

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
1155240	Методы теоретической астрофизики

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

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	Строение и эволюция звезд	3
2	Теоретическая астрофизика	4
ИТОГО по модулю:		7

1.3. Последовательность освоения модуля в образовательной программе

Пререквизиты модуля	Астрофизика, Звездная астрономия
Постреквизиты и кореквизиты модуля	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	З-1 - Демонстрировать понимание принципов, особенностей и задач проведения фундаментальных и

	решении фундаментальных и прикладных задач, планировать и осуществлять сложные реальные или модельные эксперименты	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
Теоретическая астрофизика	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	З-1 - Знать основные методы астрономических, физических и математических исследований У-1 - Самостоятельно формулировать задачу в рамках рассматриваемой проблемы

	<p>проблем на основе глубоких знаний фундаментальных физико-математических дисциплин</p>	
	<p>ПК-4 - Владеет наблюдательными и экспериментальными методами исследований астрономических и физических объектов и явлений</p>	<p>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</p>

1.5. Форма обучения

Обучение по дисциплинам модуля может осуществляться в форме:

Очная

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
Строение и эволюция звезд

Рабочая программа дисциплины составлена авторами:

№ п/п	Фамилия Имя Отчество	Ученая степень, ученое звание	Должность	Подразделение
1	Старицин Евгений Игоревич	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:

- Старицын Евгений Игоревич, 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	Механическое равновесие звезд	Ньютоновская теория тяготения. Случай сферически симметричного распределения вещества. Уравнение механического равновесия. Теория политроп. Малые возмущения равновесной конфигурации. Динамическая неустойчивость звезд. Возмущения звезд конечной амплитуды. Основные характеристики звездных пульсаций.
P2	Энерговыделение в звездах	Гравитационная энергия звезды. Ядерные реакции прямого захвата в звездах. Резонансные ядерные реакции в звездах. Закон сохранения энергии в звездах.
P3	Перенос энергии в звездах	Уравнение переноса излучения. Диффузионное приближение. Непрозрачность звездного вещества. Перенос энергии конвекцией. Теория пути перемешивания
P4	Основные результаты численного исследования строения и эволюции звёзд	Численное моделирование строения звезды. Результаты численного исследования эволюции звезд.
P5	Белые карлики	Нерелятивистски вырожденные белые карлики. Релятивистски вырожденные белые карлики. Тепловая эволюция белых карликов.

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

2. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Электронные ресурсы (издания)

- 1 Зельдович, Я. Б. Строение и эволюция Вселенной / Я.Б. Зельдович ; И.Д. Новиков .— Москва : Наука, 1975 .— 733 с. — <URL:<http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=45416>>.
- 2 Зельдович, Я. Б. Теория тяготения и эволюция звезд / Я.Б. Зельдович ; И.Д. Новиков .— Москва : Наука, 1971 .— 484 с. — <URL:<http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=450132>>.

Печатные издания

1. Бисноватый-Коган, Геннадий Семенович. Физические вопросы теории звездной эволюции / Г. С. Бисноватый-Коган .— Москва : Наука, 1989 .— 484, [1] 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

1.1.1. Перечень примерных вопросов для экзамена

- 1 Уравнение механического равновесия звезды. Температура и плотность вещества в центре звезды.
- 2 Линейное адиабатическое волновое уравнение. Динамическая неустойчивость звезд.
- 3 Волновое уравнение адиабатических радиальных колебаний звезды. Соотношение период--средняя плотность пульсирующих переменных звезд.
- 4 Найти распределения амплитуды и частоты радиальных адиабатических колебаний а) в модели звезды с постоянной плотностью, б) в модели звезды с плотностью, убывающей обратно пропорционально квадрату расстояния от центра.
- 5 Теорема вириала. Гравитационная и внутренняя энергия звезды. Тепловая шкала времени эволюции звезды.
- 6 Запасы ядерной энергии в звездах. Условия протекания ядерных реакций в веществе звезд. Ядерная шкала времени эволюции звезд.
- 7 Темп выделения энергии в ядерных реакциях прямого захвата в звездном веществе. Гамовский пик.
- 8 Темп выделения энергии в резонансных ядерных реакциях в звездном веществе.
- 9 Закон сохранения энергии для звезд. Эквивалентность дифференциальной и интегральной форм закона.
- 10 Перенос энергии в звездах. Диффузионное приближение. Стандартная модель звезды.
- 11 Критерий конвективной устойчивости. Теория пути перемешивания.
- 12 Система уравнений строения звезды и численные методы ее решения.
- 13 Условие вырождения электронного газа. Соотношение масса--радиус белых карликов.
- 14 Верхний предел массы белых карликов. Нейтронизация вещества. Динамическая устойчивость белых карликов.
- 15 Температура вещества в недрах белых карликов. Тепловая эволюция белых карликов.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
Теоретическая астрофизика

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 преподаватель	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	Основные понятия	<p>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. Условие лучистого равновесия. Диффузионное приближение. Решение УПИ в приближении Эддингтона. Метод дискретных ординат. Точное решение для серой атмосферы.</p>
P2	Свойства излучающей среды	<p>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. Слабое и сильное поле. Осцилляции населенностей и частота Раби. 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. Общее уравнение Саха-Больцмана. Уравнение состояния вещества. Статистическая сумма. Сохранение заряда и числа частиц. Метод линеаризации. Возбуждение электронным ударом. Приближенные формулы. Понятие об автоионизации и</p>

		<p>диэлектронной рекомбинации. Полные уравнения статистического равновесия (УСР). УСР для суператома водород + гелий. Общая форма записи ударных и радиативных членов в УСР для линий и континуума. Теорема Росселанда. Понятие о методе линеаризации решения УСР + УПИ.</p>
Р3	Стандартная модель звездной атмосферы	<p>Симметризация УПИ – сведение к двухточечной краевой задаче. Дискретизация УПИ. Решение задачи о переносе излучения для двухуровневого атома методом Фотрие. Метод переменных эддингтоновских множителей. Стандартная задача построения модели атмосферы. Уравнение гидростатики. Методы учета большого числа линий в непрозрачности (бланкетирования). Методы Бем-Витензе и Фотрие учета лучистого равновесия. Критерий конвективной устойчивости Шварцшильда. Уравнение лучистого равновесия с учетом конвекции. Наблюдаемый и теоретический спектры: распределение энергии в спектре, скачки на пределах серий, показатели цвета.</p>
Р4	Перенос в линиях	<p>Уширение линий: естественное, доплеровское, профиль Фойгта, ударное, статистическое. Функция Хольцмарка. Штарк-эффект. Модельное микрополе. Дебаевское экранирование. Уравнение состояния Михаласа Хаммера Дэппена и вероятность реализации уровня. Уширение Ван дер Ваальса: теория Barklem & O'Mara. 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. Диффузия кванта в линии звездной атмосфере. Вероятность выхода и глубина термализации. Оптически эффективно толстый и эффективно тонкий слой газа. Двухуровневый атом: интегральное уравнение для функции источников. Вероятность гибели кванта в элементарном акте рассеяния. Стандартная задача переноса излучения. Метод дискретных ординат и закон $\sqrt{\epsilon}$. Формальное решение на луче и его матричная запись. Ядерная функция. Λ-итерация. Условие сходимости Λ-итерации. Оценка максимального собственного числа Λ-оператора. Метод Хаммера-Райбики ускоренных Λ-итераций для задач без континуума. Общая постановка задачи моделирования звездной атмосферы с учетом линий. Понятие о методе полной линеаризации. Гибридный метод. Ограниченная неЛТР задача для примесного атома. Метод Андерсона учета очень большого числа уровней в модели атома. Суперуровни. УПИ в движущейся атмосфере. Сферическая оболочка и представление лучей для решения УПИ. Спектр типа P Cyg. Метод</p>

		Соболева-Кастора для оболочек с большим градиентом скорости. Понятие о звездном ветре.
P5	Солнце	Фотосфера, хромосфера, корона. Активное Солнце: пятна, протуберанцы, вспышки, корональные выбросы массы, корональные дыры, солнечный ветер. Модели атмосферы Солнца. Понятие о динамических и трехмерных моделях. Анализ УФ спектра и мера эмиссии. УПИ в магнитном поле (МП). Решение Унно-Степанова-Рачковского. DELO метод решения УПИ в МП. Интерференция уровней: понятие об эффекте Ханле. Режимы излучения в МП. Второй солнечный спектр. Измерение солнечных МП: магнитографы и поляриметры. Высота формирования линии. Функция отклика и ее использование в постановке обратных задач теории переноса.
P6	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.
P7	Межзвездная среда	Общие характеристики. Зоны НП. Разделение на фазы. Компоненты МЗС. Линия 21 см. Спиновая T_s и яркостная T_b температуры. Приближение Рэля-Джинса. Плоский изотермический слой в радиодиапазоне. Галактика в линии 21 см. Пыль и молекулярные облака. Радиорекомбинационные радиолнии (РРЛ). Мензеловские множители. Мазерный эффект в РРЛ. Условие возникновения мазерного эффекта. Уровни энергии двухатомной молекулы. УПИ для мазера. Инверсия населенностей. Накачка. Конкуренция мазерных пучков. Интенсивность на выходе ненасыщенного и насыщенного линейного мазера и поведение профиля мазерной линии.
P8	Земная атмосфера	Состав. Особенности УПИ в атмосферах планет. Аэрозоль и индикатриса рассеяния. Пропускание атмосферы, коэффициенты поглощения. Малые газовые составляющие (МГС). Озон. Углекислый газ, метан и парниковый эффект. Кривая Киллинга. Солнечное излучение и климат Земли. Дистанционное зондирование атмосферы. Метод DOAS определения МГС. Комбинационное рассеяние и эффект Ринга.

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

2. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Электронные ресурсы (издания)

1. Соболев, В. В. Курс теоретической астрофизики / В.В. Соболев .— Москва : Наука, 1985 .— 506 с. — <URL:<http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=44295>>.
2. Гинзбург, В. Л. Теоретическая физика и астрофизика : дополнительные главы / В.Л. Гинзбург .— Изд. 2-е, доп. — Москва : Наука, 1981 .— 506 с. — <URL:<http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=481268>>.

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. Характеристики поля излучения: интенсивность, поток, плотность.
2. Моменты интенсивности излучения. Средняя интенсивность, поток (астрофизический поток, эддингтоновский поток)
3. Поглощение в континууме. Соотношения Эйнштейна-Милна.
4. Тензор давления излучения, второй эддингтоновский момент (K), переменный эддингтоновский множитель
5. Коэффициенты поглощения в звездной атмосфере: водород, отрицательный ион водорода, томсоновское и рэлеевское рассеяние.
6. Излучение и вещество: общая картина блуждания кванта (двухуровневое приближение), коэффициент поглощения, коэффициент излучения.
7. ЛТР. Общее уравнение Саха-Больцмана. Уравнение состояния вещества. Метод линеаризации.
8. Истинное поглощение и рассеяние. Понятие о функции перераспределения по углам и частотам. Профиль коэффициента излучения. Приближение полного перераспределения по частотам
9. Полные уравнения статистического равновесия (УСР). УСР для суператома водород + гелий.
10. Уравнение переноса излучения. Оптическая глубина и функция источников. Формальное решение. Уравнение Шварцшильда-Милна
11. Уравнения статистического равновесия (УСР). Общая форма записи ударных и радиативных членов в УСР для линий и континуума.
12. Моменты уравнения переноса – энергии, полного импульса
13. Теорема Росселанда. Метод линеаризации решения УСР + УПИ.
14. Условие лучистого равновесия. Диффузионное приближение.
15. Численное решение УПИ методом Фотрие.
16. Серая атмосфера. Функция Хопфа. Средние непрозрачности – потоковая, росселандова, планковская, прямая.
17. Стандартная задача построения модели атмосферы. Методы учета большого числа линий в непрозрачности (бланкетирования). Учет гидростатического и лучистого равновесия при ЛТР (Бем-Витензе, Фотрие).
18. Решение УПИ в приближении Эддингтона. Метод дискретных ординат. Точное решение для серой атмосферы.
19. Уширение линий: естественное, доплеровское, профиль Фойгта, ударное, статистическое, Функция Хольцмарка, Штарк-эффект.
20. Коэффициенты Эйнштейна и их связь с коэффициентами поглощения и излучения. Функция источников двухуровневой задачи.
21. Образование линий в модели Милна-Эддингтона. Кривые роста.
22. Вычисление коэффициента поглощения - классический подход. Сила осциллятора.
23. Двухуровневый атом без континуума. Вероятность гибели кванта. Дифференциальный подход. Интегральный подход.
24. Вычисление коэффициента поглощения – квантовый подход.
25. Солнечная атмосфера - одномерные модели. Построение модели переходного слоя хромосфера-корона и понятие меры эмиссии.
26. Метод приближенного Λ -оператора для многоуровневого атома.
27. Функция отклика для слабых линий и ее использование для решения обратной задачи: определения физических параметров атмосферы по ее спектру.
28. Вероятность выхода и гибели кванта. Глубина термализации. Эффективно толстая и эффективно тонкая линии.
29. Методы Занстра определения температуры центральной звезды туманности по видимому спектру туманности и звезды.