

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

_____ Д. А. Тагорский

« 26 » _____ 2025 г.



Программа кандидатского экзамена по научной специальности

1.3.1 Физика космоса, астрономия

Цель и задачи кандидатского экзамена по специальности 1.3.1 Физика космоса, астрономия.

Цель.

Кандидатские экзамены являются составной частью аттестации научных и научно-педагогических кадров. Цель экзамена - установить глубину профессиональных знаний соискателей ученой степени, уровень подготовленности к самостоятельной научно-исследовательской работе. Сдача кандидатских экзаменов обязательна для присуждения ученой степени.

Экзамен по специальной дисциплине должен выявить уровень теоретической и профессиональной подготовки соискателя, знание общих концепций и методологических вопросов соответствующей науки, истории её формирования и развития, фактического материала, основных теоретических и практических проблем данной отрасли знаний.

Задачи.

Знаний о строении и физической природе основных объектов во Вселенной, включая Солнце, солнечную систему и законы движения тел в солнечной системе, звезды, двойные и кратные звездные системы, структуру нашей Галактики, классификацию галактик, крупномасштабную структуру Вселенной, методы астрометрических и астрофизических наблюдений с использованием наземных и космических телескопов.

Основные требования.

Основным требованием допуска к сдаче кандидатского экзамена является наличие подписанного заявления и утвержденной дополнительной программы кандидатского экзамена.

Сдача кандидатского экзамена осуществляется в соответствии с календарным учебным графиком и индивидуальным учебным планом аспиранта. Кандидатские экзамены у прикрепленных лиц принимаются в период, установленный приказом ректора КФУ. В случае представления диссертации в совет по защите на соискание ученой степени кандидата наук, возможен прием кандидатских экзаменов вне сроков сессии.

Порядок проведения кандидатского экзамена.

Кандидатский экзамен по специальности проводится в форме экзамена на основе билетов. В каждом экзаменационном билете 2 вопроса по основной программе и 1 вопрос по дополнительной программе. Дополнительная программа утверждается на Ученом совете Института физики для каждого аспиранта персонально со списком вопросов по теме диссертационного исследования аспиранта. Подготовка к ответу составляет 1 академический час (60 минут) без перерыва с момента раздачи билетов. Задания оцениваются от 0 до 5 баллов в зависимости от полноты и правильности ответов.

Критерии оценивания.

Оценка соискателю за письменную работу выставляется в соответствии со следующими критериями:

Отлично (5 баллов)

Соискатель 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 (4 балла)

Соискатель 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 (3 балла)

Соискатель 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 (2 и менее баллов)

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

Вопросы программы кандидатского экзамена по научной специальности 1.3.1 Физика космоса, астрономия.

I. Приборы и методы астрофизики

1. Оптические телескопы. Эффективность телескопов, связь с качеством изображения. Методы достижения высокого углового разрешения. Активная и адаптивная оптика.
2. Оптические телескопы. Оптические схемы рефлекторов и зеркально-линзовых телескопов. Механические конструкции телескопов. Экваториальные и азимутальные установки.
3. Аберрации оптических систем, способы их уменьшения. Влияние атмосферы на изображение точечного объекта. Методы повышения качества изображения. Активная и адаптивная оптика.
4. Принципы спектрального анализа. Спектральное разрешение и его зависимость от параметров спектрографа и диспергирующего элемента.
5. Классический дифракционный спектрограф. Эшелле-спектрограф. Получение спектра с использованием интерферометра Фабри-Перо.
6. Приемники оптического излучения. Фотоэлектрический умножитель. Приборы с зарядовой связью. Линейность, спектральная чувствительность.
7. Отношение сигнал/шум, понятие квантового выхода. Основные источники шумов приемника и методы их уменьшения.
8. Шкала звездных величин и показателей цвета. Фотометрические системы. Современные методы фотоэлектрической фотометрии. Фотоэлектрический фотометр.
9. Антенны радиотелескопов. Облучатели. Требования, предъявляемые к механическим конструкциям антенн. Ближняя и дальняя зоны антенн. Шумовая температура и эффективная площадь антенны. Размер и форма диаграммы направленности.
10. Радиометры. Антенная температура, шумовая температура, полоса пропускания, чувствительность.
11. Внеатмосферные наблюдения, решаемые задачи. Инфракрасные, ультрафиолетовые, рентгеновские и гамма-обсерватории.

II. Солнце и Звезды

1. Основные характеристики Солнца как звезды. Внутреннее строение. Фотосфера. Хромосфера. Корона. Солнечный ветер.
2. Активные образования на Солнце, связь с магнитными полями. Солнечные вспышки и сопровождающие их явления. Рентгеновское излучение Солнца. Спокойное и

- спорадическое радиоизлучение. Представление о гелиосейсмологии.
3. Спектральная классификация звезд, ее физическая интерпретация.
 4. Светимости, эффективные температуры и показатели цвета звезд. Прямые и косвенные методы определения из наблюдений размеров и масс звезд.
 5. Источники энергии на различных стадиях эволюции звезд. Эволюционные треки звезд различной массы на диаграмме Герцшпрунга-Рессела (диаграмме цвет-светимость). Конечные стадии звездной эволюции.
 6. Вырожденные звезды (белые карлики), нейтронные звезды, черные дыры, их физические свойства и наблюдаемые проявления. Радиопульсары.
 7. Двойные и кратные звезды. Затменно-переменные. Функция масс и оценка масс компонент в двойных системах.
 8. Тесные двойные системы и особенности их эволюции. Катаклизмические переменные. Аккреция на компактные звезды. Рентгеновские источники в двойных системах. Новые звезды. Барстеры.
 9. Переменные и нестационарные звезды. Пульсирующие переменные (цефеиды, долгопериодические переменные, переменные типа КК Лиры). Звезды с оболочками (Ве, МК). Звезды типа Т Тельца. Объекты Ae/Be Хербига.
 11. Сверхновые звезды, типы сверхновых, наблюдаемые особенности. Процессы, приводящие к взрыву. Роль сверхновых в обогащении межзвездной среды тяжелыми элементами.

III. Основы теоретической астрофизики

1. Элементарные процессы излучения и поглощения электромагнитных квантов. Излучение и распространение радиоволн в тепловой плазме. Космические источники теплового и нетеплового 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. Уравнения, описывающие внутреннее строение звезд. Строение звезд различных спектральных классов. Уравнение состояния вырожденного газа. Предельная масса белых карликов и нейтронных звезд.

IV. 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.
4. Гравитационная устойчивость тонкого вращающегося диска. Дисперсионное уравнение. Спиральные ветви, представление о волнах плотности.
5. Физическое состояние межзвездного газа. Молекулярные облака, области H I и H II, 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. Межзвездная пыль, наблюдаемые проявления. Собственное излучение пыли. Межзвездное поглощение и его учет.

V. 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.

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

VI. Системы координат

1. Явления прецессии, нутации, абберрации и рефракции. Приведение на видимое место.

2. Методы определения основных астрометрических постоянных. Теоретические связи между постоянными.

3. Геометрический, кинематический и динамический методы построения системы отсчета.

4. Измерение времени: шкала атомного времени IAT. Классические шкалы времени UTO, UT1, UT2, ET. Релятивистские шкалы времени TDT и TDB, TT, TCG, TCB.

VII. Наземная оптическая астрометрия

1. Меридианная астрометрия. Теория и устройство основных меридианных инструментов. Методы абсолютных и относительных определений координат.

2. Звездные каталоги и их систематические ошибки. Вывод фундаментальной системы звездных положений и собственных движений. Ориентировка системы координат. Относительные и сводные каталоги. Важнейшие фундаментальные каталоги.

3. Фотографическая астрометрия. Астрографы и приборы для измерения астронегативов. Измеренные и стандартные координаты. Методы Тернера и Шлезингера. Фотографические определения координат Луны, планет и ИСЗ.

4. Определение собственных движений и параллакс звезд. Использование галактик для вывода ошибок системы собственных движений звезд.

5. Фотографические каталоги. Карта Неба, каталоги Астрономического общества (AGK), каталог PPM.

6. Использование ПЗС в астрометрии.

VIII. Радиоастрометрия

1. Радиointерферометры со сверхдлинной базой (РСДБ), устройство, принцип измерений. Корреляционная обработка сигналов в РСДБ.

2. Радиоастрономические методы определения координат объектов, неравномерности вращения Земли, движения полюсов и расстояний на поверхности Земли.

3. Небесная опорная система координат (ICRS) и земная опорная система координат (ITRF).

4. Радиолокационные и радиointерферометрические методы наблюдений тел солнечной системы.

5. Методы согласования оптических и радио-систем координат.

IX. Вращение Земли и ее ориентация в пространстве

1. Уравнения Эйлера, Пуассона, Лиувилля.

2. Неравномерность вращения Земли вокруг оси. Движение полюсов.

3. Инструменты для изучения вращения Земли: пассажный инструмент, зенит-телескоп, призмная астролыбия, фотографическая зенитная труба, РСДБ, лазерный дальномер,

системы GPS и Глонасс.

4. Интерпретация движения полюсов и неравномерности вращения Земли. Короткопериодические, сезонные, вековые вариации вращения Земли. Чандлеровское движение полюса.
5. Международная Служба Вращения Земли (IERS), ее организации и задачи. Стандарты MCB3 (IERS).

X. Аналитические методы небесной механики

1. Невозмущенное движение. Уравнения движения в задаче двух тел и их решение. Методы определения орбит из наблюдений небесных тел и способы их улучшения
2. Возмущенное движение. Уравнения движения n тел и их первые интегралы. Уравнения движения в координатах Якоби.
3. Уравнения движения Эйлера и Лагранжа в оскулирующих элементах. Теория возмущенного движения. Малые параметры в теории движения планет и спутников. Промежуточные орбиты. Разложение пертурбационной функции.
 4. Формальное интегрирование уравнений движения в элементах промежуточной орбиты методом малого параметра Ляпунова—Пуанкаре. Малые знаменатели. Резонанс.
5. Теоремы Пуанкаре о ранге и классе возмущений. Сходимость в методе малого параметра.
6. Канонические преобразования. Метод Гамильтона-Якоби.
7. Метод преобразований Ли в теории возмущений. Теория вековых возмущений.

XI. Качественные методы небесной механики

1. Переменные действие—угол. Интегрируемые системы. Теорема Лиувилля Теоремы Брунса и Пуанкаре об интегрируемости задачи нескольких тел.
2. Сохранение фазового объема. Периодические орбиты. Методы Ляпунова и Пуанкаре. Функция последования.
3. Условно-периодические функции. Среднее значение. Инвариантные торы. Основные идеи метода Колмогорова—Арнольда—Мозера.
4. Основы первого и второго методов Ляпунова определения устойчивости движения. Орбитальная устойчивость. Устойчивость по Лагранжу. Устойчивость по Пуассону.
5. Ограниченная задача трех тел. Интеграл Якоби. Топология поверхностей Хилла. Устойчивость точек либрации. Семейства периодических решений вблизи точек либрации.

XII. Космическая геодезия

1. Возмущенное движение спутников. Возмущающие факторы в движении искусственных спутников Земли.
2. Представление гравитационного потенциала в виде разложения по сферическим функциям. Сходимость разложения. Разложение возмущающей функции, обусловленной не центральностью гравитационного поля планеты.
3. Гравитационный потенциал Земли, Луны, планет. Модели гравитационных полей по результатам космических миссий
4. Возмущения движения ИСЗ от зональных гармоник. Возмущения от тессеральных и секториальных гармоник. Возмущающая функция от притяжения внешнего тела. Лунно-солнечные возмущения ИСЗ.
5. Геометрические задачи и методы их решения космической геодезии
6. Динамические задачи и методы их решения космической геодезии
7. Методы позиционных измерений небесных объектов с помощью космических аппаратов. Проект Hipparcos. Наземные и космические интерферометры.

Учебно-методическое обеспечение и информационное обеспечение программы кандидатского экзамена в аспирантуру по научной специальности 1.3.1 Физика

космоса, астрономия.

Основная литература.

1. Засов, А. В. Астрономия: учебное пособие / А. В. Засов, Э. В. Кононович. — Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2011. — 256 с. — ISBN 978-5-9221-0952-9. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/2370> (дата обращения: 08.02.2023). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
2. Черепашук, А. М. Тесные двойные звезды: монография: в 2 частях / А. М. Черепашук. — Москва: ФИЗМАТЛИТ, [б. г.]. — Часть I — 2013. — 560 с. — ISBN 978-5-9221-1416-5. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/59647> (дата обращения: 08.02.2023). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
3. Черепашук, А. М. Тесные двойные звезды: монография / А. М. Черепашук. — Москва: ФИЗМАТЛИТ, [б. г.]. — Часть II — 2013. — 572 с. — ISBN 978-5-9221-1467-7. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/59685> (дата обращения: 08.02.2023). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
4. Фридман, А. М. Физика галактических дисков: учебное пособие / А. М. Фридман, А. В. Хоперсков. — Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2011. — 640 с. — ISBN 978-5-9221-1291-8. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/2679> (дата обращения: 08.02.2023). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
5. Фундаментальные космические исследования: монография: в 2 книгах. — Москва: ФИЗМАТЛИТ, [б. г.]. — Книга 1: Астрофизика — 2014. — 452 с. — ISBN 978-5-9221-1549-0. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/59705> (дата обращения: 08.02.2023). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
6. Тяпкин, В. Н. Методы определения навигационных параметров подвижных средств с использованием спутниковой радионавигационной системы ГЛОНАСС: монография / В. Н. Тяпкин, Е. Н. Гарин. - Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2012. - 260 с. - ISBN 978-5-7638-2639-5. - Текст: электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/442662> (дата обращения: 08.02.2023). — Режим доступа: по подписке.
7. Шовенгердт, Роберт А. Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений: [учебное пособие] / Р. А. Шовенгердт; пер. с англ. А. В. Кирюшина, А. И. Демьяникова. - Москва: Техносфера, 2010.— 556 с., [16] л. цв. ил.: ил., цв. ил., карт. (45 экз.).

Дополнительная литература.

1. Сурдин, В. Г. Звезды: учебное пособие / В. Г. Сурдин. — 2-е изд., испр.и доп. — Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2009. — 428 с. — ISBN 978-5-9221-1116-4. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/2332> (дата обращения: 08.02.2023). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
2. Парийский, Ю. Н. Радиогалактики и космология: учебное пособие / Ю. Н. Парийский, Ю. Н. Парийский. — Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2009. — 300 с. — ISBN 978-5-9221-1135-5. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/48262> (дата обращения: 08.02.2023). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
3. Гофман-Велленгоф, Бернхард. Физическая геодезия : учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки 120100 "Геодезия" специальностей 120102 "Астрономогеодезия", 120103 "Космическая геодезия" / Бернхард Гофман-Велленгоф, Гельмут Мориц ; пер. с англ. Ю. М. Неймана,

- Л. С. Сугайповой ; под ред. д.т.н. Ю. М. Неймана ; Федер. агентство по образованию, Моск. гос. ун-т геодезии и картографии .— Москва : МИИГАиК, 2007 .— 410 с. : ил.(15 экз.).
4. Космический мусор: учебно-методическое пособие: в 2 книгах. — Москва: ФИЗМАТЛИТ, [б. г.]. — Книга 1: Методы наблюдения и модели космического мусора — 2014. — 248 с. — ISBN 978-5-9221-1503-2. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/59698> (дата обращения: 08.02.2023). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
 5. Космический мусор: в 2 книгах. — Москва: ФИЗМАТЛИТ, [б. г.]. — Книга 2: Предупреждение образования космического мусора — 2014. — 188 с. — ISBN 978-5-9221-1504-9. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/59699> дата обращения: 08.02.2023). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

Информационное обеспечение.

adsabs.harvard.edu - всемирная поисковая и информационная база астрофизической и спектроскопической литературы

cdsweb.u-strasbg.fr - европейская поисковая и информационная база астрофизических и астрономических данных

eLIBRARY.RU - Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU Подробности: http://kpfu.ru/main_page?p_sub=8226 Любое использование материалов допускается только при наличии гиперссылки на портал КФУ (kpfu.ru)

Российская РСДБ-сеть http://www.agora.guru.ru?VAK-2010/files/565_New_VLBI.doc

IAU <http://www.iau.org/>

РСДБ-сети <http://www.quickwiki.com/ru>

Сайт Международного астрономического союза (МАС) http://www.galactic.name/articles/international_astronomical_union.php

Фонд знаний Ломоносов <http://www.lomonosov-fund.ru>