, полного импульса. Условие лучистого равновесия. Диффузионное приближение. Решение УПИ в приближении Эддингтона. Метод дискретных ординат. Точное решение для серой атмосферы. |
| P2 | Свойства излучающей среды | Коэффициенты Эйнштейна и их связь с коэффициентами поглощения и излучения. Функция источников двухуровневой задачи. Вычисление коэффициента поглощения - классический подход. Лоренцевский профиль и сила осциллятора. Вычисление коэффициента поглощения – квантовый подход. Сила перехода. Поглощение в континууме. Соотношения Эйнштейна-Милна. Поглощение атомом водорода: множители Гаунта, общие формулы для водородных к-тов поглощения. |

| | | |
|-----------|------------------------|---|
| | | Коэффициенты поглощения в звездной атмосфере: водород, отрицательный ион водорода, томсоновское и рэлеевское рассеяние. ЛТР. Теорема Росселанда. |
| Р3 | Перенос в линиях | Уширение линий: естественное, доплеровское, профиль Фойгта, ударное, статистическое. Функция Хольцмарка. Штарк-эффект. Уширение из-за вращения звезды. Модель Милна-Эддингтона. Кривая роста в модели Милна-Эддингтона. Теоретическая и эмпирическая кривые роста. Микротурбулентность. Использование кривых роста. Модели атмосфер и определение химсостава звезд. |
| Р4 | Планетарные туманности | Линии “небулия”. Запрещенные линии в спектрах ПТ. Основные механизмы свечения линий в ПТ – фотоионизационно-рекомбинационный, флуоресценция Боуэна, свечение “небулия”. Зоны Стремгрена. Определение электронной температуры и концентрации. Методы Занстра определения температуры центральной звезды ПТ. |

1.3. Направление, виды воспитательной деятельности и используемые технологии

Таблица 1.2

| Направление воспитательной деятельности | Вид воспитательной деятельности | Технология воспитательной деятельности | Компетенция | Результаты обучения |
|---|--|---|--|---|
| Профессиональное воспитание | учебно-исследовательская, научно-исследовательская | Технология формирования уверенности и готовности к самостоятельной успешной профессиональной деятельности | ОПК-2 - Способен выполнять исследования при решении фундаментальных и прикладных задач, планировать и осуществлять сложные реальные или модельные эксперименты | Д-2 - Проявлять ответственность и настойчивость в достижении цели |

1.4. Программа дисциплины реализуется на государственном языке Российской Федерации .

2. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Теоретическая астрофизика

Электронные ресурсы (издания)

1. Соболев, В. В.; Курс теоретической астрофизики : учебник.; Наука, Москва; 1985; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=44295> (Электронное издание)

Печатные издания

1. Соболев, В. В.; Курс теоретической астрофизики : [учебник для студентов вузов по специальности "Астрономия"].; Наука, Москва; 1985 (4 экз.)

2. Сахибуллин, Н. А.; Определение фундаментальных параметров звезд; ФЭн, Казань; 2003 (1 экз.)
3. Сахибуллин, Н. А.; Звездные атмосферы; ФЭн, Казань; 1997 (1 экз.)
4. Бочкарев, Н. Г.; Основы физики межзвездной среды : учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности "Астрономия".; URSS, Москва; 2015 (2 экз.)
5. , Саечников, В. А., Чернявская, Э. А., Хомич, М. И., Верхотурова, Е. В.; Ч. 1 : пособие для студентов, обучающихся по специальности 1-31 04 04 "Аэрокосмические радиоэлектронные и информационные системы и технологии".; БГУ, Минск; 2012 (1 экз.)
6. Kwok, S.; Physics and Chemistry of the Interstellar Medium; University Science Books, Sausalito; 2007 (1 экз.)

Профессиональные базы данных, информационно-справочные системы

1. Университетская библиотека онлайн. URL: <http://biblioclub.ru>
2. Электронная научная библиотека. URL: <https://elibrary.ru>
3. Зональная научная библиотека УрФУ. URL: <http://lib.urfu.ru>

Материалы для лиц с ОВЗ

Весь контент ЭБС представлен в виде файлов специального формата для воспроизведения синтезатором речи, а также в тестовом виде, пригодном для прочтения с использованием экранной лупы и настройкой контрастности.

Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

1. Российская государственная библиотека. URL: <http://www.rsl.ru>
2. Государственная публичная научно-техническая библиотека России. URL: <http://www.gpntb.ru>
3. Информационно-поисковая система по астрономии ADS (Astrophysical Data System). URL: <https://ui.adsabs.harvard.edu/#>
4. Информационно-поисковая система препринтов по астрономии arXiv astro-ph. URL: <https://arxiv.org/archive/astro-ph>

3. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Теоретическая астрофизика

Сведения об оснащении дисциплины специализированным и лабораторным оборудованием и программным обеспечением

Таблица 3.1

| № п/п | Виды занятий | Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы | Перечень лицензионного программного обеспечения |
|-------|--------------|---|---|
| 1 | Лекции | Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в | Office 365 EDUA5 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES |

| | | | |
|---|---|---|--|
| | | <p>соответствии с количеством студентов</p> <p>Рабочее место преподавателя</p> <p>Доска аудиторная</p> <p>Периферийное устройство</p> <p>Подключение к сети Интернет</p> | <p>WinEDUA3 ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES</p> <p>Mozilla Firefox</p> |
| 2 | Практические занятия | <p>Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов</p> <p>Рабочее место преподавателя</p> <p>Доска аудиторная</p> <p>Периферийное устройство</p> <p>Подключение к сети Интернет</p> | <p>Office 365 EDUA5 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES</p> <p>WinEDUA3 ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES</p> <p>Mozilla Firefox</p> |
| 3 | Консультации | <p>Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов</p> <p>Рабочее место преподавателя</p> <p>Доска аудиторная</p> <p>Периферийное устройство</p> <p>Подключение к сети Интернет</p> | <p>Office 365 EDUA5 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES</p> <p>WinEDUA3 ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES</p> <p>Mozilla Firefox</p> |
| 4 | Текущий контроль и промежуточная аттестация | <p>Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов</p> <p>Рабочее место преподавателя</p> <p>Доска аудиторная</p> <p>Периферийное устройство</p> <p>Подключение к сети Интернет</p> | <p>Office 365 EDUA5 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES</p> <p>WinEDUA3 ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES</p> <p>Mozilla Firefox</p> |
| 5 | Самостоятельная работа студентов | <p>Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов</p> <p>Персональные компьютеры по количеству обучающихся</p> <p>Подключение к сети Интернет</p> | <p>Office 365 EDUA5 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES</p> <p>WinEDUA3 ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES</p> <p>Mozilla Firefox</p> |

