

**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт космических исследований Российской академии наук  
(ИКИ РАН)**

**ПРОГРАММА-МИНИМУМ**

кандидатского экзамена по специальности

**1.3.1 «Физика космоса, астрономия»**

по физико-математическим и техническим наукам

# ПРОГРАММА

кандидатского экзамена по специальности

## 1.3.1 Физика космоса, астрономия

по физико-математическим и техническим наукам

### I. Астрофизика, радиоастрономия

1. Оптические телескопы. Эффективность телескопов, связь с качеством изображения. Аберрации оптических систем, способы их уменьшения. Влияние атмосферы на изображение точечного объекта. Методы достижения высокого углового разрешения. Активная и адаптивная оптика.
2. Принципы спектрального анализа. Спектрографы. Спектральное разрешение и факторы, его определяющие.
3. Радиотелескопы, принцип работы. Различные типы антенн (параболические, дипольные, антенные решетки). Эффективная площадь антенны. Размер и форма диаграммы направленности.
4. Радиометры. Антенная температура, шумовая температура, полоса пропускания, чувствительность.
5. Принципы интерферометрии. Радиоинтерферометры. Метод апертурного синтеза. Радиотелескопы с незаполненной апертурой.
6. Интерферометрия со сверхдлинными базами. Угловое разрешение интерферометров.
7. Внеатмосферные наблюдения, решаемые задачи. Инфракрасные, ультрафиолетовые, рентгеновские и гамма- обсерватории.
8. Классический дифракционный спектрограф. Эшелле-спектрограф. Получение спектра с использованием интерферометра Фабри-Перо.
9. Шкала звездных величин и показателей цвета. Фотометрические системы. Современные методы фотоэлектрической фотометрии.

Поляризационные наблюдения.

10. Спектральная классификация звезд, ее физическая интерпретация. Светимости, эффективные температуры и показатели цвета звезд. Прямые и косвенные методы определения из наблюдений размеров и масс звезд.
11. Источники энергии на различных стадиях эволюции звезд. Эволюционные треки звезд различной массы на диаграмме Герцшпрунга-Рессела (диаграмме цвет-светимость). Конечные стадии звездной эволюции.
12. Вырожденные звезды (белые карлики), нейтронные звезды, черные дыры, их физические свойства и наблюдаемые проявления. Радиопульсары.
13. Двойные и кратные звезды. Затменно-переменные. Функция масс и оценка масс компонент в двойных системах.
14. Тесные двойные системы и особенности их эволюции. Аккреция на компактные звезды. Рентгеновские источники в двойных системах. Новые звезды. Барстеры.
15. Сверхновые звезды, типы сверхновых, наблюдаемые особенности. Процессы, приводящие к взрыву. Роль сверхновых в обогащении межзвездной среды тяжелыми элементами.
16. Механизмы переноса энергии. Уравнение переноса. Локальное термодинамическое равновесие. Эддингтоновский предел светимости.
17. Уравнения, описывающие внутреннее строение звезд. Строение звезд различных спектральных классов. Уравнение состояния вырожденного газа. Предельная масса белых карликов и нейтронных звезд.
18. Модели звездных атмосфер. Механизмы образования линий поглощения. Понятие эквивалентной ширины линий. Профили линий, механизмы уширения линий. Кривая роста. Химический состав звездных атмосфер.

19. Теория космического радиоизлучения. Тормозное излучение плазмы. Магнитотормозное излучение. Синхротронное излучение релятивистских электронов. Время высвечивания. Обратный комптон-эффект.
20. Строение Галактики. Звездные населения и подсистемы. Спиральная структура Галактики, наблюдаемые проявления. Ядро Галактики.
21. Звездные скопления и ассоциации. Интерпретация диаграмм «цвет-звездная величина».
22. Звездная кинематика. Движение Солнца относительно звезд. Вращение Галактики. Связь кинематических свойств с пространственным распределением объектов.
23. 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.
24. Гравитационная устойчивость тонкого вращающегося диска. Дисперсионное уравнение. Спиральные ветви, представление о волнах плотности.
25. Физическое состояние межзвездного газа. Молекулярные облака, области H I и H II, корональный газ, мазерные конденсации. Механизмы излучения газа в различных состояниях.
26. Оптическое излучение межзвездного газа. Запрещенные линии. Газовые туманности различных типов. Радиолинии. Мазерные источники.
27. Гравитационная неустойчивость газовой среды и конденсация газа. Протозвезды и молодые звезды. Околзвездные диски. Области звездообразования.
28. Межзвездная пыль, наблюдаемые проявления. Собственное излучение пыли. Межзвездное поглощение и его учет.

29. Межзвездные магнитные поля, наблюдаемые проявления. Понятие вмороженности поля. Космические лучи, их проявления, основные источники. Распространение космических лучей в магнитном поле Галактики.
30. Классификация галактик. Особенности структуры галактик разных морфологических типов. Содержание газа и звездообразование в галактиках.
31. Размеры, светимость, скорость вращения и масса галактик, принципы их оценок. Проблема существования темного гало. Карликовые галактики, наблюдаемые особенности.
32. Группы и скопления галактик. Взаимодействующие галактики. Межгалактический газ в системах галактик.
33. Галактики с активными ядрами. Квазары. Представление о механизмах активности.
34. Радиоизлучение галактик и их ядер. Радиогалактики: мощность радиоизлучения, радиоструктура. Радиоджеты.
35. Шкала расстояний, закон Хаббла. Крупномасштабное распределение галактик.
36. Фридмановские модели расширяющейся Вселенной, понятие критической плотности и космологической постоянной. Постоянная Хаббла и «возраст» Вселенной.
37. Реликтовое излучение, его происхождение. Флуктуации яркости. Ранние стадии расширения Вселенной. Первичный нуклеосинтез.

## **II. Физика Солнца и космической плазмы**

1. Основные характеристики Солнца как звезды. Внутреннее строение.
2. Внеатмосферные наблюдения Солнца, основные приборы и методы.

- Рентгеновские, ультрафиолетовые, инфракрасные телескопы: особенности схем и конструкций.
3. Солнечные телескопы: целостат, коронограф. Принципы измерения магнитных полей на Солнце.
  4. Химический состав Солнца. Методы определения.
  5. Гидростатическое равновесие солнечного вещества; баланс сил, лучистое трение
  6. Источник солнечной энергии. Ядерные циклы. Солнечные нейтрино. Радиативная зона Солнца.
  7. Конвективная зона Солнца. Условие возникновения конвекции. Конвективный перенос энергии.
  8. Грануляция. Наблюдения и теоретические результаты. Конвекция сверхсупергрануляционных масштабов (гигантские ячейки). Конвекция в присутствии вращения и магнитных полей.
  9. Гелиосейсмология. Спектр собственных колебаний.
  10. Основные параметры солнечной атмосферы. Кулоновское взаимодействие. Квазинейтральность. Проводимость. Теплопроводность.
  11. Магнитная гидродинамика. Основные уравнения. Понятие вмороженности. Силы, действующие на плазму в магнитном поле. Магнитостатика. Бессиловые и потенциальные поля.
  12. Дрейфы частиц.
  13. Колебания в плазме. Звуковые и МГД-волны. Бесстолкновительные ударные волны. Перенос и диссипация энергии в плазме. Проблема нагрева хромосферы и короны.
  14. Устойчивость. Методы исследования устойчивости. Энергетический принцип.
  15. Пересоединения магнитных силовых линий. Токовые слои.
  16. Понятия о теории динамо.

17. Хромосфера, ее структура, плотность, температура. Спикулы, Супергрануляция и хромосферная сетка. Протуберанцы, их типы, физические свойства, устойчивость.
18. Корона Солнца, строение, яркость и поляризация. Непрерывный и линейчатый спектр. Температура и плотность. Ионизационное равновесие.
19. Излучение Солнца в видимой, рентгеновской и далекой ультрафиолетовой областях спектра. Радиационное остывание. Механизмы «уширения» спектральных линий. Линии поглощения.
20. Баланс энергии в атмосфере Солнца. Источники нагрева и охлаждения. Переходная область между хромосферой и короной.
21. Магнитные поля на Солнце: крупномасштабное поле, локальные поля Солнечные пятна. Биполярные области. Тонкая структура полей.
22. Радиоизлучение спокойного Солнца и активных областей. Всплески радиоизлучения I-Y типов, причины, особенности всплесков в см и дм диапазонах. Низкочастотное радиоизлучение (гектометровый и километровый диапазоны). Исследование Солнца радиоастрономическими методами.
23. Солнечные циклы. Главные закономерности динамики распределения активных областей в 11-летнем солнечном цикле.
24. Солнечная вспышка. Механизмы накопления и быстрого выделения энергии над активной областью. Наблюдения вспышки в различных областях спектра. Вторичные процессы.
25. Корональные выбросы массы, их связь со вспышкой и воздействие на магнитосферы планет.
26. Петли и яркие рентгеновские точки. Удержание и нагревание плазмы в квазистационарных магнитных структурах.
27. Солнечные космические лучи в спокойные и активные периоды.

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

28. Расширяющаяся корона и солнечный ветер. Типы солнечного ветра  
Теория Паркера. Основные характеристики межпланетной среды.
29. Структура межпланетного магнитного поля. Взаимодействие межпланетной среды с магнитосферой Земли.
30. Магнитосфера Земли. Строение. Основные свойства. Токовые системы.
31. Авроральный овал. Полярные сияния. Плазменный слой.  
Радиационные пояса.
32. Ионосфера: строение, основные процессы.
33. Причины, вызывающие суббури и главную фазу бури. Связь суббурь с солнечными вспышками. Повторяемость магнитных бурь.
34. Магнитосферы планет и их сравнение с магнитосферой Земли.

### **III. Планетные исследования**

1. Основные характеристики планет (масса, плотность, характер вращения, свойства атмосферы, магнитные поля, условия на поверхности). Наземные и космические методы исследования тел солнечной системы.
2. Малые тела Солнечной системы. Спутники и кольца планет. Астероиды и пояса астероидов. Кометы.
3. Планеты земной группы. Меркурий (основные сведения, температура и структура поверхности, особенности движения).
4. Планеты земной группы. Венера (основные параметры, атмосфера, температура, парниковая модель, вращение).
5. Планеты земной группы. Земля (внутреннее строение, вращение, магнитное поле, состав и структура атмосферы, циркуляция

- атмосферы, радиационные пояса).
6. Солнечно-земные связи. Луна (основные параметры, температурный режим, морфология поверхности, особенности движения).
  7. Планеты земной группы. Марс и его спутники (основные параметры, атмосфера, температура, особенности поверхности, льды на Марсе).
  8. Внешние планеты. Юпитер (основные параметры, химический состав и свойства атмосферы, температура, вращение). Спутники Юпитера. Вулканизм на спутниках.
  9. Внешние планеты. Сатурн, его спутники и кольца (основные параметры, химический состав и физические свойства, особенности вращения спутников и колец). Происхождение спутников и колец Юпитера и Сатурна.
  10. Внешние планеты. Уран, Нептун и их спутники (основные параметры, химический состав атмосферы).
  11. Малые планеты. Статистика и распределение. Главный пояс. Орбиты, резонансы, семейства. Определение размеров и состава, классификация.
  12. Кометы (морфология, размеры, масса, орбиты). Образование кометных форм. Механическая теория кометных форм. Фотометрия комет. Спектральные и поляриметрические исследования комет. Химический состав и физические свойства атмосфер комет. Ядра комет. Основные результаты космических миссий к комете Галлея. Нестационарные процессы в кометах и солнечная активность. Семейства короткопериодических комет. Происхождение и генетическая связь комет с другими телами Солнечной системы.
  13. Метеорное вещество Солнечной системы и межпланетная пыль. Метеоры и методы их наблюдений. Метеорные потоки и спорадические метеоры. Методы определения орбит метеороидов. Происхождение и эволюция метеороидных роев. Движение

- метеороида в атмосфере Земли. Фотометрия и спектрофотометрия метеоров. Химический состав и физические характеристики метеоров.
14. Метеориты и их классификация. Возраст метеоритов. Метеоритные кратеры.
  15. Зодиакальный свет и противосияние. Пыль и газ межпланетного пространства.
  16. Облако Оорта. Пояс Койпера. Трансплутоновые объекты.
  17. Космогония Солнечной системы. Гипотезы Канта, Лапласа, Джинса. Современные представления о формировании и ранней эволюции Солнечной системы. Дискковая аккреция и столкновительная аккумуляция. Планетезимали.
  18. Пылевые диски и планеты около других звезд.
  19. Экспериментальные методы планетных исследований. Астрометрические измерения положений планет и спутников. Методика спектроскопических и спектрометрических наблюдений. Поляризационные наблюдения. Радионаблюдения. Астрофизические наблюдения из верхних слоев земной атмосферы и околоземного космического пространства.
  20. Исследования планет, их спутников, астероидов и комет с помощью космических аппаратов, в том числе аппаратов, спускаемых на твердую поверхность. Астрофизические методы исследования планетных атмосфер.
  21. Фотометрия планет и спутников. Задачи, решаемые фотометрией в различных интервалах электромагнитного спектра. Электрофотометрия и ПЗС-фотометрия. Учет влияния атмосферы. Отражение света от поверхности (фазовая функция, сферическое и геометрическое альbedo, коэффициент яркости).
  22. Распределение энергии в непрерывном спектре планет. Тепловое излучение. Яркостная температура. Инфракрасная радиометрия и

спектроскопия. Планетная радиоастрономия.

23. Тепловой баланс планет и спутников при наличии и отсутствии атмосферы. Эффективная температура. Процессы переноса тепла в планетных атмосферах. Тропосфера, стратосфера и термосфера. Парниковый эффект. Дистанционное термическое зондирование планетных атмосфер.
24. Поверхности планет и спутников, их эволюция. Формы рельефа. Эндогенные и экзогенные процессы. Реголит. Прямые методы исследования состава твердого вещества.

### **Рекомендуемая основная литература**

- Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Механика. М.: Физматлит, 2001.
- Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теория поля. М.: Наука, 1988.
- Давыдов А. С. Квантовая механика. М.: Наука, 1973.
- Шифф Л. Квантовая механика. М. Изд-во иностр. лит., 1957.
- Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Электродинамика сплошных сред. М.: Физматлит, 2001.
- Квасников И.А. Термодинамика и статистическая физика. Теория равновесных систем. М.: Изд-во МГУ, 1991.
- Лифшиц Е.М., Питаевский Л.П. Физическая кинетика. М.: Наука, 1979.
- Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Гидродинамика. М.: Физматлит, 2001.
- Д.Я.Мартынов, Курс практической астрофизики, М., Наука, 1977
- Д.Я.Мартынов, Курс общей астрофизики, М., Наука, 1988
- Физика космоса: маленькая энциклопедия, М., СЭ, 1986
- Курс общей астрономии. 5-е изд. / П. И. Бакулин и др. М.: Наука, 1983. (Гл. 7, 9).

- Брандт Дж., Ходж П. Астрофизика Солнечной системы. М.: Мир, 1967.
- Э.Р. Прист. Солнечная магнитогидродинамика. М., Мир, 1985
- В.В. Соболев. Курс теоретической астрофизики. М., Наука, Физматлит, 1967.
- С.А. Каплан, В.Н.Цытович, С.Б. Пикельнер. Физика плазмы солнечной атмосферы, М., Физматлит, 1977.
- Курс общей астрономии. 5-е изд. / П. И. Бакулин и др. М.: Наука, 1983. (Гл. 7, 9).
- Брандт Дж., Ходж П. Астрофизика Солнечной системы. М.: Мир, 1967.
- Бронштэн В.А. Физика метеорных явлений. М.: Наука, 1981.
- Витязев А.В., Печерникова Г.В., Сафронов В.С. Планеты земной группы. М.: Наука, 1990.
- Горькавый Н.Н., Фридман А.М. Физика планетных колец. М.: Наука, 1994.
- Добровольский О.В. Кометы. М.: Наука, 1966.
- Жарков В.Н. Внутреннее строение Земли и планет. М.: Мир, 1978.
- Ипатов С.И. Миграция небесных тел в Солнечной системе. М.: Эдиториал УРСС, 2000. (Гл.1).
- Краснопольский В.А. Фотохимия атмосфер Марса и Венеры. М.: Наука, 1982.
- Мартынов Д.Я. Курс общей астрофизики. М.: Наука, 1977.
- Мартынов Д.Я. Курс практической астрофизики. М.: Наука, 1977.
- Мороз В. И. Физика планет. М.: Наука, 1967. (Гл.1, раздел 4.3).
- Сафронов В.С. Эволюция допланетного облака и образование Земли и планет. М.: Наука, 1969.
- Соболев В.В. Рассеяние света в атмосферах планет. М.: Наука, 1972.
- Чемберлен Дж. Теория планетных атмосфер. М.: Мир, 1981.
- Шаронов В.В. Природа планет. М.: Физматгиз, 1958.
- Шульман Л.М. Ядра комет. М.: Наука, 1987.

### Дополнительная литература

- Зельдович Я.Б., Новиков И.Д. Структура и эволюция вселенной. М.: Наука, 1975.
- С.А.Каплан, С.Б.Пикельнер, «Физика межзвездной среды», М., Наука, 1979
- Жарков В.Н., Трубицын В.П. Физика планетных недр. М.: Наука, 1980.
- Лонгейр. Астрофизика высоких энергий. М., Мир, 1984.
- Б. Росси, С. Ольберт. Введение в физику космического пространства, М., Атомиздат, 392 с., 1974
- П.Г.Куликовский, Звездная астрономия, М., Наука, 1988
- Планета Венера / Под ред. В.Л. Барсукова М.: Наука, 1989.
- Угроза с неба: рок или случайность? / Под ред. А.А. Боярчука. М.: Космоинформ, 1999.
- Жарков В.Н., Трубицын В.П. Физика планетных недр. М.: Наука, 1980.
- Космохимия Луны и планет. М.: Наука, 1975.
- Краснопольский В.А. Физика свечения атмосфер планет и комет, М.: Наука, 1987.
- Ксанфомалити Л.В. Планета Венера. М.: Наука, 1985.
- Ксанфомалити Л. В. Парад планет. М.: Наука, 1997.
- Луна. Сб./Под ред. Г. Юри. М.: Наука, 1985.
- Марочник Л.С. Свидание с кометой. М.: Наука, 1985.
- Маров М.Я. Планеты Солнечной системы. М.: Наука, 1986.
- Мороз В. И. Физика планеты Марс. М.: Наука, 1978.
- Планеты и спутники. Сб./Под ред. Дж. Койпера и Б. Мидлхерет. М.: Мир, 1963.
- Протозвезды и планеты. Сб./Под ред. Т. Герелса. М.: Мир, 1982.
- Симоненко А.Н. Астероиды. М.: Наука, 1985.
- Солнечная система / Пер. с англ.; Под ред. В.И. Мороза. М.: Мир, 1978.

Сурков Ю.А. Космические исследования планет и спутников. М.: Наука, 1985.

Юпитер: Сб./ Под ред. Т. Герелса. М.: Мир, 1978.