

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова»

ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

УТВЕРЖДАЮ

И.о. декана физического
факультета МГУ



/ В.В. Белокуров /

«21» марта 2024 г.

**ПРОГРАММА-МИНИМУМ
КАНДИДАТСКОГО ЭКЗАМЕНА ПО СПЕЦИАЛЬНОСТИ**

1.3.1 Физика космоса, астрономия

Шифр и наименование области науки

1. Естественные науки

Наименование отраслей науки, по которым присуждаются ученые степени

Физико-математические науки

Москва 2024

I. Описание программы

Программа-минимум кандидатского экзамена, разработана Физическим факультетом Московского государственного университета им. М.В.Ломоносова на основе паспорта научной специальности, утвержденного Высшей аттестационной комиссией при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации, и учебного плана программы подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре по специальности 1.3.1 Физика космоса, астрономия, в отрасли физико-математических наук.

II. Основные разделы и вопросы к экзамену

Тема 1 Системы координат

Явления прецессии, нутации, абберации и рефракции. Приведение на видимое место.

Методы определения основных астрометрических постоянных. Теоретические связи между постоянными. Системы астрономических постоянных 1896, 1964, 1976/80 гг.

Геометрический, кинематический и динамический методы построения системы отсчета.

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

Хранение и воспроизведение шкал времени и эталонных частот. Методы их распространения и синхронизации.

Тема 2. Наземная оптическая астрометрия

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

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

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

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

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

Использование ПЗС в астрометрии.

Техника лазерной локации ИСЗ и Луны.

Тема 3. Космическая астрометрия

Методы позиционных измерений небесных объектов с помощью космических аппаратов. Проекты Hipparcos и GAIA.

Интерферометрические методы в астрометрии. Наземные и космические интерферометры.

Спутниковые навигационные системы. Орбитальные и наземные технические средства.

Тема 4. Радиоастрометрия

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

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

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

Радиолокационные и радиоинтерферометрические методы наблюдений тел Солнечной системы.

Методы согласования оптических и радиосистем координат.

Тема 5. Вращение Земли и ее ориентация в пространстве

Уравнения Эйлера, Пуассона, Лиувилля.

Неравномерность вращения Земли вокруг оси. Движение полюсов.

Инструменты для изучения вращения Земли: пассажный инструмент, зенит-телескоп, призменная астролябия, фотографическая зенитная труба, РСДБ, лазерный дальномер, системы GPS и Глонасс.

Интерпретация движения полюсов и неравномерности вращения Земли. Короткопериодические, сезонные, вековые вариации вращения Земли. Чандлеровское движение полюса.

Международная Служба Вращения Земли (IERS), ее организации и задачи. Стандарты МСВЗ (IERS).

Изучение прецессии и нутации оси вращения Земли методами РСДБ.

Тема 6. Аналитические методы небесной механики

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.

Уравнения движения Эйлера и Лагранжа в оскулирующих элементах. Теория возмущенного движения. Малые параметры в теории движения планет и спутников. Промежуточные орбиты. Разложение пертурбационной функции.

Интегрирование с помощью рядов по степеням времени (метод неопределенных коэффициентов и метод рядов Ли).

Формальное интегрирование уравнений движения в элементах промежуточной орбиты методом малого параметра Ляпунова-Пуанкаре. Малые знаменатели. Резонанс.

Теоремы Пуанкаре о ранге и классе возмущений. Сходимость в методе малого параметра.

Формальное интегрирование методом осреднения. Асимптотический характер метода осреднения.

Канонические преобразования. Метод Гамильтона-Якоби.

Метод преобразований Ли в теории возмущений. Теория вековых возмущений.

Уравнения поступательно-вращательного движения небесных тел. - Стационарные решения этих уравнений.

Тема 7. Качественные методы небесной механики

Переменные действие - угол. Интегрируемые системы. Теорема Лиувилля
Теоремы Брунса и Пуанкаре об интегрируемости задачи нескольких тел.

Сохранение фазового объема. Периодические орбиты. Методы Ляпунова и Пуанкаре. Функция последования.

Условно-периодические функции. Среднее значение. Инвариантные торы. Основные идеи метода Колмогорова - Арнольда - Мозера.

Основы первого и второго методов Ляпунова определения устойчивости движения. Орбитальная устойчивость. Устойчивость по Лагранжу. Устойчивость по Пуассону.

Ограниченная задача трех тел. Интеграл Якоби. Топология поверхностей Хилла. Устойчивость точек либрации. Семейства периодических решений вблизи точек либрации.

Тема 8. Основы гравиметрии

Основы теории гравитационного потенциала. Представление потенциала в виде разложения по сферическим функциям. Сходимость разложения. Гравитационный потенциал Земли, Луны, планет. Масконы.

Основы теории фигуры Земли. Методы определения параметров гравитационного поля и фигуры.

Тема 9. Движение спутников планет и искусственных спутников

Земли

Возмущенное движение спутников. Промежуточная орбита. Возмущающие факторы в движении естественных спутников планет. Возмущающие факторы в движении искусственных спутников Земли.

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.

Интегрирование уравнений обобщенной задачи двух неподвижных центров. Характер движения. Формулы промежуточной орбиты. Возмущения на основе промежуточной орбиты обобщенной задачи двух неподвижных центров.

Задача Хилла и ее использование в теории движения.

Возмущения, вызываемые сопротивлением атмосферы планеты. Возмущения от светового давления и приливов в теле упругой планеты.

Тема 10. Определение орбит по результатам измерений

Постановка задачи определения орбит. Определение орбиты по двум положениям. Основы методов Лапласа и Гаусса определения орбиты по трем угловым наблюдениям.

Метод дифференциального уточнения параметров движения небесных тел из наблюдений. Метод наименьших квадратов при известной ковариационной матрице наблюдений. Метод коллокации. Метод наименьших модулей.

Построение условных уравнений при уточнении элементов орбит спутников из лазерных и радиотехнических наблюдений.

Тема 11. Приборы и методы астрофизики

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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.

Радиометры. Антенная температура, шумовая температура, полоса пропускания, чувствительность. Акустооптические спектрометры.

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

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

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

Тема 12. Солнце и Солнечная система

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

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

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

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

Физическое состояние межпланетной среды. Метеорное вещество.

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

Тема 13. Звезды

Спектральная классификация звезд, ее физическая интерпретация.

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

Источники энергии на различных стадиях эволюции звезд. Термоядерные реакции. 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.

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

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

Переменные и нестационарные звезды. Пульсирующие переменные (цефеиды, долгопериодические переменные, переменные типа КК Лиры). Звезды с оболочками (Ве, МК). Звезды типа Т Тельца. Объекты Ae/BeХербига. Катаклизмические переменные.

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

Тема 14. Основы теоретической астрофизики

Элементарные процессы излучения и поглощения электромагнитных квантов. Излучение и распространение радиоволн в тепловой плазме. Космические источники теплового и нетеплового излучения в различных областях спектра.

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

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

Модели звездных атмосфер. Механизмы образования линий поглощения. Понятие эквивалентной ширины линий. Профили линий, механизмы уширения линий. Кривая роста. Химический состав звездных атмосфер.

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

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

Тема 15. Галактика

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

Звездные скопления и ассоциации. Интерпретация диаграмм цвет-звездная величина.

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

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.

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

Физическое состояние межзвездного газа. Молекулярные облака, области H1 и HI, корональный газ, мазерные конденсации. Механизмы излучения газа в различных состояниях.

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

Диагностика плазмы: мера дисперсии, мера вращения, тепловое радиоизлучение.

Ударные волны в межзвездной среде. Остатки сверхновых и их эволюция.

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

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

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

Тема 16. Звездная динамика

Строение Галактики. Звездные населения и подсистемы. Спиральная структура Галактики.

Звёздная кинематика. Вращение Галактики и движение Солнца относительно её центра.

Модели Галактики и орбиты звезд в них.

Фазовая плотность и уравнение Больцмана для звёздных систем. Интегралы движения. Теорема вириала и её применение. Регулярные и иррегулярные силы. Время релаксации.

Теория движения в поле ротационно-симметричного потенциала. Поле направлений движения.

Гидродинамические уравнения Эйлера во вращающейся системе координат. Уровневые поверхности. Фундаментальные свойства фигур равновесия.

Тема 17. Внегалактическая астрономия и элементы космологии

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

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

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

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

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

Шкала расстояний, закон Хаббла. Крупномасштабное распределение галактик.

Фридмановские модели расширяющейся Вселенной, понятие критической плотности и космологической постоянной. Постоянная Хаббла и "возраст" Вселенной.

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

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

Тема 18. Внутреннее строение Солнца и физические процессы, происходящие в недрах Солнца.

Спектральный класс, класс светимости, положение на диаграмме Герцшпрунга—Рассела. Возраст. Вращение.

Химический состав Солнца. Методы определения.

Глобальное магнитное поле Солнца. Переполюсовка.

Гидростатическое равновесие солнечного вещества; баланс сил, лучистое трение.

Источник солнечной энергии. Ядерные циклы. Солнечные нейтрино. Радиативная зона Солнца.

Конвективная зона Солнца. Условие возникновения конвекции. Конвективный перенос энергии.

Грануляция. Наблюдения и теоретические результаты.

Конвекция сверхсупергрануляционных масштабов (гигантские ячейки). Конвекция в присутствии вращения и магнитных полей.

Гелиосейсмология. Спектр собственных колебаний.

Тема 19. Структура и динамика солнечной атмосферы (конвективная зона, фотосфера, хромосфера, корона). Образования в солнечной атмосфере (активные области, пятна, протуберанцы и т.д.).

Фотосфера, непрерывный спектр, потемнение к краю. Фраунгоферов спектр. Грануляция. Пятиминутные колебания.

Хромосфера, ее структура, плотность, температура. Спикулы, супергрануляция и хромосферная сетка. Протуберанцы, их типы, физические свойства, устойчивость.

Корона Солнца, строение, яркость и поляризация. Непрерывный и линейчатый спектр. Температура и плотность. Ионизационное равновесие.

Излучение Солнца в видимой, рентгеновской и далекой ультрафиолетовой областях спектра. Радиационное остывание. Механизмы «уширения» спектральных линий. Линии поглощения.

Баланс энергии в атмосфере Солнца. Источники нагрева и охлаждения. Переходная область между хромосферой и короной.

Магнитные поля на Солнце: крупномасштабное поле, локальные поля. Солнечные пятна. Биполярные области. Тонкая структура полей.

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.

Тема 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.

Активные области и их магнитные поля. Число Вольфа.

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

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

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

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

Генерации рентгеновского и гамма излучения, солнечных космических лучей.

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

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.

Тема 21. Физика солнечной плазмы

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

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

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

Устойчивость. Методы исследования устойчивости. Энергетический принцип.

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

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

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.

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

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

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

Связь суббурь с солнечными вспышками. Повторяемость магнитных бурь.

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.

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

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.

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

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.

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

Тема 24. Радиационные пояса Земли.

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.

Тема 25. Волновые излучения магнитосферной плазмы. Ионосфера.

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

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.

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

Детекторы излучений. Оптические измерения фотосферы, хромосферы и короны Солнца. Понятие об оптических методах определения магнитного поля на Солнце. Спектрогелиограф.

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. Сцинтилляторы, полупроводниковые детекторы. Методы измерения температуры и скоростей микроскопических движений в ионосфере и верхней атмосфере.

Поляриметрия. Поляроиды. Призма Волластона. Пластинки $\lambda / 2$ и $\lambda / 4$. Электрооптические устройства. Параметры Стокса.

Методы измерений магнитного поля и лучевых скоростей Солнца. Вектор-магнитограф. Метод Лейтона. Солнечные магнитографы и стоксметры.

Радиофизические методы исследования солнечной короны.

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.

Масс - спектрометрия в исследованиях космической плазмы. Фильтр Вина. Энерго- масс- угловые анализаторы. Анализ зарядового состава ионов.

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.

Фотометрия полярных сияний и свечения атмосферы. Понятие о фототелевизионных измерениях планетарной картины свечения полярных сияний со спутников. Основные эмиссии полярных сияний.

Измерения электрических и магнитных полей. Зондовая методика. Бариевые облака. Магнитометры (феррозондовый, индукционный, квантовый). Электрические и магнитные антенны. Понятие об электромагнитной совместимости, о магнитной чистоте космического аппарата.

Внеатмосферные наблюдения Солнца, планет солнечной системы, основные приборы и методы. Гамма-, рентгеновские, ультрафиолетовые, инфракрасные телескопы: особенности схем и конструкций.

III. Критерии оценивания

Критерии и показатели оценивания ответа на экзамене			
Неудовлетворительно	Удовлетворительно	Хорошо	Отлично

Фрагментарные знания в области физики космоса, астрономии	Неполные знания в области физики космоса, астрономии	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания в области физики космоса, астрономии	Сформированные и систематические знания в области физики космоса, астрономии
---	--	---	--

IV. Рекомендуемая 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. Приста, 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. Росси Б., 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.:Гидрометеиздат, 1986.
29. Кринберг И.А., Тацилин 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. Сферическая астрономия. М.: Наука, 1975.
34. Подобед В.В., Нестеров 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 ньютоновского потенциала. М.: Наука, 1988.
49. Murray C.D, Dermott S.F. Solar System Dynamics. Cambridge: CambridgeUniv. Press, 1999.
50. Binney J., MerrifieldM. Galactic astronomy. Princeton: PrincetonUniversityPress, 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., Шукуров А.М.: Магнитные поля галактик. М.: Наука, 1988.
63. Гоффмейстер К., Рихтер Г., Венцель В. Переменные звезды. М.: Наука, 1990.

V. Рекомендуемая 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. Черепашука.. 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., Парийский 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.