

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего**  
**образования**  
**"Казанский (Приволжский) федеральный университет"**

УТВЕРЖДАЮ

Первый проректор –  
проректор по научной деятельности

\_\_\_\_\_ П.А. Тагорский

« 2 \_\_\_\_\_ 2022 г.



**Программа вступительного испытания по специальности**

**Уровень высшего образования:** подготовка кадров высшей квалификации

**Тип образовательной программы:** программа подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре

**Научная специальность:** 1.3.1 Физика космоса, астрономия

**Форма обучения:** очная

### **Общие указания**

Вступительные испытания в аспирантуру по научной специальности 1.3.1 Физика космоса, астрономия охватывают стандартные разделы университетских курсов по физике, радиофизике и астрономии. Также проверяются базовые умения математического аппарата. Вопросы и структура билетов для вступительных испытаний приведены ниже.

### **Порядок проведения вступительных испытаний**

Вступительное испытание проводится в форме экзамена на основе билетов. В каждом экзаменационном билете по 2 вопроса. Экзамен проходит в письменной форме. Подготовка к ответу составляет 1 академический час (60 минут) без перерыва с момента раздачи билетов. Задания оцениваются от 0 до 100 баллов в зависимости от полноты и правильности ответов.

### **Критерии оценивания**

Оценка поступающему за письменную работу выставляется в соответствии со следующими критериями.

#### **Отлично (80-100 баллов)**

Поступающий обнаружил всестороннее, систематическое и глубокое знание материала, умение свободно выполнять задания, усвоил основную литературу и знаком с дополнительной литературой, рекомендованной данной программой, усвоил взаимосвязь основных понятий физики в их значении для приобретаемой профессии, проявил творческие способности в понимании, изложении и использовании учебно-программного материала.

#### **Хорошо (60-79 баллов)**

Поступающий обнаружил полное знание вопросов физики, успешно выполнил предусмотренные тестовые задания, показал систематический характер знаний по физике и способен к их самостоятельному пополнению и обновлению в ходе дальнейшей учебной работы и профессиональной деятельности.

#### **Удовлетворительно (40-59 баллов)**

Поступающий обнаружил знание основ физики в объеме, необходимом для дальнейшей учебы и предстоящей работы по профессии, справился с выполнением тестовых заданий, знаком с основной литературой, рекомендованной данной программой, допустил погрешности в ответе на экзамене и при выполнении экзаменационных заданий, но обладает необходимыми знаниями для их устранения под руководством преподавателя.

#### **Неудовлетворительно (менее 40 баллов)**

Поступающий обнаружил значительные пробелы в знаниях основ физики, допустил принципиальные ошибки в выполнении тестовых заданий и не способен продолжить обучение по физике.

## **Вопросы программы вступительного испытания в аспирантуру по научной специальности 1.3.1 Физика космоса, астрономия**

### **СИСТЕМЫ КООРДИНАТ**

Системы координат и их реализация в форме координатной основы. Основные точки, линии и плоскости небесной сферы. Небесные и земные системы координат и их реализация. Объяснение видимых движений небесных тел. Системы мира Птолемея и Коперника. Объяснение видимых движений планет в системе Коперника. Явления прецессии, нутации, абберации и рефракции. Приведение на видимое место. Методы определения основных астрономических постоянных. Системы астрономо-геодезических постоянных. Системы геодезических параметров Земли. Системы измерения времени. Классические шкалы времени UT0, UT1, UT2, ET. Шкала атомного времени IAT.

### **ОСНОВЫ АСТРОФИЗИКИ. ВАЖНЕЙШИЕ СВОЙСТВА ИЗЛУЧЕНИЯ И МЕТОДЫ ЕГО ИССЛЕДОВАНИЯ**

Предмет и задачи астрофизики. Источники информации о космических телах. Виды электро-магнитного излучения и его прохождение через земную атмосферу. Скорость распространения, частота, длина волны электромагнитного излучения. Понятие о квантах. Основы спектроскопии. Важнейшие понятия фотометрии и астрофотометрии. Поток излучения, освещённость, интенсивность, светимость и связь между ними. Яркость протяжённых объектов. Определение этих величин из наблюдений. Понятие видимой звёздной величины. Колориметрия и спектрофотометрия. Элементарные атомные процессы излучения и поглощения энергии. Поляризация излучения. Понятие о кинетической температуре вещества. Связь между излучением и температурой. Законы Кирхгофа, Планка, Стефана – Больцмана и Вина. Методы определения температуры. Тепловые скорости частиц. Закон Максвелла. Типы спектров, исследуемых в астрофизике. Эмиссионные, непрерывные и абсорбционные спектры различных небесных тел. Определение движения излучающего вещества по смещению спектральных линий. Измерение магнитных полей по зеемановскому расщеплению спектральных линий. Определение химического состава космических объектов по их спектрам. Относительная распространённость химических элементов во Вселенной.

### **АСТРОФИЗИЧЕСКИЕ ИНСТРУМЕНТЫ И ПРИБОРЫ**

Важнейшие инструменты для определения астрономических координат и времени. Телескопы. Рефракторы и рефлекторы. Увеличение телескопа. Астрографы. Типы монтировок. Зависимость теоретической разрешающей силы от диаметра объектива. Атмосферное дрожание и практическая разрешающая сила. Проницающая сила телескопа. Современное приёмное оборудование (ПЗС-матрицы). Светофильтры. Спектрографы и спектрометры. Дисперсия и разрешающая сила спектральных приборов. Интерференционные и интерференционно-поляризационные фильтры. Инструменты для исследования Солнца.

### **СОЛНЦЕ**

Общие сведения о Солнце. Солнечная постоянная. Природа непрерывного и фраунгоферова спектров. Химический состав наружных слоёв. Внутреннее строение Солнца и конвективная зона. Строение солнечной атмосферы. Фотосфера. Потемнение диска Солнца к краю. Грануляция. Хромосфера и тонкая её структура. Корона. Физические условия в короне. Радиоизлучение “спокойного” Солнца. Солнечный ветер. Активные образования в солнечной атмосфере: факелы, пятна, флоккулы, протуберанцы. Солнечные вспышки. Радиоизлучение “возмущённого” Солнца. Цикл солнечной активности. Влияние Солнца на земные явления. Магнитные бури. Полярные сияния.

## **ЗВЁЗДЫ**

Основные характеристики звёзд. Спектральная классификация. Фотографические и фотоэлектрические звёздные величины, показатели цвета. Абсолютные звёздные величины. Диаграмма спектр-светимость. Понятие о шкале звёздных температур. Определение радиусов звёзд. Характеристики звёзд различных типов. Физические условия в недрах звёзд. Источники звёздной энергии. Атмосферы звёзд. Двойные звёзды. Визуально-двойные, фотометрически-двойные (затменно-переменные) и спектрально-двойные звёзды. Элементы орбиты двойной звезды и их определение. Массы звёзд, зависимость масса-светимость. Переменные звёзды. Типы переменных звёзд. Цефеиды. Зависимость период-светимость у цефеида. Другие пульсирующие переменные. Полуправильные и неправильные переменные звёзды. Новые. Сверхновые. Остатки сверхновых звёзд. Планетарные туманности. Пульсары. Нейтронные звёзды. Рентгеновские источники. Эволюция звёзд различных масс. Конечные стадии эволюции звёзд. Эволюция химических элементов.

## **НАША ГАЛАКТИКА**

Объекты, принадлежащие нашей Галактике. Методы изучения распределения звёзд в Галактике. Форма, размеры и спиральная структура Галактики. Подсистемы Галактики. Звёздные скопления: рассеянные и шаровые. Звёздные ассоциации. Собственные движения звёзд и вращение Галактики. Диффузная среда. Распределение её в Галактике. Межзвёздное поглощение света и пылевые туманности. Межзвёздная поляризация света звёзд. Межзвёздный газ. Физические условия в межзвёздной среде. Зоны HI и HII. Газовые эмиссионные туманности. Причины их свечения. Радиоизлучение межзвёздного водорода. Молекулы в межзвёздной среде. Молекулярные комплексы в Галактике. Связь межзвёздной среды с областями звёздообразования. Проблема образования звёзд. Космические лучи и магнитные поля в Галактике. Нетепловое радиоизлучение Галактики.

## **ВНЕГАЛАКТИЧЕСКАЯ АСТРОНОМИЯ**

Галактики, их число и распределение по небу. Морфологические типы галактик, их звёздный состав и структура. Методы определения расстояний до галактик. Шкала расстояний. Светимости, массы и размеры галактик. Красное смещение, закон Хаббла. Межзвёздный газ в галактиках. Вращение галактик. Ядра галактик, их активность. Радиогалактики. Взаимодействующие галактики. Квазизвёздные объекты. Понятие об эволюции галактик. Распределение галактик в пространстве. Скопления галактик. Межгалактическая среда в скоплениях. Метагалактика и её расширение. Понятие о космологии. Реликтовое излучение. Модели Вселенной.

## **МЕТОДЫ НАЗЕМНОЙ И КОСМИЧЕСКОЙ АСТРОМЕТРИИ**

Астрономические инструменты и приборы, предназначенные для определения координат и времени. Современное приёмное оборудование (ПЗС-матрицы). Меридианная астрометрия. Теория и устройство основных меридианных инструментов. Методы абсолютных и относительных определений координат. Звёздные каталоги и их систематические ошибки. Определение собственных движений и параллаксозвезд. Относительные и сводные каталоги. Фундаментальные каталоги звёздных положений и собственных движений. Фотографическая астрометрия. Инструменты фотографической астрометрии: астрографы и приборы для измерения астронегативов. Использование ПЗС в астрометрии и космической геодезии. Методы фотоастрометрии. Методы Тернера и Шлезингера. Фотографические определения координат Луны, планет и ИСЗ. Фотографические каталоги звёздных положений и собственных движений. Методы лазерной локации Луны и ИСЗ и задачи, решаемые этими методами. Техника лазерной локации. Методы космической астрометрии. Позиционные измерения положений

небесных объектов с помощью космических аппаратов. Интерферометрические методы в астрометрии. Проекты HIPPARCOS и GAIA. Методы радиоастрометрии. Задачи реализации небесной системы координат путем определения координат радиоисточников. Определение движения полюсов, неравномерности вращения Земли и других геодинамических эффектов. Радиоинтерферометры со сверхдлинной базой (РСДБ). Радиолокационные и радиоинтерферометрические методы наблюдений тел Солнечной системы и искусственных спутников. Глобальные навигационные спутниковые системы (ГНСС). Архитектура и сегменты ГНСС. Структура эксплуатируемых и проектируемых ГНСС. Геодезические и астрометрические задачи, решаемые с помощью ГНСС.

## **СОЛНЕЧНАЯ СИСТЕМА**

Строение Солнечной системы. Планеты земной группы и планеты типа Юпитера. Малые (карликовые) планеты и астероиды. Пояс Койпера и облако Оорта. Современные представления о

происхождении Солнечной системы. Общие сведения о Солнце. Химический состав наружных слоёв. Внутреннее строение Солнца и конвективная зона. Строение солнечной атмосферы. Фотосфера. Хромосфера. Корона. Солнечный ветер. Активные образования в солнечной атмосфере. Солнечные вспышки. Цикл солнечной активности. Влияние Солнца на земные явления. Магнитные бури. Полярные сияния. Система Земля-Луна. Общие сведения о Земле и Луне. Строение Земли и её атмосферы. Свойства атмосферы на различных высотах. Магнитное поле Земли. Радиационные пояса. Магнитосфера Земли и её взаимодействие с солнечным ветром. Строение Луны. Типы деталей лунной поверхности. Яркость, спектр и поляризация света Луны. Температура и тепловое излучение Луны. Структура лунной поверхности. Происхождение деталей лунной поверхности. Гипотезы происхождения Луны.

## **ОСНОВЫ ГРАВИМЕТРИИ**

Закон всемирного тяготения Ньютона. Законы движения небесных тел. Законы Кеплера. Зависимость силы тяготения от массы и формы притягивающих тел. Эксперименты по определению значения постоянной тяготения. Сила притяжения, центробежная сила и сила тяжести, их потенциалы. Основы теории гравитационного потенциала. Представление гравитационного потенциала в виде разложения по сферическим функциям. Гармонические коэффициенты разложения и их физическая интерпретация. Задача определения значений гармонических коэффициентов и пути ее решения. Модели гравитационного потенциала Земли, Луны, Марса. Гравиметрические измерения. Абсолютные и относительные измерения силы тяжести. Инструменты и методы гравиметрических измерений. Измерения на движущемся основании. Основы теории фигуры Земли. Приближения к фигуре Земли: нормальный эллипсоид, планетарный геоид, физическая поверхность. Методы определения фигуры геоида. Уклонения отвесной линии и методы их определения. Современные представления о фигуре Земли.

## **ДВИЖЕНИЕ НЕБЕСНЫХ ТЕЛ**

Теория вращения Земли. Уравнения Эйлера, Пуассона, Лиувилля. Движение полюсов. Неравномерность вращения Земли. Методы определения параметров ориентации Земли (ПОЗ). Международная служба вращения Земли (IERS). Движение Луны. Орбита Луны. Вращение Луны. Синодический и сидерический месяцы. Движение лунных узлов и его следствия. Фазы Луны. Покрытие светил Луной. Солнечные и лунные затмения. Условия наступления затмений. Цикл затмений (Сарос). Принципы астрономического измерения времени. Календарь. Невозмущенное и возмущенное движение небесных тел. Принцип Лагранжа описания возмущенного движения. Оскулирующая орбита. Уравнения возмущенного движения в форме

Ньютона и Лагранжа. Пертурбационная (возмущающая) функция уравнений Лагранжа. Структура пертурбационной функции. Разложение возмущающей функции, обусловленной нецентральной гравитационного поля планеты. Возмущения от зональных, секториальных и тессеральных гармоник разложения потенциала. Влияние гравитационных и негравитационных возмущающих факторов на движение ИСЗ. Определение орбит по результатам измерений. Постановка задачи определения орбит. Определение орбиты по двум положениям. Методы Лапласа и Гаусса определения орбит по трем направлениям (угловым наблюдениям). Метод дифференциального уточнения параметров движения небесных тел по результатам наблюдений. Основы звездной динамики. Структура Галактики. Методы изучения распределения звёзд в Галактике. Форма, размеры и спиральная структура Галактики. Подсистемы Галактики. Звёздные скопления: рассеянные и шаровые. Звёздные ассоциации. Кинематика Галактики. Собственные движения звёзд и вращение Галактики. Характеристики вращения и распределений остаточных скоростей звезд.

**Учебно-методическое обеспечение и информационное обеспечение программы вступительного испытания в аспирантуру по научной специальности 1.3.1 Физика космоса, астрономия**

1. Куимов К.В., Курт В.Г., Рудницкий Г.М., Сурдин В.Г., Тербиж В.Ю. «Небо и телескоп», М. Физ- матлит, 2009.
2. Миронов А.В. Основы астрофотометрии. Практические основы фотометрии и спектрофото-метрии звезд. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008.
3. Засов А.М., Постнов К.А., Общая астрофизика, М. изд. Век2, 2006.
4. Бочкарев Н.Г. Основы физики межзвездной среды, М. Изд Век2, 2010.
5. Засов А.В., Кононович Э.В. Астрономия, М., Физматлит, 2011, ISBN: 978-5-9221-0952-9, 256с. [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_cid=25&pl1\\_id=2370](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=2370)
6. Язев С.А. Лекции о Солнечной системе, М., Лань, 2011, ISBN: 978-5-8114-1253-2, 384 с. [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_cid=25&pl1\\_id=1557](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=1557)
7. Гофман-Велленгоф Б., Мориц Г. Физическая геодезия. М., МИИГАиК, 2007, 426 с. Брауде С.Я., Конторович В.М. Радиоволны рассказывают о Вселенной, М., Физматлит, 2010, ISBN: 978-5-9221-1262-8, 237 с. [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=48256](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=48256)