

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

УТВЕРЖДАЮ

И.о. декана физического факультета МГУ,
профессор, д.ф.-м.н.



/ В.В. Белокуров /

« 21 » марта 2024 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Физика космоса, астрономия

Space Physics, Astronomy

Программа (программы) подготовки
научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре
Физика космоса, астрономия
(103-01-00-131)

Москва 2024

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с Приказом по МГУ от 24 ноября 2021 года № 1216 «Об утверждении Требований к основным программам подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре, самостоятельно устанавливаемых Московским государственным университетом имени М.В.Ломоносова».

1. Краткая аннотация:

Название дисциплины: Физика космоса, астрономия.

Цель изучения дисциплины – расширение и углубление знаний о современном состоянии и тенденциях развития в области физики космоса и астрономии.

2. Уровень высшего образования - подготовка кадров высшей квалификации.

3. Научная специальность: 1.3.1 Физика космоса, астрономия; область науки: естественные науки.

4. Место дисциплины (модуля) в структуре Программы аспирантуры: дисциплины (модули), направленные на подготовку к кандидатским экзаменам - Дисциплина, совпадающая с наименованием научной специальности.

5. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества академических или астрономических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся:

*Объем дисциплины (модуля) составляет 3 зачетных единицы, всего **108** часов, из которых **54** часа составляет контактная работа аспиранта с преподавателем (**52** часа занятия лекционного типа, **2** часа мероприятия текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации), **54** часа составляет самостоятельная работа учащегося.*

6. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия.

Необходимы знания высшей математики и общей физики в объеме курсов, преподаваемых на физических специальностях классических университетов, полученных на предыдущих уровнях высшего образования.

7. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля), форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Всего (часы)	В том числе								
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них						Самостоятельная работа обучающегося, часы из них		
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Групповые консультации	Индивидуальные консультации	Учебные занятия, направленные на проведение текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации	Всего	Выполнение домашних заданий	Подготовка к коллоквиумам	Всего
Тема 1. Системы координат (Явления прецессии, нутации, aberrации и рефракции. Методы определения основных астрометрических постоянных. Геометрический, кинематический и динамический методы построения системы отсчета. Измерение времени. Релятивистские шкалы времени. Хранение и воспроизведение шкал времени и эталонных частот. Методы их распространения и синхронизации.)	4	2					2	2		2
Тема 2. Наземная оптическая астрометрия. Космическая	4	2					2	2		2

астрометрия. <i>(Меридианная астрометрия. Звездные каталоги и их систематические ошибки. Вывод фундаментальной системы звездных положений и собственных движений. Фотографическая астрометрия. Определение собственных движений и параллаксов звезд. Фотографические каталоги. Использование ПЗС в астрометрии. Техника лазерной локации ИСЗ и Луны. 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.)</i>										
Тема 3. Радиоастрометрия <i>(Радиоинтерферометры со сверхдлинной базой (РСДБ), устройство, принцип измерений. Корреляционная обработка сигналов в РСДБ. Радиоастрономические методы определения координат объектов, неравномерности вращения Земли, движения полюсов и</i>	6	2					2	4		4

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 4. 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 MCB3 (IERS).	6	2					2	4		4

Изучение прецессии и нутации оси вращения Земли методами РСДБ.										
Тема 5. 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 Эйлера и Лагранжа в оскулирующих элементах. Теория возмущенного движения. 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. Формальное интегрирование методом осреднения. Канонические преобразования. Метод Гамильтона-Якоби. Метод преобразований Ли в теории возмущений. Теория вековых возмущений. Уравнения поступательно-вращательного движения небесных тел.)	6	4					4	2		2
Тема 6. Качественные методы небесной механики	4	2					2	2		2

(Переменные действие - угол. Интегрируемые системы. Сохранение фазового объема. Периодические орбиты. Условно-периодические функции. Среднее значение. Основы первого и второго методов Ляпунова определения устойчивости движения. Орбитальная устойчивость. Ограниченная задача трех тел. Интеграл Якоби. Топология поверхностей Хилла. Устойчивость точек либрации. Семейства периодических решений вблизи точек либрации.)										
Тема 7. 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).	4	2					2	2		2
Тема 8. Движение спутников планет и искусственных спутников Земли. Определение орбит по результатам измерений.	4	2					2	2		2

(Возмущенное движение спутников. Промежуточная орбита. Возмущающие факторы в движении естественных спутников планет. Разложение возмущающей функции, обусловленной не центральностью гравитационного поля планеты.. Возмущающая функция от притяжения внешнего тела. Лунно-солнечные возмущения ИСЗ. Интегрирование уравнений обобщенной задачи двух неподвижных центров. Характер движения. Формулы промежуточной орбиты. Задача Хилла и ее использование в теории движения. 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 9. Приборы и методы астрофизики <i>(Оптические телескопы. Активная и адаптивная оптика. Принципы спектрального анализа. Спектрографы. Солнечные телескопы: целостат, коронограф. Принципы измерения магнитных полей на Солнце. Приемники оптического излучения. Приборы с зарядовой связью. Особенности регистрации инфракрасного излучения. Шкала звездных величин и показателей цвета. Фотометрические системы. Поляризационные наблюдения. Радиотелескопы, принцип работы. Различные типы антенн Радиометры. Антенная температура, шумовая температура, полоса пропускания, чувствительность. Радиоинтерферометры. Метод апертурного синтеза. Интерферометрия со сверхдлинными базами).</i>	4	2					2	2		2
Тема 10. Солнце и Солнечная система <i>(Основные характеристики Солнца как звезды. Внутреннее</i>	4	2					2	2		2

строение. Фотосфера. Хромосфера. Корона. Солнечный ветер. Активные образования на Солнцею Рентгеновское излучение Солнца. Спокойное и спорадическое радиоизлучение. Представление о гелиосейсмологии. Основные характеристики планет 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.)										
Тема 11. Звезды (Спектральная классификация звезд. 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. Конечные стадии звездной эволюции. Двойные и кратные звезды. Затменно-переменные. Тесные	6	4					4	2		2

двойные системы и особенности их эволюции. Аккреция на компактные звезды. Рентгеновские источники в двойных системах. Новые звезды. Барстеры. Переменные и нестационарные звезды. Сверхновые звезды, типы сверхновых, наблюдаемые особенности.)										
Тема 12. Основы теоретической астрофизики (Элементарные процессы излучения и поглощения электромагнитных квантов. Космические источники теплового и нетеплового излучения в различных областях спектра. Механизмы переноса энергии. Уравнение переноса. Источники поглощения в континууме в атмосферах звезд и форма непрерывных спектров для звезд различных классов. Модели звездных атмосфер. Механизмы образования линий поглощения. Химический состав звездных атмосфер. Уравнения, описывающие внутреннее строение звезд. Уравнение состояния вырожденного газа. Предельная масса белых карликов и нейтронных звезд. Теория космического	6	2					2	4		4

радиоизлучения. Тормозное излучение плазмы. Магнитотормозное излучение. Синхротронное излучение релятивистских электронов).										
Тема 13. Галактика (Строение Галактики. Звездные населения и подсистемы Галактики. Балдж, бар и толстый диск. Центр Галактики. Спиральная структура Галактики. Звездные скопления и ассоциации. Звездная кинематика. Вращение Галактики. Пространственно-возрастные, кинематические и химические различия между звездными населениями. Физическое состояние межзвездного газа. Молекулярные облака, области H1 и HII, корональный газ, мазерные конденсации. Оптическое излучение межзвездного газа. Запрещенные линии. Газовые туманности различных типов. Диагностика плазмы: мера дисперсии, мера вращения, тепловое радиоизлучение. Ударные волны в межзвездной среде. Гравитационная неустойчивость газовой среды и конденсация газа. Протозвезды и молодые звезды. Области	4	2					2	2		2

звздообразования. Межзвездная пыль, наблюдаемые проявления. Межзвездное поглощение и его учет. Межзвездные магнитные поля, наблюдаемые проявления. Понятие вмороженности поля. Космические лучи, их проявления, основные источники.)										
Тема 14. Звездная динамика (Орбиты звезд в гравитационном поле со сферической и осевой симметрией. Теорема вириала и её применение. Фазовая плотность и уравнение Больцмана для звёздных систем. Решение уравнения Больцмана. Равновесие и устойчивость звездных систем. Гидродинамические уравнения Джинса. Интегралы движения. Регулярные и иррегулярные силы. Диффузия и динамическое трение. Время релаксации и время жизни звездных систем. Динамическая эволюция звездных скоплений.)	4	2					2	2		2
Тема 15. Внегалактическая астрономия и элементы космологии (Классификация галактик. Особенности структуры галактик разных морфологических типов. Размеры, светимость, скорость вращения и масса галактик, принципы их	4	2					2	2		2

оценок. Карликовые галактики, наблюдаемые особенности. Группы и скопления галактик. Взаимодействующие галактики. Межгалактический газ в системах галактик. Галактики с активными ядрами. Квазары. Радиоизлучение галактик и их ядер. 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 16. Внутреннее строение Солнца и физические процессы, происходящие в недрах Солнца. (Спектральный класс, класс светимости, положение на диаграмме Герцшпрунга—Рассела. Возраст. Вращение. Химический состав Солнца.	4	2					2	2		2

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 17. Структура и динамика солнечной атмосферы. Образования в солнечной атмосфере. (Фотосфера, непрерывный спектр, потемнение к краю. Фраунгоферов спектр. Грануляция. Пятиминутные колебания. Хромосфера, ее структура, плотность, температура. Спикулы. Протуберанцы.	4	2					2	2	2

Корона Солнца, строение, яркость и поляризация. Непрерывный и линейчатый спектр. 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. Радиоизлучение спокойного Солнца и активных областей. Всплески радиоизлучения I- V типов, причины возникновения их радиоизлучения, особенности всплесков в сантиметровом и дециметровом диапазонах. Низкочастотное радиоизлучение. Исследование Солнца радиофизическими методами.)										
Тема 18. Солнечная активность и циклы солнечной активности на различных временных масштабах. Магнитные поля на Солнце и активные явления. Солнечные излучения всех	4	2					2	2		2

диапазонов. Солнечные космические лучи. (Активные области и их магнитные поля. Число Вольфа. Солнечные циклы. Солнечная вспышка. Корональные выбросы массы, их связь со вспышкой и воздействие на магнитосферы планет. Петли и яркие рентгеновские точки. Генерации рентгеновского и гамма излучения, солнечных космических лучей. Ускорение частиц на Солнце. Ускорение частиц при магнитном пересоединении. Стохастическое ускорение. Ускорение ударными волнами. Радиоизлучение Солнца. Ультрафиолетовое и рентгеновское излучение Солнца. 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 19. Физика солнечной плазмы. (Основные параметры солнечной атмосферы. Кулоновское взаимодействие.	4	2					2	2		2

Квазинейтральность. Проводимость. Теплопроводность. Магнитная гидродинамика. Основные уравнения. Понятия вмороженности. Силы, действующие на плазму в магнитном поле. 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 20. 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. Теория переноса солнечных космических лучей. Расширяющаяся корона и солнечный ветер. Межпланетное	4	2					2	2		2

магнитное поле, спираль Паркера. Ударные волны в солнечном ветре. Структура межпланетного магнитного поля. Взаимодействие межпланетной среды с магнитосферой Земли. Связь суббурь с солнечными вспышками. Повторяемость магнитных бурь. Солнечный ветер, его состав, скорость, температура, плотность. «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 21. Магнитосфера Земли. Магнитосферы планет солнечной системы. Солнечно-земная физика и солнечно-земные связи. (Обтекание магнитосферы Земли солнечным ветром. Структура магнитосферы. Магнитопауза. Полярные каспы. Геомагнитный хвост. Плазменный слой и крупномасштабный	4	2					2	2		2

электрический ток хвоста. Крупномасштабные электрические поля в магнитосфере и конвекция плазмы. 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. Понятие о связи полярных сияний с основными магнитосферными структурами – плазменным слоем, каспом. Магнитосферы Юпитера и Сатурна. Магнитосфера Урана. Вырожденные магнитосферы Венеры, Марса, кометы Галлея. Магнитосфера Меркурия. Понятие о гелиосфере.										
Тема 22. 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	4	2					2	2		2

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 storm-тайм вариация геомагнитного поля (Dst - вариация). Понятие о радиационной опасности для аппаратуры в поясе радиации. Понятие о радиационных поясах магнитосфер Юпитера и Сатурна.)										
Тема 23. Волновые излучения магнитосферной плазмы. Ионосфера. (Волновые излучения магнитосферной плазмы. Вистлеры, шипения, авроральное километровое радиоизлучение (АКР), ионно-циклотронные волны. Понятие о взаимодействии волн и частиц в магнитосфере. Верхняя атмосфера. Состав атмосферы. Ионосфера. Источники ионизации. Распределение электронной концентрации по высоте в среднеширотной ионосфере. Поглощение радиоволн. Частота столкновений электронов.	4	2					2	2		2

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 24. 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. Фотографическая фотометрия. Фотоэлектрические приемники радиации. Фотоумножитель. Электронно-оптический преобразователь. Микроканальные пластины и ПЗС-матрицы. Коллекторы, ВЭУ, КЭУ, ФЭУ. Сцинтилляторы, полупроводниковые детекторы.	4	2					2	2		2

Методы измерения температуры и скоростей микроскопических движений в ионосфере и верхней атмосфере. 2Поляриметрия. Поляроиды. Электрооптические устройства. Параметры Стокса. Методы измерений магнитного поля и лучевых скоростей Солнца. Радиофизические методы исследования солнечной короны. Зондовые методы исследования плазмы. Электростатический анализатор плазмы. Анализаторы с тормозящим и отклоняющим полем. Магнитные анализаторы. Модуляционные ловушки. Масс - спектрометрия в исследованиях космической плазмы. Радиофизические методы исследования ионосферной плазмы. Метод абсорбционного и рефракционного просвечивания атмосфер планет. Фотометрия полярных сияний и свечения атмосферы. Основные эмиссии полярных сияний. Измерения электрических и магнитных полей. Зондовая методика. Бариевые облака. Электрические и магнитные антенны. Внеатмосферные наблюдения Солнца, планет солнечной системы, основные приборы и методы. Гамма-, рентгеновские,										
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

ультрафиолетовые, инфракрасные телескопы: особенности схем и конструкций										
Промежуточная аттестация: допуск к кандидатскому экзамену						2				
Итого	108	52				2	54	50		54

8. Образовательные технологии

Используемые формы и методы обучения: лекции и семинарские занятия, самостоятельная работа аспирантов.

В процессе преподавания дисциплины преподаватель использует как классические формы и методы обучения (лекции и семинарские занятия), так и активные методы обучения.

При проведении лекционных занятий преподаватель использует при необходимости аудиовизуальные, компьютерные и мультимедийные средства обучения, а также демонстрационные и наглядно-иллюстрационные (в том числе раздаточные) материалы.

9. Учебно-методические материалы для самостоятельной работы по дисциплине (модулю): аспирантам предоставляется программа курса, план занятий и задания для самостоятельной работы, презентации к лекционным занятиям.

10. Ресурсное обеспечение:

Основная литература:

1. Засов А.В., Постнов К.А. Общая астрофизика. М. ДМК Пресс, 2022
2. Жаров В.Е. Сферическая астрономия. М. ДМК Пресс, 2022
3. Прист Э.Р. Солнечная магнитогидродинамика. М.: Мир, 1985
4. Лихтер Я.И., А.В. Гульельми, Л.М. Ерухимов, Г.А. Михайлова. Волновая диагностика приземной плазмы, М.: Наука, 1988.
5. Walter H.G., Sovers O.J. Astrometry of Fundamental Catalogues. Springer, 2000.
6. Кононович Э.В., Мороз В.И. Общий курс астрономии. М., УРСС, 2004.
7. Мирошниченко Л. И. Физика Солнца и солнечно-земных связей : учебное пособие Под ред. М. И. Панасюка. М.: Университетская книга, 2011. 174 с. :
8. Модель космоса. В 2т./ Под ред. М.И. Панасюка, Л.С. Новикова. М.: КДУ, 2007. Т.1. Физические условия в космическом пространстве, 871 с. Т.2. Воздействие космической среды на материалы и оборудование космических аппаратов, 1144 с.
9. Панасюк М.И. и др.. Радиационные условия в космическом пространстве: Учебное пособие. НИИ ядерной физики им. Д.В. Скобельцына; МГУ им. М.В. Ломоносова; -М. : Библион Русская книга, 2006. 132с.
10. Сильченко О.К. Происхождение и эволюция галактик. М.: Век-2, 2017.
11. Засов А.В., Постнов К.А. Общая астрофизика, М.: Век-2, 2015.

Дополнительная литература:

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

12. Гоффмейстер К., Рихтер Г., Венцель В. Переменные звезды. М.: Наука, 1990.
13. Акасофу С., Чепмен С. Солнечно-земная физика, т. 1,2. М.: Мир, 1974, 1975.
14. Бруцек А., Дюран Ш. (Ред.). Солнечная и солнечно-земная физика. Иллюстрированный словарь терминов. Пер. с англ., 1980
15. Гибсон Э. Спокойное Солнце. М.: Мир, 1977
16. Зирин Г., Солнечная атмосфера. М., 1969
17. Дубошин Г.Н. Небесная механика. Основные задачи и методы. М.: Физматгиз, 1962.
18. Дубошин Г.Н. Небесная механика. Аналитические и качественные методы. М.: Наука, 1964.
19. Субботин М.Ф. Введение в теоретическую астрономию. М.: Наука 1968.
20. Аксенов Е.П. Теория движения искусственных спутников Земли. М.: Наука, 1977.
21. Гребенников Е.А., Рябов Ю.А. Новые качественные методы в небесной механике. М.: Наука, 1971.
22. Бахшиян Б.Ц., Назиров Р.Р., Эльясберг П.Е. Определение и коррекция движения: гарантирующий подход. М.: Наука, 1980.
23. Губанов В.С. Обобщенный метод наименьших квадратов. СПб.: Наука, 1997.
24. Емельянов Н.В. Методы составления алгоритмов и программ в задачах небесной механики. М.: Наука, 1983.
25. Холшевников. К.В. Асимптотические методы небесной механики. Л.: Изд-во ЛГУ, 1985.
26. Антонов В.А., Тимошкова Е.И., Холшевников К.В. Введение в теорию ньютоновского потенциала. М.: Наука, 1988.
27. Murray C.D, Dermott S.F. Solar System Dynamics. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1999.
28. Binney J., Merrifield M. Galactic astronomy. Princeton: Princeton University Press, 1998.
29. Лайонс Л., Уильямс Д. Физика Магнитосферы. Количественный подход. М.: Мир, 1987.
30. Ионосферно –магнитные возмущения на высоких широтах. Под ред. О.А. Трошичева и др. Л.:Гидрометеиздат, 1986.
31. Кринберг И.А., Тащилин А.В. Ионосфера и плазмаосфера., М.: Наука, 1984.
32. Итоги науки и техники. Исследование космического пространства. Т.24. 1986. Плазменные процессы в солнечной системе. Под. ред. Р.З. Сагдеева. М.: ВИНТИ, 1986.
33. Э.Гибсон. Спокойное Солнце. М.: Мир, 1977.
34. Поток энергии Солнца и его изменения. Под. ред. О.Уайт. М.: Мир,1980.
35. Куликов К.А. Сферическая астрономия. М.: Наука, 1975.
36. Подобед В.В., Нестеров В.В. Общая астрометрия. М.: Наука, 1982.
37. Киселев А.А. Теоретические основы фотографической астрометрии. М.: 1989.
38. Абалакин В.К. Основы эфемеридной астрономии. М.: Наука, 1979.
39. Kovalevsky. J. Modern Astrometry. Kluwer Acad.Publ., 1995.
40. Хундхаузен А. Расширение короны и солнечный ветер. М.: Мир, 1976.
41. Альвен Г., Фельдхаммар К.Г. Космическая электродинамика. М.: Мир, 1967.
42. Солнечная и солнечно-земная физика: Иллюстрированный словарь терминов. М.: Мир, 1980.
43. Космическая магнитная гидродинамика: Сб./ Под ред. Э. Приста, А. Худа, М.: Мир, 1995.
44. Сомов Б.В. Космическая электродинамика и физика Солнца. М.: Изд-во МГУ, 1993.
45. Паркер Е. Динамические процессы в межпланетной среде. М.: Мир, 1965.
46. Астрофизика космических лучей / Под ред. В.Л. Гинзбурга. М.: Наука, 1990.

47. Лонгейр М. Астрофизика высоких энергий. М.: Мир, 1984.
48. Росси Б., Ольберт С. Введение в физику космического пространства. М.: Атомиздат, 1974.
49. Космические лучи и солнечный ветер / Г.Ф. Крымский, А.И. Кузьмин, П.А. Кривошапкин и др. Новосибирск: Наука, 1981.
50. Соболев В.В. Курс теоретической астрофизики. М.: Наука, Физматлит, 1967.
51. Каплан С.А., Цытович В.Н., Пикельнер С.Б. Физика плазмы солнечной атмосферы, М.: Физматлит, 1977.
52. Пикельнер С.Б. Основы космической электродинамики, 2-е изд. М.: Физматгиз, 1966.
53. Топтыгин И.Н. Космические лучи в межпланетных магнитных полях. М.: Наука, 1983.
54. Структура и динамика солнечной короны // Труды Междунар. конф. по физике Солнца, посвящ. памяти проф. Г.М. Никольского. Троицк, 1999.
55. Акасофу С., Чепмен С. Солнечно-земная физика. М.: Мир, 1974.
56. Брандт Дж. Солнечный ветер. М.: Мир, 1972.
57. Хундхаузен А. Дж. Расширение короны и солнечный ветер. М.: Мир, 1976.
58. Хесс В. Радиационный пояс и магнитосфера земли. М.: Атомиздат, 1971.
59. Акасофу С. Полярный и магнитосферные суббури. М.: Мир, 1971.
60. Редерер Х. Динамика радиации, захваченной геомагнитным полем. М.: Мир, 1972.
61. Бауэр З. Физика планетных ионосфер. М.: Мир, 1976.
62. Космическая геофизика. Под ред. А. Эгеленда, О.Хольтера и О. Охмольта. М.: Мир, 1976.
63. Мориц Г., Мюллер А. Вращение Земли: Теория и наблюдения. Киев: Наукова думка, 1992.
64. Губанов В.С., Финкельштейн А.М., Фридман П.А. Введение в астрометрию. М.: Наука, 1983.
65. Кинг-Хили Д. Теория орбит искусственных спутников в атмосфере. М.: Мир, 1966.
66. Уокер Г. Астрономические наблюдения. М.: Мир, 1990.
67. Токовинин А.А. Звездные интерферометры. М.: Наука, 1988.
68. Кондратьев Б.П. Теория потенциала и фигуры равновесия. Москва-Ижевск: РХД, 2003
69. Многоканальная астрономия. Под ред. А.М. Черепашука.. М.: Век-2, 2019.
70. Сим Э., Триттон К. Детекторы слабого излучения в астрономии. М.: Мир, 1986
71. Сильченко О.К. Происхождение и эволюция галактик. М.: Век-2, 2017.
72. Каплан С.А., Пикельнер С.Б. Физика межзвездной среды. М.: Наука, 1979.
73. Сотникова Р.Т., Вайнштейн В.Г. Введение в гелиофизику. Иркутск: ИГУ, 2013.
74. Христиансен У., Хегбом И. Радиотелескопы. М.: Мир, 1988.
75. Верховданов О.В., Парийский Ю.Н. Радиогалактики и космология М.: Физматлит, 2009.
76. Москаленко Е.И. Методы внеатмосферной астрономии. М.: Наука, 1984.
77. Михалас Звездные атмосферы. М.: Мир, 1982.
78. Рольфс К. Лекции по теории волн плотности. М.: Мир, 1980.
79. Шапиро С.А., Тьюколски С.А. Черные дыры, белые карлики и нейтронные звезды. М.: Мир, 1985.
80. Саслау Ч. Гравитационная физика звездных и галактических систем. М.: 1989.
81. Долгов А.Д., Зельдович Я.Б., Сажин М.В. Космология ранней Вселенной. М.: Изд-во МГУ, 1988.

82. Алтынцев А.Т., В.Г. Банин, Г.В. Куклин., В.М. Томозов. Солнечные вспышки. М. : Наука, 1982. 246 с.
83. Брей Р., Р. Лоухед. Солнечные пятна. М. : Мир, 1967. 384 с.
84. Витинский Ю.И., М. Копецкий, Г.В. Куклин. Статистика пятнообразовательной деятельности Солнца. М.: Наука, 1986. 296 с.
85. Паркер Е.Н. Динамические процессы в межпланетной среде. «Мир», М., 1965.
86. Прист Э. Р. Солнечная магнитогидродинамика. М.: Мир, 1985. 589 с.
87. Смит Г., Смит Э. Солнечные вспышки: Пер. с англ., 1966.
88. Хундхаузен А. Расширение короны и солнечный ветер. М.: Мир, 1976.
89. Шабанский В.П., Веселовский И.С., Кропоткин А.П. Физика межпланетного и околоземного пространства. М.: Изд-во МГУ, 1981.
90. Шкловский И. С., Физика солнечной короны, 2 изд., М., 1962.
91. Aschwanden M. J. Physics of the Solar Corona: An Introduction with Problems and Solutions / M. J. Aschwanden. – N. Y. : Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2004. –942 p.
92. Parks G.K. Physics Of Space Plasmas: An Introduction. Westview Press, Boulder, 2004, 597 pp.

11. Язык преподавания – русский.

12. Преподаватели:

1. Д.ф.-м.н., профессор академик РАН Черепашук Анатолий Михайлович, cherepashchuk@gmail.com, тел.: 8(495)9394348.
2. Д.ф.-м.н., профессор Жаров Владимир Евгеньевич, vladzh2007@yandex.ru, тел.: 8(495)9393764.
3. К.ф.-м.н доцент Потанин Сергей Александрович, sr.potantin@gmail.com, тел.: 8(495)9391661.
4. К.ф.-м.н. старший преподаватель Красоткин Сергей Анатольевич, sergekras@rambler.ru тел.: 8(495)9394469.

Фонды оценочных средств, необходимые для оценки результатов обучения

Образцы домашних заданий:

1. Оценить изменение физических характеристик звезды при ошибке измерения ее параллакса в 20%.
2. При каких условиях влияние рефракции на склонение максимально?
3. 21 июня склонение Солнца равно $23^{\circ}27'$. На какой широте продолжительность дня для этого числа (21 июня) равна трём часам?
4. Найти те точки сферы, для которых эклиптическая долгота равна прямому восхождению, а эклиптическая широта равна склонению.
5. Оценить изменение полярного момента инерции Земли из-за зонального прилива О1, приводящего к вариациям продолжительности суток с амплитудой 360 мкс.
6. Доказать теорему о вириале для невырожденной сферически-симметричной звезды из идеального газа с показателем политропы Γ .
7. Оценить горизонт видимости во Вселенной для источника фотонов с энергией 100 ТэВ по процессу рождения электрон-позитронных пар на фотонах реликтового фона.
8. Как изменится предельная масс белых карликов при уменьшении массы электрона на 10%? Заряда электрона на 10%? (остальные константы считать постоянными).

9. Оцените возраст галактики с красным смещением $z=10$ в стандартной космологической модели.
10. Оцените радиус остатка вспышки сверхновой на адиабатической стадии с энергией взрыва 10^{51} эрг в межзвездной среде с плотностью 1 частица в куб. см через 1000 лет после взрыва.
11. Оцените температуру в центре звезды с плотностью 10^3 г/см³, ниже которой становятся важны эффекты вырождения электронного газа.
12. Выразите величину поглощения света в каждой цветовой полосе фотометрической системы (u g r i z) через избыток цвета $E(g-r)$.
13. Выведите уравнение для гравитационного потенциала равновесной модели сферически-симметричного звездного скопления с “пониженным” максвелловским распределением скоростей.
14. Выведите основные выражения, описывающие влияние некруговых движений в Галактике на наблюдаемые лучевые скорости звезд.
15. На основе теоремы вириала оцените темп диссипации звездных систем.
16. Оцените период малых вертикальных колебаний звезд относительно экваториальной плоскости Галактики.
17. Для плоской кривой вращения Галактике найдите положения основных резонансов.
18. Вычислить межпланетное электрическое поле в инерциальной системе координат, связанной с удаленными «неподвижными» звездами.
19. Используя лагранжиан релятивистской частицы, вывести законы сохранения для движения частиц в поле магнитного диполя.
20. Оценить характерные времена трех периодов финитного движения для протонов и электронов с энергией 1 МэВ.
21. Вычислить в дрейфовом приближении распределение плотности частиц вдоль силовой линии, если задано распределение по питч-углам на экваторе.
22. Определить плотность плазмы в солнечной короне для температуры 108 К при определенном значении радиуса Дебая.

Вопросы для промежуточной аттестации – зачета:

1. Перечислите основные параметры стандартной космологической модели.
2. В каких спектральных классах звезд наиболее сильны линии поглощения водорода и почему?
3. Каков период основной моды колебаний Солнца?
4. Перечислите наблюдательные проявления темной материи во Вселенной.
5. Как период пульсаций цефеид зависит от средней плотности звезды? Почему?
6. Что является источником энергии в квазарах?
7. Что такое Эддингтоновский предел светимости астрофизического источника? При каких условиях видимая светимость источника может его превышать?
8. Перечислите признаки наличия магнитного поля в межзвездной среде.
9. Почему возможна вмороженность магнитного поля в космическую плазму с плохой электропроводностью?
10. Перечислите основные ступени построения универсальной шкалы расстояний.
11. От каких аргументов зависит функция фазовой плотности стационарной звездной системы?
12. Как связано максимальное число изолирующих интегралов движения с классом симметрии системы?
13. Какова физическая основа использования звезд – гигантов красного сгущения в качестве “стандартных свечей”?

14. Объясните явление отставания центроидов от местного стандарта покоя (asymmetric drift) в дисковых галактиках.
15. Как влияют различия в содержании химических элементов в атмосфере на цвет и блеск звезд в фотометрических полосах UBV ?
16. Каков механизм пульсаций цефеид и переменных звезд типа RR Лиры ?
17. Объясните различия в пространственном распределении, кинематике и возрасте звездных населений диска Галактики.
18. Укажите основные принципы, лежащие в основе определения возраста, покраснения и расстояния звездных скоплений.
19. В чем суть Байесовских методов определения расстояний по тригонометрическим параллаксам?
20. Укажите основные недостатки и преимущества широкополосных, среднесполосных и узкополосных фотометрических систем.
21. На чём основано использование Сверхновых типа Ia в качестве ярких “стандартных свечей”?
22. Геоид. Современные методы определения фигуры геоида.
23. Прямые и обратные задачи гравиметрии.
24. Аналитическое представление глобального гравитационного поля Земли. Современные модели ГПЗ.
25. Почему чем больше параметр Фрида, тем более пригодно место для астрономических наблюдений?
26. Предложите методы устранения дисторсии при использовании цифровых изображений.
27. Чем определяется ошибка измерения фазы интерференции (фазовой задержки), скорости изменения фазы со временем (частоты интерференции) и скорости изменения фазы с частотой (групповой задержки) в радиоинтерферометрии?
28. От каких параметров зависит чувствительность радиоинтерферометра?
29. Перечислите основные причины неравномерности вращения Земли. Как определяются основные характеристики Солнца как звезды?
30. Каково положение Солнца на диаграмме Герцшпрунга-Рассела, как оно определяется и что определяет?
31. Что такое спектральный класс и класс светимости звезды?
32. Каков химический состав Солнца и как он определяется?
33. Что такое отрицательная теплоемкость? Какова ее связь с теоремой о вириале?
34. Что представляет общее (глобальное) магнитное поле Солнца?
35. В чем состоит явление переполюсовки Солнца и как оно объясняется?
36. Гидростатическое равновесие солнечного вещества; баланс сил, лучистое трение.
37. Что по современным представлениям является источником солнечной энергии?
38. Что такое ядро Солнца, каковы в нем физические условия и какие процессы протекают в нем?
39. В чем состоит проблема солнечных нейтрино и как она решается сегодня?
40. Какие ядерные циклы протекают на Солнце? Каково их энерговыделение, как его рассчитать?
41. Что такое конвективная зона Солнца? Каковы условия возникновения конвекции?
42. Что такое грануляция? Как она наблюдается? Каковы ее масштабы?
43. Что такое фотосфера? Каковы основные особенности ее наблюдений? Что называется фраунгоферовым спектром?
44. Что такое хромосфера? Каковы ее основные физические характеристики?

45. Что называется короной Солнца? Каковы ее физические свойства (строение, яркость, поляризация, непрерывный и линейчатый спектр, температура и плотность)? Что такое ионизационное равновесие?
46. Что называется атмосферой Солнца? Какой в ней баланс энергии, источники нагрева и охлаждения? Каковы особенности переходной области (между хромосферой и короной).
47. Каковы пространственные масштабы магнитных полей на Солнце? Что такое солнечные пятна и чем они характеризуются? Какова тонкая структура полей?
48. Что такое активные области? Каковы их магнитные поля?
49. В чем состоит явление солнечной цикличности? Какие циклы и как выделены на Солнце? Каковы главные закономерности динамики распределения активных областей в 11-летнем солнечном цикле?
50. Что такое солнечная вспышка? Каковы механизмы накопления и выделения энергии в ней? В чем особенности наблюдения вспышек в различных частях спектра?
51. Что такое корональные выбросы массы и какова их связь со вспышкой?
52. Космические лучи в спокойные и активные периоды. Потоки галактических и солнечных космических лучей на Земле. Влияние межпланетного магнитного поля. В чем состоит Форбуш-эффект?
53. Высокоскоростные потоки и их связь с корональными дырами и корональными выбросами массы. Ударные волны в солнечном ветре.
54. Структура межпланетного магнитного поля. Взаимодействие межпланетной среды с магнитосферой Земли. Причины, вызывающие суббури и главную фазу бури.
55. Связь суббурь с солнечными вспышками. Повторяемость магнитных бурь.
56. Что такое солнечный ветер? Каковы его состав, скорость, температура, плотность? Каково его распределение по гелиошироте? Что такое высокоскоростные потоки плазмы и корональные дыры?
57. Какова структура межпланетного магнитного поля вблизи плоскости эклиптики? Что такое гелиосферный токовый слой? Как возникают ударные волны и разрывы в солнечном ветре?
58. Как происходит распространение солнечных космических лучей в межпланетном пространстве? Как определяется граница гелиосферы?
59. Каковы методы измерения магнитного поля и лучевых скоростей Солнца. Вектор-магнитограф. Метод Лейтона. Что такое параметры Стокса?
60. Каковы основные параметры и индексы солнечной активности? В чем состоят особенности числа Вольфа как основного индекса солнечной активности?
61. Что такое цикличность солнечной активности? Как она проявляется? Какие циклы и как выделяются на Солнце?
62. Каковы особенности прогнозирования солнечной активности на различных временных шкалах?
63. Что такое вековые, одиннадцатилетние и квазидвухлетние вариации солнечной активности и как они выделяются?
64. Каковы общие характеристики спокойного, высокоскоростных и спорадических потоков солнечного ветра? Каков состав плазмы солнечного ветра?
65. Что такое космическая погода и каковы ее факторы, влияющие на Землю и околоземное космическое пространство? Чем определяется состояние космической погоды?
66. Каковы характеристики и динамика магнитных бурь? Каковы основные фазы магнитной бури?
67. Какое влияние оказывает излучение Солнца и космические лучи на озоновый слой и нижнюю атмосферу Земли? Как происходит ионизация атмосферы СКЛ, УФ и рентгеновскими вспышками?

68. Плазма в околоземном космическом пространстве. Основные характеристики и параметры плазмоподобных сред.
69. Галактические и солнечные космические лучи. Их характеристики и роль в солнечно-земном взаимодействии.
70. Ионосфера Земли. Основные слои, их аэрономия и процессы в них. Ионизация и рекомбинация. Типы рекомбинации
71. Солнечные возмущения (вспышки и их характеристики, протуберанцы и т.п.). Инструментальные наблюдения Солнца.
72. Магнитное поле Солнца. Структура магнитного поля на поверхности Солнца. Межпланетное магнитное поле и его характеристики. Модель Паркера.
73. Суточные, сезонные и геоциклические вариации параметров ионосферы. Подвижность зарядов в реальной ионосфере.
74. Солнечная активность и циклы Солнца. Числа Вольфа и диаграммы Маундера. Солнечный ветер.
75. Условия замагниченности на различных высотах в ионосфере. Роль гипотезы о замагниченности. Гирочастота.
76. Общие характеристики спокойного, высокоскоростных и спорадических потоков солнечного ветра. Состав плазмы солнечного ветра. Магнитное поле СВ.
77. Геоэффективность воздействия солнечного события ветра на магнитосферу и атмосферу Земли.
78. Факторы космической погоды, влияющие на Землю и околоземное космическое пространство. Геоэффективные события на Солнце и в гелиосфере.
79. Система эквивалентных токов в ионосфере и магнитосфере Земли. Долготный дрейф частиц и кольцевой ток. Радиационные пояса Земли и система токов.
80. Движение заряженной частицы в электрическом и магнитном полях. Различные частные случаи – движение в электрическом, магнитном и скрещенных полях. Траектории частиц. Адиабатичность процессов
81. Характеристики и динамика магнитных бурь, основные фазы магнитной бури.
82. Энергетика магнитной бури. Полярные сияния. Волновые явления в космической плазме.
83. Движение заряженной частицы в электрическом и магнитном полях. Общий случай движения . Рассмотрите три частных случая на выбор. Траектории частиц. Адиабатичность процессов
84. Магнитные бури и суббури как столкновение с магнитосферой ударной волны и коронарного выброса массы. Понятие о системе эквивалентных токов.
85. Применение теории МГД к физике ОКП. Космическая магнитная гидродинамика.
86. Геомагнитные индексы и проявления магнитных бурь. Зависимость индексов от вариаций солнечного цикла. Взаимосвязь индексов.

Методические материалы для проведения процедур оценивания результатов обучения

Зачет проходит по билетам, включающем 3 вопроса. Уровень знаний аспиранта по каждому вопросу на «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно». В случае если на все вопросы был дан ответ, оцененный не ниже чем «удовлетворительно», аспирант получает общую оценку «зачтено».

Шкала оценивания знаний, умений и навыков

Результат освоения дисциплины	Критерии оценивания знаний, умений и навыков			
	2/ не зачтено	3/ зачтено	4/ зачтено	5/ зачтено
Знания	Отсутствие знаний основных законов фундаментальной астрономии, астрофизики и физики Солнца.	В целом успешные, но не систематические знания основных законов фундаментальной астрономии, астрофизики и физики Солнца.	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы знания основных законов фундаментальной астрономии, астрофизики и физики Солнца.	Успешные и систематические знания основных законов фундаментальной астрономии, астрофизики и физики Солнца.
Умения	Отсутствие умения применять знания основных законов фундаментальной астрономии, астрофизики и физики Солнца. для решения научных задач	В целом успешное, но не систематическое применение знания основных законов фундаментальной астрономии, астрофизики и физики Солнца. для решения научных задач	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение применять знания основных законов фундаментальной астрономии, астрофизики и физики Солнца. для решения научных задач	Успешное и систематическое умение применять знания основных законов фундаментальной астрономии, астрофизики и физики Солнца. для решения научных задач
Навыки	Отсутствие/фрагментарное владение навыками решения научных задач в области фундаментальной астрономии, астрофизики и физики Солнца.	В целом успешное, но не систематическое владение навыками решения научных задач в области фундаментальной астрономии, астрофизики и физики Солнца.	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы владение навыками решения научных задач в области фундаментальной астрономии, астрофизики и физики Солнца.	Успешное и систематическое владение навыками решения научных задач в области физики фундаментальной астрономии, астрофизики и физики Солнца.