

**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



**ПРОГРАММА
КАНДИДАТСКОГО ЭКЗАМЕНА**

**направление подготовки – 03.06.01 «Физика и Астрономия»
профиль – 01.03.03 «Физика Солнца»**

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 01.03.03 – «Физика Солнца».

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 Физика Солнца.

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 организовать 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 Физики Солнца.

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 Физика Солнца. 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. Методы достижения высокого углового разрешения. Активная и адаптивная оптика.

Принципы спектрального анализа. Спектрографы. Спектральное разрешение и факторы, его определяющие.

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

Приемники оптического излучения. Фотоэлектрический умножитель. Приборы с зарядовой связью. Понятие квантового выхода. Особенности регистрации инфракрасного излучения.

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

Оптические телескопы. Оптические схемы рефлекторов и зеркально-линзовых телескопов. Механические конструкции телескопов. Экваториальные и азимутальные установки.

2. Звезды

Спектральная классификация звезд, ее физическая интерпретация. Современные уточнения спектральной классификации (коричневые карлики).

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 — Рессела (диаграмме цвет—светимость). 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.

Переменные и нестационарные звезды. Пульсирующие переменные (цефеиды, долгопериодические переменные, переменные типа КК Лиры). Звезды с оболочками (Ве, МК). Звезды типа Г Тельца. Объекты Ae/Be Херbiga. Катаклизмические переменные.

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. 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.

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. 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.

ПЗС-приемники.

5. Приборы и методы исследования Солнца.

Горизонтальные и башенные телескопы. Фотогелиографы и хромосферные телескопы.

Внеатмосферный коронограф (типа Лио; с внешним затмением). К-коронометр.

Спектрограф, дифракционная решетка. Интерференционно-поляризационный фильтр.

Эталоны Фабри—Перо. Спектрофотометрия.

Фотографическая эмульсия. Характеристическая кривая. Основное свойство фотоэмульсии. Эквиденситы. Фотографическая фотометрия и спектрофотометрия.

Фотоэлектрические приемники радиации. Фотоумножитель. Электронно-оптический преобразователь. ПЗС–матрицы. Калибровки. Стандартизация.

Спектрогелиограф. Поляриметрия. Поляроиды. Призма Волластона. Пластинки $1/2$ и $1/4$.

Электрооптические устройства. Параметры Стокса.

Методы измерений магнитного поля и лучевых скоростей Солнца. Вектор-магнитограф.

Метод Лейтона. Солнечные магнитографы и стоксметры.

Внеатмосферные наблюдения Солнца, основные приборы и методы. Рентгеновские, ультрафиолетовые, инфракрасные телескопы: особенности схем и конструкций.

Аппаратура и методика радиоастрономических наблюдений Солнца (основные положения).

6. Солнце как звезда и его внутреннее строение

Спектральный класс, класс светимости, положение на диаграмме Герцшпрунга—Рассела.

Возраст. Эволюционный трек Солнца на диаграмме. Вращение. Химический состав

Солнца. Методы определения.

Глобальное магнитное поле Солнца и его компоненты. Переполусовка.

Гидростатическое равновесие солнечного вещества; баланс сил, лучистое трение. Источник солнечной энергии. Ядерные циклы. Солнечные нейтрино. Радиативная зона Солнца. Конвективная зона Солнца. Условие возникновения конвекции. Конвективный перенос энергии. Грануляция и супергрануляция. Характерные пространственные и временные масштабы. Наблюдения и теоретические результаты. Конвекция сверхсупергрануляционных масштабов (гигантские ячейки). Конвекция в присутствии вращения и магнитных полей. Гелиосейсмология. Спектр собственных колебаний. Характер углового вращения Солнца по данным гелиосейсмологии. Тахоклон и лептоклон. Их роль в генерации магнитных полей. Корональная гелиосейсмология.

7. Физика солнечной плазмы

Основные параметры солнечной атмосферы. Кулоновское взаимодействие. Квазинейтральность. Проводимость. Теплопроводность. Магнитная гидродинамика. Основные уравнения. Понятия вмороженности и диффузии магнитного поля. Силы, действующие на плазму в магнитном поле. Магнитогидростатика. Бессилловые и потенциальные магнитные поля. Численные МГД методы. Колебания в плазме. Звуковые и МГД-волны. Бесстолкновительные ударные волны. Перенос и диссипация энергии в плазме. Проблема нагрева хромосферы и короны. Устойчивость магнитоплазменных конфигураций в солнечной плазме. Отличие этих условий от устойчивости лабораторных плазменных жгутов. Методы исследования устойчивости. Энергетический принцип. Пересоединения магнитных силовых линий. Токовые слои. Понятия о теории динамо.

8. Внешние слои Солнца

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

9. Солнечная активность

Активные области и их магнитные поля. Солнечные пятна и индексы активности. Солнечные циклы. Главные закономерности динамики распределения активных областей в 11-летнем солнечном цикле. «Правила» солнечной цикличности. Солнечная вспышка. Механизмы накопления и быстрого выделения энергии в активной области. Наблюдения вспышки в различных областях спектра. Вторичные процессы. Корональные выбросы массы, их связь со вспышкой и воздействие на магнитосферы планет.

Петли и яркие рентгеновские точки. Удержание и нагрев плазмы в квазистационарных магнитных структурах.

Солнечные космические лучи в спокойные и активные периоды. Потоки галактических и солнечных космических лучей на Земле по данным нейтронных мониторов. Влияние межпланетного магнитного поля. Форбуш-эффект.

10. Корпускулярное излучение Солнца и межпланетная среда

Расширяющаяся корона и солнечный ветер. Теория Паркера. Основные характеристики межпланетной среды. Два типа источников геомагнитных возмущений.

Высокоскоростные и низкоростные потоки и их связь с корональными дырами и корональными выбросами массы. Ударные волны в солнечном ветре.

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.

4. Список вопросов к первой части кандидатского экзамена

1. Приборы и методы исследования Солнца.

1. Горизонтальные и башенные телескопы. Фотогелиографы и хромосферные телескопы.
2. Внеатмосферный коронограф (типа Лио; с внешним затмением). К-коронометр.
3. Спектрограф, Дифракционная решетка. Интерференционно-поляризационный фильтр. Эталоны Фабри-Перо. Спектрофотометрия.
4. Фотографическая эмульсия. Характеристическая кривая. Основное свойство фотоэмульсии. Эквиденситы. Фотографическая фотометрия.
5. Фотоэлектрические приемники радиации. Фотоумножитель. Электронно-оптический преобразователь. ПЗС-матрицы. Калибровки. Стандартизация.
6. Спектрогелиограф.
7. Поляриметрия. Поляроиды. Призма Волластона. Пластинки $\lambda/2$ и $\lambda/4$. Электрооптические устройства. Параметры Стокса.
8. Методы измерений магнитного поля и лучевых скоростей Солнца. Вектор-магнитограф. Метод Лейтона. Солнечные магнитографы и стоксметры.
9. Адаптивная оптика. Крупнейшие современные наземные телескопы.
10. Внеатмосферные наблюдения Солнца, основные приборы и методы. Рентгеновские, ультрафиолетовые, инфракрасные телескопы: особенности схем и конструкций.
11. Аппаратура и методика радиоастрономических наблюдений Солнца (основные положения).

2. 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. Переполюсовка.
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.

3. Физика солнечной плазмы

1. Основные параметры солнечной атмосферы. Кулоновское взаимодействие. Квазинейтральность. Проводимость. Теплопроводность.
2. Магнитная гидродинамика. Основные уравнения. Понятия вмерзженности 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. Методы исследования устойчивости. Энергетический принцип.
5. Пересоединения магнитных силовых линий. Токовые слои. Понятия о теории динамо.

4. 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).

5. 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. Потoki галактических и солнечных космических лучей на Землю по данным нейтронных Мониторов. Влияние межпланетного магнитного поля. Форбуш-эффект.

6. 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.

5. Литература

1. Основная литература

1. Шапиро С., Тьюколски С., Черные дыры, белые карлики и нейтронные звезды, в 2-х томах, М.: Мир, 1985.
2. Железняков В.В., Излучение в астрофизической плазме, М.: Янус-К, 1997.
3. Мартынов Д.Я. Курс практической астрофизики, М.: Наука, 1977.
4. Мартынов Д.Я. Курс общей астрофизики, М.: Наука, 1988.
5. Физика космоса: маленькая энциклопедия. М.: Сов. энциклопедия, 1986.
6. Грей Д. Наблюдения и анализ звездных фотосфер. М.: Мир, 1980.
7. Уилсон Т.Л., Рольфс К., Хюттемейстер С. Инструменты и методы радиоастрономии, 2013. 568 с.
8. Соболев В.В. Курс теоретической астрофизики. М.: Наука, 1985.
9. Щеглов П.В. Проблемы оптической астрономии. М.: Наука, 1986.
10. Рузмайкин А.А., Соколов Д.Д., Шукуров А.М.: Магнитные поля галактик. М.: Наука, 1988.
11. Гоффмейстер К., Рихтер Г., Венцель В. Переменные звезды. М.: Наука, 1990.
12. В.Л.Гинзбург «Распространение электромагнитных волн в плазме» М.Наука 1967
13. С.А.Каплан «Элементарная радиоастрономия» М.Наука 1966
14. В.В.Железняков «Излучение в астрофизической плазме», М.Янус-К 1997
15. Плазменная гелиогеофизика, Том I, (ред. Л.М.Зелёный и И.С.Веселовский) М.Физматлит 2008
16. У. Христиансен, И. Хёгбом «Радиотелескопы» М.Мир 1988
17. А.Р. Томпсон, Дж.М. Моран, Дж.У. Свенсон «Интерферометрия и синтез в радиоастрономии» М.: Физматлит, 2003
18. Мартынов Д.Я. Курс общей астрофизики, 4-е изд., М.: Наука, 1988.
19. Паркер Е. Космические магнитные поля. М., Мир, 1982.
20. Прист Э.Р. Солнечная магнитогидродинамика. М.: Мир, 1985.
21. Солнечная и солнечно-земная физика. Иллюстрированный словарь терминов. Под ред. А. Бруцека и Ш. Дюрана. М.: Мир, 1980.
22. Каплан С.А., Цытович В.Н., Пикельнер С.Б. Физика плазмы солнечной атмосферы, М.: Физматлит, 1977.
23. Пикельнер С.Б. Основы космической электродинамики, 2-е изд. М.: Физматгиз, 1966.
24. Гибсон Э., Спокойное Солнце . М.: Мир, 1977.
25. Витинский Ю.И., Копецкий М., Куклин Г.В. Статистика пятнообразовательной деятельности Солнца. М.: Наука, 1986.
26. Агекян Т.А. Основы теории ошибок для астрономов и физиков. М.: Наука, 1972.

27. Астафьева Н.М. Вейвлет-анализ: основы теории и примеры применения. // Успехи физ. наук, т.166, № 11, с. 1145-1170, 1996.
28. 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)

2. Дополнительная литература

1. М. Лонгейр, Астрофизика высоких энергий, Москва, Мир, 1984.
2. А.З. Долгинов, Ю.Н. Гнедин, Н.А. Силантьев, Распространение и поляризация излучения в космической среде, М.: Наука, 1979.
3. Y.N. Gnedin, T.M. Natsvlishvili, Magnetic Fields of Stars: The Interaction between Observations and Theory, Harwood Academic Publishers (Astrophys. Space Phys., 2000, Vol.10, pp.1-83).
4. Y.N. Gnedin, N.A. Silant'ev, Basic Mechanism of Light Polarization in Cosmic Media, Harwood Academic Publishers, 1997, (Astrophys. Space Phys., v.10, pp. 1-49, 1997).
5. В.С. Бескин, Осесимметричные стационарные течения в астрофизике, Москва, Физматлит, 2005.
6. Э.В. Кононович, В.И. Мороз «Общий курс астрономии» М: УРСС, 2001
7. С.А. Каплан, В.Н. Цытович «Плазменная астрофизика» М: Наука, 1972
8. В.В. Железняков «Радиоизлучение Солнца и планет» М: Наука, 1964
9. Э. Прист, Т. Форбс «Магнитное пересоединение» М: Физматлит, 2005
10. Schove D.J. Sunspot cycles. NY.: Hutchinson Ross Publ. Co., 1983.
11. Агекян Т.А. Теория вероятностей для астрономов и физиков. М.: Наука, 1974.
12. Труды ежегодных всероссийских конференций по солнечной и солнечно-земной физике в Пулковке, 1996–2019 гг. ГАО РАН (печатные варианты и электронные на CD-дисках)
13. Плазменная гелиогеофизика. В 2 т. Под ред. Л.М. Зеленого, И.С. Веселовского. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008 (печатный вариант и электронный на CD-диске).
14. Циклы активности на Солнце и звездах. Сборник статей. Под ред. В.Н. Обридко и Ю.А. Наговицына. СПб.: ВВМ, 2009 (печатный вариант и электронный на CD-диске).
15. Современные достижения в плазменной гелиогеофизике. Под ред. Л.М. Зеленого, А.А. Петруковича, И.С. Веселовского. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2018, 688 с.

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>