

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
2020 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА МОДУЛЯ

| Код модуля | Модуль |
|------------|--|
| 1147801 | Физика межзвездной среды и радиоастрономия |

Екатеринбург, 2020

| | |
|---|---|
| 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 | Островский Андрей Борисович | без ученой степени, без ученого звания | Старший преподаватель | Кафедра астрономии, геодезии, экологии и мониторинга окружающей среды |
| | | | | |
| | | | | |

Согласовано:

Учебный отдел



1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МОДУЛЯ

Физика межзвездной среды и радиоастрономия

1.1. Аннотация содержания модуля

В модуль входят две дисциплины «Основы радиоастрономии» и «Физика межзвездной среды». Модуль призван дать описание многообразных процессов, происходящих в межзвездной среде, и радиоастрономических методов изучения компонентов 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 | Основы радиоастрономии | 3 |
| 2 | Физика межзвездной среды | 3 |
| ИТОГО по модулю: | | 6 |

1.3. Последовательность освоения модуля в образовательной программе

| | |
|------------------------------------|----------------------------------|
| Пререквизиты модуля | Астрофизика, Звездная астрономия |
| Постреквизиты и кореквизиты модуля | Методы теоретической астрофизики |

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 |
| Основы радиоастрономии и | ОПК-2 - Способен выполнять исследования при решении фундаментальных и прикладных задач, планировать и осуществлять сложные реальные или модельные эксперименты | З-1 - Демонстрировать понимание принципов, особенностей и задач проведения фундаментальных и прикладных исследований, планирования модельных или реальных экспериментов У-1 - Соотнести цель и задачи исследования с набором методов исследования, выбрать необходимое сочетание цели и средств при планировании исследований |
| | ОПК-4 - Способен выбирать и использовать существующие информационно-коммуникационные технологии и | З-1 - Представлять возможности современных информационно-коммуникационных средств и технологий сбора, передачи, обработки и накопления информации, создания баз данных, |

| | | |
|--------------------------|---|---|
| | вычислительные методы для решения задач в области профессиональной деятельности | используемых в области профессиональной деятельности |
| | ПК-2 - Владеет методами физического, математического и алгоритмического моделирования при анализе научных проблем астрономии и смежных наук | З-1 - Знать основные методы физического, математического и алгоритмического моделирования У-1 - Самостоятельно применять методы физического, математического и алгоритмического моделирования при решении поставленных задач |
| | ПК-3 - Способен к интенсивной научной и научно-исследовательской деятельности | З-1 - Знать основные принципы ведения научной и научно-исследовательской деятельности |
| | ПК-4 - Владеет наблюдательными и экспериментальными методами исследований астрономических и физических объектов и явлений | З-1 - Знать основные методы наблюдательных и экспериментальных исследований астрономических и физических объектов и явлений |
| | ПК-9 - Способен ориентироваться в прикладных аспектах научных исследований, совершенствовать, углублять и развивать теорию и модели, лежащие в их основе | З-1 - Знать прикладные аспекты научных исследований У-1 - Способен совершенствовать, углублять и развивать теорию и модели, лежащие в основе прикладных аспектов научных исследований |
| Физика межзвездной среды | ОПК-2 - Способен выполнять исследования при решении фундаментальных и прикладных задач, планировать и осуществлять сложные реальные или модельные эксперименты | З-1 - Демонстрировать понимание принципов, особенностей и задач проведения фундаментальных и прикладных исследований, планирования модельных или реальных экспериментов У-1 - Соотнести цель и задачи исследования с набором методов исследования, выбирать необходимое сочетание цели и средств при планировании исследований |
| | ПК-1 - Владеет методами астрономического, физического и математического исследований при анализе глобальных проблем на основе глубоких знаний фундаментальных физико-математических дисциплин | З-1 - Знать основные методы астрономических, физических и математических исследований У-1 - Самостоятельно формулировать задачу в рамках рассматриваемой проблемы |

| | | |
|--|---|--|
| | ПК-4 - Владеет наблюдательными и экспериментальными методами исследований астрономических и физических объектов и явлений | З-1 - Знать основные методы 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 форме:

Очная

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
Основы радиоастрономии

Рабочая программа дисциплины составлена авторами:

| № п/п | Фамилия Имя Отчество | Ученая степень, ученое звание | Должность | Подразделение |
|-------|----------------------------|--|-----------|---|
| 1 | Парфёнов Сергей Юрьевич | кандидат физико- математических наук | доцент | Кафедра астрономии, геодезии, экологии и мониторинга окружающей среды |

Рекомендовано учебно-методическим советом института естественных наук и математики

1. СОДЕРЖАНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ДИСЦИПЛИНЫ

Авторы:

- Парфёнов Сергей Юрьевич, доцент кафедры астрономии, геодезии, экологии и мониторинга окружающей среды

1.1. Технологии реализации, используемые при изучении дисциплины модуля

Актуальные проблемы науки и техники

- Традиционная (репродуктивная) технология

1.2. Содержание дисциплины

Таблица 1.1

| Код раздела, темы | Раздел, тема дисциплины* | Содержание |
|-------------------|----------------------------------|---|
| P1 | Введение | Предмет радиоастрономии. Место радиоастрономии среди других разделов астрономии. Краткий исторический очерк ее развития. Объекты радиовселенной. Содержание курса радиоастрономии. |
| P2 | Радиоизлучение. Основные понятия | Яркость и интенсивность. Свойства интенсивности излучения. Поток излучения. Коэффициенты излучения и поглощения. Оптическая толщина. Уравнение переноса излучения. Формальное решение уравнения переноса излучения. Понятие абсолютно черного тела. Закон Рэлея-Джинса. Формула Планка. Закон смещения Вина. Теория большого взрыва. Измерения распределения микроволнового фона. |
| P3 | Антенны и радиометры | Теория антенн. Диполь Герца. Сопротивление излучения. Усиление по мощности передающей антенны. Эффективная площадь принимающей антенны. Теоремы взаимодействия. Антенная температура. Диаграмма направленности антенны. Параболические рефлекторы. Расстояние далекого поля. Типы антенных апертур. Диаграмма направленности двумерной апертуры. Однородно освещенная прямоугольная апертура. Однородно освещенная круговая апертура. Гауссова диаграмма круговой апертуры. Требования к точности поверхности отражателя. Радиотелескопы США. Европейские радиотелескопы. Радиотелескопы России и других стран. Естественный шум в спектральной полосе. Радиометры. Шумы аппаратуры. Супергетеродины. Двухэлементный узкополосный интерферометр. Протяженные источники и сложный коррелятор. Эффекты ограниченности ширины полосы и времени усреднения. Апертурный синтез за счет вращения Земли. Интерферометры в трех измерениях. Чувствительность. Существующие радиоинтерферометры. |
| P4 | Тепловое излучение в континууме | Различия в спектрах областей ионизованного водорода различной степени компактности. Спектр |

| | | |
|----|--|---|
| | | планетарных туманностей. Свойства межзвездной пыли. Излучение, поглощение и рассеяние. Спектры пыли в различных объектах. Космическая минералогия. Свободные электроны. Свободно-свободное излучение. Радиоизлучение Солнца. Тепловое излучение звезд различных спектральных классов в радиодиапазоне. |
| P5 | Нетепловое излучение | Мощность синхротронного излучения. Спектр синхротронного излучения. Источники синхротронного излучения. Рассеяние на электронах. Обратный эффект Комптона. Формирование рентгеновского излучения галактических источников и рентгеновской составляющей реликтового фона. Видимые движения со сверхсветовыми скоростями. Унифицированные модели активных галактических ядер. Радиоизлучение обычных галактик. Населения внегалактических источников и космологическая эволюция. |
| P6 | Пульсары | Открытие и основные свойства. Энергетика. Жизнь пульсаров. Механизмы излучения. Пульсары и межзвездная среда. Топоцентрическая и барицентрическая системы координат. Задержки, связанные с движениями объектов и распространением света. |
| P7 | Спектральные линии | Коэффициенты Эйнштейна. Квантовый перенос излучения. Частоты рекомбинационных линий. Силы рекомбинационных линий. Сверхтонкое расщепление. Линия H _I в галактических источниках. Линия H _I во внегалактических источниках. Эпоха реионизации. Частоты радиолиний молекул. Возбуждение энергетических уровней молекул. Силы линий. Астрономические приложения данных о радиолиниях молекул. Мазеры как физическое явление. Характеристики мазерных линий и мазерных источников. Мазеры как инструменты исследования движений и структуры объектов. Измерения тригонометрических параллаксов мазерных источников и структура Галактики. |
| P8 | Современные радиоастрономические проекты | Существующие интерферометры ATCA, PdB, CARMA, SMA, ALMA и др. Разрабатываемый космический проект Миллиметрон. Существующие интерферометры ATCA, MERLIN, eVLA, EVN, VLBA и др. Космический проект РадиоАстрон. Строящиеся интерферометры LOFAR, SKA. |

1.3. Программа дисциплины реализуется на государственном языке Российской Федерации (русский).

2. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Электронные ресурсы (издания)

Не используется

Печатные издания

1. Бочкарев, Николай Геннадьевич. Основы физики межзвездной среды : Учеб. пособие / Н. Г. Бочкарев .— М. : Изд-во МГУ, 1992 .— 352 с. – 10 экз.
2. Христиансен, У. Радиотелескопы / У. Христиансен, И. Хегбом ; пер. с англ. Р. Д. Дагкесаманского, Ю. П. Илясова ; под ред. А. А. Пистолькорса .— 2-е изд., перераб. и доп. — Москва : Мир, 1988 .— 303 с. – 3 экз

Профессиональные базы данных, информационно-справочные системы

- 1 ADS, http://adsabs.harvard.edu/abstract_service.html

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 Электронные ресурсы образовательного портала edu.ru.
- 2 Электронная библиотека УрФУ orac.urfu.ru
- 3 Портал информационно-образовательных ресурсов УрФУ study.urfu.ru

3. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

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. Реквизиты подтверждающего документа |
|-------|--|---|---|
| 1 | Лекции; Семинарские занятия; Консультации; Самостоятельная работа студентов | Аудитория оборудована мультимедийным проектором, компьютером и экраном. Компьютерные классы для проведения практических занятий и самостоятельной работы студентов | Microsoft Windows 7 по программе Desktop Education ALNG LicSAPk MVL B Faculty EES. Договор 43-12/1864- 2018 от 05.12.2018 Браузер Google Chrome – свободное ПО; Браузер Mozilla Firefox – свободное ПО; MS Office 2007/2010 - лицензия № 42095516, срок действия – б/с |

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Перечень примерных вопросов для зачета

- 1 Яркость и поток радиоизлучения.
- 2 Перенос излучения. Общие соотношения.
- 3 Излучение абсолютно черного тела.
- 4 Излучение микроволнового фона.
- 5 Основные параметры антенн.
- 6 Радиотелескопы-рефлекторы.
- 7 Устройства с заполненной апертурой.
- 8 Радиометры.
- 9 Радиоинтерферометры.
- 10 Области ионизованного водорода.
- 11 Радиоизлучение пыли.
- 12 Радиоизлучение звезд и Солнца.
- 13 Синхротронное излучение.
- 14 Эффект Комптона.
- 15 Излучение внегалактических источников в радиоконтинууме.
- 16 Свойства пульсаров.
- 17 Хронометрирование пульсаров.
- 18 Особенности переноса излучения в спектральных линиях.
- 19 Рекомбинационные радиолинии.
- 20 Линия HI.
- 21 Радиолинии молекул.
- 22 Мазерные радиолинии.
- 23 Проекты наблюдений астрономических объектов в коротковолновой части радиодиапазона.
- 24 Проекты наблюдений астрономических объектов в длинноволновой части радиодиапазона.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
Физика межзвездной среды

Рабочая программа дисциплины составлена авторами:

| № п/п | Фамилия Имя Отчество | Ученая степень, ученое звание | Должность | Подразделение |
|-------|--------------------------------|--|------------------------------|---|
| 1 | Островский Андрей Борисович | без ученой степени, без ученого звания | Старший преподавате ль | Кафедра астрономии, геодезии, экологии и мониторинга окружающей среды |

Рекомендовано учебно-методическим советом института естественных наук и математики

1. СОДЕРЖАНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ДИСЦИПЛИНЫ

Авторы:

- **Островский Андрей Борисович, Старший преподаватель кафедры астрономии, геодезии, экологии и мониторинга окружающей среды**

1.1. Технологии реализации, используемые при изучении дисциплины модуля

Актуальные проблемы науки и техники

- Традиционная (репродуктивная) технология

1.2. Содержание дисциплины

Таблица 1.1

| Код раздела, темы | Раздел, тема дисциплины* | Содержание |
|-------------------|---|---|
| P1 | Введение | Межзвездная среда. Общие сведения о составе, распространении, состоянии. Особенности физических условий в МЗС. Спектроскопическая терминология. |
| 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. Синхротронное. Излучение кривизны. Излучение в спектральных линиях атомов и молекул |
| 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 HI и тепловая неустойчивость межзвездной среды | Межзвездный нейтральный водород. Объемный нагрев и охлаждение МЗС. Основные механизмы нагрева газа. Основные механизмы охлаждения. Двухфазная модель межзвездной среды. Молекулярные облака. Радиолиния 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. |
| 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. Программа дисциплины реализуется на государственном языке Российской Федерации (русский).

2. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Электронные ресурсы (издания)

1. Г. М. Рудницкий. Конспект лекций по курсу «Радиоастрономия». М., МГУ, 2001. <http://comet.sai.msu.ru/~gmr/course/konspekt.zip>
2. Соболев, В. В. Курс теоретической астрофизики / В.В. Соболев .— Москва : Наука, 1985 .— 506 с. — <URL:<http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=44295>>.

Печатные издания

- 1 Бочкарев, Николай Геннадьевич. Основы физики межзвездной среды : Учеб. пособие / Н. Г. Бочкарев .— М. : Изд-во МГУ, 1992 .— 352 с. – 10 экз.

Профессиональные базы данных, информационно-справочные системы

1. ADS, http://adsabs.harvard.edu/abstract_service.html

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 Электронные ресурсы образовательного портала edu.ru.
- 2 Электронная библиотека УрФУ orac.urfu.ru
- 3 Портал информационно-образовательных ресурсов УрФУ study.urfu.ru

3. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

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. Реквизиты подтверждающего документа |
|-------|--|---|--|
| 1 | Лекции; Семинарские занятия; Консультации; Самостоятельная работа студентов | Аудитория оборудована мультимедийным проектором, компьютером и экраном. Компьютерные классы для проведения практических занятий и самостоятельной работы студентов | Microsoft Windows 7 по программе Desktop Education ALNG LicSAPk MVL B Faculty EES. Договор 43-12/1864-2018 от 05.12.2018 Браузер Google Chrome – свободное ПО; Браузер Mozilla Firefox – свободное ПО; MS Office 2007/2010 - лицензия № 42095516, срок действия – б/с |

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Перечень примерных вопросов для экзамена

- 1 Основные свойства МЗС.
- 2 Физические особенности состояния компонентов МЗС. Отсутствие локального термодинамического равновесия. Вмороженность магнитного поля. Запрещенные линии.
- 3 Профиль спектральной линии. Основные понятия. Спектроскопическая терминология.
- 4 Формирование профиля спектральной линии. Лоренцев профиль.
- 5 Естественная ширина линии.
- 6 Доплеровское уширение профиля линии. Функция профиля линии (профиля коэффициента поглощения).
- 7 Формирование профиля линии в непрерывной среде. Линии поглощения и излучения. Непрерывная среда с источниками.
- 8 Плазменные частоты. Циклотронное излучение. Синхротронное излучение. Излучение кривизны.
- 9 Излучение в спектральных линиях атомов и молекул.
- 10 Тепловое излучение газовой среды. Тормозное излучение ионизованного газа. Нетепловое излучение.
- 11 Прохождение электромагнитных волн через плазму в электрическом и магнитном полях. Поляризация излучения.
- 12 Процессы ионизации и рекомбинации.
- 13 Тепловой баланс зон ионизованного водорода.
- 14 Столкновительные процессы. Столкновения электронов и ионов. Резонансные состояния. Ионизация электронным ударом.
- 15 Скорость охлаждения среды. Скорость нагрева среды. Тепловой баланс среды. Энергетический баланс.
- 16 Водородная туманность. Фотоионизация. Рекомбинация. Фотоионизация водородной туманности. Зона Стремгрена. Влияние пыли на процессы ионизации и рекомбинации.
- 17 Водородная туманность с содержанием гелия и тяжелых элементов. Тонкая структура атомных линий. Сверхтонкое расщепление. Фотоионизация гелия.
- 18 Ионизация тяжелых элементов.
- 19 Фотоионизация туманности из водорода и гелия. Фотоионизация туманности при наличии элементов, тяжелее гелия.
- 20 Тепловой баланс. Тепловой баланс зон нейтрального водорода.
- 21 Нагрев облаков H I. Охлаждение облаков H I. Двухфазная модель межзвездной среды.
- 22 Зоны нейтрального водорода в Галактике. Распределение нейтрального водорода в Галактике.
- 23 Высокоскоростные облака нейтрального водорода в Галактике.
- 24 Особенности формирования профилей спектральных линий нейтрального водорода в Галактике.
- 25 Вспышки сверхновых и структура МЗС. Современное состояние проблемы описания межзвездной среды. Газовое гало Галактики и галактические фонтаны.
- 26 Межзвездная среда в окрестности Солнца (200 пк).
- 27 Классификация основных компонентов межзвездной среды. Особенности структуры МЗС в Галактике.
- 28 Воздействие вспышек сверхновых звезд на двухфазную структуру межзвездной среды. Обзор трехфазной модели межзвездной среды. Физические основы трехфазной модели межзвездной среды.

- 29 Наблюдательные свидетельства существования межзвездной пыли. Наблюдательные оценки параметров пылевых частиц.
- 30 Оптические свойства пылевых частиц.
- 31 Тепловой баланс пыли. Пылевые частицы особо малых размеров.
- 32 Оценка параметров пылевых областей по излучению пыли в инфракрасном и субмиллиметровом диапазонах.
- 33 Пылевая компонента в процессах формирования планетных систем. Состав пылевых частиц.
- 34 Вещества, входящие в состав пылевых частиц. Формирование и разрушение пылевых частиц.
- 35 Тепловой баланс пылевых частиц.
- 36 Оптические свойства малых пылевых частиц. Теория Ми. Предел Парселла.
- 37 Кривая экстинкции.
- 38 Модели пыли и распределение пылевых частиц по размерам. Модель Матиса—Румпля—Нордсика (Mathis—Rumpl—Nordsieck — MRN). Модель Ядро—Мантия (Core—Mantle — CM).
- 39 Молекулярная спектроскопия. Элементы молекулярной спектроскопии.
- 40 Энергетические спектры молекул, характерных для МЗС.
- 41 Молекула водорода H₂. Молекулярные облака.
- 42 Диффузные молекулярные облака. Химические процессы в диффузных облаках. Полупрозрачные облака.
- 43 Высокоширотные облака.
- 44 Молекула CO и проблема изучения молекулярных облаков. Образование и разрушение молекулы CO.
- 45 Области доминирования фотонов (PDR).
- 46 Плотные молекулярные облака. Гигантские молекулярные облака и спиральная структура Галактики.
- 47 Соотношение обилий CO/H₂.