УТВЕРЖДАЮ

Директор ИКИ РАН

академик РАН Л. М. Зеленый

*\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_*

*\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 2*013 г.

**П Р О Г Р А М М А**

**вступительного экзамена в аспирантуру ИКИ РАН**

**по специальности 01.03.02 Астрофизика и звёздная астрономия**

I.​ Общая часть: астрометрия, небесная механика.

1.​ Основы механики движения.

2.​ Закон всемирного тяготения, закон Кеплера. Задача двух тел, типы движений в задаче 2-х тел. Элементы орбит. Понятие о возмущающих силах в задаче двух тел.

3.​ Движение искусственных спутников Земли и характеристики их орбит.

II.​ Некоторые общие вопросы астрономии.

1.​ Определение основных плоскостей: горизонта, небесного экватора, эклиптики, галактического экватора. Системы небесных координат. Прецессия, нутация, аберрация (суточная и годичная). Принципы построения систем координат. Принципы гиростабилизации и астроориентации космических приборов (гироскопы, звездные и солнечные датчики).

2.​ Определение времени. Всемирное время, звездное время, солнечное время (истинное, среднее, поясное, декретное).

3.​ Основы математической статистики. Распределения Пуассона, Гаусса. Методы проверки гипотез и оценки параметров. Метод наименьших квадратов. Вычисление среднеквадратичных отклонений. Перенос ошибок.

III.​ Наблюдательные и экспериментальные методы астрофизики.

1.​ Астрономическая оптика. Аберрации оптических систем. Телескопы и их основные параметры (разрешающая способность, поле зрения, проницающая сила). Основные типы телескопов (рефракторы, рефлекторы, зеркально-линзовые системы, телескопы с адаптивной оптикой). Типы монтировок телескопов. Астроклимат.

2.​ Радиотелескопы. Основные типы антенн (диполь, рупор, зеркальные антенны, решетки, антенны апертурного синтеза). Основные параметры антенн (эффективная площадь, диаграмма направленности, шумовая температура). Радиоастрономические приемники. Радиометрический выигрыш. Болометрический и гетеродинный прием в радио и ИК-диапазонах.

3.​ Основные параметры спектральных приборов (разрешение, светосила, геометрический фактор). Светофильтры. Пpизменные спектроrpaфы и спектрометры. Дифракционные спектральные приборы. Плоская и вогнутая дифракционные решетки.

4.​ Приемники оптического, ультрафиолетового и инфракрасного излучения. Фотографическая эмульсия. Фотоэлектрические приемники. ПЗС матрицы. Тепловые приемники. Основные параметры приемников (чувствительность, спектральная характеристика, шумы, частотная характеристика). Факторы, ограничивающие порог обнаружения сигнала в разных диапазонах.

5. ​ Методы внеатмосферной астрономии. Детекторы и оптика для ультрафиолетового и рентгеновского диапазонов (пропорциональные счетчики, микроканальные пластины, телескопы косого падения, сотовые и модуляционные коллиматоры, телескопы с кодированной апертурой). Полупроводниковые детекторы. Сцинтилляционные детекторы. Твердотельные (германиевые) детекторы. Калориметры. Искровые камеры для гамма-диапазона.

6. ​ Измерения температуры поверхности планет (ИК-рaдиометрия, радиоастрономические методы). Измерения давления, плотности и температуры в планетных атмосферах с помощью космической техники (пpямые методы, торможение искусственных спутников, спектроскопия, радиопросвечивание).

IV​ А. Общая астрофизика

1.​ Звезды: шкала звездных величин, фотометрические системы, система U, В, V и ее продолжение. Видимые и абсолютные звездные величины. Методы определения расстояний до звезд. Показатель цвета, избыток цвета. Температура звезд, шкала звездных температур. Спектры звезд и их классификация. Диаграмма Герцшпpунга-Рэссела. Определение масс звезд. Двойные звезды.

2.​ Переменные звезды и их классификация. Цефеиды, зависимость период-светимость. Новые звезды. Сверхновые звезды, их типы и причины взрывов. Роль радиоактивного излучения в формировании кривых блеска сверхновых.

3.​ Собственные движения звезд, лучевые скорости звезд, движение Солнечной системы в Галактике.

4.​ Млечный путь и его строение. Звездные скопления. Рассеянные и шаровые скопления. Межзвездная среда. Галактические туманности; светлые и темные. Межзвездное поглощение света.

5.​ Теория галактического вращения. Спиральная структура Галактики. Свойства газа в облаках и межоблачном пространстве. Типы звездного населения и их кинематика.

6.​ Галактики и их классификация, методы определения расстояний в Метагалaкrике. Красное смещение.

7​. Радиогалактики, квазары, активные ядра галактик. Унификация активных ядер галактик.

8.​ Скопления галактик. Видимая и скрытая масса. Горячий газ в скоплениях галактик. Эффект Сюняева-Зельдовича и определение постоянной Хаббла.

Б. Солнечная система.

1.​ Солнце (размеры, масса, светимость, температура, спектр). Фотосфера, хромосфера, солнечная корона (спектр, физические условия). Радио- и рентгеновское излучение Солнца. Солнечная активность. Солнечный ветер.

2.​ Земля как планета. Атмосфера Земли, ее состав, вертикальный разрез. Общая циркуляция в атмосфере. Верхняя атмосфера, ионосфера, экзосфера.

3.​ Поверхность и форма 3емли. Магнитное поле Земли, элементы земного магнетизма. Понятие о внутреннем строении Земли.

4.​ Планеты земной группы и их спутники. Луна: размеры, особенности движения, строение поверхности, состав и структура грунта. Меркурий (поверхность, вращение, атмосфера).

5​. Планеты земной группы: Марс и Венера. Сравнительный анализ химического состава атмосфер. Венера (вращение, ее атмосфера, облачный слой, ионосфера, механизмы разогрева). Марс (его поверхность, атмосфера, ионосфера). Магнитные поля и внутреннее строение планет земной группы. Плутон.

6.​ Планеты-гиганты. Юпитер. Строение атмосферы, динамика атмосферы, облачный слой. Радиоизлучение Юпитера, магнитное поле и магнитосфера.

7.​ Сатурн. Уран. Нептун. Основы теории внутреннего строения планет-гигантов.

8.​ Малые тела солнечной системы: спутники планет, кольца, астероиды, кометы, метеориты, межпланетная пыль, зодиакальный свет.

V. Теоретическая астрофизика.

1​. Атомные спектры. Природа спектральных термов. Спектр атома водорода, линия 21 см. Пространственное квантование. Спин, тонкая структура. Спектр молекулы водорода. Спектры щелочных металлов. Спектры атомов и ионов с двумя электронами. Вероятности переходов. Сила осциллятора, коэффициенты Эйнштейна. Эффект Зеемана. Эффект Штарка. Изотопическое смещение. Сверхтонкая структура.

2.​ Молекулярные спектры. Вращательные и вращательно-колебательные полосы. Электронные спектры. Молекулярная радиоспетроскопия. Изотопические эффекты. Интенсивность линий. Вращательная температура. Мазерное излучение.

3​. Теория звездных фотосфер. Непрерывный спектр. Основные понятия о теории излучения (коэффициенты поглощения и излучения, различные механизмы поглощения в континууме). Уравнение переноса. Эддингтоновское приближение. Гипотеза Л.Т.Р. Закон потемнения диска звезды к краю. Возбуждение и ионизация атомов в звездных атмосферах, рассеяние и истинное поглощение, свободно-свободные переходы, отрицательные ионы водорода. Отклонения от Л.Т.Р. (солнечная корона, планетарные туманности). Понятие серой атмосферы. Альбедо.

4​. Образование линий поглощения в спектрах звезд. Уравнение переноса для консервативного случая. Учет истинного поглощения. Допплеровское уширение и истинное затухание. Эффекты давления, уширение линий вследствие столкновений атомов.

5​. Основы теории кривых роста. Методы построения кривых роста по наблюдениям. Турбулентные скорости в атмосферах звезд, постоянная затухания. Влияние на профиль линий вращения звезд. Изменение контуров линий от центра к краю. Влияние ускорения силы тяжести (различие спектров гигантов и карликов).

6​. Ионизация атомов излучением и электронным ударом. Основы теории ионизации солнечной короны. Корональные линии и их отождествление. Непрерывный спектр солнечной короны (F и К - компоненты).

7.​ Запрещенные линии в астрофизике. Механизм свечения планетарных туманностей. Метод Занстра для определения температур ядер планетарных туманностей. Поведение бальмеровских и запрещенных линий в планетарных туманностях. Lc и Lα излучение и его диффузия в планетарных туманностях.

8.​ Области молекулярного, атомарного, ионизованного водорода и их излучение. Время рекомбинации и механизмы охлаждения областей HI и НII. Радиус Cтpёмгpeнa. Нестационарность областей НII.

9.​ Основные механизмы космического радиоизлучения и основные характеристики. Тормозное излучение, излучение оптически тонкой и оптически толстой плазмы. Синхронное излучение и практическое применение к источникам. Рекомбинационные радиолинии. Основы радио спектроскопии молекул, электронные, колебательные и вращательные переходы, мазерное излучение.

10.​ Понятие о внутреннем строении звезд и их эволюции. Вырожденный электронный газ. Строение звезд главной последовательности. Красные гиганты и белые карлики. Основы теории эволюции звезд с постоянной массой. Связь теории эволюции с наблюдаемыми диаграммами «спектр-светимость» в рассеянных и шаровых скоплениях.

VI. Специальные вопросы астрофизики.

1.​ Остатки вспышек сверхновых звезд. Их классификация. Крабовидная туманность (спектр, компоненты свечения, основы теории). Звездные остатки: нейтронные звезды и черные дыры. Пульсары. Предел устойчивости нейтронной звезды и определение массы компактного объекта в двойной системе по измерению доплеровского смещения спектральных линий.

2​. Основы теории аккреции на нейтронные звезды и черные дыры. Сферически симметричная и дисковая аккреция. Пограничный слой аккреционного диска и слой растекания вещества по поверхности звезды. Горячие короны и спектр излучения аккреционного диска.

3.​ Релеевское рассеяние. Рассеяние, поглощение и ослабление малыми частицами.

4.​ Межзвездная среда. Методы исследования газовой и пылевой компоненты. Молекулы в межзвездной среде. Космические лучи и магнитные поля в Галактике.

5.​ Механизмы рентгеновского и гамма-излучения (тормозное и рекомбинационное излучение горячей оптически тонкой плазмы, синхротронное излучение, флуоресценция, обратный Комптон-эффект, распад π-мезонов). Взаимодействие рентгеновского и гамма-излучения с веществом (ионизационные потери, фотопоглощение, комптоновское рассеяние, рождение пар). Комптонизация и формирование спектров компактных рентгеновских источников.

6.​ Классификация наблюдающихся компактных источников космического рентгеновского и гамма-излучения (остатки сверхновых, двойные рентгеновские источники, барстеры, рентгеновские пульсары, рентгеновские транзиенты и новые, кандидаты в черные дыры, мягкие гамма-повторители, магнетары).

Изотропный рентгеновский и гамма-фон. Внегалактические источники рентгеновского излучения. Диаграмма logN-logS. Космические гамма-всплески. Послесвечения гамма-всплесков. Нейтринная астрономия (Солнце и сверхновые).

7.​ Изучение пыли. ИК- излучение областей звездообразования молекулярно пылевых облаков, зон НII планетарных туманностей и околозвездных оболочек. Диффузное свечение плоскости и центра Галактики. ИК-избытки в спектрах звезд и активных галактик. Инфракрасный фон.

8​. Основы космологии. Наблюдательные основы космологии: однородность распределения материи в самых больших масштабах; закон Хаббла. Теория расширяющейся Вселенной (ньютоновские уравнения для однородной изотропной Вселенной, закон расширения, критическая плотность). Фридмановские модели расширяющейся Вселенной: кривизна 3-х мерного пространства (закрытый, открытый, плоский мир).

9.​ Теория горячей Вселенной. Реликтовое излучение. Начальные этапы расширения. Понятие о раздувающейся Вселенной. Поведение излучения и вещества на ранних этапах расширения Вселенной. Рекомбинация вещества. Гравитационная неустойчивость. Возникновение структуры Вселенной. Тёмная материя и тёмная энергия. Ускоренное расширение Вселенной (методы измерения).

*ЛИТЕРАТУРА:*

1.​ Акасофу С.П., Чепмен С. Солнечно-земная физика. Ч.1.М.:Мир, 1974.

2.​ Кононович Э.В., Мороз В.И. Общий курс астрономии. М.:УРСС, 2011.

3.​ Бисноватый-Коган Г.С. Физические вопросы теории звездной эволюции. М.: Наука, 1989.

4.​ Вайнберг С. Первые три минуты : Современный взгляд на происхождение Вселенной. М.: Энергоиздат, 1981.

5.​ Галактическая и внегалактическая радиоастрономия. Под ред. К.И. Каллермана и Г.Д. Верскера. М.: Мир, 1976.

6.​ Гинзбург В.Л. Распространение электромагнитных волн в плазме. М.: Наука, 1967.

7. Горбунов Д. С., Рубаков В. А. Введение в теорию ранней Вселенной: Теория Горячего большого взрыва. М.: Изд-во ЛКИ/URSS, 2008.

8. Горбунов Д. С., Рубаков В. А. Введение в теорию ранней Вселенной: Космологические возмущения. Инфляционная теория. М.: Изд-во Красанд/URSS, 2010.

9. Долгов А. Д., Зельдович Я. Б., Сажин М. В. Космология раннейц Вселенной. М.: Изд-во

МГУ, 1988.

10.​ Есепкина Н.А., Корольков Д.В., Парийский О.Н. Радиотелескопы и радиометры. М.: Наука, 1973.

11.​ Засов А.В., Постнов К.А. Общая астрофизика: Учебное пособие. М.: МГУ – Фрязино, 2011, 573 с.

12.​ Зельдович Я.Б., Новиков И.Д Теория тяготения и эволюция звезд. М.: Наука, 1971.

13.​ Зельдович Я.Б., Новиков И.Д. Строение и эволюция Вселенной. М.: Наука, 1975.

14.​ Каплан С.А., Пикельнер С.Б. Физика междвездной среды. М.: Наука, 1979.

15.​ Краус Д.Д. Радиоастрономия. М.: Сов.радио, 1973.

16.​ Мартынов Д.Я. Курс практической астрофизики. М.: Наука, 1977.

17.​ Москаленко Е.И. Методы внеатмосферной астрономии. М.: Наука, 1984.

18​. Новиков И.Д. Эволюция Вселенной. М.: Наука, 1990.

19.​ Насельский П.Д., Новиков Д.И., Новиков И.Д. Реликтовое излучение Вселенной. М.: Наука, 2003.

20.​ Соболев В.В. Курс теоретической астрофизики. М.: Наука, 1975.

21​. Физика космоса: Маленькая энциклопедия. Ред. Р. А. Сюняев. М.: Сов. Энциклопедия, 1986.

22​. Шкловский И.С . Звезды: их рождение, жизнь и смерть. М.: Наука, 1984.

23.​ Шкловский И.С. Сверхновые звезды и связанные с ними проблемы. М.: Наука, 1976.

24.​ Шапиро С., Тьюколски С. Черные дыры, белые карлики и нейтронные звезды. М.: Мир, 1985.

25​. Лонгейр М. Астрофизика высоких энергий. М.: Мир, 1984.

д.ф.- м.н., профессор Г.С. Бисноватый-Коган

д.ф.-м.н. С.А. Гребенев

д.ф.-м.н., профессор Л.И. Матвеенко