

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



УТВЕРЖДАЮ
Директор ГАО РАН
Доктор физ.-мат. наук

[Signature] Н.Р. Ихсанов

14 » *апреля* 2022 г.

**ПРОГРАММА
ВСТУПИТЕЛЬНОГО ЭКЗАМЕНА
ПО СПЕЦИАЛЬНОСТИ**

**направление подготовки – 03.06.01 «Физика и Астрономия»
специальность 01.03.01 «Физика космоса, астрономия»**

Утверждена на заседании
Ученого совета ГАО РАН

Протокол № 3

от «14» *апреля* 2022 г.

Санкт-Петербург
2022

1. Область применения и нормативные ссылки

Программа вступительного экзамена сформирована на основе федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования по программам специалитета или магистратуры, проекта паспорта научной специальности 01.03.01 «Физика космоса, астрономия».

2. Структура вступительного испытания

Цель: определение уровня готовности абитуриента к выполнению научного исследования.

Задачами является выявление:

- способности анализировать результаты научных исследований и применять их при решении исследовательских задач;
- готовности использовать индивидуальные креативные способности для оригинального решения исследовательских задач;
- готовности самостоятельно осуществлять научное исследование с использованием современных методов науки.

Экзамен проводится в **устной форме**. Он предполагает подготовку ответов на три вопроса, выбранных экзаменационной комиссией из перечня вступительных вопросов. В ходе обсуждения абитуриенту могут быть заданы дополнительные вопросы и предложены задачи из всей тематики вступительного экзамена.

3. Основные критерии оценивания

Результаты экзамена оцениваются по пятибалльной системе по следующему принципу:

Критерии оценивания	Оценка
Ответ полный, без замечаний, продемонстрированы знания по дисциплине	5
Ответ полный, с незначительными замечаниями	4
Ответ не полный, существенные замечания	3
Ответ на поставленный вопрос не дан.	2-1

Невыполнение одного из заданий (или отказ от его выполнения) является основанием для выставления неудовлетворительной оценки за вступительный экзамен в целом.

4. Список вопросов вступительного экзамена

1. Понятия о системах небесных координат. Шкалы времени и расстояний в астрономии.
2. Атмосферная рефракция, абберация света, параллактическое смещение, прецессия и нутация оси вращения Земли.
3. Определение расстояний до небесных тел и их пространственных скоростей. Определение масс, размеров, формы небесных тел и их вращательных состояний.

4. Невозмущенное движение. Законы Кеплера и движение планет. Эллиптическое, гиперболическое, параболическое и прямолинейное движения. Элементы орбиты.
5. Тепловое и нетепловое излучение космических тел. Взаимодействие излучения с веществом.
6. Астрофизическая плазма и магнитные поля в космосе.
7. Диаграмма «спектр – светимость» и классы светимости. Зависимость «масса-светимость». Классификация звездных спектров. Статистические зависимости между основными характеристиками звезд. Оценка размеров звезд.
8. Двойные звезды. Переменные звезды: пульсирующие и эруптивные переменные. Понятие об эволюции звезд. Конечные стадии звездной эволюции (белые карлики, нейтронные звезды и черные дыры).
9. Фотометрические характеристики звезд. Системы звездных величин. Светимости и абсолютная величина звезд. Показатель цвета звезд. Температуры звезд.
10. Классификация галактик, их строение и физические характеристики. Активность ядер галактик и квазары. Пространственное распределение и эволюция галактик.
11. Строение Галактики «Млечный путь». Звездные скопления. Вращение и масса Галактики. Межзвездная пыль, газ и космические лучи.
12. Оценка расстояний до галактик. Красное смещение. Постоянная Хаббла. Реликтовое излучение и крупномасштабная структура Вселенной. Космологические модели. Темная материя и темная энергия.
13. Основные характеристики Солнца: строение, спектр, химический состав. Внутреннее строение. Фотосфера, хромосфера, корона.
14. Активные образования на Солнце. Солнечные магнитные поля. Солнечная активность. Вспышки, корональные выбросы массы, солнечные космические лучи. Солнечный ветер. Циклический характер солнечной активности.
15. Строение и эволюция Солнечной системы. Классические планеты, карликовые планеты, малые тела Солнечной системы. Кометы, метеоритное вещество. Спутники планет. Пояс Койпера и облако Оорта.
16. Экзопланеты и экзопланетные системы. Методы обнаружения экзопланет.

5. Тематика вступительного экзамена

Направление 1. Астрометрия и небесная механика

Системы отсчета в астрономии. Кинематический и динамический подходы построения опорных систем. Современные реализации ICRS в оптическом (HIPPARCOS, Gaia) и радиодиапазоне (ICRF). Земные системы координат. Система всемирного времени и неравномерность вращения Земли. Шкалы времени TAI и UTC. Динамические шкалы времени. Приборы для хранения времени, методы распространения сигналов точного времени. Пульсары как новый астрономический эталон времени.

Принципы определения координат небесных объектов: классические методы, радиоинтерферометрия, лазерная локация, астрометрия в космосе. Процедуры учета атмосферной рефракции (дисперсии), абберации света, гравитационного уклонения света, параллактического смещения, собственных движений звезд, прецессии и нутации оси вращения Земли. Топоцентрическая, геоцентрическая, барицентрическая и галактоцентрическая системы астрометрических координат.

Определение расстояний до небесных тел. Лазерная и радиолокация, базисные измерения расстояний. Измерение суточного и годичного параллаксов. Проблема абсолютизации параллаксов звезд. Определение параллаксов звезд в космической астрометрии.

Функция рассеяния точки (ФРТ) идеального объектива вблизи фокальной плоскости. Основные типы аббераций объектива инструмента, влияющие на измерение координат

небесных тел. ФРТ с учетом атмосферной турбуленции. Задача деконволюции астрономических изображений.

Применение ПЗС-приемников в астрометрии. Базовые принципы работы астрономических ПЗС-приемников. Учет темнового тока и неравномерности чувствительности пикселей ПЗС-приемника. Получение изображений методом полного кадра и временной задержки накопления (ВЗН). Аппроксимация изображений небесных тел на ПЗС-кадрах, методы определения фотоцентра изображения точечного источника.

Вычисление экваториальных координат небесных объектов через посредство тангенциальных координат, астрометрическая калибровка ПЗС-кадров (основные модели перехода от пиксельных координат к тангенциальным). Оцифровка астронегативов для целей астрометрии. Определение собственных движений звезд с использованием ПЗС-приемников и сканов астронегативов.

Реализация опорной системы с помощью астрометрических каталогов. Историческая справка и оценки точности от систем FK до каталогов HIPPARCOS, Tycho-2, UCAC5 и Gaia. Роль астрометрических каталогов XX века в задаче уточнения собственных движений звезд. Построение и верификация астрометрических звездных каталогов в наземной и космической астрометрии. Современные цифровые обзоры неба с точки зрения астрометрии: 2MASS, SDSS, Pan-STARRS, WISE, UKIDSS, DSS и другие.

Изучение вращения Земли. Теория Эйлера свободного вращения твердого тела. Прецессия и нутация оси вращения в пространстве. Свободное и вынужденное движение полюсов Земли. Влияние движения полюса в теле Земли на определение широт, долгот и азимутов. Получение вариаций широты методами астрометрии. Координаты полюса. Вековое движение полюса. Приливные деформации Земли. Числа Лява и методы их определения. Неравномерность вращения Земли. Шкалы времени (UT, TAI, UTC), вековое замедление скорости вращения Земли. Использование динамических шкал времени.

Глобальные спутниковые навигационные системы (ГНСС) в задачах навигации, геодезии, геодинамики. Системы GPS и ГЛОНАСС. Лазерные и доплеровские наблюдения ИСЗ, определение параметров вращения Земли с использованием ГНСС.

Метод РСДБ в астрометрии. Основное редуцированное уравнение РСДБ. Определения экваториальных координат радиоисточников методом РСДБ. Система координат ICRS и ее реализация ICRF. Получение параметров вращения Земли методом РСДБ.

Использование спекл-интерферометрии и систем адаптивной оптики для целей астрометрии в малых рабочих полях больших телескопов. Определение относительных положений визуально-двойных звезд. Построение орбит компонент двойных звезд на основе рядов наблюдений данных объектов.

Астероидно-кометная опасность (АСЗ, ОСЗ, шкалы опасности и т.д.).

Космическая астрометрия. Методы определения координат небесных тел с помощью космических аппаратов. Базовый принцип измерений в космической миссии HIPPARCOS. Космический проект Gaia: анализ измерений, определение координат, собственных движений и параллакс звезд. Астрометрические исследования тел Солнечной системы в рамках миссии Gaia. Краткая характеристика релизов проекта Gaia.

Система фундаментальных астрономических постоянных. Стандарты (Соглашения) IERS.

Теория потенциала. Притяжение частицы телом произвольной формы. Потенциал двух тел произвольной формы.

Задача двух тел. Уравнения движения и их интегралы. Движение по эллипсу, гиперболе, параболе. Элементы орбит планет. Законы Кеплера. Уточнение 3-го закона Кеплера.

Методы определения орбит из наблюдений. Определение орбиты по трем наблюдениям. Методы улучшения орбит. Прямые методы определения орбит (метод Лапласа и метод Параметров видимого движения).

Возмущенное движение. Задача трех тел, понятие о задаче N тел. Ограниченная задача трех тел. Интеграл Якоби, соотношение Тиссерана. Поверхности нулевой скорости, точки либрации. Задача Хилла.

Основы теории возмущений. Уравнения движения в оскулирующих элементах. Уравнения Лагранжа для оскулирующих элементов. Разложения пертурбационной функции (планетной функции, спутниковой функции). Канонические элементы Делоне и Пуанкаре. Вековые возмущения в движении больших планет.

Теория и классификация приливных явлений. Лунные и солнечные приливы. Зона Роша.

Вращательная динамика небесных тел. Уравнение Белецкого. Синхронный спин-орбитальный резонанс.

Взаимодействие и перекрытие резонансов. Критерий Чирикова. Динамический хаос в системах небесной механики. Орбитальные резонансы. Условия Даламбера.

Собственные элементы. Семейства астероидов. Резонансы средних движений, вековые резонансы и динамический хаос в динамике астероидов.

Динамика спутниковых систем планет. Резонанс Лапласа.

Эффект Лидова-Козаи: теория и проявления в динамике ИСЗ, спутников планет, астероидов, комет, экзопланетных систем.

Долговременная динамика планет Солнечной системы, теория и результаты численных экспериментов.

Направление 2. Астрофизика и звездная астрономия

Оптические телескопы. Светосила, разрешающая способность. Спектральное оснащение телескопа. Основные aberrации оптических систем. Активная и адаптивная оптика. Оптические интерферометры и спеклинтерферометрия. Солнечные телескопы. Основные поколения оптических телескопов XX столетия. Современные крупные телескопы.

Основные характеристики приемников излучения. Фотографическая пластинка. Фотоэмиссионные приемники (ФЭУ, ЭОП). Одноканальные приемники на внутреннем фотоэффекте (фотоспротивление, вентильные фотоэлементы, фотодиоды). Телевизионные трубки. Твердотельные панорамные приемники (ПЗС). Тепловые приемники. Методы счета фотонов в изображении. Приемники излучения для рентгеновского диапазона. Особенности регистрации гамма-квантов и космических лучей. Нейтринные детекторы.

Фотометрические системы и их реализация. Учет поглощения в земной атмосфере. Основные этапы обработки ПЗС-изображений. Звездная и поверхностная фотометрия. Фотометрия спектральных линий. Методы астроспектроскопии. Контурные линий. Кривые роста. Лучевые скорости и их измерение. Спектрофотометрия непрерывного спектра. Методы поляриметрии.

Радиотелескопы. Антенны радиотелескопов - основные типы и их характеристики. Двухэлементные и многоэлементные интерферометры. Основные схемы радиометров. Шумовая температура и чувствительность радиометров

Тепловое и нетепловое излучение космических тел; механизмы излучения и его источники. Космические лучи. Основные характеристики излучения - интенсивность, яркость, плотность потока, и т.д. Основные характеристики излучения различных космических тел: Солнца, планет, звезд, пульсаров, квазаров, радиогалактик.

Законы излучения черного тела. Термодинамическое равновесие; локальное термодинамическое равновесие в астрофизических условиях. Формулы Планка, Максвелла, Больцмана и Саха. Основные понятия классической и квантово-механической теории излучения. Нетепловые механизмы излучения. Эффекты Доплера, Зеемана, Штарка.

Перенос излучения: коэффициенты излучения и поглощения, оптическая толщина, уравнение переноса и его решение для простейших случаев.

Взаимодействие излучения и вещества: основные процессы; томсоновское рассеяние; свободно-свободное излучение; обратное комптоновское рассеяние; синхротронное излучение.

Особенности астрофизической плазмы. Движение частиц в магнитном поле. Квазинейтральность и вмороженность. Движение плазмы в магнитном поле. Магнитосферы звезд. Волны в плазме. Ударные волны.

Непрерывные и линейчатые спектры звезд. Коэффициенты поглощения и образование спектральных линий. Рассеяние и истинное поглощение как механизмы образования линий. Классификация звездных спектров. Статистические зависимости между основными характеристиками звезд. Диаграмма «спектр – светимость» и классы светимости. Зависимость «масса-светимость». Оценка размеров звезд.

Джинсовская неустойчивость и образование звезд. Контракционная фаза эволюции. Образование газопылевых дисков. Основные этапы эволюции протопланетных дисков. Дискосветы. Протозвезды, звезды типа Т Тельца, Ae/Be звезды Хербига.

Звезды: механическое и тепловое равновесие. Основные уравнения теории внутреннего строения звезд. Перенос излучения и источники непрозрачности в звездных атмосферах. Политропные звезды. Конвекция. Физические условия в недрах звезд. Модели звезд. Источники звездной энергии; ядерные реакции. Эволюция звезд и синтез тяжелых элементов. Поздние стадии эволюции звезд. Вырожденный газ и белые карлики. Нейтронные звезды и их астрофизические проявления. Черные дыры.

Двойные звезды. Классификация. Определение масс звезд. Общее представление о методах определения орбит визуально-двойных и спектрально-двойных звезд. Затменно-переменные звезды. Эволюция звезд в тесных двойных системах. Рентгеновские и радиопульсары. Миллисекундные пульсары. Новые звезды.

Основные типы переменных звезд и механизмы их переменности.

Межзвездная среда. Газовые туманности, ионизация водорода. Механизмы свечения туманностей в разрешенных и запрещенных линиях. Непрерывные спектры газовых туманностей. Определение электронных температур, плотностей и масс газовых туманностей. Диффузия излучения в туманностях. Многофазная структура межзвездной среды. Ионизованный, нейтральный и молекулярный водород. Области HI и HII, физические условия в них. Молекулярные облака.

Межзвездная пыль. Отражательные и темные туманности. Межзвездное поглощение в разных спектральных диапазонах. Межзвездная поляризация света. Распределение пыли в Галактике. Околосредные пылевые оболочки. Межзвездные магнитные поля. Вмороженность магнитного поля. Наблюдательные проявления космических магнитных полей в оптическом и радиодиапазонах. Остатки сверхновых. Крабовидная туманность.

Общие черты строения Галактики. Звездные скопления и ассоциации, их распределение в Галактике. Спиральная структура, индикаторы спиральных ветвей. Наблюдения в линии нейтрального водорода на 21 см. Вращение Галактики. Понятие о темной материи. Типы звездного населения. Различия химических составов звездных населений.

Классификация галактик, их строение и физические характеристики. Особенности звездообразования в галактиках различных морфологических типов. Определение расстояний до галактик. Вращение галактик и оценка их масс. Радиоизлучение галактик.

Группы и скопления галактик. Рентгеновское излучение скоплений. Проблема скрытой массы в системах галактик. Пространственное распределение и эволюция галактик.

Активные внегалактические объекты (сейфертовские галактики, радиогалактики, квазары и лацетиды). Проявления активности в разных диапазонах спектра. Природа излучения радиоактивных ядер.

Оценка расстояний и размеров галактик. Красное смещение. Постоянная Хаббла и методы ее определения.

Основы космологии. Фридмановские модели Вселенной, модели однородной изотропной Вселенной. Ранние стадии эволюции. Первичный нуклеосинтез. Реликтовое излучение и крупномасштабная структура Вселенной. Методы определения космологических расстояний (по цефеидам, по сверхновым типа Ia). Проблема тёмной энергии.

Направление 3. Физика Солнца

Наземные и космические приборы для изучения Солнца. Фотоэмульсии и ПЗС: достоинства и недостатки. Методы измерения солнечных магнитных полей.

Солнце в различных диапазонах электромагнитных волн. Приборы для наблюдений.

Солнце как типичная звезда. Основные характеристики Солнца. Определение численного значения астрономической единицы. Определение диаметра, массы и средней плотности Солнца.

Светимость Солнца, положение Солнца на диаграмме Герцшпрунга-Рессела, его эволюционный трек. Гелиографическая система координат. Вращение Солнца вокруг оси.

Методы определения температуры Солнца. Температуры: эффективная, цветовая, яркостная. Распределение яркости по диску Солнца. Солнечная постоянная. Спектр Солнца, непрерывная, абсорбционная и эмиссионная составляющие.

Уравнение лучистого переноса энергии и механизмы формирования спектральных линий. Характеристика излучения Солнца в различных диапазонах электромагнитных волн. Эффект Зеемана и магнитные поля на Солнце. Общее, локальные и крупномасштабные магнитные поля Солнца.

Стандартная модель внутреннего строения Солнца, основные уравнения модели. Зона генерации энергии (ядро): температура, плотность, давление. Источники энергии Солнца. Основные термоядерные реакции, их эффективность. Проблема солнечного нейтрино и ее современное решение.

Зоны лучистого и конвективного переноса энергии. Особенности дифференциального вращения Солнца. Области тахоклина и лептоклина.

Строение и физические характеристики внешних областей спокойного Солнца (плотность, давление, температура, химический состав).

Фотосфера, грануляция и супергрануляция; хромосфера, волокна и спикулы; корона, корональные магнитные арки, корональные дыры. Возможные механизмы нагрева хромосферы и короны.

Нестационарные активные явления на Солнце: пятна, факелы, флоккулы, спикулы, солнечные вспышки, активные протуберанцы, корональные дыры, корональные выбросы массы. Механизмы их образования и простейшие модели.

Солнечная активность и ее циклический характер. Особенности развития солнечного цикла (закон Хэйла, бабочки Маундера, переполосовка глобального поля и пр.) Статистические закономерности. Теория динамо.

Источники данных и проявления солнечной цикличности на различных временных шкалах: иерархия солнечных циклов.

Основные характеристики солнечной плазмы: радиус Дебая, плазменная частота, длины свободного пробега электронов и ионов в различных областях Солнца.

Солнечная магнитогидродинамика. Магнитная сила и ее эффекты. Диффузия и замороженность магнитного поля. Альвеновские и магнитозвуковые волны. Магнитное динамо и проблемы теоретического описания солнечной цикличности.

Гелиосейсмология, методы и результаты, ее современное состояние. Обзор современных результатов исследования Солнца в различных диапазонах длин волн: УФ, рентген, гамма излучение.

Радиоизлучение Солнца, особенности распространения электромагнитных волн в плазме. Основные механизмы генерации радиоволн на Солнце. Радиоисточники над пятнами.

Корпускулярное излучение Солнца. Солнечный ветер и гелиосфера, межпланетное магнитное поле. Модель Паркера.

Солнечный мониторинг: инструменты, приборы, методы.

Солнечно-земные связи. Космическая погода. Космический климат.

Направление 4. Планетные исследования

Строение Солнечной системы.

Результаты экспериментальных исследований (включая измерения на космических аппаратах и наземные наблюдения при помощи телескопов) химического состава, вертикального строения, аэрозольной компоненты и динамики атмосфер планет, их спутников и комет.

Результаты теоретических исследований физических и физико-химических процессов в планетных атмосферах, динамики планетных атмосфер, взаимодействия атмосфер с поверхностью, процессов их образования и эволюции.

Модели атмосфер планет, их спутников и комет.

Методы и проведение геофизического зондирования недр планет, их спутников, комет и астероидов. Теоретические исследования внутреннего строения планет, их спутников, кометных ядер и астероидов.

Модели внутреннего строения планет и спутников.

Строение поверхности тел Солнечной системы, физические характеристики, химический и минеральный состав поверхностного слоя.

Геологические и геохимические процессы на поверхности тел Солнечной системы, модели эволюции поверхности планетных тел.

Экспериментальные и теоретические исследования магнитных полей планет, планетных магнитосфер, взаимодействия тел Солнечной системы с солнечным ветром.

Теоретические исследования в области планетной космогонии (проблемы происхождения и эволюции Солнечной системы, а также вне солнечных планетных систем).

Экзопланеты и экзопланетные системы. Методы обнаружения экзопланет. Планетные системы одиночных и двойных звезд. «Горячие Юпитеры». Сверхземли. Свободные планеты.

6. Литература

1. Основная литература

1. Жаров В.Е. Сферическая астрономия, Фрязино, 2006, 480 с.
2. Ковалевский Ж. Современная астрометрия, Фрязино, 2004, 480 с.
3. Жаров В.Е. Основы радиоастрометрии. — М.: Физический факультет МГУ, 2011. — 280 с.
4. К. Мюррей, С. Дермотт "Динамика Солнечной системы". Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2009, 2010. (Murray C.D, Dermott S.F. Solar System Dynamics. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1999.)
5. А. Морбиделли «Современная небесная механика.» Москва–Ижевск: Издательство «ИКИ», 2014. 432 с.

6. Артюх В.С. Радиоастрономические методы исследований. М.: Ленанд, 2015. — 160 с.
7. Засов А.В., Постнов К.А. Общая астрофизика. Фрязино: Век2, 2016. — 576 с.
8. Соболев В.В., Курс теоретической астрофизики. Наука, М., 1985
9. Бисноватый-Коган Г.С. Релятивистская астрофизика и физическая космология. М.: Красанд, 2016. —376 с.
10. Куликовский П.Г. Звездная астрономия. М.: Наука, 1985.
11. Плазменная гелиогеофизика. Под ред. Зеленого Л.М.и Веселовского И.С. В 2-х частях. М. Физматлит. 2008.
12. Прист Э., Солнечная электродинамика. М. Мир , 1985.
13. Обридко В.Н., Наговицын Ю.А. Солнечная активность, цикличность и методы прогноза. СПб, ВВМ, 2017. (печатный вариант и электронный вариант по ссылке: https://elibrary.ru/download/elibrary_31796356_40685861.pdf)
14. Современные достижения в плазменной гелиогеофизике. Под ред. Л.М. Зеленого, А.А. Петруковича, И.С. Веселовского. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2018, 688 с.
15. А.В. Степанов, В.В. Зайцев. Магнитосферы активных областей Солнца и звезд. М.Физматлит 2018, 388 стр.
16. Солнечная система. Ред. сост. Сурдин В.Г., М.: ФИЗМАТЛИТ. 2008.
17. Жарков В.Н. Внутреннее строение Земли и планет. М.: Наука, 1983. — 416 с.
18. Солнечная и солнечно-земная физика: иллюстрированный словарь терминов/ [Ш. Дж. Дюран [и др.]]: под ред. А. Бруэка и Ш. Дюрана ; пер. с англ. Е. В. Иванова; под ред. д-ра физ.-мат. наук Я. И. Фельдштейна и канд. физ.-мат. наук В. Н. Обридко М.: Мир, 1980. – 254 с.

2. Дополнительная литература

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. Steve B. Howell. Handbook of CCD Astronomy. 2-nd Edition. Gamburg. 224p. 2006.
5. Кинг-Хили Д. Теория орбит искусственных спутников в атмосфере. М.: Мир, 1966.
6. М.Я. Маров, И.И.Шевченко, «Экзопланеты. Экзопланетология.» Москва–Ижевск: Издательство «ИКИ», 2017. 138 с. ISBN 978-5-4344-0457-0
7. Сильченко О.К. Происхождение и эволюция галактик. – Фрязино: Век2, 2017. – 224 с.
8. Гоффмейстер К., Рихтер Г., Венцель В. Переменные звезды. М.: Наука, 1990.
9. Физика космоса. Маленькая энциклопедия. - М.: Сов. энциклопедия, 1986.
10. Иванов В.В., Кривов А.В., Денисенков П.А. Парадоксальная Вселенная. 175 задач по астрономии. – СПб.: Изд. СПбГУ., 1997.
11. Паркер Е., Космические магнитные поля. в 2-х томах М. Мир, 1982
12. Паркер Е., Беседы о магнитном и электрическом поле в Космосе. М. Мир.2008
13. В.В.Железняков «Излучение в астрофизической плазме», М.Янус-К 1997.
14. Уилсон Т.Л., Рольфс К., Хюттемейстер С. Инструменты и методы радиоастрономии, 2013. 568 с.
15. А. Т. Алтынцев, Л. К. Кашапова. Введение в радиоастрономию Солнца: монография. – Иркутск : Изд-во ИГУ, 2014. – 203 с.

3. Интернет-ресурсы:

1. Электронная библиотека по физике и астрономии - <https://ui.adsabs.harvard.edu/>
2. Электронная библиотека по физике и астрономии - <https://arxiv.org/>