

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук
(ФТИ им. А.Ф. Иоффе)



УТВЕРЖДАЮ

Директор

С.В. Иванов

«14» января 2025 г.

**ПРОГРАММА
КАНДИДАТСКОГО ЭКЗАМЕНА ПО ДИСЦИПЛИНЕ
ФИЗИКА КОСМОСА, АСТРОНОМИЯ
по научной специальности
1.3.1 Физика космоса, астрономия**

Санкт-Петербург

2025 г.

1. Общие сведения

В основу данной программы положены следующие дисциплины: общий курс астрофизики, курс практической астрофизики, теоретическая астрофизика и радиоастрономия.

Кандидатский экзамен проводится в устной форме и состоит из 2-х вопросов по билету и презентации по теме диссертационного исследования о выполненной работе за период обучения в аспирантуре, в соответствии с индивидуальным планом работы.

2. Приборы и методы астрофизики

2.1. Оптические телескопы. Эффективность телескопов, связь с качеством изображения. Методы достижения высокого углового разрешения. Активная и адаптивная оптика.

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

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

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

2.5. Шкала звездных величин и показателей цвета. Фотометрические системы. Современные методы фотоэлектрической фотометрии. Поляризационные наблюдения.

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

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

2.8. Принципы интерферометрии. Радиоинтерферометры. Метод апертурного синтеза. Радиотелескопы с незаполненной апертурой.

Интерферометрия со сверхдлинными базами. Угловое разрешение интерферометров.

2.9. Внеатмосферные наблюдения, решаемые задачи. Инфракрасные, ультрафиолетовые, рентгеновские и гамма-обсерватории.

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

2.11. Аберрации оптических систем, способы их уменьшения. Влияние атмосферы на изображение точечного объекта. Методы повышения качества изображения. Активная и адаптивная оптика.

2.12. Принципы спектрального анализа. Спектральное разрешение и его зависимость от параметров спектрографа и диспергирующего элемента.

2.13. Классический дифракционный спектрограф. Эшелле-спектрограф. Получение спектра с использованием интерферометра Фабри-Перо.

2.14. Приемники оптического излучения. Фотоэлектрический умножитель. Приборы с зарядовой связью. Линейность, спектральная чувствительность.

2.15. Отношение сигнал/шум, понятие квантового выхода. Основные источники шумов приемника и методы их уменьшения.

2.16. Шкала звездных величин и показателей цвета. Фотометрические системы. Современные методы фотоэлектрической фотометрии. Фотоэлектрический фотометр.

2.17. 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.

2.18. Радиометры. Антенная температура, шумовая температура, полоса пропускания, чувствительность. Акусто-оптические спектрометры.

2.19. Принципы интерферометрии. Радиоинтерферометры. Метод апертурного синтеза. Радиотелескопы с незаполненной апертурой. Интерферометрия со сверхдлинными базами. Угловое разрешение интерферометров.

2.20. Абсолютное и относительное измерение потоков радиоизлучения, точность измерений. Оценка линейной и круговой поляризации радиоизлучения.

2.21. Внеатмосферные наблюдения, решаемые задачи. Приемники излучения, используемые для далекой инфракрасной и ультрафиолетовой области, рентгеновской и гамма-областях. Инфракрасные, ультрафиолетовые, рентгеновские и гамма-обсерватории.

3. Солнце и солнечная система

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

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

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

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

3.5. Физическое состояние межпланетной среды. Метеорное вещество.

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

4. Звезды

4.1. Спектральная классификация звезд, ее физическая интерпретация.

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

4.3. размеров и масс звезд.

4.4. 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.

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

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

4.7. 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. Катаклизмические переменные.

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

5. Основы теоретической астрофизики

5.1. 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.

5.2. Механизмы переноса энергии. Уравнение переноса. Локальное термодинамическое равновесие. Эддингтоновский предел светимости.

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

5.4. Модели звездных атмосфер. Механизмы образования линий поглощения. Понятие

эквивалентной ширины линий. Профили линий, механизмы уширения линий. Кривая роста. Химический состав звездных атмосфер.

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

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

6. Галактика

6.1. Строение Галактики. Звездные населения и подсистемы. Спиральная структура Галактики, наблюдаемые проявления. Ядро Галактики.

6.2. Звездные скопления и ассоциации. Интерпретация диаграмм «цвет-звездная величина».

6.3. Звездная кинематика. Движение Солнца относительно звезд. Вращение Галактики. Связь кинематических свойств с пространственным распределением объектов. 4.3 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.

6.4. Гравитационная устойчивость тонкого вращающегося диска. Дисперсионное уравнение. Спиральные ветви, представление о волнах плотности.

6.5. Физическое состояние межзвездного газа. Молекулярные облака, области H I и H II, корональный газ, мазерные конденсации. Механизмы излучения газа в различных состояниях.

6.6. Оптическое излучение межзвездного газа. Запрещенные линии. Газовые туманности различных типов. Радиолинии. Мазерные источники.

6.7. Ударные волны в межзвездной среде. Остатки Сверхновых и их эволюция.

6.8. Гравитационная неустойчивость газовой среды и конденсация газа. Протозвезды и молодые звезды. Околосветовые диски. Области звездообразования.

6.9. Межзвездная пыль, наблюдаемые проявления. Собственное излучение пыли. Межзвездное поглощение и его учет.

6.10. Межзвездные магнитные поля, наблюдаемые проявления. Понятие вмороженности поля. Космические лучи, их проявления, основные источники. Распространение космических лучей в магнитном поле Галактики.

7. Внегалактическая астрономия и элементы космологии

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

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

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

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

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

7.6. Шкала расстояний, закон Хаббла. Крупномасштабное распределение галактик.

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

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

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

Вопросы для подготовки к кандидатскому экзамену:

1. Оптические телескопы. Эффективность телескопов, связь с качеством изображения. Методы достижения высокого углового разрешения. Активная и адаптивная оптика.
2. Реликтовое излучение, его происхождение. Флуктуации яркости. Ранние стадии расширения Вселенной. Первичный нуклеосинтез.
3. Основные характеристики Солнца как звезды. Внутреннее строение. Фотосфера. Хромосфера. Корона. Солнечный ветер.
4. Гравитационная устойчивость тонкого вращающегося диска. Дисперсионное уравнение. Спиральные ветви, представление о волнах плотности.
5. Радиометры. Антенная температура, шумовая температура, полоса пропускания, чувствительность.
6. Двойные и кратные звезды. Затменно-переменные. Функция масс и оценка масс компонент в двойных системах.
7. Элементарные процессы излучения и поглощения электромагнитных квантов. Излучение и распространение радиоволн в тепловой плазме. Космические источники теплового и нетеплового излучения в различных областях спектра.
8. Звездные скопления и ассоциации. Интерпретация диаграмм цвет–звездная величина.
9. Принципы спектрального анализа. Спектрографы. Спектральное разрешение и факторы, его определяющие.
10. Классификация галактик. Особенности структуры галактик разных морфологических типов. Содержание газа и звездообразование в галактиках.
11. Шкала звездных величин и показателей цвета. Фотометрические системы. Современные методы фотоэлектрической фотометрии. Поляризационные наблюдения.
12. Физическое состояние межпланетной среды. Метеорное вещество.
13. Солнечные телескопы: целостат, коронограф. Принципы измерения магнитных полей на Солнце.
14. Строение Галактики. Звездные населения и подсистемы. Спиральная структура Галактики, наблюдаемые проявления. Ядро Галактики.
15. Спектральная классификация звезд, ее физическая интерпретация.
16. Теория космического радиоизлучения. Тормозное излучение плазмы. Магнитотормозное излучение. Синхротронное излучение релятивистских электронов. Время высвечивания. Обратный Комптон–эффект.
17. Внеатмосферные наблюдения, решаемые задачи. Инфракрасные, ультрафиолетовые, рентгеновские и гамма-обсерватории
18. Источники поглощения в континууме в атмосферах звезд и форма непрерывных спектров для звезд различных классов.
19. Активные образования на Солнце, связь с магнитными полями. Солнечные вспышки и сопровождающие их явления. Рентгеновское излучение Солнца. Спокойное и спорадическое радиоизлучение. Представление о гелиосейсмологии.
20. Ударные волны в межзвездной среде. Остатки сверхновых и их эволюция.
21. Приемники оптического излучения. Фотоэлектрический умножитель. Приборы с зарядовой связью. Понятие квантового выхода. Особенности регистрации инфракрасного излучения.
22. Галактики с активными ядрами. Квазары. Представление о механизмах активности.
23. Межзвездные магнитные поля, наблюдаемые проявления. Понятие вмороженности поля. Космические лучи, их проявления, основные источники. Распространение космических лучей в магнитном поле Галактики.
24. Светимости, эффективные температуры и показатели цвета звезд. Прямые и косвенные методы определения из наблюдений размеров и масс звезд.
25. Радиотелескопы, принцип работы. Различные типы антенн (параболические, дипольные, антенные решетки). Эффективная площадь антенны. Размер и форма диаграммы направленности.

26. Малые тела Солнечной системы. Спутники и кольца планет. Астероиды и пояса астероидов. Кометы.
27. Проблема образования галактик. Ожидаемые свойства молодых галактик. Галактики на больших красных смещениях.
28. Механизмы переноса энергии. Уравнение переноса. Локальное термодинамическое равновесие. Эддингтоновский предел светимости.
29. Межзвездная пыль, наблюдаемые проявления. Собственное излучение пыли. Межзвездное поглощение и его учет.
30. Тесные двойные системы и особенности их эволюции. Аккреция на компактные звезды. Рентгеновские источники в двойных системах. Новые звезды. Барстеры.
31. Гравитационная неустойчивость газовой среды и конденсация газа. Протозвезды и молодые звезды. Околосветовые диски. Области звездообразования.
32. Шкала расстояний, закон Хаббла. Крупномасштабное распределение галактик.
33. Радиоизлучение планет. Радиолокационные методы исследования планет и малых тел солнечной системы.
34. Размеры, светимость, скорость вращения и масса галактик, принципы их оценок. Проблема существования темного гало. Карликовые галактики, наблюдаемые особенности.
35. Сверхновые звезды, типы сверхновых, наблюдаемые особенности. Процессы, приводящие к взрыву. Роль сверхновых в обогащении межзвездной среды тяжелыми элементами.
36. Звездная кинематика. Движение Солнца относительно звезд. Вращение Галактики. Связь кинематических свойств с пространственным распределением объектов.
37. Принципы интерферометрии. Радиointерферометры. Метод апертурного синтеза. Радиотелескопы с незаполненной апертурой. Интерферометрия со сверхдлинными базами. Угловое разрешение интерферометров.
38. Фридмановские модели расширяющейся Вселенной, понятие критической плотности и космологической постоянной. Постоянная Хаббла и «возраст» Вселенной.
39. Модели звездных атмосфер. Механизмы образования линий поглощения. Понятие эквивалентной ширины линий. Профили линий, механизмы уширения линий. Кривая роста. Химический состав звездных атмосфер.
40. Радиоизлучение галактик и их ядер. Радиогалактики: мощность радиоизлучения, радиоструктура. Радиоджеты.
41. 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.
42. Оптические телескопы. Оптические схемы рефлекторов и зеркально-линзовых телескопов. Механические конструкции телескопов. Экваториальные и азимутальные установки.
43. Основные характеристики планет (масса, плотность, характер вращения, свойства атмосферы, магнитные поля, условия на поверхности). Наземные и космические методы исследования тел солнечной системы.
44. Физическое состояние межзвездного газа. Молекулярные облака, области H I и H II, корональный газ, мазерные конденсации. Механизмы излучения газа в различных состояниях.
45. 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.
46. Оптическое излучение межзвездного газа. Запрещенные линии. Газовые туманности различных типов. Радиопульсары. Мазерные источники.

47. 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. Катаклизмические переменные.

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

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

50. Внеатмосферные наблюдения, решаемые задачи. Инфракрасные, ультрафиолетовые, рентгеновские и гамма-обсерватории.

Рекомендуемая основная литература

1. Д.Я.Мартынов, "Курс практической астрофизики", М., Наука, 1977.
2. Д.Я.Мартынов, "Курс общей астрофизики", М., Наука, 1988.
3. "Физика космоса: маленькая энциклопедия", М., СЭ, 1986.
4. Д.Грей. Наблюдения и анализ звездных фотосфер. М., Мир, 1980.
4. П.Г.Куликовский, "Звездная астрономия", М., Наука, 1985.
5. Л.И.Марочник, А.А.Сучков, "Галактика", М., Наука, 1986.
6. Дж.Краус, "Радиоастрономия", М., Сов.Радио, 1972.
7. В.М.Липунов. Астрофизика нейтронных звезд. М., Наука, 1987.
8. В.В.Соболев, "Курс теоретической астрофизики", М., Наука, 1985.
9. П.В.Щеглов, "Проблемы оптической астрономии", М., Наука, 1986.
10. А.А.Рузмайкин, Д.Д.Соколов, А.М.Шукуров, "Магнитные поля галактик", М., Наука, 1988.
11. К.Гоффмейстер, Г.Рихтер, В.Венцель. Переменные звезды, М., Наука, 1990.

Дополнительная литература

1. Э.Сим, К.Триттон. Детекторы слабого излучения в астрономии. М., Мир, 1986.
2. Е.Присли, "Солнечная магнитодинамика", М., Наука, 1981.
3. Б.А. Воронцов-Вельяминов, "Внегалактическая астрономия", М., Наука, 1978.
4. С.А. Каплан, С.Б.Пикельнер, "Физика межзвездной среды", М., Наука, 1979.
5. Л. Спитцер. Физические процессы в межзвездной среде. М., Мир, 1981.
6. Р. Манчестер, Дж.Тейлор, "Пульсары", М., Мир, 1980.
7. У. Христиансен, И.Хегбом, "Радиотелескопы", М., Мир, 1988.
8. А. Пахольчик, "Радиогалактики", М., Мир, 1980.
9. Е.И. Москаленко, "Методы внеатмосферной астрономии", М., Наука, 1984.
10. Д. Михалас, "Звездные атмосферы", М., Мир, 1982.
11. Рольфе К., «Лекции по теории волн плотности» М., Мир, 1980.
12. Шапиро С.А., Тьюколски С.А. Черные дыры, белые карлики и нейтронные звезды. М., Мир, 1985.
13. Саслау Ч. Гравитационная физика звездных и галактических систем. М., 1989.
14. М. Лонгейр. Астрофизика высоких энергий. М., Мир, 1984
- 15 А.Д.. Долгов, Я.Б. Зельдович, М.В.Сажин. Космология ранней Вселенной. М., изд-во МГУ, 1988.