

**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория
Российской академии наук (ГАО РАН)**

Принято на заседании Ученого совета
протокол от 27.09.24 № 6



УТВЕРЖДАЮ
директор ГАО РАН

Н.Р. Ихсанов

27.09.2024

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

«Физика космоса, астрономия»

Специальность — 1.3.1 «Физика космоса, астрономия»

Обязательная часть ООП

Трудоемкость (границы трудоемкости) в зачетных единицах: 16

Форма отчетности аспирантов: кандидатский экзамен

Форма обучения: очная

Санкт – Петербург
2024 г.

Раздел 1. Характеристики учебной программы

Рабочая учебная программа по дисциплине «Физика космоса, астрономия» разработана на основе федеральных государственных требований, утвержденных Приказом Министерства науки и высшего образования РФ от 20 октября 2021 г. № 951 «Об утверждении федеральных государственных требований к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре), условиям их реализации, срокам освоения этих программ с учетом различных форм обучения, образовательных технологий и особенностей отдельных категорий аспирантов (адъюнктов)».

Дисциплина предназначена для обучающихся по основной образовательной программе подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (далее – ООП) по специальности 1.3.1 «Физика космоса, астрономия».

1.1. Цели и задачи учебных занятий:

Курс «Физика космоса, астрономия» представляет собой одну из важнейших составляющих обучения по программе аспирантуры одноименного профиля. Предназначение дисциплины заключено в овладении современным комплексом концепций, знаний, представлений и гипотез о геометрии и кинематике объектов видимой Вселенной. Содержание курса посвящено изучению:

- 1) фундаментальных классических основ астрометрии и наиболее значимых достижений последних десятилетий в этих областях профессиональных знаний;
- 2) фундаментальных классических основ небесной механики, так и наиболее значимых достижений последних десятилетий в этих областях профессиональных знаний;
- 3) основных направлений современной астрономии, таких как радио, рентгеновская, гамма и нейтринная астрономия, об основных методах наблюдений в современной астрономии (спектроскопии, фотометрии, поляриметрии), об основных свойствах астрофизической плазмы, об основных механизмах излучения астрофизических объектов;
- 4) роли и возможностей современной радиоастрономии в исследовании объектов Вселенной и механизмах радиоизлучения Солнца, звёзд, планет и галактик; знакомство с конструкциями радиотелескопов, приёмных устройств, методами радиоинтерферометрии со сверхдлинными базами (РСДБ); ознакомление с методами диагностики физических параметров астрономических объектов по принимаемому радиоизлучению;
- 5) методов оценивания расстояний с использованием различных индикаторов (цефеиды, рассеянные скопления звезд, кинематические методы); кинематических моделей Галактики (модель Оорта-Линдблада, модель Огородникова-Милна); положений теории волн плотности; особенностей распределения массы в Галактике; современных баз данных, планируемых наземных и космических экспериментов; статистических методов;
- 6) картины современных знаний о Солнце в физическом и логическом аспектах; знакомства с современными методами наблюдений Солнца и особенностями наземных и космических наблюдений; освоения методов обработки наблюдений и создания математических моделей; освоения физического моделирования гелиофизических процессов.

Программа призвана решать следующие задачи:

- 1) формирование представлений о различных методах установления и реализации различных систем координат и счета времени, методов экспериментального определения положения различных объектов в выбранных системах отсчета,

- описания и определения движения этих объектов и различных методах обработки наблюдательной информации о геометрии, кинематике и динамике этого движения;
- 2) научить физически описывать и моделировать процессы излучения с веществом в астрофизических объектах, количественно оценивать астрофизические эффекты, анализировать наблюдательные данные;
 - 3) получить представление об особенностях распространения радиоволн в космической плазме и твёрдых тел об основных механизмах радиоизлучения звёзд, планет и галактик: тормозном, магнитотормозном, плазменном, гиросинхротронном и синхротронном; научить пользоваться методами радиоастрономии при диагностике физических процессов на Солнце, звёздах и других астрономических объектах;
 - 4) формирование современного представления о строении и эволюционных свойствах нашей Галактики, структурных и кинематических свойств ее подсистем (тонкий и толстый диски, балдж, гало), а также различных ее составляющих, таких как водород, звезды, звездные скопления (рассеянные и шаровые);
 - 5) получение профессиональных знаний об основных направлениях современной гелиофизики, об основных методах наблюдений в оптическом и радиодиапазоне с помощью наземных и космических средств, об основных свойствах плазмы (в том числе замагниченной) в космических условиях, об основных механизмах излучения и генерации магнитного поля астрофизических объектов, в том числе Солнца.

Целью освоения дисциплины также является подготовка аспирантов к сдаче кандидатских экзаменов и создание условий для формирования методологической базы диссертационного исследования и дальнейшей научной деятельности, а также формирование навыков работы с научной литературой.

Программа должна привить навыки творческой работы по анализу современных данных наблюдений, их интерпретации и построению физических моделей явлений.

1.2. Требования к подготовленности обучающегося к освоению содержания учебных занятий (прerequisites):

Для успешного освоения дисциплины аспирант должен иметь предварительную подготовку в объеме курсов математики и физики по программам высшего образования.

1.3. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина «Физика космоса, астрономия» входит в образовательную часть учебного плана подготовки аспирантов и является обязательной для освоения по специальности 1.3.1 «Физика космоса, астрономия». Она необходима при подготовке к сдаче первой части кандидатского экзамена по специальности. Дисциплина осваивается аспирантами во втором учебном году. Изучение данной дисциплины и специфика подачи отдельных вопросов может варьироваться в зависимости от индивидуального плана работы аспиранта, согласованного с его научным руководителем в целях оптимального соответствия решаемым задачам.

1.4 Язык преподавания

Русский

Раздел 2. Структура и содержание дисциплины

2.1. Объем и структура учебных занятий:

Общая трудоемкость курса 16 з.е. На ее изучение отводится 576 часов (228 часов аудиторной работы, 344 часов отводится на самостоятельную работу, в том числе 96 — на подготовку к текущей и промежуточной аттестации). Форма промежуточной аттестации – кандидатский экзамен.

Вид учебной работы	Трудоемкость (в ак. часах)
Аудиторные занятия	
Лекции	228
Внеаудиторные занятия	
Самостоятельная работа аспиранта	344
Контроль	4
ИТОГО	576
Вид итогового контроля	Кандидатский экзамен

2.2. Содержание учебных занятий:

2.2.1. Темы аудиторных занятий

1. Системы отсчета

1. Горизонтальная, экваториальная и галактическая системы координат. Преобразования координат при переходе от одной системы к другой.
2. Явления прецессии, нутации, абберации, гравитационного отклонения света и рефракции. Приведение на видимое место.
3. Методы определения основных астрономических постоянных. Теоретические связи между постоянными. Система астрономических постоянных 2009 г.
4. Геометрический, кинематический и динамический методы построения опорной системы. Система ICRF и Gaia-CRF. Использование астрометрических каталогов HIPPARCOS и релизов миссии Gaia. Основные свойства этих каталогов.
5. Связь звездного и среднего солнечного времени. Классические шкалы времени UT0, UT1, UT2, ET. Атомное время TAI и UTC. Релятивистские шкалы TDT и TDB, TT, TCG, TCB.

2. Приборы и методы астрофизики

1. Оптические телескопы. Эффективность телескопов, связь с качеством изображения. Основные типы телескопов (рефракторы, рефлекторы и их схемы, зеркально-линзовые системы). Экваториальные и азимутальные монтировки. Наиболее известные наземные оптические телескопы.
2. Абберации оптических систем (хроматическая, сферическая, кома, астигматизм, дисторсия), способы их уменьшения. Астроклимат. Влияние атмосферы на изображение точечного объекта. Методы достижения высокого углового разрешения. Спекл-интерферометрия, активная и адаптивная оптика.
3. Принципы спектрального анализа. Спектральные приборы, и их основные параметры (разрешение, светосила, геометрический фактор). Светофильтры. приземные спектрографы и спектрометры, дифракционные спектральные приборы. Плоская и вогнутая дифракционные решетки.

4. Приемники оптического излучения. Фотоэлектрический умножитель. Электронно-оптический преобразователь. Астрономические камеры на ПЗС- и sCMOS- сенсорах. Понятие квантового выхода (квантовая эффективность). Линейность свет-сигнальной характеристики, спектральная чувствительность. Особенности регистрации инфракрасного излучения. Основные источники шумов приемника излучения и методы их уменьшения.
5. Поляриметрия. Поляроиды. Призма Волластона. Пластины $\lambda/2$ и $\lambda/4$. Электрооптические устройства. Параметры Стокса.
6. Внеатмосферные наблюдения, решаемые задачи. Инфракрасные, ультрафиолетовые, рентгеновские и гамма- обсерватории. Приемники излучения, используемые для далекой инфракрасной и ультрафиолетовой области, рентгеновской и гамма-областях. Инфракрасные, ультрафиолетовые, рентгеновские и гамма-обсерватории.
7. Шкала звездных величин. Фотометрические системы. Видимые и абсолютные звездные величины. Современные методы фотоэлектрической и ПЗС-фотометрии. Показатель цвета, избыток цвета.
8. Радиотелескопы, принцип работы. Основные типы антенн (диполь, рупор, зеркальные антенны, решетки, антенны апертурного синтеза). Основные параметры антенн (эффективная площадь, диаграмма направленности, шумовая температура). Болометрический и гетеродинный прием в радио и ИК-диапазонах.
9. Радиометры. Антенная температура, шумовая температура, полоса пропускания, чувствительность.
10. Абсолютное и относительное измерение потоков радиоизлучения, точность измерений. Оценка линейной и круговой поляризации радиоизлучения.
11. Принципы интерферометрии. Оптические и радиоинтерферометры. Метод апертурного синтеза. Радиотелескопы с незаполненной апертурой. Спекл-интерферометрия. Интерферометрия со сверхдлинными базами. Угловое разрешение интерферометров.
12. Призмные спектрометры и спектрографы. Дифракционные спектральные приборы. Классический дифракционный спектрограф. Эшелле-спектрограф. Основы Фурье-спектроскопии. Интерферометр Фабри-Перо и интерференционные светофильтры.

3. Приборы и методы исследования Солнца.

1. Горизонтальные и башенные телескопы. Фотогелиографы и хромосферные телескопы.
2. Солнечные телескопы: целостат, коронограф. Внеатмосферный коронограф (типа Лио; с внешним затмением). К-коронометр.
3. Принципы измерения магнитных полей на Солнце. Многоэлементные решетки (Nobeyama, SSRT, Nancau). Системы апертурного синтеза (WSRT, VLA и др.)
4. Спектрогелиограф.
5. Методы измерений магнитного поля и лучевых скоростей Солнца. Вектор-магнитограф. Метод Лейтона. Солнечные магнитографы и стоксметры.
6. Внеатмосферные наблюдения Солнца, основные приборы и методы. Рентгеновские, ультрафиолетовые, инфракрасные телескопы: особенности схем и конструкций.
7. Аппаратура и методика радиоастрономических наблюдений Солнца (основные положения).

4. Наземная оптическая астрометрия

1. Принцип работы ПЗС-приемника. Атмосферная турбулентция и функция рассеяния точки. Определение пиксельных координат фотоцентра изображения звездобразного объекта на ПЗС-кадре.
2. Тангенциальные координаты. Методы астрометрической редукции ПЗС-кадра. Учет наклонности, неточности определения оптического центра ПЗС-кадра, комы, дисторсии. Режимы полного кадра и ВЗН.
3. Определение координат тел Солнечной системы, собственных движений и параллаксов звезд на основе ПЗС-наблюдений или сканов астрономических фотопластинок.
4. Астрометрические методы наблюдений визуально-двойных звезд.

5. Космическая астрометрия

1. Абсолютные методы определения координат небесных тел, реализованные в рамках проектов HIPPARCOS, TYCHO, Gaia.
2. Построение астрометрических каталогов на основе результатов космических миссий: пяти параметрическое решение для одиночных звезд, использование измерений координат внегалактических объектов (квазаров и АЯГ) для построения Gaia-CRF.
3. Методы астрометрии при анализе наблюдений, выполненных в рамках миссий космических телескопов WISE, HST, Spitzer ST, миссии Кассини (особенности построения функции рассеяния точки).
5. Спутниковые навигационные системы. Орбитальные и наземные технические средства.

6. Радиоастрометрия

1. Радиоинтерферометры со сверхдлинной базой (РСДБ), устройство, принцип измерений. Корреляционная обработка сигналов в РСДБ.
2. Радиоастрономические методы определения координат объектов, неравномерности вращения Земли, движения полюсов и расстояний на поверхности Земли.
3. Небесная опорная система координат (ICRS) и земная опорная система координат (ITRF).
4. Радиолокационные и радиоинтерферометрические методы наблюдений тел Солнечной системы.
6. Методы согласования оптических и радиосистем координат.

7. Вращение Земли и ее ориентация в пространстве

1. Уравнения Эйлера, Пуассона и Лиувилля.
2. Неравномерность вращения Земли вокруг оси. Движение полюсов.
3. Инструменты для изучения вращения Земли: пассажный инструмент, зенит-телескоп, призменная астролябия, фотографическая зенитная труба, РСДБ, лазерный дальномер, системы GPS и Глонасс.
4. Интерпретация движения полюсов и неравномерности вращения Земли. Короткопериодические, сезонные, вековые вариации вращения Земли. Чандлеровское движение полюса.
5. Международная Служба Вращения Земли (IERS), ее организации и задачи. Стандарты МСВЗ (IERS).
6. Изучение прецессии и нутации оси вращения Земли методами РСДБ.

8. Определение орбит по результатам измерений

1. Постановка задачи определения орбит. Основы методов Лапласа и Гаусса определения орбиты по трем угловым наблюдениям. Метод дифференциального уточнения параметров движения небесных тел из наблюдений.
2. Определение орбит двойных звезд (методы ПВД и Тиле-Иннеса) и экзопланет на основе астрометрических, спектральных и фотометрических наблюдений.
3. Построение условных уравнений при уточнении элементов орбит спутников из лазерных и радиотехнических наблюдений.

9. Аналитические методы небесной механики

1. Невозмущенное движение. Уравнения движения в задаче двух тел и их решение. Возмущенное движение. Уравнения движения N тел и их первые интегралы. Уравнения движения в координатах Якоби.
2. Уравнения движения Эйлера и Лагранжа в оскулирующих элементах. Теория возмущенного движения. Малые параметры в теории движения планет и спутников. Промежуточные орбиты. Разложение пертурбационной функции.

3. Интегрирование с помощью рядов по степеням времени (метод неопределенных коэффициентов и метод рядов Ли).
4. Формальное интегрирование уравнений движения в элементах промежуточной орбиты методом малого параметра Ляпунова–Пуанкаре. Малые знаменатели. Резонанс.
5. Теоремы Пуанкаре о ранге и классе возмущений. Сходимость в методе малого параметра.
6. Формальное интегрирование методом осреднения. Асимптотический характер метода осреднения.
7. Канонические преобразования. Метод Гамильтона–Якоби.
8. Метод преобразований Ли в теории возмущений. Теория вековых возмущений.

10. Качественные методы небесной механики

1. Переменные действие — угол. Интегрируемые системы. Теорема Лиувилля. Теоремы Брунса и Пуанкаре об интегрируемости задачи нескольких тел.
2. Периодические орбиты. Методы Ляпунова и Пуанкаре. Теорема Пуанкаре о возвращении. Отображения Пуанкаре. Симплектические отображения.
3. Критерий перекрытия резонансов Чирикова.
4. Инвариантные торы. Выводы теории Колмогорова–Арнольда–Мозера.
5. Основы первого и второго методов Ляпунова определения устойчивости движения. Орбитальная устойчивость. Устойчивость по Лагранжу. Устойчивость по Пуассону.
6. Ограниченная задача трех тел. Интеграл Якоби. Соотношение Тиссерана. Топология поверхностей Хилла. Сфера Хилла.
7. Точки либрации и их устойчивость. Семейства периодических решений вблизи точек либрации.
8. Эффект Лидова–Козаи. Его проявления в динамике ИСЗ и тел Солнечной системы.

11. Основы гравиметрии

1. Основы теории гравитационного потенциала. Представление потенциала в виде разложения по сферическим функциям. Сходимость разложения. Гравитационный потенциал Земли, Луны, планет. Масконы.
2. Основы теории фигуры Земли. Методы определения параметров гравитационного поля и фигуры.
3. Фигуры равновесия небесных тел.

12. Движение спутников планет и искусственных спутников Земли

1. Возмущенное движение спутников. Промежуточная орбита.
2. Возмущающие факторы в движении естественных спутников планет. Возмущающие факторы в движении искусственных спутников Земли.
3. Разложение возмущающей функции, обусловленной нецентральностью гравитационного поля планеты. Возмущения от зональных гармоник. Возмущения от тессеральных и секториальных гармоник. Лунно-солнечные возмущения ИСЗ.
4. Интегрирование уравнений обобщенной задачи двух неподвижных центров. Характер движения. Формулы промежуточной орбиты. Возмущения на основе промежуточной орбиты обобщенной задачи двух неподвижных центров.
5. Задача Хилла и ее использование в теории движения.
6. Возмущения, вызываемые сопротивлением атмосферы планеты. Возмущения от светового давления и приливные возмущения.

13. Звездная динамика

1. Структура Галактики. Подсистемы Галактики.
2. Кинематика Галактики. Характеристики вращения и распределений остаточных скоростей.
3. Модели Галактики и орбиты звезд в них.
4. Динамика бесстолкновительных звездных систем. Уравнение Больцмана. Интегралы движения.
5. Теория движения в поле ротационно-симметричного потенциала. Поле направлений движения.

14. Солнечная система

1. Основные характеристики планет (масса, плотность, характер вращения, свойства атмосферы, магнитные поля, условия на поверхности). Наземные и космические методы исследования тел солнечной системы.
2. Малые тела Солнечной системы. Спутники и кольца планет. Астероиды и пояса астероидов. Кометы.
3. Физическое состояние межпланетной среды. Метеорное вещество.
4. Измерения температуры поверхности планет (ИК-радиометрия, радиоастрономические методы). Измерения давления, плотности и температуры в планетных атмосферах с помощью космической техники (прямые методы, торможение искусственных спутников, спектроскопия, радиопросвечивание).

15. Звезды

1. Спектральная классификация звезд, ее физическая интерпретация.
2. Светимости, эффективные температуры и показатели цвета звезд. Прямые и косвенные методы определения из наблюдений размеров и масс звезд.
3. Источники энергии на различных стадиях эволюции звезд. Эволюционные треки звезд различной массы на диаграмме Герцшпрунга-Рессела (диаграмме цвет-светимость). Конечные стадии звездной эволюции. Вырожденные звезды (белые карлики), нейтронные звезды, черные дыры, их физические свойства и наблюдаемые проявления. Радиопульсары.
4. Двойные и кратные звезды. Затменно-переменные. Функция масс и оценка масс компонент в двойных системах.
5. Тесные двойные системы и особенности их эволюции. Аккреция на компактные звезды. Рентгеновские источники в двойных системах. Новые звезды. Барстеры.
6. Переменные и нестационарные звезды. Пульсирующие переменные (цефеиды, долгопериодические переменные, переменные типа КК Лиры). Звезды с оболочками (Be, МК). Катаклизмические переменные.
7. Звезды типа Т Тельца и Ae/Be Хербига. Звезды типа UX Ori.
8. Механизмы образования поляризации излучения молодых звезд.
9. Основные этапы эволюции протопланетных дисков. Механизмы диссипации дисков: аккреция, магнито-центробежный дисковый и фотоиспаряющийся ветры.
10. Сверхновые звезды, типы сверхновых, наблюдаемые особенности. Процессы, приводящие к взрыву. Роль сверхновых в обогащении межзвездной среды тяжелыми элементами.

16. Основы теоретической астрофизики

1. Элементарные процессы излучения и поглощения электромагнитных квантов. Излучение и распространение радиоволн в тепловой плазме. Космические источники теплового и не-теплового излучения в различных областях спектра.
2. Механизмы переноса энергии. Уравнение переноса. Локальное термодинамическое равновесие. Эддингтоновский предел светимости.
3. Источники поглощения в континууме в атмосферах звезд и форма непрерывных спектров для звезд различных классов.
4. Модели звездных атмосфер. Механизмы образования линий поглощения. Понятие эквивалентной ширины линий. Профили линий, механизмы уширения линий. Кривая роста. Химический состав звездных атмосфер.
5. Особенности образования спектральных линий в движущихся средах. Метод Соболева.
6. Уравнения, описывающие внутреннее строение звезд. Строение звезд различных спектральных классов. Уравнение состояния вырожденного газа. Предельная масса белых карликов и нейтронных звезд.
7. Теория космического радиоизлучения. Тормозное излучение плазмы. Магнитотормозное излучение. Синхротронное излучение релятивистских электронов. Время высвечивания. Обратный Комптон-эффект.

17. Галактика

1. Строение Галактики. Звездные населения и подсистемы. Спиральная структура Галактики, наблюдаемые проявления. Ядро Галактики.
2. Звездные скопления и ассоциации. Интерпретация диаграмм «цвет-звездная величина».
3. Звездная кинематика. Движение Солнца относительно звезд. Вращение Галактики. Связь кинематических свойств с пространственным распределением объектов. Звездная динамика. Фазовая плотность и уравнение Больцмана для звездных систем. Интегралы движения. Теорема вириала и ее применение. Регулярные и иррегулярные силы. Время релаксации. Интеграл столкновений.
4. Гравитационная устойчивость тонкого вращающегося диска. Дисперсионное уравнение. Спиральные ветви, представление о волнах плотности.
5. Физическое состояние межзвездного газа. Молекулярные облака, области HI и H₂, корональный газ, мазерные конденсации. Механизмы излучения газа в различных состояниях.
6. Оптическое излучение межзвездного газа. Запрещенные линии. Газовые туманности различных типов. Радиолинии. Мазерные источники.
7. Ударные волны в межзвездной среде. Остатки Сверхновых и их эволюция.
8. Гравитационная неустойчивость газовой среды и конденсация газа. Протозвезды и молодые звезды. Околосветовые диски. Области звездообразования.
9. Межзвездная пыль, наблюдаемые проявления. Собственное излучение пыли. Межзвездное поглощение и его учет.
10. Межзвездные магнитные поля, наблюдаемые проявления. Понятие вмороженности поля. Космические лучи, их проявления, основные источники. Распространение космических лучей в магнитном поле Галактики.

18. Внегалактическая астрономия и элементы космологии

1. Классификация галактик. Особенности структуры галактик разных морфологических типов. Содержание газа и звездообразование в галактиках.
2. Размеры, светимость, скорость вращения и масса галактик, принципы их оценок. Проблема существования темного гало. Карликовые галактики, наблюдаемые особенности.
3. Группы и скопления галактик. Взаимодействующие галактики. Межгалактический газ в системах галактик.
4. Галактики с активными ядрами. Квазары. Представление о механизмах активности.
5. Радиоизлучение галактик и их ядер. Радиогалактики: мощность радиоизлучения, радиоструктура. Радиоджеты.
6. Шкала расстояний, закон Хаббла. Крупномасштабное распределение галактик.
7. Фридмановские модели расширяющейся Вселенной, понятие критической плотности и космологической постоянной. Постоянная Хаббла и «возраст» Вселенной.
8. Реликтовое излучение, его происхождение. Флуктуации яркости. Ранние стадии расширения Вселенной. Первичный нуклеосинтез. Современная космологическая модель по данным эксперимента WMAP.
9. Проблема образования галактик. Ожидаемые свойства молодых галактик. Галактики на больших красных смещениях.

19. Солнце как звезда и его внутреннее строение

1. Спектральный класс, класс светимости, положение на диаграмме Герцшпрунга-Рассела. Возраст. Эволюционный трек. Вращение.
2. Химический состав Солнца. Методы определения.
3. Глобальное магнитное поле Солнца. Переполусовка.
4. Гидростатическое равновесие солнечного вещества; баланс сил, лучистое трение.
5. Источник солнечной энергии. Ядерные циклы. Солнечные нейтрино. Радиативная (лучистая) зона Солнца.
6. Конвективная зона Солнца. Условие возникновения конвекции. Конвективный перенос энергии.

7. Грануляция. Супергрануляция. Наблюдения и теоретические результаты.
8. Конвекция сверхсупергрануляционных масштабов (гигантские ячейки). Конвекция в присутствии вращения и магнитных полей.
9. Гелиосейсмология. Спектр собственных колебаний.

20. Физика солнечной плазмы

1. Основные параметры солнечной атмосферы. Кулоновское взаимодействие. Квазинейтральность. Проводимость. Теплопроводность.
2. Магнитная гидродинамика. Основные уравнения. Понятия вмерзновенности и диффузии магнитного поля. Силы, действующие на плазму в магнитном поле. Магнитогидростатика. Бессилловые и потенциальные магнитные поля. Численные МГД методы.
3. Колебания в плазме. Звуковые и МГД-волны. Бесстолкновительные ударные волны. Перенос и диссипация энергии в плазме. Проблема нагрева хромосферы и короны.
4. Устойчивость структур солнечной атмосферы (волокна, корональные арки. Неустойчивости Рэлея-Тейлора и Кельвина-Гельмгольца.
5. Пересоединения магнитных силовых линий. Токовые слои.
6. Понятия о теории динамо.

21. Внешние слои Солнца

1. Фотосфера, непрерывный спектр, потемнение к краю. Фраунгоферов спектр. Грануляция. Пятна, факелы. Пятиминутные колебания.
2. Хромосфера, ее структура, плотность, температура. Спикулы, Супергрануляция и хромосферная сетка. Протуберанцы, их типы, физические свойства, устойчивость.
3. Корона Солнца, строение, яркость и поляризация. Непрерывный и линейчатый спектр. Температура и плотность. Ионизационное равновесие.
4. Излучение Солнца в видимой, рентгеновской и далекой ультрафиолетовой областях спектра. Радиационное остывание. Механизмы «уширения» спектральных линий. Линии поглощения.
5. Баланс энергии в атмосфере Солнца. Источники нагрева и охлаждения. Переходная область между хромосферой и короной.
6. Магнитные поля на Солнце: крупномасштабное поле, локальные поля солнечных пятен. Биполярные и униполярные области. Тонкая структура магнитных полей.
7. Исследование Солнца радиоастрономическими методами. Радиоизлучение спокойного Солнца и активных областей: спектр, поляризация. Всплески радиоизлучения I-Y типов, причины возникновения их радиоизлучения, особенности всплесков в см и дм диапазонах. Низкочастотное радиоизлучение (гектометровый и километровый диапазоны).

22. Солнечная активность

1. Активные области и их магнитные поля. Солнечные пятна и индексы активности.
2. Солнечные циклы. Главные закономерности динамики распределения активных областей в 11-летнем солнечном цикле. «Правила» солнечной цикличности.
3. Солнечная вспышка. Механизмы накопления и быстрого выделения энергии над активной областью. Наблюдения вспышки в различных областях спектра. Вторичные процессы.
4. Корональные выбросы массы, их связь со вспышкой и воздействие на магнитосферы планет.
5. Петли и яркие рентгеновские точки. Удержание и нагревание плазмы в квазистационарных магнитных структурах.
6. Солнечные космические лучи в спокойные и активные периоды. Потоки галактических и солнечных космических лучей на Землю по данным нейтронных Мониторов. Влияние межпланетного магнитного поля. Форбуш-эффект.

23. Корпускулярное излучение Солнца и межпланетная среда

1. Расширяющаяся корона и солнечный ветер. Теория Паркера. Основные характеристики межпланетной среды.

2. Два типа источников геомагнитных возмущений. Высокоскоростные потоки и их связь с корональными дырами и корональными выбросами массы. Ударные волны в солнечном ветре.
3. Структура межпланетного магнитного поля. Взаимодействие межпланетной среды с магнитосферой Земли. Причины, вызывающие суббури и главную фазу бури. Связь суббурь с солнечными вспышками. Повторяемость магнитных бурь.

2.2.2. Самостоятельная работа

Самостоятельная работа аспирантов проводится в форме повторение лекционного материала по темам, чтение рекомендованной литературы и научной периодики. Во время самостоятельной подготовки обучающиеся должны широко использовать библиотечные фонды ГАО РАН, электронные ресурсы Интернета, доступ к которым им обеспечен. На программу самостоятельной работы по курсу выделяется 344 часов, в том числе на подготовку к текущей и промежуточной аттестации — 96 часов.

Раздел 3. Обеспечение учебных занятий

3.1. Методическое обеспечение:

3.1.1. Методическое обеспечение самостоятельной работы:

Учебный процесс обеспечивается наличием учебной и учебно-методической литературы и доступом к иным библиотечно-информационным ресурсам, что гарантирует возможность качественного освоения аспирантом образовательной программы. ГАО РАН располагает библиотекой, включающей научно-техническую литературу по дисциплине, журналы с научными статьями и материалами симпозиумов и конференций, а также имеет договор с БАН. Аспирантам предоставляются компьютеры с доступом к сети Интернет и доступ к постоянной электронной подписке ГАО РАН на ведущие научные журналы.

3.1.2. Методика проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации и критерий оценивания:

Текущий контроль успеваемости, т.е. проверка усвоения учебного материала, регулярно осуществляемая на протяжении семестра. Текущая самостоятельная работа аспиранта направлена на углубление и закрепление знаний, и развитие практических умений. Виды текущего контроля: проверка качества усвоения знаний проводится как в устной, так и в письменной форме: конспекты, беседы по прочитанной литературе, подготовка и обсуждение вопросов в соответствии с темами занятий.

Промежуточная аттестация завершает изучение дисциплины «Физика космоса, астрономия». Форма аттестации – кандидатский экзамен в устной форме. Кандидатский экзамен проводится в 3 семестре. Содержание и структура экзамена и критерии оценивания определены в Программе кандидатского экзамена по специальности 1.3.1 «Физика космоса, астрономия».

3.2. Кадровое обеспечение

Преподаватель – кандидат или доктор физ.-мат. наук по специальностям 1.3.1 «Физика космоса, астрономия».

3.3. Материально-техническое обеспечение:

3.3.1. В лекционной аудитории имеется возможность подключения медиа-проектора, компьютера/ноутбука, а также имеется экран и маркерная доска.

3.3.2. Телескопы ГАО РАН и горной астрономической станции ГАО РАН в Кисловодске.

3.3.3. Научная литература: постоянная электронная подписка организации на ведущие журналы; научная литература, хранящаяся в БАН.

3.3.4. Читальный зал для самостоятельной работы аспиранта

3.3.5. Аудитория для самостоятельной работы аспирантов обеспечена компьютерами с выходом в Интернет.

3.4. Информационное обеспечение:

3.4.1. Список рекомендуемой литературы:

1. Жаров В.Е. Сферическая астрономия, Фрязино, 2006, 480 с.
2. Ковалевский Ж. Современная астрометрия, Фрязино, 2004, 480 с.
3. Марей К.Э. Векторная астрометрия, Киев, Наукова Думка, 1986, 328 с.
4. Подобед В.В., Нестеров В.В. Общая астрометрия. М.: Наука, 1982.
5. Абалакин В.К. Основы эфемеридной астрономии. М.: Наука, 1979.
6. Губанов В.С. Обобщенный метод наименьших квадратов. Теория и применение в астрометрии. СПб.: Наука, 1997.
7. Мориц Г., Мюллер А. Вращение Земли: Теория и наблюдения. Киев: Наукова думка, 1992.
8. Губанов В.С., Финкельштейн А.М., Фридман П.А. Введение в радиоастрометрию. М.: Наука, 1983.
9. Дубошин Г.Н. Небесная механика. Основные задачи и методы. М.: Физматгиз, 1962.
10. Дубошин Г.Н. Небесная механика. Аналитические и качественные методы. М.: Наука, 1964.
11. Субботин М.Ф. Введение в теоретическую астрономию. М.: Наука 1968.
12. Аксенов Е.П. Теория движения искусственных спутников Земли. М.: Наука, 1977.
13. Гребенников Е.А., Рябов Ю.А. Новые качественные методы в небесной механике. М.: Наука, 1971.
14. Емельянов Н.В. Методы составления алгоритмов и программ в задачах небесной механики. М.: Наука, 1983.
15. Холшевников. К.В. Асимптотические методы небесной механики. Л.: Изд-во ЛГУ, 1985.
16. Антонов В.А., Тимошкова Е.И., Холшевников К.В. Введение в теорию ньютоновского потенциала. М.: Наука, 1988.
17. Мюррей К., Дермотт С. Динамика Солнечной системы. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009, 2010. (Murray C.D, Dermott S.F. Solar System Dynamics. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1999.)
18. Морбиделли А. Современная небесная механика. Москва–Ижевск: Издательство «ИКИ», 2014. — 432 с.
19. Железняков В.В. Излучение в астрофизической плазме. М.: Янус-К, 1997.
20. Засов А.В., Постнов К.А. Общая астрофизика. Фрязино: Век2, 2016. — 576 с.
21. Физика космоса: маленькая энциклопедия. М.: Сов. энциклопедия, 1986.
22. Грей Д. Наблюдения и анализ звездных фотосфер. М.: Мир, 1980.
23. Куликовский П.Г. Звездная астрономия. М.: Наука, 1985.
24. Марочник Л.С., Сучков А.А. Галактика. М.: Наука, 1986.
25. Уилсон Т.Л., Рольфс, Хюттемейстер С. Инструменты и методы радиоастрономии. М.: Физматлит, 2012. — 568 с.
26. Шутов А.М. Методы оптической астрополариметрии. М.: КомКнига, 2007. — 232 с.
27. Малов И.Ф. Механизмы космического излучения. М.: Либроком, 2014. — 160 с.
28. Ишханов Б.С., Капитонов И.М., Тутынь И.А. Нуклеосинтез во Вселенной. М.: Либроком, 2019. — 206 с.
29. Бисноватый-Коган Г.С. Релятивистская астрофизика и физическая космология. М.: Красанд, 2016. — 376 с.

30. Вайнберг С. Космология. М.: УРСС: ЛЕНАНД, 2018. — 608 с.
31. Сильченко О.К. Происхождение и эволюция галактик. Фрязино: Век2, 2017. — 224 с.
32. Фридман А.М., Хоперсков А.В. Физика галактических дисков. М.: Физматлит, 2011. — 640 с.
33. Howell S.B. Handbook of CCD-astronomy. Cambridge Academ, 2006. — 222 p.
34. Appenzeller I. Introduction to astronomical spectroscopy. Cambridge Academ, 2012. — 268 p.
35. Липунов В.М. Астрофизика нейтронных звезд. М.: Наука, 1987.
36. Щеглов П.В. Проблемы оптической астрономии. М.: Наука, 1986.
37. Рузмайкин А.А., Соколов Д.Д., Шукуров А.М. Магнитные поля галактик. М.: Наука, 1988.
38. Гоффмейстер К., Рихтер Г., Венцель В. Переменные звезды. М.: Наука, 1990.
39. Гинзбург В.Л. Распространение электромагнитных волн в плазме. М.: Наука, 1967.
40. Плазменная гелиогеофизика. Том I (ред. Л.М. Зелёный и И.С. Веселовский). М.: Физматлит, 2008.
41. Христиансен У., Хёгбом И. Радиотелескопы. М.: Мир, 1988.
42. Томпсон А.Р., Моран Дж.М., Свенсон Дж.У. Интерферометрия и синтез в радиоастрономии. М.: Физматлит, 2003.
43. Соболев В.В. Курс теоретической астрофизики. М.: Наука, 1985 (и последующие переиздания).
44. Огородников К.Ф. Динамика звездных систем. М.: ГОСИЗДАТ, 1958.
45. Паренаго П.П. Курс звездной астрономии. М.: ГОСИЗДАТ, 1954.
46. Марочник Л.С., Сучков А.А. Галактика. М.: НАУКА, 1984.
47. Агекян Т.А. Теория вероятностей для астрономов и физиков. М.: НАУКА, 1974.
48. Рольфс К. Лекции по теории волн плотности. М.: МИР, 1980.
49. Витязев В.В. Вейвлет-анализ временных рядов. СПб.: Изд-во СПбГУ, 2001. (<http://www.astro.spbu.ru/sites/default/files/wavelet.pdf>)
50. Локтин А.В., Марсаков В.А. Лекции по звездной астрономии. Екатеринбург: Изд-во ЮФУ, 2009.
51. Маров М.Я., Шевченко И.И. Экзопланеты. Экзопланетология. Москва–Ижевск: Издательство «ИКИ», 2017. 138 с. ISBN 978-5-4344-0457-0
52. Шапиро С., Тьюколски С. Черные дыры, белые карлики и нейтронные звезды, в 2-х томах. М.: Мир, 1985.
53. Мартынов Д.Я. Курс практической астрофизики, М.: Наука, 1977.
54. Мартынов Д.Я. Курс общей астрофизики, М.: Наука, 1988.
55. Каплан С.А. Элементарная радиоастрономия. М.: Наука, 1966.
56. Паркер Е. Космические магнитные поля. М., Мир, 1982.
57. Прист Э.Р. Солнечная магнитогидродинамика. М.: Мир, 1985.
58. Солнечная и солнечно-земная физика. Иллюстрированный словарь терминов. Под ред. А. Бруцека и Ш. Дюрана. М.: Мир, 1980.
59. Каплан С.А., Цытович В.Н., Пикельнер С.Б. Физика плазмы солнечной атмосферы, М.: Физматлит, 1977.
60. Пикельнер С.Б. Основы космической электродинамики, 2-е изд. М.: Физматгиз, 1966.
61. Гибсон Э. Спокойное Солнце. М.: Мир, 1977.
62. Витинский Ю.И., Копецкий М., Ку克林 Г.В. Статистика пятнообразовательной деятельности Солнца. М.: Наука, 1986.
63. Астафьева Н.М. Вейвлет-анализ: основы теории и примеры применения. // Успехи физ. наук, т.166, № 11, с. 1145-1170, 1996.
64. Обридко В.Н., Наговицын Ю.А. Солнечная активность, цикличность и методы прогноза. СПб, ВВМ, 2017. (печатный вариант и электронный вариант по ссылке:
65. https://elibrary.ru/download/elibrary_31796356_40685861.pdf)

3.4.2. Список дополнительной литературы

1. Кинг-Хили Д. Теория орбит искусственных спутников в атмосфере. М.: Мир, 1966.
2. Уокер Г. Астрономические наблюдения. М.: Мир, 1990.
3. Токовинин А.А. Звездные интерферометры. М.: Наука, 1988.
4. О.А. Титов. Математическая обработка наблюдений. Курс лекций.
<http://www.astro.spbu.ru/astro/win/resources/index.html>
5. Секен К., Томпсет М. Приборы с переносом заряда. М.: МИР, 1978.
6. Wielen R. Principles of statistical astrometry. A&A 1997. 325. 367-382.
7. Гришин В.К. Статистические методы анализа и планирования экспериментов. 1975. 127 с.
8. Худсон Д. Статистика для физиков. М.: Мир, 1970. — 295 с.
9. Shevchenko I.I. The Lidov–Kozai Effect – Applications in Exoplanet Research and Dynamical Astronomy. Springer, 2017. — 205 p. ISBN 978-3-319-43520-6
10. Бисикало Д.В., Жилкин А.Г., Боярчук А.А. Газодинамика тесных двойных звезд. М.: Физматлит, 2013.
11. Долгинов А.З., Гнедин Ю.Н., Силантьев Н.А. Распространение и поляризация излучения в космической среде, М.: Наука, 1979.
12. Gnedin Y.N., Natsvlshvili T.M. Magnetic Fields of Stars: The Interaction between Observations and Theory, Harwood Academic Publishers (Astrophys. Space Phys., 2000, Vol.10, pp.1-83).
13. Gnedin Y.N., Silant'ev N.A. Basic Mechanism of Light Polarization in Cosmic Media, Harwood Academic Publishers, 1997, (Astrophys. Space Phys., v.10, pp. 1-49).
14. Grinin V., Photopolarimetric Activity of Pre-Main-Sequence Stars,
(<http://articles.adsabs.harvard.edu/pdf/2000ASPC..219..216G>)
15. Бескин В.С. Осесимметричные стационарные течения в астрофизике, М.: Физматлит, 2005.
16. Каплан С.А., Цытович В.Н. Плазменная астрофизика. М.: Наука, 1972.
17. Железняков В.В. Радиоизлучение Солнца и планет. М.: Наука, 1964.
18. Прист Э., Форбс Т. Магнитное пересоединение. М.: Физматлит, 2005.
19. Кинг А.Р. Введение в классическую звездную динамику. М: УРСС, 2002.
20. Белецкий В.В. Очерки о движении космических тел. М.: ЛКИ, 2009.
21. Агекян Т.А. Теория вероятностей для астрономов и физиков. М.: Наука, 1974.
22. Циклы активности на Солнце и звездах. Сборник статей. Под ред. В.Н. Обридко и Ю.А. Наговицына. СПб.: ВВМ, 2009.
23. Современные достижения в плазменной гелиогеофизике. Под ред. Л.М. Зеленого, А.А. Петруковича, И.С. Веселовского. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2018, 688 с.

3.4.3. Интернет-ресурсы:

1. Электронная библиотека по физике и астрономии - adsabs.harvard.edu
2. Электронная библиотека по физике и астрономии - <http://arxiv.org/archive/astro-ph>
3. Российская РСДБ-сеть http://www.agora.guru.ru/VAK-2010/files/565_New_VLBI.doc
4. IAU <http://www.iau.org/>
5. РСДБ-сети <http://www.quickiwiki.com/ru>
6. Сайт Международного астрономического союза (МАС)
7. http://www.galactic.name/articles/international_astronomical_union.php