



«УТВЕРЖДАЮ»

Декан физического факультета
МГУ имени М.В. Ломоносова

Н.Н. Сысоев

2022 г.

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени М.В.ЛОМОНОСОВА
ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

ПРОГРАММА КАНДИДАТСКОГО ЭКЗАМЕНА
по специальности 1.3.1 «Физика космоса, астрономия»
по физико-математическим наукам, по техническим наукам

1. Системы координат

- 1.1. Явления прецессии, нутации, aberrации и рефракции. Приведение на видимое место.
- 1.2. Методы определения основных астрометрических постоянных. Теоретические связи между постоянными. Системы астрономических постоянных 1896, 1964, 1976/80 гг.
- 1.3. Геометрический, кинематический и динамический методы построения системы отсчета.
- 1.4. Измерение времени: шкала атомного времени IAT. Классические шкалы времени UTO, UT1, UT2, ET. Релятивистские шкалы времени TDT и TDB, TT, TCG, TCB.
- 1.5. Хранение и воспроизведение шкал времени и эталонных частот. Методы их распространения и синхронизации.

2. Наземная оптическая астрометрия

- 2.1. Меридианская астрометрия. Теория и устройство основных меридианных инструментов. Методы абсолютных и относительных определений координат.
- 2.2. Звездные каталоги и их систематические ошибки. Вывод фундаментальной системы звездных положений и собственных движений. Ориентировка системы координат. Относительные и сводные каталоги. Важнейшие фундаментальные каталоги.
- 2.3. Фотографическая астрометрия. Астрографы и приборы для измерения астронегативов. Измеренные и стандартные координаты. Методы Тернера и Шлезингера. Фотографические определения координат Луны, планет и ИСЗ.
- 2.4. Определение собственных движений и параллаксов звезд. Использование галактик для вывода ошибок системы собственных движений звезд.
- 2.5. Фотографические каталоги. Карта неба, каталоги Астрономического общества (AGK), каталог PPM.
- 2.6. Использование ПЗС в астрометрии.
- 2.7. Техника лазерной локации ИСЗ и Луны.

3. Космическая астрометрия

- 3.1. Методы позиционных измерений небесных объектов с помощью космических аппаратов. Проекты Hipparcos и GAIA.
- 3.2. Интерферометрические методы в астрометрии. Наземные и космические интерферометры.

3.3. Спутниковые навигационные системы. Орбитальные и наземные технические средства.

4. Радиоастрометрия

- 4.1. Радиоинтерферометры со сверхдлинной базой (РСДБ), устройство, принцип измерений. Корреляционная обработка сигналов в РСДБ.
- 4.2. Радиоастрономические методы определения координат объектов, неравномерности вращения Земли, движения полюсов и расстояний на поверхности Земли.
- 4.3. Небесная опорная система координат (ICRS) и земная опорная система координат (ITRF).
- 4.4. Радиолокационные и радиоинтерферометрические методы наблюдений тел Солнечной системы.
- 4.5. Методы согласования оптических и радиосистем координат.

5. Вращение Земли и ее ориентация в пространстве

- 5.1. Уравнения Эйлера, Пуассона, Лиувилля.
- 5.2. Неравномерность вращения Земли вокруг оси. Движение полюсов.
- 5.3. Инструменты для изучения вращения Земли: пассажирский инструмент, зенит-телескоп, призменная астролябия, фотографическая зенитная труба, РСДБ, лазерный дальномер, системы GPS и Глонасс.
- 5.4. Интерпретация движения полюсов и неравномерности вращения Земли. Короткопериодические, сезонные, вековые вариации вращения Земли. Чандлеровское движение полюса.
- 5.5. Международная Служба Вращения Земли (IERS), ее организации и задачи. Стандарты МСВЗ (IERS).
- 5.6. Изучение прецессии и нутации оси вращения Земли методами РСДБ.

6. Аналитические методы небесной механики

- 6.1. Невозмущенное движение. Уравнения движения в задаче двух тел и их решение. Возмущенное движение. Уравнения движения *n* тел и их первые интегралы. Уравнения движения в координатах Якоби.
- 6.2. Уравнения движения Эйлера и Лагранжа в оскулирующих элементах. Теория возмущенного движения. Малые параметры в теории движения планет и спутников. Промежуточные орбиты. Разложение пертурбационной функции.
- 6.3. Интегрирование с помощью рядов по степеням времени (метод неопределенных коэффициентов и метод рядов Ли).
- 6.4. Формальное интегрирование уравнений движения в элементах промежуточной орбиты методом малого параметра Ляпунова-Пуанкаре. Малые знаменатели. Резонанс.
- 6.5. Теоремы Пуанкаре о ранге и классе возмущений. Сходимость в методе малого параметра.
- 6.6. Формальное интегрирование методом осреднения. Асимптотический характер метода осреднения.
- 6.7. Канонические преобразования. Метод Гамильтона-Якоби.
- 6.8. Метод преобразований Ли в теории возмущений. Теория вековых возмущений.
- 6.9. Уравнения поступательно-вращательного движения небесных тел. - Стационарные решения этих уравнений.

7. Качественные методы небесной механики

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

8. Основы гравиметрии

- 8.1. Основы теории гравитационного потенциала. Представление потенциала в виде разложения по сферическим функциям. Сходимость разложения. Гравитационный потенциал Земли, Луны, планет. Масконы.
- 8.2. Основы теории фигуры Земли. Методы определения параметров гравитационного поля и фигуры.

9. Движение спутников планет и искусственных спутников Земли

- 9.1. Возмущенное движение спутников. Промежуточная орбита. Возмущающие факторы в движении естественных спутников планет. Возмущающие факторы в движении искусственных спутников Земли.
- 9.2. Разложение возмущающей функции, обусловленной не центральностью гравитационного поля планеты. Возмущения от зональных гармоник. Возмущения от тессеральных и секториальных гармоник. Возмущающая функция от притяжения внешнего тела. Лунно-солнечные возмущения ИСЗ.
- 9.3. Интегрирование уравнений обобщенной задачи двух неподвижных центров. Характер движения. Формулы промежуточной орбиты. Возмущения на основе промежуточной орбиты обобщенной задачи двух неподвижных центров.
- 9.4. Задача Хилла и ее использование в теории движения.
- 9.5. Возмущения, вызываемые сопротивлением атмосферы планеты. Возмущения от светового давления и приливов в теле упругой планеты.

10. Определение орбит по результатам измерений

- 10.1. Постановка задачи определения орбит. Определение орбиты по двум положениям. Основы методов Лапласа и Гаусса определения орбиты по трем угловым наблюдениям.
- 10.2. Метод дифференциального уточнения параметров движения небесных тел из наблюдений. Метод наименьших квадратов при известной ковариационной матрице наблюдений. Метод коллокации. Метод наименьших модулей.
- 10.3. Построение условных уравнений при уточнении элементов орбит спутников из лазерных и радиотехнических наблюдений.

11. Приборы и методы астрофизики

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

- 11.2. Принципы спектрального анализа. Спектографы. Спектральное разрешение и факторы, его определяющие.
- 11.3. Солнечные телескопы: целостат, коронограф. Принципы измерения магнитных полей на Солнце.
- 11.4. Приемники оптического излучения. Приборы с зарядовой связью. Понятие квантового выхода. Особенности регистрации инфракрасного излучения.
- 11.5. Шкала звездных величин и показателей цвета. Фотометрические системы. Современные методы фотоэлектрической фотометрии. Поляризационные наблюдения.
- 11.6. Радиотелескопы, принцип работы. Различные типы антенн (параболические, дипольные, антенные решетки). Эффективная площадь антенны. Размер и форма диаграммы направленности.
- 11.7. Радиометры. Антенная температура, шумовая температура, полоса пропускания, чувствительность.
- 11.8. Принципы интерферометрии. Радиоинтерферометры. Метод апертурного синтеза. Радиотелескопы с незаполненной апертурой. Интерферометрия со сверхдлинными базами. Угловое разрешение интерферометров.
- 11.9. Оптические телескопы. Оптические схемы рефлекторов и зеркально-линзовых телескопов. Механические конструкции телескопов. Экваториальные и азимутальные установки.
- 11.10. Аберрации оптических систем, способы их уменьшения. Влияние атмосферы на изображение точечного объекта. Методы повышения качества изображения. Активная и адаптивная оптика.
- 11.11. Принципы спектрального анализа. Спектральное разрешение и его зависимость от параметров спектрографа и диспергирующего элемента.
- 11.12. Классический дифракционный спектрограф. Эшелле-спектрограф. Получение спектра с использованием интерферометра Фабри-Перо.
- 11.13. Отношение сигнал/шум приемника излучения, понятие квантового выхода. Основные источники шумов приемника и методы их уменьшения.
- 11.14. Шкала звездных величин и показателей цвета. Фотометрические системы. Современные методы фотоэлектрической фотометрии. Фотоэлектрический фотометр.
- 11.15. Антенны радиотелескопов. Облучатели. Требования, предъявляемые к механическим конструкциям антенн. Ближняя и дальняя зоны антенн. Шумовая температура и эффективная площадь антены. Размер и форма диаграммы направленности.
- 11.16. Радиометры. Антенная температура, шумовая температура, полоса пропускания, чувствительность. Акустооптические спектрометры.
- 11.17. Принципы интерферометрии. Радиоинтерферометры. Метод апертурного синтеза. Радиотелескопы с незаполненной апертурой. Интерферометрия со сверхдлинными базами. Угловое разрешение интерферометров.
- 11.18. Абсолютное и относительное измерение потоков радиоизлучения, точность измерений. Оценка линейной и круговой поляризации радиоизлучения.
- 11.19. Внеатмосферные наблюдения, решаемые задачи. Приемники излучения, используемые для далекой инфракрасной и ультрафиолетовой области, рентгеновской и гамма-областях. Инфракрасные, ультрафиолетовые, рентгеновские и гамма-обсерватории.

12. Солнце и Солнечная система

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

- 12.2. Активные образования на Солнце, связь с магнитными полями. Солнечные вспышки и сопровождающие их явления. Рентгеновское излучение Солнца. Спокойное и спорадическое радиоизлучение. Представление о гелиосейсмологии.
- 12.3. Основные характеристики планет (масса, плотность, характер вращения, свойства атмосферы, магнитные поля, условия на поверхности). Наземные и космические методы исследования тел солнечной системы.
- 12.4. Малые тела Солнечной системы. Спутники и кольца планет. Астероиды и пояса астероидов. Кометы.
- 12.5. Физическое состояние межпланетной среды. Метеорное вещество.
- 12.6. Радиоизлучение планет. Радиолокационные методы исследования планет и малых тел солнечной системы.

13. Звезды

- 13.1. Спектральная классификация звезд, ее физическая интерпретация.
- 13.2. Светимости, эффективные температуры и показатели цвета звезд. Прямые и косвенные методы определения из наблюдений размеров и масс звезд.
- 13.3. Источники энергии на различных стадиях эволюции звезд. Термоядерные реакции. Эволюционные треки звезд различной массы на диаграмме Герцшпрunga - Рессела (диаграмме цвет-светимость). Конечные стадии звездной эволюции.
- 13.4. Вырожденные звезды (белые карлики), нейтронные звезды, черные дыры, их физические свойства и наблюдаемые проявления. Радиопульсыры.
- 13.5. Двойные и кратные звезды. Затменно-переменные. Функция масс и оценка масс компонент в двойных системах.
- 13.6. Тесные двойные системы и особенности их эволюции. Аккреция на компактные звезды. Рентгеновские источники в двойных системах. Новые звезды. Барстеры.
- 13.7. Переменные и нестационарные звезды. Пульсирующие переменные (цефеиды, долгопериодические переменные, переменные типа КК Лиры). Звезды с оболочками (Be, MК). Звезды типа T Тельца. Объекты Ae/Be Хербига. Катализмические переменные.
- 13.8. Сверхновые звезды, типы сверхновых, наблюдаемые особенности. Процессы, приводящие к взрыву. Роль сверхновых в обогащении межзвездной среды тяжелыми элементами.

14. Основы теоретической астрофизики

- 14.1. Элементарные процессы излучения и поглощения электромагнитных квантов. Излучение и распространение радиоволн в тепловой плазме. Космические источники теплового и нетеплового излучения в различных областях спектра.
- 14.2. Механизмы переноса энергии. Уравнение переноса. Локальное термодинамическое равновесие. Эддингтоновский предел светимости.
- 14.3. Источники поглощения в континууме в атмосферах звезд и форма непрерывных спектров для звезд различных классов.
- 14.4. Модели звездных атмосфер. Механизмы образования линий поглощения. Понятие эквивалентной ширины линий. Профили линий, механизмы уширения линий. Кривая роста. Химический состав звездных атмосфер.
- 14.5. Уравнения, описывающие внутреннее строение звезд. Строение звезд различных спектральных классов. Уравнение состояния вырожденного газа. Предельная масса белых карликов и нейтронных звезд.
- 14.6. Теория космического радиоизлучения. Тормозное излучение плазмы. Магнитотормозное излучение. Синхротронное излучение релятивистских электронов. Время высвечивания. Обратный Комpton-эффект.

15. Галактика

- 15.1. Строение Галактики. Звездные населения и подсистемы. Спиральная структура Галактики, наблюдаемые проявления. Ядро Галактики.
- 15.2. Звездные скопления и ассоциации. Интерпретация диаграмм цвет-звездная величина.
- 15.3. Звездная кинематика. Движение Солнца относительно звезд. Вращение Галактики. Связь кинематических свойств с пространственным распределением объектов.
- 15.4. 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.
- 15.5. Гравитационная устойчивость тонкого вращающегося диска. Дисперсионное уравнение. Спиральные ветви, представление о волнах плотности.
- 15.6. Физическое состояние межзвездного газа. Молекулярные облака, области НI и НII, корональный газ, мазерные конденсации. Механизмы излучения газа в различных состояниях.
- 15.7. Оптическое излучение межзвездного газа. Запрещенные линии. Газовые туманности различных типов. Радиолинии. Мазерные источники.
- 15.8. Диагностика плазмы: мера дисперсии, мера вращения, тепловое радиоизлучение.
- 15.9. Ударные волны в межзвездной среде. Остатки сверхновых и их эволюция.
- 15.10. Гравитационная неустойчивость газовой среды и конденсация газа. Протозвезды и молодые звезды. Околозвездные диски. Области звездообразования.
- 15.11. Межзвездная пыль, наблюдаемые проявления. Собственное излучение пыли. Межзвездное поглощение и его учет.
- 15.12. Межзвездные магнитные поля, наблюдаемые проявления. Понятие вмороженности поля. Космические лучи, их проявления, основные источники. Распространение космических лучей в магнитном поле Галактики

16. Звездная динамика

- 16.1. Строение Галактики. Звёздные населения и подсистемы. Спиральная структура Галактики.
- 16.2. Звёздная кинематика. Вращение Галактики и движение Солнца относительно её центра.
- 16.3. Модели Галактики и орбиты звезд в них.
- 16.4. Фазовая плотность и уравнение Больцмана для звёздных систем. Интегралы движения. Теорема вириала и её применение. Регулярные и иррегулярные силы. Время релаксации.
- 16.5. Теория движения в поле ротационно-симметричного потенциала. Поле направлений движения.
- 16.6. Гидродинамические уравнения Эйлера во вращающейся системе координат. Уровенные поверхности. Фундаментальные свойства фигур равновесия.

17. Внегалактическая астрономия и элементы космологии

- 17.1. Классификация галактик. Особенности структуры галактик разных морфологических типов. Содержание газа и звездообразование в галактиках.
- 17.2. Размеры, светимость, скорость вращения и масса галактик, принципы их оценок. Проблема существования темного гало. Карликовые галактики, наблюдаемые особенности.
- 17.3. Группы и скопления галактик. Взаимодействующие галактики. Межгалактический газ в системах галактик.

- 17.4. Галактики с активными ядрами. Квазары. Представление о механизмах активности.
- 17.5. Радиоизлучение галактик и их ядер. Радиогалактики: мощность радиоизлучения, радиоструктура. Радиоджеты.
- 17.6. Шкала расстояний, закон Хаббла. Крупномасштабное распределение галактик.
- 17.7. Фридмановские модели расширяющейся Вселенной, понятие критической плотности и космологической постоянной. Постоянная Хаббла и "возраст" Вселенной.
- 17.8. Реликтовое излучение, его происхождение. Флуктуации яркости. Ранние стадии расширения Вселенной. Первичный нуклеосинтез.
- 17.9. Проблема образования галактик. Ожидаемые свойства молодых галактик. Галактики на больших красных смещениях.
- 18. Внутреннее строение Солнца и физические процессы, происходящие в недрах Солнца.**
- 18.1. Спектральный класс, класс светимости, положение на диаграмме Герцшпрunga—Рассела. Возраст. Вращение.
- 18.2. Химический состав Солнца. Методы определения.
- 18.3. Глобальное магнитное поле Солнца. Переполюсовка.
- 18.4. Гидростатическое равновесие солнечного вещества; баланс сил, лучистое трение.
- 18.5. Источник солнечной энергии. Ядерные циклы. Солнечные нейтрино. Радиативная зона Солнца.
- 18.6. Конвективная зона Солнца. Условие возникновения конвекции. Конвективный перенос энергии.
- 18.7. Грануляция. Наблюдения и теоретические результаты.
- 18.8. Конвекция сверхсупергрануляционных масштабов (гигантские ячейки). Конвекция в присутствии вращения и магнитных полей.
- 18.9. Гелиосейсмология. Спектр собственных колебаний.
- 19. Структура и динамика солнечной атмосферы (конвективная зона, фотосфера, хромосфера, корона). Образования в солнечной атмосфере (активные области, пятна, протуберанцы и т.д.).**
- 19.1. Фотосфера, непрерывный спектр, потемнение к краю. Фраунгоферов спектр. Грануляция. Пятиминутные колебания.
- 19.2. Хромосфера, ее структура, плотность, температура. Спики, супергрануляция и хромосферная сетка. Протуберанцы, их типы, физические свойства, устойчивость.
- 19.3. Корона Солнца, строение, яркость и поляризация. Непрерывный и линейчатый спектр. Температура и плотность. Ионизационное равновесие.
- 19.4. Излучение Солнца в видимой, рентгеновской и далекой ультрафиолетовой областях спектра. Радиационное остывание. Механизмы «уширения» спектральных линий. Линии поглощения.
- 19.5. Баланс энергии в атмосфере Солнца. Источники нагрева и охлаждения. Переходная область между хромосферой и короной.
- 19.6. Магнитные поля на Солнце: крупномасштабное поле, локальные поля. Солнечные пятна. Биполярные области. Тонкая структура полей.
- 19.7. Радиоизлучение спокойного Солнца и активных областей: спектр, поляризация. Всплески радиоизлучения I–V типов, причины возникновения их радиоизлучения, особенности всплесков в сантиметровом и дециметровом диапазонах. Низкочастотное радиоизлучение (гектометровый и километровый диапазоны). Исследование Солнца радиофизическими методами.
- 20. Солнечная активность и циклы солнечной активности на различных временных масштабах. Магнитные поля на Солнце и активные явления (вспышки, выбросы и**

т.д.). Солнечные излучения всех диапазонов – от радиоизлучения до гамма- и нейтринного излучения. Солнечные космические лучи.

20.1.Активные области и их магнитные поля. Число Вольфа.

20.2.Солнечные циклы. Главные закономерности динамики распределения активных областей в 11-летнем солнечном цикле.

20.3.Солнечная вспышка. Механизмы накопления и быстрого выделения энергии над активной областью. Наблюдения вспышки в различных областях спектра. Вторичные процессы.

20.4.Корональные выбросы массы, их связь со вспышкой и воздействие на магнитосферы планет.

20.5.Петли и яркие рентгеновские точки. Удержание и нагревание плазмы в квазистационарных магнитных структурах.

20.6.Генерации рентгеновского и гамма излучения, солнечных космических лучей.

20.7.Ускорение частиц на Солнце. Ускорение частиц при магнитном пресоединении. Стохастическое ускорение. Ускорение ударными волнами. Комбинированное ускорение солнечных космических лучей.

20.8.Радиоизлучение Солнца. Ультрафиолетовое и рентгеновское излучение Солнца, его поглощение в верхней атмосфере Земли. Солнечные космические лучи в спокойные и активные периоды. Потоки галактических и солнечных космических лучей на Земле по данным нейтронных Мониторов. Влияние межпланетного магнитного поля. Форбуш-эффект.

21. Физика солнечной плазмы

21.1.Основные параметры солнечной атмосферы. Кулоновское взаимодействие. Квазинейтральность. Проводимость. Теплопроводность.

21.2.Магнитная гидродинамика. Основные уравнения. Понятия вмороженности. Силы, действующие на плазму в магнитном поле. Магнитостатика. Бессиловые и потенциальные поля. Численные МГД методы.

21.3.Колебания в плазме. Звуковые и МГД-волны. Бесстолкновительные ударные волны. Перенос и диссиляция энергии в плазме. Проблема нагрева хромосферы и короны.

21.4.Устойчивость. Методы исследования устойчивости. Энергетический принцип.

21.5.Пересоединения магнитных силовых линий. Токовые слои. Понятия о теории динамо.

22. Ускоренные частицы в атмосфере Солнца. Перенос частиц в гелиосфере. Корпускулярное излучение Солнца и межпланетная среда. Солнечный ветер и гелиосфера.

22.1.Ядерные реакции в атмосфере Солнца. Нейтроны и гамма-излучение. Локализация источников ускорения. Энергичные частицы в гелиосфере. Плотность энергии и перенос энергичных частиц. Теория переноса солнечных космических лучей.

22.2.Расширяющаяся корона и солнечный ветер. Межпланетное магнитное поле, спираль Паркера. Теория Паркера. Основные характеристики межпланетной среды.

22.3.Высокоскоростные потоки и их связь с корональными дырами и корональными выбросами массы. Ударные волны в солнечном ветре.

22.4.Структура межпланетного магнитного поля. Взаимодействие межпланетной среды с магнитосферой Земли. Причины, вызывающие суббури и главную фазу бури.

22.5.Связь суббури с солнечными вспышками. Повторяемость магнитных бурь.

22.6.Солнечный ветер, его состав, скорость, температура, плотность. Понятие о его распределении по гелио-широте. Высокоскоростные потоки плазмы и корональные дыры. «Магнитные облака» в солнечном ветре. Секторная структура межпланетного магнитного поля вблизи плоскости эклиптики и гелиосферный токовый слой. Ударные волны и разрывы в солнечном ветре. Распространение солнечных космических лучей в межпланетном пространстве. Граница гелиосферы.

23. Магнитосфера Земли. Магнитосферы планет солнечной системы. Солнечно-земная физика и солнечно-земные связи.

23.1.Обтекание магнитосферы Земли солнечным ветром. Бесстолкновительная ударная волна. Переходная область (Магнитослой). Структура магнитосферы. Магнитопауза. Полярные каспы. Геомагнитный хвост. Плазменный слой и крупномасштабный электрический ток хвоста. Размеры магнитосферы и хвоста. Зона устойчивого захвата энергичных частиц (пояса радиации). Понятие о моделях крупномасштабного магнитного и электрического поля в магнитосфере Земли. Крупномасштабные электрические поля в магнитосфере и конвекция плазмы. Понятие о механизмах генерации электрического поля. Дрейф горячей плазмы плазменного слоя к Земле, адиабатическое ускорение частиц. Крупномасштабные трехмерные электрические токи в магнитосфере, их замыкание через проводящую ионосферу.

23.2.Магнитосферная суббурия и магнитная буря. Формы проявления и фазы магнитосферной суббури. Инжекция энергичных частиц во внутреннюю магнитосферу и формирование пояса кольцевого тока, механизмы его распада.

23.3.Полярные сияния. Полярные сияния как отображение процессов нагрева, ускорения и рассеяние частиц в горячей плазме в магнитосфере. Носители восходящих и нисходящих продольных токов, роль продольного электрического поля. Понятие о связи полярных сияний с основными магнитосферными структурами – плазменным слоем, каспом. Понятие о генерации продольных токов в магнитосфере и ионосфере.

23.4.Магнитосфера Юпитера и Сатурна. Магнитосфера Урана. Вырожденные магнитосфера Венеры, Марса, кометы Галлея. Магнитосфера Меркурия. Понятие о гелиосфере.

24. Радиационные пояса Земли.

24.1.Радиационные пояса Земли. Распределение интенсивности захваченных в геомагнитную ловушку зараженных частиц. Понятие о дрейфовой оболочке (L -оболочке), инвариантных координатах. Нарушение адиабатических инвариантов и диффузия захваченных частиц в магнитосфере поперек L -оболочек, по питч-углам. Механизмы наполнения и утечки энергичных частиц радиационных поясов. Энергетические спектры захваченных частиц, массовый и зарядовый состав энергичных ионов. Суммарная энергия захваченных частиц и сторм-тайм вариация геомагнитного поля (Dst - вариация). Понятие о радиационной опасности для аппаратуры в поясе радиации. Понятие о радиационных поясах магнитосфер Юпитера и Сатурна.

25. Волновые излучения магнитосферной плазмы. Ионосфера.

25.1.Волновые излучения магнитосферной плазмы. Вистлеры, шипения, авроральное километровое радиоизлучение (АКР), ионно-циклотронные волны. Понятие о механизмах их возбуждения. Понятие о взаимодействие волн и частиц в магнитосфере.

25.2.Верхняя атмосфера. Состав атмосферы. Ионосфера. Источники ионизации. Распределение электронной концентрации по высоте в среднеширотной ионосфере. Основные высотные области (слои) ионосферы. Изменение ионного состава с высотой. Поглощение радиоволн. Частота столкновений электронов. Распространение радиоволн в ионосфере. Рефракция радиоволн. Среднеширотный ионосферный провал, его природа. Провал легких ионов, плазмосфера и плазмопауза. Заполнение внешней плазмосферы тепловой плазмой. Полярный ветер. Нагрев внешней плазмосферы. Стабильные красные дуги. Понятие об ионосферах других планет.

26. Научные приборы и комплексы, экспериментальные методы и алгоритмы обработки данных для исследования Солнца и космической плазмы.

- 26.1. Детекторы излучений. Оптические измерения фотосферы, хромосферы и короны Солнца. Понятие об оптических методах определения магнитного поля на Солнце. Спектрограф.
- 26.2.Фотографическая эмульсия. Характеристическая кривая. Основное свойство фотоэмульсии. Эквиденситы. Фотографическая фотометрия. Фотоэлектрические приемники радиации. Фотоумножитель. Электронно-оптический преобразователь. Микроканальные пластины и ПЗС-матрицы. Коллекторы, ВЭУ, КЭУ, ФЭУ. Сцинциляторы, полупроводниковые детекторы. Методы измерения температуры и скоростей микроскопических движений в ионосфере и верхней атмосфере.
- 26.3.Поляриметрия. Поляроиды. Призма Волластона. Пластиинки $\lambda/2$ и $\lambda/4$. Электрооптические устройства. Параметры Стокса.
- 26.4.Методы измерений магнитного поля и лучевых скоростей Солнца. Вектормагнитограф. Метод Лейтона. Солнечные магнитографы и стоксметры.
- 26.5. Радиофизические методы исследования солнечной короны.
- 26.6.Зондовые методы исследования плазмы. Зонд Ленгмюра. Вольт-амперная характеристика зонда в плазме. Двойной электрический зонд. Электростатический анализатор плазмы. Анализаторы с тормозящим и отклоняющим полем. Магнитные анализаторы. Модуляционные ловушки. Геометрический фактор прибора. Спектральное и угловое разрешение. Времяпролетные анализаторы скоростей ионов.
- 26.7.Масс - спектрометрия в исследованиях космической плазмы. Фильтр Вина. Энергомасс-угловые анализаторы. Анализ зарядового состава ионов.
- 26.8.Радиофизические методы исследования ионосферной плазмы. Импульсное радиозондирование с Земли и со спутников. Метод некогерентного рассеяния радиоволн. Метод эффекта Фарадея. Метод дисперсионного интерферометра. Метод абсорбционного и рефракционного просвечивания атмосфер планет.
- 26.9.Фотометрия полярных сияний и свечения атмосферы. Понятие о фототелевизионных измерениях планетарной картины свечения полярных сияний со спутников. Основные эмиссии полярных сияний.
- 26.10.Измерения электрических и магнитных полей. Зондовая методика. Барьерные облака. Магнитометры (феррозондовый, индукционный, квантовый). Электрические и магнитные антенны. Понятие об электромагнитной совместимости, о магнитной чистоте космического аппарата.
- 26.11.Внеатмосферные наблюдения Солнца, планет солнечной системы, основные приборы и методы. Гамма-, рентгеновские, ультрафиолетовые, инфракрасные телескопы: особенности схем и конструкций.

Основная литература

1. Прист Э.Р. Солнечная магнитогидродинамика. М.: Мир, 1985
2. Мартынов Д.Я. Курс общей астрофизики, 4-е изд., М.: Наука, 1988.
3. Соболев В.В. Курс теоретической астрофизики. М.: Наука, Физматлит, 1967.
4. Каплан С.А., Цытович В.Н., Пикельнер С.Б. Физика плазмы солнечной атмосферы, М.: Физматлит, 1977.
5. Пикельнер С.Б. Основы космической электродинамики, 2-е изд. М.: Физматгиз, 1966.
6. Хундхаузен А. Расширение короны и солнечный ветер. М.: Мир, 1976.
7. Альвен Г., Фельдхаммар К.Г. Космическая электродинамика. М.: Мир, 1967.
8. Солнечная и солнечно-земная физика: Иллюстрированный словарь терминов. М.: Мир, 1980.
9. Космическая магнитная гидродинамика: Сб./ Под ред. Э. Прист, А. Худа, М.: Мир, 1995.

10. Сомов Б.В. Космическая электродинамика и физика Солнца. М.: Изд-во МГУ, 1993.
11. Паркер Е. Динамические процессы в межпланетной среде. М.: Мир, 1965.
12. Астрофизика космических лучей / Под ред. В.Л. Гинзбурга. М.: Наука, 1990.
13. Лонгейр М. Астрофизика высоких энергий. М.: Мир, 1984.
14. Rossi B., Ольберт С. Введение в физику космического пространства. М.: Атомиздат, 1974.
15. Космические лучи и солнечный ветер / Г.Ф. Крымский, А.И. Кузьмин, П.А. Кривошапкин и др. Новосибирск: Наука, 1981.
16. Топтыгин И.Н. Космические лучи в межпланетных магнитных полях. М.: Наука, 1983.
17. Структура и динамика солнечной короны // Труды Междунар. конф. по физике Солнца, посвящ. памяти проф. Г.М. Никольского. Троицк, 1999.
18. Акасофу С., Чепмен С. Солнечно-земная физика. М.: Мир, 1974.
19. Брандт Дж. Солнечный ветер. М.: Мир, 1972.
20. Хундхаузен А. Дж. Расширение короны и солнечный ветер. М.: Мир, 1976.
21. Хесс В. Радиационный пояс и магнитосфера земли. М.: Атомиздат, 1971.
22. Акасофу С. Полярный и магнитосферные суббури. М.: Мир, 1971.
23. Редерер Х. Динамика радиации, захваченной геомагнитным полем. М.: Мир, 1972.
24. Бауэр З. Физика планетных ионосфер. М.: Мир, 1976.
25. Космическая геофизика. Под ред. А. Эгеленда, О.Хольтера и О. Охмольта. М.: Мир, 1976.
26. Лихтер Я.И., А.В. Гульельми, Л.М. Ерухимов, Г.А.Михайлова. Волновая диагностика приземной плазмы, М.: Наука, 1988.
27. Лайонс Л., Уильямс Д. Физика Магнитосферы. Количественный подход. М.: Мир, 1987.
28. Ионосферно –магнитные возмущения на высоких широтах. Под ред. О.А. Трошичева и др. Л.:Гидрометеоиздат, 1986.
29. Кринберг И.А., Ташилин А.В. Ионосфера и плазмосфера., М.: Наука, 1984.
30. Итоги науки и техники. Исследование космического пространства. Т.24. 1986. Плазменные процессы в солнечной системе. Под. ред. Р.З. Сагдеева. М.: ВИНТИ, 1986.
31. Э.Гибсон. Спокойное Солнце. М.: Мир, 1977.
32. Поток энергии Солнца и его изменения. Под. ред. О.Уайт. М.: Мир, 1980.
33. Куликов К.А. Сфериическая астрономия. М.: Наука, 1975.
34. Подобед В.В., Несторов В.В. Общая астрометрия. М.: Наука, 1982.
35. Киселев А.А. Теоретические основы фотографической астрометрии. М.: 1989.
36. Абалакин В.К. Основы эфемеридной астрономии. М.: Наука, 1979.
37. Kovalevsky. J. Modern Astrometry. Kluwer Acad.Publ., 1995.
38. Walter H.G., Sovers O.J. Astrometry of Fundamental Catalogues. Springer, 2000.
39. Дубошин Г.Н. Небесная механика. Основные задачи и методы. М.: Физматгиз, 1962.
40. Дубошин Г.Н. Небесная механика. Аналитические и качественные методы. М.: Наука, 1964.
41. Субботин М.Ф. Введение в теоретическую астрономию. М.: Наука 1968.
42. Аксенов Е.П. Теория движения искусственных спутников Земли. М.: Наука, 1977.
43. Гребенников Е.А., Рябов Ю.А. Новые качественные методы в небесной механике. М.: Наука, 1971.
44. Бахшиян Б.Ц., Назиров Р.Р., Эльясберг П.Е. Определение и коррекция движения: гарантирующий подход. М.: Наука, 1980.
45. Губанов В.С. Обобщенный метод наименьших квадратов. СПб.: Наука, 1997.

46. Емельянов Н.В. Методы составления алгоритмов и программ в задачах небесной механики. М.: Наука, 1983.
47. Холшевников. К.В. Асимптотические методы небесной механики. Л.: Изд-во ЛГУ, 1985.
48. Антонов В.А., Тимошкова Е.И., Холшевников К.В. Введение в теорию ньютонаовского потенциала. М.: Наука, 1988.
49. Murray C.D, Dermott S.F. Solar System Dynamics. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1999.
50. Binney J., Merrifield M. Galactic astronomy. Princeton: Princeton University Press, 1998.
51. Засов А.В., Постнов К.А. Общая астрофизика, М.: Век-2, 2015
52. Мартынов Д.Я. Курс практической астрофизики, М.: Наука, 1977.
53. Мартынов Д.Я. Курс общей астрофизики, М.: Наука, 1988.
54. Физика космоса: маленькая энциклопедия. М.: Сов. энциклопедия, 1986.
55. Грей Д. Наблюдения и анализ звездных фотосфер. М.: Мир, 1980.
56. Куликовский П.Г. Звездная астрономия. М.: Наука, 1985.
57. Марочник Л.И., Сучков А.А., Галактика. М.: Наука, 1986.
58. Краус Дж. Радиоастрономия. М.: Сов. радио, 1972.
59. Липунов В.М. Астрофизика нейтронных звезд. М.: Наука, 1987.
60. Соболев В.В. Курс теоретической астрофизики. М.: Наука, 1985.
61. Щеглов П.В. Проблемы оптической астрономии. М.: Наука, 1986.
62. Рузмайкин А.А., Соколов Д.Д., Шукров А.М.: Магнитные поля галактик. М.: Наука, 1988.
63. Гоффмейстер К., Рихтер Г., Венцель В. Переменные звезды. М.: Наука, 1990.

Дополнительная литература

1. Мориц Г., Мюллер А. Вращение Земли: Теория и наблюдения. Киев: Наукова думка, 1992.
2. Губанов В.С., Финкельштейн А.М., Фридман П.А. Введение в астрометрию. М.: Наука, 1983.
3. Кинг-Хили Д. Теория орбит искусственных спутников в атмосфере. М.: Мир, 1966.
4. Уокер Г. Астрономические наблюдения. М.: Мир, 1990.
5. Токовинин А.А. Звездные интерферометры. М.: Наука, 1988.
6. Кондратьев Б.П. Теория потенциала и фигуры равновесия. Москва-Ижевск: РХД, 2003
7. Многоканальная астрономия. Под ред. А.М. Черепашку.. М.: Век-2, 2019.
8. Сим Э., Триттон К. Детекторы слабого излучения в астрономии. М.: Мир, 1986
9. Сильченко О.К. Происхождение и эволюция галактик. М.: Век-2, 2017.
10. Каплан С.А., Пикельнер С.Б. Физика межзвездной среды. М.: Наука, 1979.
11. Сотникова Р.Т.. Вайнштейн В.Г. Введение в гелиофизику. Иркутск: ИГУ, 2013.
12. Христиансен У., Хегбом И. Радиотелескопы. М.: Мир, 1988.
13. Верходанов О.В., Парицкий Ю.Н. Радиогалактики и космология М.: Физматлит, 2009.
14. Москаленко Е.И. Методы внеатмосферной астрономии. М.: Наука, 1984.
15. Михалас Звездные атмосферы. М.: Мир, 1982.
16. Рольфс К. Лекции по теории волн плотности. М.: Мир, 1980.
17. Шапиро С.А., Тьюколски С.А. Черные дыры, белые карлики и нейтронные звезды. М.: Мир, 1985.
18. Саслау Ч. Гравитационная физика звездных и галактических систем. М.: 1989.
19. Долгов А.Д., Зельдович Я.Б., Сажин М.В. Космология ранней Вселенной. М.: Изд-во МГУ, 1988.

Примечания

По физико-математическим наукам - разделы 1(пп 1.1-1.4), 2 (пп 2.1-2.5), 3 (пп 3.1, 3.2), 4(пп 4.2-4.5), 5 (пп 5.1-5.6), 6 (пп 6.1-6.9), 7 (пп 7.1-7.5), 8 – 10, 11 (11.1-11.8), 12-17 программы.

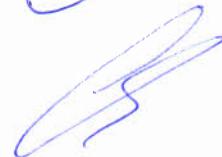
По техническим наукам - разделы 1(пп 1.4, 1.5), 2(пп 2.1, 2.3, 2.6, 2.7), 3(пп 3.2, 3.3), 4 (пп 4.1, 4.2, 4.4), 5 (пункт 5.3), 11 (пп 1.9-1.19), 12 – 14, 15 (пп 5.1-5.3, 5.11), 17 программы.

Зав. астрономическим отделением
физического факультета
МГУ имени М.В.Ломоносова
профессор



К.А. Постнов

110 Зав. кафедрой физики космоса
физического факультета
МГУ имени М.В.Ломоносова
профессор



С.И. Свертилов



**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В. ЛОМОНОСОВА**



**ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ
ПРИКАЗ**

«30» 03 2022 г. Москва № 410/а

Об утверждении временных рабочих программ кандидатских экзаменов

На основании решения Учёного совета физического факультета

приказываю:

Утвердить прилагаемые временные рабочие программы кандидатских экзаменов по следующим специальностям:

- 1.1.2 Дифференциальные уравнения и математическая физика;
- 1.1.10 Биомеханика и биоинженерия;
- 1.3.1 Физика космоса, астрономия;
- 1.3.15 Физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий;
- 1.6.9 Геофизика;
- 1.6.17 Океанология;
- 1.6.18 Науки об атмосфере и климате.

Основание: выписка из протокола № 1 заседания Учёного совета от 24.02.2022.

**Декан
физического факультета
профессор**

 **Н.Н.Сысоев**