

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

Принято на заседании Ученого совета  
протокол от 11.11.19 № 7

УТВЕРЖДАЮ  
Директор ГАО РАН

  
 Н.Р. Ихсанов

**ПРОГРАММА  
КАНДИДАТСКОГО ЭКЗАМЕНА  
ПО СПЕЦИАЛЬНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ**

**направление подготовки – 03.06.01 «Физика и Астрономия»  
профиль – 01.03.02 «Астрофизика и звездная астрономия»**

Квалификация выпускника: Исследователь. Преподаватель-исследователь

Санкт-Петербург  
2019

## 1. Основные положения

Кандидатский экзамен по специальной дисциплине (далее – экзамен) проводится в соответствии с направлением подготовки 03.06.01 – «Физика и астрономия» федерального государственного образовательного стандарта и направленностью программы подготовки, соответствующей научной специальности 01.03.02 – «Астрофизика и звездная астрономия».

Программа составлена в соответствии с приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 8 октября 2007 г. № 274 (зарегистрирован Минюстом России 19 октября 2007 г., регистрационный № 10363); паспортом научной специальности, разработанным экспертным советом Высшей аттестационной комиссии Министерства в связи с утверждением приказом Минобрнауки России от 25 февраля 2009 г. № 59 Номенклатуры специальностей научных работников (редакция от 08.06.2017).

Основу данной программы составили ключевые положения следующих дисциплин: Астрофизика, Радиоастрономия и Звездная астрономия.

**Экзамен проводится в устной форме.**

**Цель** кандидатского экзамена заключается в определении уровня общей личностной культуры, профессиональной компетентности и готовности аспиранта к научно-теоретической, исследовательской и опытно-экспериментальной деятельности. Ориентация аспирантов и соискателей в вопросах истории астрономии и физики позволяет им обоснованно, профессионально, методологически и методически грамотно конструировать и организовывать собственную исследовательскую деятельность, выстраивая ее в логике научного процесса. С этих позиций организация экзамена должна строиться в соответствии с существующими общими нормативными требованиями, а его программа должна быть скорректирована на основе своеобразия той или иной научной школы.

В качестве наиболее значимых методологических принципов подготовки к сдаче кандидатского экзамена необходимо рассматривать следующие:

- хронологичности, позволяющей анализировать астрономические теории и методику изучения астрономических объектов как многомерное, развивающееся явление, имеющее сложную структуру;

- целостности, ориентирующей на сквозное рассмотрение процесса становления и развития той или иной концепции в единстве с общими тенденциями развития научной теории и практики;

- вариативности, допускающей внесение определенной авторской коррекции в существующие концептуальные научно-теоретические подходы и их дальнейшую интерпретацию в собственной исследовательской работе;

- интегративности, основывающейся на тщательном изучении общих тенденций и закономерностей истории литературы и теории литературы и частных методик.

Таким образом, программа экзамена предполагает детальное осознание уже существующих теоретико-методологических оснований исследуемой историко-литературной области и формирование на их основе собственного исследовательского подхода в контексте разработки основных технологических установок, соответствующих традициям той или иной научной школы. Это нацеливает аспирантов и соискателей на необходимость в ходе подготовки к экзамену осуществлять критический, сравнительно-сопоставительный анализ разнообразных по своей концептуальной и методологической направленности научных (философских, теоретических, технологических, практических) разработок с целью оптимизации дальнейшей научно-исследовательской деятельности.

## **2. Основные критерии оценивания**

Общими критериями оценивания ответа аспиранта (экстерна) являются: полнота и правильность ответа; широта и глубина применяемых в ответе фактов, примеров; функциональность и вариативность языковых и речевых единиц; аутентичность использования языкового материала, его коммуникативная, когнитивная уместность и достаточность; языковое оформление ответа; степень осознанности, понимания изученного; связность и корректность речи. Частные критерии определяются в соответствии с содержанием вопроса.

Оценка «5». Развернутый ответ должен представлять собой связное, логичное, последовательное раскрытие поставленного вопроса, освещение различных научных концепций, с ним связанных; широкое знание литературы по вопросу. Аспирант должен продемонстрировать понимание материала, обоснованность суждений, способность применить полученные знания на практике, излагать материал последовательно с точки зрения логики предмета и норм литературного языка.

Оценка «4» выставляется, если аспирант дает ответ, удовлетворяющий тем же требованиям, что и для отметки «5», но допускаются некоторые ошибки, которые исправляются самостоятельно, допускаются также некоторые недочеты в изложении ответа.

Оценка «3» выставляется, если аспирант обнаруживает знание и понимание основных положений данной темы, но излагает материал неполно и допускает неточности в ответе; не умеет достаточно глубоко и доказательно обосновать свои суждения и привести свои примеры; излагает материал непоследовательно и допускает ошибки в языковом оформлении излагаемого.

Оценка «2» выставляется, если аспирант обнаруживает незнание большей части проблем, связанных с изучением вопроса; допускает ошибки в ответе, искажает смысл текста, беспорядочно и неуверенно излагает материал. Оценка «2» отмечает такие недостатки в подготовке аспиранта (соискателя), которые являются серьезным препятствием к успешной профессиональной и научной деятельности.

При выставлении оценки, особенно неудовлетворительной, председатель объясняет сдающему кандидатский экзамен по специальности недостатки его ответа.

Программа кандидатского экзамена составлена на основе программы ВАК.

Программа кандидатского экзамена и список основной и дополнительной литературы обновлен с учетом развития научной мысли в области астрофизики и звездной астрономии.

## **3. Структура кандидатского экзамена**

Кандидатский экзамен - дифференцируемый результат по пятибалльной системе промежуточной аттестации аспиранта по итогам дисциплин, проблемы и темы которых входят в программу кандидатского экзамена. Экзамен проводится в форме собеседования или ответов на вопросы в форме билетов или проблемных вопросов. Кандидатский экзамен по специальной дисциплине, состоит из двух частей. Первая часть является промежуточной аттестацией обязательных дисциплин: Астрофизика, Радиоастрономия и Звездная астрономия. Вторая часть экзамена является промежуточной аттестацией знаний, полученных в ходе освоения вариативной части образовательной программы и связанных с научными исследованиями по профилю подготовки аспиранта. Программа второй части экзамена утверждается Ученым советом ГАО РАН.

Программа второй части кандидатского экзамена по специальности состоит из реферата по теме диссертации, библиографии и списка вопросов, раскрывающих содержание диссертации, используемые методы научного исследования и последние достижения в научной отрасли. Вопросы в дополнительной программе не должны

дублировать список вопросов к первой части экзамена по специальности. Список вопросов оформляется в двух экземплярах, с титульным листом согласно образцу. На титульной странице указывается номер и дата заседания Ученого совета, на котором этот список был утвержден, и ставится подпись научного руководителя. В списке литературы должны присутствовать источники за последние 5 лет. Программа в печатном и электронном виде и реферат по теме диссертации сдаются заведующему аспирантурой до создания комиссии по приему экзамена. Программа публикуется на сайте ГАО РАН.

По итогам сдачи двух частей кандидатского экзамена выставляется общая оценка по пятибалльной системе.

## 4. Тематика кандидатского экзамена

### 1. Приборы и методы астрофизики

Оптические телескопы. Эффективность телескопов, связь с качеством изображения. Основные типы телескопов (рефракторы, рефлекторы и их схемы, зеркально-линзовые системы). Экваториальные и азимутальные установки.

Понятие астроклимата. Атмосферное влияние на качество изображения. Методы достижения высокого углового разрешения. Активная и адаптивная оптика.

Спектральные приборы, и их основные параметры (разрешение, светосила, геометрический фактор). Призменные спектрометры и спектрографы. Дифракционные спектральные приборы. Классический дифракционный спектрограф. Эшелле-спектрограф. Основы Фурье-спектроскопии. Интерферометр Фабри-Перо и интерференционные светофильтры.

Солнечные телескопы: целостат, коронограф. Принципы измерения магнитных полей на Солнце.

Детекторы излучения: оптического, ультрафиолетового, инфракрасного, рентгеновского и гамма диапазонов. Фотоэлектрический умножитель. Приборы с зарядовой связью. Понятие квантового выхода. Особенности регистрации инфракрасного излучения.

Поляризационные наблюдения.

Шкала звездных величин и показателей цвета. Фотометрические системы. Современные методы фотоэлектрической фотометрии. Внеатмосферные наблюдения, решаемые задачи. Инфракрасные, ультрафиолетовые, рентгеновские и гамма- обсерватории.

### 2. Звезды

Спектральная классификация звезд, ее физическая интерпретация.

Светимости, эффективные температуры и показатели цвета звезд. Прямые и косвенные методы определения из наблюдений размеров и масс звезд.

Источники энергии на различных стадиях эволюции звезд. Эволюционные треки звезд различной массы на диаграмме Герцшпрунга — Рассела (диаграмме цвет–светимость).

**Гравитационный коллапс и звездообразование. Протопланетные диски и основные вазы их эволюция. Экзопланеты.**

Конечные стадии звездной эволюции. Вырожденные звезды (белые карлики), нейтронные звезды, черные дыры, их физические свойства и наблюдаемые проявления. Радиопульсары.

Двойные и кратные звезды. Затменно-переменные. Функция масс и оценка масс компонент в двойных системах.

Тесные двойные системы и особенности их эволюции. Аккреция на компактные звезды. Рентгеновские источники в двойных системах. Новые звезды. Барстеры.

**Нестационарные звезды.** Пульсирующие переменные (цефеиды, долгопериодические переменные, переменные типа КК Лирь). Звезды с оболочками (Ве, МК). Катаклизмические переменные.

## **Физика и эволюция молодых звезд до главной последовательности. Звезды типа Т Тельца и Ae/Be Хербига. Механизмы переменности молодых звезд, образование эмиссионных спектров. Поляризация звезд и ее происхождение.**

Сверхновые звезды, типы сверхновых, наблюдаемые особенности. Процессы, приводящие к взрыву. Роль сверхновых в обогащении межзвездной среды тяжелыми элементами.

### **3. Основы теоретической астрофизики**

Элементарные процессы излучения и поглощения электромагнитных квантов. Излучение и распространение радиоволн в тепловой плазме. Космические источники теплового и нетеплового излучения в различных областях спектра.

Механизмы переноса энергии. Уравнение переноса, для простейших случаев. Локальное термодинамическое равновесие. Эддингтоновский предел светимости.

Источники поглощения в континууме в атмосферах звезд и форма непрерывных спектров для звезд различных классов.

Модели звездных атмосфер. Механизмы образования линий поглощения. Понятие эквивалентной ширины линий. Профили линий, механизмы уширения линий. Кривая роста. Химический состав звездных атмосфер.

**Звездный и дисковый ветры. Основы теории образования спектральных линий в движущихся средах.**

Уравнения, описывающие внутреннее строение звезд. Строение звезд различных спектральных классов. Уравнение состояния вырожденного газа. Предельная масса белых карликов и нейтронных звезд.

Теория космического радиоизлучения. Тормозное излучение плазмы. Магнитотормозное излучение. Синхротронное излучение релятивистских электронов. Время высвечивания. Обратный Комптон-эффект.

### **4. Внегалактическая астрономия и элементы космологии**

Классификация галактик. Особенности структуры галактик разных морфологических типов. Содержание газа и звездообразование в галактиках.

Размеры, светимость, скорость вращения и масса галактик, принципы их оценок. Проблема существования темного гало. Карликовые галактики, наблюдаемые особенности.

Группы и скопления галактик. Взаимодействующие галактики. Межгалактический газ в системах галактик.

Галактики с активными ядрами. Квазары. Представление о механизмах активности.

Радиоизлучение галактик и их ядер. Радиогалактики: мощность радиоизлучения, радиоструктура. Радиоджеты.

Шкала расстояний, закон Хаббла. Крупномасштабное распределение галактик.

Фридмановские модели расширяющейся Вселенной, понятие критической плотности и космологической постоянной. Постоянная Хаббла и «возраст» Вселенной. Наблюдательные методы определения постоянной Хаббла.

Реликтовое излучение, его происхождение. Флуктуации яркости. Ранние стадии расширения Вселенной. Первичный нуклеосинтез.

Проблема образования галактик. Ожидаемые свойства молодых галактик. Галактики на больших красных смещениях.

Понятия темной материи и темной энергии: основные уравнения динамической Вселенной. Гравитационное линзирование. Уравнение линзы. Сильное линзирование, слабое линзирование, микролинзирование.

## **5. Приборы и методы радиоастрономии**

Радиотелескопы, принцип работы. Различные типы антенн (параболические, дипольные, антенные решетки). Эффективная площадь антенны. Размер и форма диаграммы направленности.

Радиометры. Антенная температура, шумовая температура, полоса пропускания, чувствительность.

Принципы интерферометрии. Радиоинтерферометры. Метод апертурного синтеза.

Радиотелескопы с незаполненной апертурой. Интерферометрия со сверхдлинными базами. Угловое разрешение интерферометров.

## **6. Солнце и солнечная система**

Основные характеристики Солнца как звезды. Внутреннее строение. Фотосфера. Хромосфера. Корона. Солнечный ветер.

Активные образования на Солнце, связь с магнитными полями. Солнечные вспышки и сопровождающие их явления. Рентгеновское излучение Солнца. Спокойное и спорадическое радиоизлучение. Представление о гелиосейсмологии.

Основные характеристики планет (масса, плотность, характер вращения, свойства атмосферы, магнитные поля, условия на поверхности). Наземные и космические методы исследования тел солнечной системы.

Малые тела Солнечной системы. Спутники и кольца планет. Астероиды и пояса астероидов. Кометы.

Физическое состояние межпланетной среды. Метеорное вещество.

Радиоизлучение планет. Радиолокационные методы исследования планет и малых тел солнечной системы.

## **7. Методы определения расстояний.**

Индикаторы расстояний. Тригонометрические параллаксы. Диаграмма Герцшпрунга-Рассела. Фотометрические расстояния. Рассеянные скопления звезд. Межзвездное поглощение. Изохронны. Модуль расстояния. Сгущение красных гигантов. Цефеиды. Двойные звезды. Шкала расстояний. Методы определения галактоцентрического расстояния Солнца.

## **8. Вращение Галактики.**

Структура поля скоростей звезд окколосолнечной окрестности. Местный стандарт покоя. Эллипсоид скоростей. Формулы Боттлингера. Модель Оорта-Линдблада. Модель Огородникова-Милна. Основные характеристики галактических орбит.

## **9. Основные положения теории спиральных волн плотности.**

Уравнения спиралей (Архимедовой и логарифмической). Скорость вращения спирального узора. Амплитуды возмущений. Современные оценки количества спиральных рукавов в Галактике, угла закрутки спирали, фазы Солнца в спиральной волне плотности. Характеристики центрального бара.

## **10. Распределение массы в Галактике.**

Основные составляющие Галактики. Балдж. Диск. Гало. Уравнение Пуассона. Основные положения теории потенциала. Модели потенциалов: Ален-Сантьян, Кутузова-Осипкова, Флинна и др. Проблема скрытой массы.

## 4. Список вопросов к первой части кандидатского экзамена

### 1. 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 установки. Основные наземные оптические телескопы.
2. Аберрации оптических систем (хроматическая, сферическая, кома, астигматизм), способы их уменьшения. Астроклимат. Влияние атмосферы на изображение точечного объекта. Методы достижения высокого углового разрешения. Активная и адаптивная оптика.
3. Принципы спектрального анализа. Спектральные приборы, и их основные параметры (разрешение, светосила, геометрический фактор). Светофильтры. Призмные спектрографы и спектрометры, дифракционные спектральные приборы. Плоская и вогнутая дифракционные решетки.
4. Солнечные телескопы: целостат, коронограф. Принципы измерения магнитных полей на Солнце. Многоэлементные решетки (Nobeyama, CCPT, Nancau). Системы апертурного синтеза (WSRT, VLA и др.)
5. Приемники оптического излучения. Фотоэлектрический умножитель. Приборы с зарядовой связью. Понятие квантового выхода. Линейность, спектральная чувствительность. Особенности регистрации инфракрасного излучения.
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. Отношение сигнал/шум, понятие квантового выхода. Основные источники шумов приемника и методы их уменьшения.
8. Шкала звездных величин. Фотометрические системы. Видимые и абсолютные звездные величины. Современные методы фотоэлектрической фотометрии. Показатель цвета, избыток цвета.
9. Радиотелескопы, принцип работы. Основные типы антенн (диполь, рупор, зеркальные антенны, решетки, антенны апертурного синтеза). Основные параметры антенн (эффективная площадь, диаграмма направленности, шумовая температура). Боллометрический и гетеродинный прием в радио и ИК-диапазонах.
10. Радиометры. Антенная температура, шумовая температура, полоса пропускания, чувствительность.
11. Абсолютное и относительное измерение потоков радиоизлучения, точность измерений. Оценка линейной и круговой поляризации радиоизлучения.
12. Принципы интерферометрии. Оптические и радиоинтерферометры. Метод апертурного синтеза. Радиотелескопы с незаполненной апертурой. Спекл-интерферометрия. Интерферометрия со сверхдлинными базами. Угловое разрешение интерферометров.
13. Призмные спектрометры и спектрографы. Дифракционные спектральные приборы. Классический дифракционный спектрограф. Эшелле-спектрограф. Основы Фурье-спектроскопии. Интерферометр Фабри-Перо и интерференционные светофильтры.

### 2. Солнце и солнечная система

1. Основные характеристики Солнца как звезды. Внутреннее строение. Фотосфера. Хромосфера. Корона. Солнечный ветер.

3. Активные образования на Солнце, связь с магнитными полями. Солнечные вспышки и сопровождающие их явления. Рентгеновское излучение Солнца. Спокойное и спорадическое радиоизлучение. Представление о гелиосейсмологии.
4. Основные характеристики планет (масса, плотность, характер вращения, свойства атмосферы, магнитные поля, условия на поверхности). Наземные и космические методы исследования тел солнечной системы.
5. Малые тела Солнечной системы. Спутники и кольца планет. Астероиды и пояса астероидов. Кометы.
6. Физическое состояние межпланетной среды. Метеорное вещество.
7. 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).

### 3. 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, MK). Катаклизмические переменные.
7. **Звезды типа T 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.

### 4. 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.

## 5. 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 H<sub>2</sub>, 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. Околзвездные 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.

## 6. 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.

## 5. Литература

### 1. Основная литература

1. Железняков В.В., Излучение в астрофизической плазме, М.: Янус-К, 1997.
2. Засов А.В., Постнов К.А. Общая астрофизика. Фрязино: Век2, 2016. — 576 с.
3. Физика космоса: маленькая энциклопедия. М.: Сов. энциклопедия, 1986.
4. Грей Д. Наблюдения и анализ звездных фотосфер. М.: Мир, 1980.
5. Куликовский П.Г. Звездная астрономия. М.: Наука, 1985.
6. Марочник Л.С., Сучков А.А., Галактика. М.: Наука, 1986.
7. Уилсон Т.Л., Рольфс, Хюттемейстер С. Инструменты и методы радиоастрономии. М.: Физматлит, 2012. — 568 с.
8. Шутов А.М. Методы оптической астрополяриметрии. М.: КомКнига, 2007. — 232 с.
9. Малов И.Ф. Механизмы космического излучения. М.: Либроком, 2014. — 160 с.
10. Ишханов Б.С., Капитонов И.М., Тутынь И.А.. Нуклеосинтез во Вселенной. М.: Либроком, 2019. — 206 с.
11. Бисноватый-Коган Г.С. Релятивистская астрофизика и физическая космология. М.: Красанд, 2016. — 376 с.
12. Вайнберг С. Космология. М.: УРСС:ЛЕНАНД, 2018. — 608 с.
13. Сильченко О.К. Происхождение и эволюция галактик. Фрязино: Век2, 2017. — 224 с.
14. Фридман А.М., Хоперсков А.В. Физика галактических дисков. М.: Физматлит, 2011. — 640 с.
15. Howell S.B. Handbook of CCD-astronomy. Cambridge Academ, 2006. — 222 p.
16. Appenzeller I. Introduction to astronomical spectroscopy. Cambridge Academ, 2012. — 268 p.
17. Липунов В.М. Астрофизика нейтронных звезд. М.: Наука, 1987.
18. Щеглов П.В. Проблемы оптической астрономии. М.: Наука, 1986.
19. Рузмайкин А.А., Соколов Д.Д., Шукуров А.М.: Магнитные поля галактик. М.: Наука, 1988.
20. Гоффмейстер К., Рихтер Г., Венцель В. Переменные звезды. М.: Наука, 1990.
21. В.Л.Гинзбург «Распространение электромагнитных волн в плазме» М.: Наука, 1967
22. В.В.Железняков «Излучение в астрофизической плазме», М.: Янус-К, 1997
23. Плазменная гелиогеофизика, Том I, (ред. Л.М.Зелёный и И.С.Веселовский) М.: Физматлит, 2008
24. У.Христиансен, И.Хёгбом «Радиотелескопы» М.: Мир, 1988.
25. А.Р.Томпсон, Дж.М. Моран, Дж.У. Свенсон «Интерферометрия и синтез в радиоастрономии» М.: Физматлит, 2003.
26. Соболев В.В. Курс теоретической астрофизики. М.: Наука, 1985 (и последующие переиздания).
27. Огородников К.Ф., Динамика звездных систем. М.: ГОСИЗДАТ, 1958.
28. Паренаго П.П., Курс звездной астрономии. М.: ГОСИЗДАТ, 1954.

29. Марочник Л.С., Сучков А.А., Галактика. М.: НАУКА, 1984.
30. Куликовский П.Г., Звездная астрономия. М.: НАУКА, 1985.
31. Агемян Т.А., Теория вероятностей для астрономов и физиков. М: НАУКА, 1974.
32. Рольфс К., Лекции по теории волн плотности. М.: МИР, 1980.
33. Витязев В.В. Вейвлет-анализ временных рядов. СПб.: Изд-во СПбГУ, 2001. (<http://www.astro.spbu.ru/sites/default/files/wavelet.pdf>)
34. Локтин А.В., Марсаков В.А., Лекции по звездной астрономии. Екатеринбург: Изд-во ЮФУ, 2009.

## **2. Дополнительная литература**

1. Лонгейр М. , Астрофизика высоких энергий, М.: Мир, 1984.
2. Шапиро С., Тьюколски С., Черные дыры, белые карлики и нейтронные звезды, в 2-х томах, М.: Мир, 1985.
3. Бисикало Д.В., Жилкин А.Г., Боярчук А.А. Газодинамика тесных двойных звёзд. М.: Физматлит, 2013.
4. Долгинов А.З., Гнедин Ю.Н., Силантьев Н.А., Распространение и поляризация излучения в космической среде, М.: Наука, 1979.
5. Gnedin Y.N. , Natsvlishvili T.M., Magnetic Fields of Stars: The Interaction between Observations and Theory, Harwood Academic Publishers (Astrophys. Space Phys., 2000, Vol.10, pp.1-83).
6. 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).
7. V. Grinin, Photopolarimetric Activity of Pre-Main-Sequence Stars, (<http://articles.adsabs.harvard.edu/pdf/2000ASPC..219..216G>)
8. Бескин В.С., Осесимметричные стационарные течения в астрофизике, М.: Физматлит, 2005.
9. Каплан С.А., Цытович В.Н. «Плазменная астрофизика» М.: Наука, 1972
10. Железняков В.В. «Радиоизлучение Солнца и планет» М.: Наука, 1964
11. Прист Э. , Форбс Т. «Магнитное пересоединение» М.: Физматлит, 2005
12. Кинг А.Р., Введение в классическую звездную динамику. М: УРСС, 2002.
13. Белецкий В.В., Очерки о движении космических тел. М.: ЛКИ, 2009.

## **3. Интернет-ресурсы:**

1. Электронная библиотека по физике и астрономии - [adsabs.harvard.edu](http://adsabs.harvard.edu)
2. Электронная библиотека по физике и астрономии - <http://arxiv.org/archive/astro-ph>