

1. СОДЕРЖАНИЕ ПРОГРАММЫ

Целью вступительного экзамена является проверка способности и готовности претендента к обучению по программам подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре, в соответствии с федеральными государственными требованиями, выполнению профессиональных задач в сфере научной деятельности.

Вступительные испытания в аспирантуру по научной специальности 1.3.1 Физика космоса, астрономия охватывают стандартные разделы университетских курсов по физике, радиофизике и астрономии. Также проверяются базовые умения математического аппарата. Содержание программы вступительных испытаний приведено ниже.

Раздел 1 ФИЗИКА

1.1 Механика

1.1.1. Основные законы механики.

Пространство и время в физике. Способы измерения протяженности и длительности (в лабораторной практике, в космических масштабах, в микромире). Материальная точка. Инерциальная система отсчета. Явление инерции. Первый закон Ньютона. Движение материальной точки под действием силы. Масса как мера инертности. Второй закон Ньютона. Взаимодействие материальных точек. Третий закон Ньютона. Гравитационное поле. Масса как источник гравитационного поля. Закон всемирного тяготения. Равенство гравитационной и инертной масс. Движение материальной точки относительно неинерциальных систем отсчета. Сила инерции. Сила Кориолиса. Движение абсолютно твердого тела. Вращательное движение. Угловая скорость. Плоское движение. Движение вокруг закрепленной точки. Углы Эйлера. Тензор инерции. Главные оси инерции тела. Уравнения Эйлера.

1.1.2. Законы сохранения в механике.

Импульс материальной точки. Закон изменения и сохранения импульса. Столкновение тел. Момент импульса. Закон изменения и сохранения момента импульса. Момент силы. Движение под действием момента сил. Механическая работа. Энергия. Кинетическая и потенциальная энергия системы материальных точек тела и системы тел. Закон сохранения механической энергии. Связь законов сохранения со свойствами пространства-времени. Роль законов сохранения в механике. Движение в центральном поле. Задача двух тел. Законы Кеплера. Рассеяние частиц.

1.1.3. Принцип относительности в механике.

Принцип относительности Галилея. Преобразование Галилея. Сложение скоростей в классической физике. Принцип относительности Эйнштейна. Преобразования Лоренца. Сокращение длин и замедление времени. Сложение скоростей в релятивистской физике. Эквивалентность массы и энергии. Импульс и энергия релятивистской частицы. Релятивистское уравнение движения.

1.1.4. Механические колебания и волны.

Условие возникновения колебаний. Малые колебания. Затухающие колебания. Вынужденные колебания. Резонанс. Колебания в системах связанных тел. Собственные частоты. Волны. Продольные и поперечные волны. Частота, длина волны, закон дисперсии, скорость, поляризация. Плоские и сферические волны. Волновые пакеты. Фазовая и групповая скорости. Элементы акустики.

1.1.5. Вариационные принципы в механике.

Принцип наименьшего действия. Функция Лагранжа. Уравнения движения в форме Лагранжа. Функция Гамильтона. Уравнения движения в форме Гамильтона.

1.2 Молекулярная физика. Термодинамика и статистическая физика

1.2.1. Основные понятия и постулаты термодинамики.

Макроскопическая система. Основы молекулярно-кинетической теории строения вещества. Термодинамический и статистический методы описания. Внешние и внутренние параметры. Термодинамическое состояние и его функции. Состояние термодинамического равновесия. Постулаты термодинамики. Установление термодинамического равновесия в изолированной системе. Равновесные и неравновесные процессы.

1.2.2. Начала термодинамики

Внутренняя энергия, теплота и работа. Первое начало термодинамики. Теплоемкости и скрытые теплоты. Изопроцессы и газовые законы на примере идеального газа и газа Ван дер Ваальса. Циклические процессы, тепловая и холодильная машины. Второе начало термодинамики. Энтропия. Второе начало термодинамики для неравновесных процессов. Неравенство Клаузиуса. Третье начало термодинамики (тепловая теорема Нернста). Поведение термодинамических величин при температуре, стремящейся к абсолютному нулю.

1.2.3. Термодинамические потенциалы, условия равновесия и фазовые переходы.

Внутренняя энергия, свободная энергия, потенциал Гиббса, энтальпия. Термодинамические потенциалы для систем с переменной массой. Химический потенциал. Основное соотношение равновесной термодинамики. Условия термодинамического равновесия. Гомогенная и гетерогенная системы. Общие условия термодинамического равновесия. Необходимые условия равновесия двухфазной однокомпонентной системы. Условия устойчивости равновесия однофазной системы. Принцип Ле Шателье. Фазовые переходы первого рода. Поведение термодинамических величин при фазовых переходах первого рода. Уравнение Клапейрона - Клаузиуса. Плавление. Сублимация. Испарение и кипение, давление насыщенного пара. Краевой угол. Смачивание. Капиллярные явления. Метастабильные состояния. Тройная точка. Критическая точка. Правило фаз Гиббса. Фазовые переходы второго рода. Поведение физических величин при фазовых переходах второго рода.

1.2.4. Основные положения статистической физики.

Фазовое пространство. Ансамбль Гиббса (статистический ансамбль). Функция распределения. Теорема Лиувилля. икроканоническое распределение. Каноническое распределение Гиббса. Связь статистической суммы со свободной энергией. Распределение Максвелла-Больцмана. Теорема о равномерном распределении кинетической энергии по степеням свободы. Теплоемкость классического идеального газа. Неидеальные газы. Газ Ван дер Ваальса. Большое каноническое распределение Гиббса. Квантовая статистика. Распределения Ферми-Дирака и Бозе-Эйнштейна. Общие свойства ферми-газов.

1.2.5. Флуктуации.

Распределение вероятностей флуктуаций (распределение Гаусса). Флуктуации в идеальном газе.

1.2.6. Физическая кинетика.

Частичные функции распределения. Кинетическое уравнение Больцмана. Диффузия. Законы Фика. Вязкость. Закон Ньютона. Механизмы внутреннего трения (вязкости) в газах, жидкостях, твердых телах. Сверхтекучесть. Теплопроводность. Закон Фурье. Механизмы

теплопроводности в газах, жидкостях, твердых телах. Электропроводность. Формула Друде-Лоренца для электропроводности.

1.3 Электричество и магнетизм

1.3.1. Основные законы физики электромагнитных явлений.

Электрический заряд и его свойства. Закон сохранения электрического заряда. Закон Кулона. Электрическое поле. Напряженность электрического поля. Теорема Гаусса. Обобщение закона Кулона в виде дифференциального уравнения. Потенциальность электрического поля неподвижных зарядов. Потенциал поля точечного заряда. Потенциал системы зарядов. Электрический ток. Магнитное поле тока. Закон Био-Савара-Лапласа. Ток смещения. Явление электромагнитной индукции. Закон электромагнитной индукции Фарадея. Правило Ленца.

1.3.2. Электрические цепи.

Сопrotивление. Закон Ома. Емкость. Конденсатор. Конденсатор в цепи переменного тока. Сопrotивление конденсатора переменному току (емкостное сопротивление). Само- и взаимоиנדукция. Индуктивность в цепи переменного тока. Индуктивное сопротивление. Электрические цепи. Правила Кирхгофа для постоянных и переменных токов. Сопrotивление цепи переменному току. Мощность переменного тока. Переменный ток и его применение. Колебательный контур.

1.3.3. Электромагнитные волны.

Волновое уравнение для электромагнитного поля. Плоские монохроматические электромагнитные волны и их основные свойства (частота и волновое число, связь частоты с волновым числом (закон дисперсии), скорость распространения, ориентация полей). Плотность энергии и плотность потока энергии электромагнитного поля.

Излучение ЭМВ диполем Герца. Сферические волны.

1.3.4. Взаимодействие зарядов и токов с электромагнитным полем.

Сила Лоренца. Движение заряда в электрическом поле. Движение заряда в магнитном поле. Ускорители заряженных частиц. Сила, действующая на проводник с током в магнитном поле (сила Ампера). Магнитный момент замкнутого тока. Взаимодействие магнитного момента с полем. Преобразование энергии в поле переменных токов. Электродвигатели и генераторы переменного тока.

1.3.5. Материальные среды в электромагнитном поле.

Макроскопические электромагнитные поля в средах. Уравнения Максвелла. Материальные уравнения. Диэлектрическая и магнитная проницаемости. Диэлектрики. Связанные заряды. Поляризация диэлектриков в электрическом поле. Вектор поляризации. Электрическая восприимчивость (поляризуемость). Полярные и неполярные диэлектрики. Особенности их поведения в постоянных и переменных полях. Магнитные свойства вещества. Вектор намагниченности. Молекулярные токи. Диа-, пара- и ферромагнетики. Магнитная проницаемость и магнитная восприимчивость. Природа диамагнетизма. Диамагнетизм Ландау. Спиновый магнитный момент. Природа пара- и ферромагнетизма. Применение пара- и ферромагнетизма. Сверхпроводимость. Электрические и магнитные свойства сверхпроводников. Высокотемпературная сверхпроводимость.

1.4 Оптика

1.4.1. Геометрическая оптика и фотометрия

Законы геометрической оптики. Центрированная оптическая система и ее кардинальные элементы. Построение изображений в собирающих и рассеивающих тонких линзах.

Поперечное увеличение оптических приборов. Оптические приборы: глаз, лупа, микроскоп, телескоп. Геометрическая оптика как предел волновой. Основные фотометрические величины: поток света, сила света, яркость, светимость, освещенность, интенсивность света. Спектральная чувствительность глаза.

1.4.2. Волновая оптика

Электромагнитная природа света. Поперечность электромагнитных волн. Поляризация, виды поляризации световой волны. Поляризаторы. Закон Малюса. Интерференция света, Двухлучевая и многолучевая интерференция. Когерентность. Оптическая разность хода. Методы получения и расчета интерференционной картины. Классические интерференционные опыты. Интерферометры. Дифракция. Принцип Гюйгенса-Френеля. Дифракция Френеля. Дифракция Френеля на круглых отверстиях и препятствиях. Зоны Френеля. Дифракция Фраунгофера. Дифракционные решетки. Расчет дифракционной картины света на решетке. Дифракция рентгеновских лучей. Спектральные приборы, основные характеристики спектральных приборов. Голография: запись и восстановление изображения.

1.4.3. Излучение света

Классическая физическая модель излучения света. Естественная ширина спектральной линии. Формы спектральной линии. Уширение спектральных линий. Законы Кирхгофа для теплового излучения. Спектральная плотность излучения. Понятие абсолютно черного тела и законы его излучения. Квантовая физическая модель излучения света. Формула Планка для излучения абсолютно черного тела. Спонтанное и вынужденное излучение света атомами.

4. Квантовая оптика

Фотоны. Фотоэффект, законы фотоэффекта. Формула Эйнштейна для фотоэффекта. Эффект Комптона и его объяснение. Источники когерентного излучения – лазеры. Активная среда. Понятие об отрицательной температуре. Лазер и его принципиальное устройство. Применение лазеров.

1.4.5. Распространение света в различных средах

Отражение света от границы раздела двух изотропных сред: теория Френеля, угол Брюстера. Полное внутреннее отражение. Световоды. Дисперсия света. Электронная теория дисперсии света. Фазовая и групповая скорости света. Закон Бугера. Рассеяние света, рэлеевское рассеяние света. Распространение света в анизотропных средах. Оптические оси. Двойное лучепреломление и его применение. Оптически активные среды, эффект Фарадея в магнитных средах. Нелинейные среды. Эффекты в распространении света в нелинейных средах.

1.4.6. Лазеры

Понятия о спонтанном и вынужденном излучении. Двух- и трехуровневая схемы лазерного излучения. Основные типы лазеров: газовые (ионные, молекулярные), твердотельные, полупроводниковые, жидкостные. Оптические резонаторы. Спектральные, временные и пространственные характеристики лазерного излучения. Нелинейные оптические среды. Генерация гармоник, суммарной и разностной частот. Параметрическое усиление и генерация. Приемники лазерного излучения. Лазерная обработка материалов. Основные параметры излучения технологических лазеров: мощность, длина волны, длительность импульса, частота следования импульсов, пространственная структура пучка, расходимость излучения. Характеристики технологических лазеров: когерентность, монохроматичность, поляризация. Устройство и принцип действия газового (CO₂) и твердотельного (Nd-YAG) лазеров. Полупроводниковые лазеры, их особенности. Принципы создания инверсии населенностей. Конструкция инжекционного лазера. Волоконные лазеры.

1.4.7. Волоконная оптика

Принципиальное устройство оптических волокон, их классификация. Причины потерь оптического излучения в волокне. Влияние объемных и поверхностных дефектов, колебаний химического состава и геометрических параметров волокон на потери оптического излучения. Дисперсионные характеристики волноводов. Типы волоконно-оптических изделий и принципы их работы. Волоконные брэгговские решетки. Волоконно-оптические датчики на основе решеток Брэгга. Волоконно-оптические датчики на эффектах рэлеевского и рамановского рассеяния, рассеяния Мандельштама-Бриллюэна. Технологии и материалы, применяемые при производстве волоконно-оптических изделий.

1.5 Атомная физика и квантовая механика

**1.5.1. Краткая история возникновения и развития квантовых представлений. **

Излучение абсолютно черного тела. Квантовая гипотеза Планка. Кванты света. Фотоэффект. Постоянная Планка. Опыты Резерфорда. Классические представления о строении атома, их несостоятельность. Атом водорода по Бору. Пространственное квантование и опыты Штерна-Герлаха. Корпускулярно-волновой дуализм. Волны де-Бройля. Эффект Комптона. Опыты Дэвиссона и Джермера. Невозможность классического описания движения микрочастиц. Принцип неопределенности Гейзенберга, его эвристическая ценность.

1.5.2. Основные постулаты и принципы квантовой механики.

Наблюдаемые величины и состояния. Волновая функция, ее статистическая интерпретация. Принцип суперпозиции. Матричная механика Гейзенберга. Операторы в квантовой механике. Понятие измерения. Среднее значение физической величины.

1.5.3. Эволюция состояний квантовых систем.

Уравнение Шредингера, его стационарные решения. Свойства стационарных состояний. Плотность вероятности, плотность потока вероятности. Симметрия и законы сохранения в квантовой механике.

1.5.4. Простейшие и точно решаемые задачи квантовой механики.

Одномерное движение. Туннелирование. Гармонический осциллятор. Движение частицы в центральном поле. Пространственный ротатор. Нерелятивистская теория атома водорода.

1.5.5. Теория возмущений.

Стационарная теория возмущений. Невырожденный уровень. Вырожденный уровень. Квантовые переходы, вероятность перехода. «Золотое» правило Ферми. Закон сохранения энергии и соотношение неопределенностей энергия–время.

1.5.6. Взаимодействие квантовой системы с электромагнитным полем.

Правила отбора для электродипольного излучения и поглощения. Рентгено-электронная спектроскопия. Резонансные методы исследования веществ (ЭПР, ЯМР и др.).

1.5.7. Системы тождественных частиц.

Спин. Спиновые волновые функции. Уравнение Паули. Тождественные частицы в квантовой механике. Принцип Паули. Перестановочная симметрия волновых функций. Бозоны и фермионы. Атом гелия. Строение многоэлектронных атомов. Электронные конфигурации. Периодическая система химических элементов. Термы. Правило Хунда. Проявление спин-орбитального взаимодействия. Мультиплетное расщепление термов. Молекула водорода, возникновение химической связи. Перекрытие атомных орбиталей, ковалентность. Связывающие и антисвязывающие молекулярные орбитали. Обменное взаимодействие.

Энергетический спектр и волновые функции электрона в идеальном кристалле. Энергетические зоны. Металлы, диэлектрики, полупроводники.

1.5.8. Физика ядра и элементарных частиц.

Радиоактивность. Альфа-распад ядер. Элементарная теория Гамова для альфа-распада. Бета-распад ядер. Элементарная теория Ферми для бета-распада. Энергия связи ядра. Формула Вайцекера для энергии связи и ее обоснование. Элементарные и составные частицы. Частицы (мезоны, барионы, кварки, лептоны) - источники полей. Кварки.

Раздел 2 АСТРОНОМИЯ

2.1 Общая астрономия и астрометрия.

Системы сферических координат. Явления прецессии, нутации, абберации и рефракции. Измерение времени. Временные шкалы. Оптическая, радио, космическая астрометрия. Неравномерность вращения Земли вокруг оси. Движение полюсов. Геодинамика. Звездные каталоги. Собственные движения и параллаксы. Астрономические постоянные. Системы астрономических постоянных.

2.2 Небесная механика.

Задача двух тел: дифференциальные уравнения движения в различных системах отсчета; первые интегралы. Разложения по степеням эксцентриситета в задаче двух тел. Разложения в ряды Фурье в задаче двух тел. Вычисление эфемерид в рамках задачи двух тел. Определение орбиты в задаче двух тел: по начальным условиям, по граничным условиям, по трем наблюдениям — метод Гаусса, по трем наблюдениям — Лапласа. Задача N тел. Ограниченная задача трех тел. Задача о движении ИСЗ. Оскулирующие элементы. Уравнения Эйлера и Лагранжа. Пертурбационная функция и ее разложение. Теория вековых возмущений Лапласа–Лагранжа. Улучшение орбит.

2.3 Общая астрофизика.

Звезды. Шкалы звездных величин. Светимости и абсолютные величины звезд. Показатель цвета звезды. Температуры звезд. Классификация звездных спектров. Диаграмма «спектр — светимость». Фотометрические системы. Поглощение света в Галактике. Представление о звездной эволюции.

2.4 Галактическая астрономия.

Галактика. Общая структура Галактики. Звездные подсистемы. Звездные скопления и ассоциации. Звездообразование и его спусковые механизмы. Звездный состав Галактики. Функции светимости и функции масс Галактики и звездных скоплений. Звездная кинематика. Локальная скорость Солнца. Вращение Галактики.

2.5 Звездная динамика.

Основные понятия звездной динамики. Виды равновесия звездных систем. Основное уравнение звездной динамики. Теоремы Джинса и Лиувилля. Интегралы основного уравнения для типичных случаев. Эргодическая гипотеза. Действие иррегулярных сил в звездных системах. Формула Джинса. Кумулятивный эффект. Время релаксации («столкновительной»). Потенциальная энергия звездных систем. Теорема вириала. Локальная динамическая задача. Условие устойчивости звездных скоплений в поле Галактики. Приливный радиус стабильности скопления. Гросс-динамическая (ГсД) эволюция моделей изолированных звездных скоплений вследствие диссипации звезд. ГсД-эволюция рассеянных звездных скоплений в поле Галактики. Элементы гросс-динамики

нестационарных в регулярном поле звездных скоплений. Инварианты бурной релаксации звездных систем. Наиболее вероятное по D.Lynden-Bell состояние звездной системы после бурной релаксации.

2.6 Структура и эволюция звезд.

Механическое равновесие звезд и его устойчивость. Лучистый перенос энергии в звездах. Конвективный перенос энергии в звездах. Характер ядерных реакций в звездах. Скорость ядерного энерговыделения в звездах. Законы сохранения энергии в звездах. Белые карлики, уравнение состояния, предел Чандрасекхара. Теория остывания белых карликов.

2.7 Теоретическая астрофизика.

Теория фотосферы: перенос излучения, лучистое равновесие, строение фотосфер. Коэффициент непрерывного поглощения. Линии поглощения. Методы решения уравнений переноса. Механизмы формирования непрерывного спектра звезд и межзвездного газа. Методы решения уравнений переноса излучения в нестационарном случае. Линейчатый спектр атомов и молекул. Формирование наблюдаемых профилей спектров линий. Методы решения уравнений переноса излучения в линиях.

2.8 Физика межзвездной среды.

Межзвездная среда. Состав. Фазы межзвездной среды. Распределение газа в Галактике. Образование звезд в молекулярных облаках. Фрагментация молекулярных облаков. Роль тепловых процессов, турбулентности и магнитного поля. Механизмы звездообразования. Вспышки звездообразования. Связь процессов звездообразования и структуры галактик.

2. РЕКОМЕНДУЕМЫЕ ЛИТЕРАТУРА И ИСТОЧНИКИ

Физика

Основная литература

- 1) Курс общей физики [Электронный ресурс] / Савельев И. В. - Электрон. текстовые дан. . - ЭБС "Лань". - неогранич. доступ. – Т. 1 : Механика. Молекулярная физика : учебное пособие для ВПО / И. В. Савельев, Т. 1. - 19-е изд., стер. - Санкт-Петербург : Лань, 2020. - 436 с. - ISBN 978-5-8114-5539-3
- 2) Курс общей физики в трех томах [Электронный ресурс] : учебник / И. В. Савельев. - СПб. : Лань. - (Лучшие классические учебники). - Режим доступа: ЭБС "Издательство "Лань". - Неогранич. доступ. – Т. 2 : Электричество и магнетизм. Волны. Оптика. - Москва : Лань, 2011. - 496 с. : ил. - ISBN 978-5-8114-0631-9
- 3) Сивухин, Д.В. Общий курс физики : учеб. пособие для студ. физ. спец. вузов / Д. В. Сивухин. - 3-е изд., стер. - М. : Физматлит. - 22 см. - ISBN 5-9221-0229-Х. - Текст : непосредственный. – Т. 4 : Оптика. - 2013. - 791 с. : ил. - Указ. имен: с. 780-782. - Предм. указ.: с. 783-791. - ISBN 5-9221-0228-1. – (30 экз.)
- 4) Сивухин, Д. В. Общий курс физики : учеб. пособие для физ. спец. вузов : в 5 т. / Д. В. Сивухин. - 3-е изд., испр. и доп. - М. : Наука. - 22 см. - Текст : непосредственный. – Т. 2 : Термодинамика и молекулярная физика. - 1990. - 591 с. : ил. - ISBN 5-02-014187-9. – (46 экз.)
- 5) Сивухин, Д. В. Общий курс физики : учеб. пособие для студ. физ. спец. вузов: В 5 т. / Д. В. Сивухин. - 2-е изд., стер. - М. : Физматлит. - ISBN 5-9221-0229-х. - Текст : непосредственный. – Т.5 : Атомная и ядерная физика. - 2002. - 782 с. : ил. ; 22 см. - Указ. имен: с. 769-772. - Предм. указ.: с. 773-782. - ISBN 5-9221-0230-3. – (20 экз.)

Дополнительная литература

- 1) Сивухин Д. В. Общий курс физики [Текст] : учеб. пособие для физ. спец. ун-тов : в 5 т. / Д. В. Сивухин. - 3-е изд., испр. и доп. - М. : Наука. - 21 см. - Т. 1 : Механика. - 1989. - 576 с. : ил. - ISBN 5-02-014054-6. – (52 экз.)
- 2) Сивухин, Д.В.. *Общий курс физики [Текст] : учеб. пособие для физ. спец. вузов : в 5 т. / Д. В. Сивухин. - 3-е изд., испр. и доп. - М. : Наука. – Т. 2 : Термодинамика и молекулярная физика. - 1990. - 591 с. : ил. - ISBN 5-02-014187-9. – (42 экз.)*
- 3) Фейнман, Р.П. Фейнмановские лекции по физике [Текст] / Р. П. Фейнман, Р. Б. Лейтон, М. Сэндс ; пер. с англ. А. В. Ефремов. - 3-е изд. - М. : Мир. - Вып. 1 : Современная наука о природе. Законы механики, вып. 2 : Пространство. Время. Движение. - 1977. - 439 с. . – (23 экз.)

Астрономия

Основная литература

- 1) Засов, А.В. Общая астрофизика : учеб. пособие / А. В. Засов, К. А. Постнов ; Московский гос. ун-т им. М. В. Ломоносова, Физ. фак., Гос. астроном. ин-т им. П. К. Штернберга. - 3-е изд., испр. и доп. - Фрязино : Век 2, 2016. - 573 с. ; 22 см. - Библиогр.: с. 565-566. - ISBN 978-5-85099-194-4. – (8 экз.)
- 2) Небо и телескоп / ред., сост. В. Г. Сурдин. - М. : Физматлит, 2008. - 423 с. : ил. ; 21 см. - (Астрономия и астрофизика). - ISBN 978-5-9221-0844-7. – (2 экз.)
- 3) Миронов, А.В. Основы астрофотометрии : практ. основы фотометрии и спектрофотометрии звезд / А. В. Миронов. - М. : Физматлит, 2008. - 258 с. : граф. ; 22 см. - (Астрономия и астрофизика). - Библиогр.: с. 254-258. - ISBN 978-5-9221-0935-2. – (2 экз.)
- 4) Язев, Сергей Артурович. Лекции о Солнечной системе [Электронный ресурс] / С. А. Язев. – Москва : Лань, 2011. – 381, [1] с. [1] с. – (Учебники для вузов) (Специальная

3. ФОРМА ПРОВЕДЕНИЯ ВСТУПИТЕЛЬНОГО ИСПЫТАНИЯ

Вступительные испытания проводятся очно в форме устного собеседования по билетам. В состав билета входит два вопроса, перечень которых доводится до сведения поступающих путем публикации программ вступительных испытаний на официальном сайте ИГУ.

Требования к порядку планирования, организации и проведения вступительного экзамена, к структуре и форме документов по его организации определены Правилами приема на обучение в ФГБОУ ВО «ИГУ» по программам подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре

Критерии оценивания

Оценка поступающему за письменную работу выставляется в соответствии со следующими критериями.

Баллы	Критерии
90-100 баллов	выставляется экзаменационной комиссией за обстоятельный, безошибочный ответ на все вопросы экзаменационного билета и дополнительные вопросы членов экзаменационной комиссии. Поступающий в аспирантуру в процессе ответа на вопросы правильно определяет основные понятия, свободно ориентируется в теоретическом материале по предложенной тематике. Экзаменуемый показывает всестороннее, систематическое и глубокое знание материала; может объяснить взаимосвязь основных понятий; проявляет аналитические способности в понимании и изложении материала; проводит научные аналогии, экстраполирует знания на смежные области и практику, может поддерживать научную дискуссию. В ходе собеседования устанавливается высокая степень мотивированности к подготовке и защите кандидатской диссертации в период освоения программы аспирантуры. Кандидат осознает значимость работы и ее практическую ценность, обладает существенным научным заделом, включающим опубликованные статьи в научных изданиях и результаты выступлений на профильных конференциях.
80-89 баллов	выставляется экзаменационной комиссией за

	<p>правильный и достаточно полный ответ на все вопросы экзаменационного билета и уточняющие вопросы членов экзаменационной комиссии. Поступающий правильно определяет основные понятия, хорошо ориентируется в теоретическом и практическом материале по предложенной тематике, может объяснить взаимосвязь основных понятий. Оценка может быть снижена в случае затруднений поступающего при ответе на дополнительные вопросы членов экзаменационной комиссии, ответы содержат отдельные несущественные неточности. В ходе собеседования устанавливается достаточная степень мотивированности к подготовке и защите кандидатской диссертации в период освоения программы аспирантуры, имеется базовый научный задел по теме планируемого исследования (1 статья).</p>
70-79 баллов	<p>выставляется экзаменационной комиссией за верный в целом ответ на вопросы экзаменационного билета. При ответе на дополнительные вопросы членов экзаменационной комиссии поступающий испытывает затруднения, допускает неточности, при этом ответы производят положительное впечатление. В ходе собеседования устанавливается средняя степень мотивированности к подготовке и защите кандидатской диссертации в период освоения программы аспирантуры, больше обусловленная внешними факторами (получение ученой степени, отсрочки от армии), чем с внутренним интересом к научному исследованию</p>
60-69 баллов	<p>выставляется поступающему в аспирантуру при недостаточно полном и ответе на вопросы экзаменационного билета и при возникновении серьезных затруднений при ответе на дополнительные вопросы членов экзаменационной комиссии. Экзаменуемый показывает знания основного материала в минимальном объеме, знаком с литературой, рекомендованной программой. Допускает существенные неточности в ответах, но обладает необходимыми знаниями для их устранения под руководством экзаменаторов. В ходе собеседования устанавливается</p>

	низкая степень подготовленности поступающего в аспирантуру к проведению самостоятельных научных исследований (в том числе на основании анализа представленных индивидуальных достижений) по выбранной научной специальности; мотивация к подготовке кандидатской диссертации в период освоения программы аспирантуры низкая или совсем отсутствует.
менее 60 баллов	ставится при незнании и непонимании абитуриентом существа экзаменационных вопросов. Кандидат демонстрирует низкую эмоциональную вовлеченность к подготовке и защите кандидатской диссертации в период освоения программы аспирантуры, не имеет четкого плана с этапами и сроками

4. ПЕРЕЧЕНЬ ВОПРОСОВ

Вопросы программы вступительного испытания в аспирантуру по научной специальности
1.3.1 Физика космоса, астрономия

ФИЗИКА

Механика

1. Кинематика прямолинейного и криволинейного движения материальной точки. Нормальное и тангенциальное ускорения. Вращательное движение материальной точки. Угловая скорость и угловое ускорение.
2. Кинематика твердого тела. Число степеней свободы. Связи. Абсолютно твердое тело. Поступательное, вращательное и плоское движение твердого тела.
3. Сила, масса, импульс, работа и энергия в механике Ньютона. Инерциальные системы отсчета. Законы динамики Ньютона.
4. Момент импульса и момент силы. Уравнение моментов для материальной точки и системы материальных точек. Тензор инерции.
5. Законы сохранения и их роль в физике. Законы сохранения импульса, момента импульса и полной механической энергии. Симметрия пространства-времени и законы сохранения.
6. Преобразования Галилея. Принцип относительности Галилея. Постулаты специальной теории относительности. Преобразования Лоренца для координат и времени. Следствия из преобразований Лоренца (относительность одновременности и принцип причинности, сокращение расстояний и замедление хода движущихся часов). Пространственно-

временной интервал. Сложение скоростей в специальной теории относительности.

Эквивалентность массы и энергии.

7. Затухающие колебания. Декремент затухания. Вынужденные колебания. Резонанс. Малые колебания. Гармонический осциллятор. Уравнение движения линейного гармонического осциллятора. Уравнение гармонических колебаний. Фазовый портрет гармонического осциллятора. Энергия колебаний.

8. Волны в упругих средах. Продольные и поперечные волны. Частота, длина волны, закон дисперсии, скорость, поляризация. Волновые пакеты. Фазовая и групповая скорости. Элементы акустики. Плоские и сферические волны

9. Принцип наименьшего действия. Функция Лагранжа. Уравнения движения в форме Лагранжа. Функция Гамильтона. Уравнения движения в форме Гамильтона.

Молекулярная физика и термодинамика

1. Внутренняя энергия, теплота и работа. Первое начало термодинамики. Изопрцессы и газовые законы на примере идеального газа и газа Ван дер Ваальса. Применение первого начала термодинамики к изопрцессам в идеальном газе.

2. Циклические процессы, тепловая и холодильная машины. Обратимые и необратимые процессы Второе начало термодинамики. Энтропия. Второе начало термодинамики для неравновесных процессов.

3. Третье начало термодинамики (тепловая теорема Нернста).

4. Внутренняя энергия, свободная энергия, потенциал Гиббса, энтальпия.

Термодинамические потенциалы для систем с переменной массой. Химический потенциал.

5. Условия равновесия двухфазной однокомпонентной системы. Условия устойчивости равновесия однофазной системы. Принцип Ле Шателье.

6. Фазовые переходы первого рода. Поведение термодинамических величин при фазовых переходах первого рода. Уравнение Клапейрона - Клаузиуса. Плавление. Сублимация. Испарение и кипение, давление насыщенного пара.

7. Краевой угол. Смачивание. Капиллярные явления.

8. Метастабильные состояния. Тройная точка. Критическая точка. Правило фаз Гиббса.

9. Фазовые переходы второго рода. Поведение физических величин при фазовых переходах второго рода.

10. Фазовое пространство. Ансамбль Гиббса (статистический ансамбль). N-частичная функция распределения. Теорема Лиувилля. Микроканоническое распределение.

Каноническое распределение Гиббса.

11. Распределение Максвелла-Больцмана. Большое каноническое распределение Гиббса.

Квантовая статистика. Распределения Ферми-Дирака и Бозе-Эйнштейна. Общие свойства ферми-газов и бозе-газов. Распределение вероятностей флуктуаций (распределение Гаусса). Флуктуации в идеальном газе.

12. Кинетическое уравнение Больцмана для разреженного газа.

13. Диффузия. Законы диффузии Фика.

20. Механизмы внутреннего трения (вязкости) в газах, жидкостях, твердых телах.

Теплопроводность в газах, жидкостях, твердых телах. Зависимость от температуры.

Электричество и магнетизм

1. Электрический заряд и его свойства. Закон сохранения электрического заряда. Закон Кулона.

2. Электрическое поле. Напряженность электрического поля. Теорема Гаусса.

Потенциальность электрического поля неподвижных зарядов. Потенциал поля точечного заряда. Потенциал системы зарядов.

3. Электрический ток. Магнитное поле тока. Закон Био-Савара-Лапласа.

4. Закон электромагнитной индукции Фарадея. Правило Ленца.

5. Электрическое сопротивление. Проводники. Закон Ома для участка цепи.

6. Конденсатор в цепи переменного тока. Сопротивление конденсатора переменному току (емкостное сопротивление). Индуктивность в цепи переменного тока. Индуктивное сопротивление.

7. Электрические цепи. Правила Кирхгофа для постоянных и переменных токов.

Сопротивление цепи переменному току. Мощность переменного тока.

8. Плоские монохроматические электромагнитные волны и их основные свойства (частота и волновое число, связь частоты с волновым числом (закон дисперсии), скорость распространения, ориентация полей). Поперечность электромагнитных волн.

9. Движение заряда в электрическом поле. Движение заряда в магнитном поле. Сила Лоренца. Сила, действующая на проводник с током в магнитном поле (сила Ампера).

Магнитный момент замкнутого тока. Взаимодействие магнитного момента с полем.

10. Макроскопические электромагнитные поля в средах. Уравнения Максвелла.

Материальные уравнения.

11. Диэлектрики. Связанные заряды. Поляризация диэлектриков в электрическом поле.

Вектор поляризации. Электрическая восприимчивость (поляризуемость). Полярные и неполярные диэлектрики. Особенности их поведения в постоянных и переменных полях.

18. Магнитные свойства вещества. Вектор намагниченности. Молекулярные токи. Диа-, пара- и ферромагнетики. Природа диамагнетизма. Теорема Лармора. Диамагнетизм Ландау.

Природа пара- и ферромагнетизма.

19. Сверхпроводимость. Теория БКШ. Электрические и магнитные свойства сверхпроводников. Высокотемпературная сверхпроводимость.

Оптика

1. Законы геометрической оптики. Построение изображений в собирающих и рассеивающих тонких линзах.

2. Основные фотометрические величины: поток света, сила света, яркость, светимость, освещенность, интенсивность света.

3. Электромагнитная природа света. Поляризация, виды поляризации световой волны. Поляризаторы.

4. Интерференция света. Когерентность. Принцип Гюйгенса-Френеля. Зоны Френеля. Дифракция Френеля на круглых отверстиях и препятствиях. Дифракция Фраунгофера на одной и двух щелях. Дифракция света на многомерных структурах. Дифракция рентгеновских лучей. Основные схемы получения когерентных волн в оптике. Интерферометр Фабри-Перо. Спектральные приборы. Характеристики спектральных приборов.

5. Классическая физическая модель излучения света. Естественная ширина спектральной линии. Форма спектральной линии. Уширение спектральных линий.

6. Законы Кирхгофа, Стефана-Больцмана, Вина для теплового излучения. Абсолютно черное тело. Спектральная плотность излучения. Квантовая физическая модель излучения света. Формула Планка для излучения абсолютно черного тела. Спонтанное и вынужденное излучение света атомами.

7. Фотоэффект, законы фотоэффекта. Формула Эйнштейна для фотоэффекта.

8. Эффект Комптона и его объяснение.

9. Отражение света от границы раздела двух изотропных сред: теория Френеля, угол Брюстера. Анизотропные среды. Распространение света в анизотропной среде. Уравнение Френеля. Двухлучепреломление. Свойства о- и е-лучей при двойном лучепреломлении. Свойства лучевой поверхности и поверхности нормалей в оптических кристаллах. Применение явления двухлучепреломления. Оптическая активность.

10. Дисперсия света. Электронная теория дисперсии света. Нормальная и аномальная дисперсия. Поглощение света.

11. Рассеяние света, рэлеевское рассеяние света.

12. Двух- и трехуровневая схемы лазерного излучения. Основные типы лазеров.

Спектральные, временные и пространственные характеристики лазерного излучения.

Нелинейные оптические среды. Приемники лазерного излучения.

13. Лазерная обработка материалов. Основные параметры и характеристики технологических

лазеров. Устройство и принцип действия газового (CO₂) и твердотельного (Nd-YAG) лазеров. Полупроводниковые лазеры, их особенности. Конструкция инжекционного лазера. Волоконные лазеры.

14. Принципиальное устройство оптических волокон, их классификация. Причины потерь оптического излучения в волокне. Дисперсионные характеристики волноводов.

15. Типы волоконно-оптических изделий и принципы их работы. Волоконно-оптические линии связи. Волоконные брэгговские решетки. Волоконно-оптические датчики на основе решеток Брэгга, на эффектах рэлеевского и рамановского рассеяния, рассеяния Мандельштама-Бриллюэна. Технологии и материалы, применяемые при производстве волоконно-оптических изделий.

Физика атома и квантовая механика.

1. Классические представления о строении атома, их несостоятельность. Атом водорода по Бору.

2. Корпускулярно-волновой дуализм. Волны де-Бройля. Принцип неопределенности Гейзенберга, его эвристическая ценность.

3. Волновая функция, ее статистическая интерпретация. Принцип суперпозиции.

4. Матричная механика Гейзенберга. Операторы в квантовой механике. Понятие измерения. Среднее значение физической величины.

5. Уравнение Шредингера, его стационарные решения. Свойства стационарных состояний.

6. Симметрия и законы сохранения в квантовой механике.

7. Движение частицы в центральном поле. Пространственный ротатор.

8. Нерелятивистская теория атома водорода.

9. Стационарная теория возмущений. Невырожденный уровень. Вырожденный уровень.

10. Квантовые переходы, вероятность перехода. «Золотое» правило Ферми.

11. Закон сохранения энергии и соотношение неопределенностей энергия–время.

12. Резонансные методы исследования веществ (ЭПР, ЯМР и др.).

13. Проблема тождественных частиц в квантовой механике. Принцип Паули.

Перестановочная симметрия волновых функций.

14. Атом гелия. Строение многоэлектронных атомов.

15. Электронные конфигурации. Периодическая система химических элементов. Термы.

16. Молекула водорода, возникновение химической связи. Перекрывание атомных

орбиталей, ковалентность.

17. Энергетический спектр и волновые функции электрона в идеальном кристалле.

Энергетические зоны.

22. Явление радиоактивности. Альфа- распад ядер. Элементарная теория Гамова для альфа-распада. Бета-распад ядер. Элементарная теория Ферми для бета-распада.

25. Энергия связи ядра. Формула Вайцзекера для энергии связи и ее обоснование.

26. Элементарные и составные частицы. Частицы (мезоны, барионы, кварки, лептоны) - источники полей.

27. Спин электрона. Уравнение Паули. Спиновая волновая функция. Спиноры.

АСТРОНОМИЯ

1. Системы сферических координат.

2. Явления прецессии, нутации, абберации и рефракции.

3. Измерение времени. Временные шкалы.

4. Оптическая, радио, космическая астрометрия.

5. Неравномерность вращения Земли вокруг оси. Движение полюсов. Геодинамика.

6. Звездные каталоги. Собственные движения и параллаксы.

7. Астрономические постоянные. Системы астрономических постоянных.

8. Задача двух тел: дифференциальные уравнения движения в различных системах отсчета; первые интегралы.

9. Разложения по степеням эксцентриситета в задаче двух тел.

10. Разложения в ряды Фурье в задаче двух тел.

11. Вычисление эфемерид в рамках задачи двух тел.

12. Определение орбиты в задаче двух тел: по начальным условиям.

13. Определение орбиты в задаче двух тел: по граничным условиям.

14. Определение орбиты в задаче двух тел: по трем наблюдениям — метод Гаусса.

15. Определение орбиты в задаче двух тел: по трем наблюдениям — Лапласа.

16. Задача N тел.

17. Ограниченная задача трех тел.

18. Задача о движении ИСЗ.

19. Оскулирующие элементы.

20. Уравнения Эйлера и Лагранжа.

21. Пертурбационная функция и ее разложение.

22. Теория вековых возмущений Лапласа–Лагранжа.

23. Улучшение орбит.
24. Шкалы звездных величин.
25. Светимости и абсолютные величины звезд.
26. Показатель цвета звезды.
27. Температуры звезд.
28. Классификация звездных спектров.
29. Диаграмма «спектр — светимость».
30. Фотометрические системы.
31. Поглощение света в Галактике.
32. Представление о звездной эволюции.
33. Общая структура Галактики.
34. Звездные подсистемы.
35. Звездные скопления и ассоциации.
36. Звездообразование и его спусковые механизмы.
37. Звездный состав Галактики.
38. Функции светимости и функции масс Галактики и звездных скоплений.
39. Звездная кинематика. Локальная скорость Солнца. Вращение Галактики.
40. Основные понятия звездной динамики.
41. Виды равновесия звездных систем.
42. Основное уравнение звездной динамики.
43. Теоремы Джинса и Лиувилля.
44. Интегралы основного уравнения для типичных случаев.
45. Эргодическая гипотеза.
46. Действие иррегулярных сил в звездных системах.
47. Формула Джинса. Кумулятивный эффект.
48. Время релаксации («столкновительной»).
49. Потенциальная энергия звездных систем.
50. Теорема вириала.
51. Локальная динамическая задача.
52. Условие устойчивости звездных скоплений в поле Галактики.
53. Приливный радиус стабильности скопления.
54. Гросс-динамическая эволюция моделей изолированных звездных скоплений вследствие диссипации звезд.
55. Гросс-динамическая эволюция рассеянных звездных скоплений в поле Галактики.

56. Элементы гросс-динамики нестационарных в регулярном поле звездных скоплений.
57. Инварианты бурной релаксации звездных систем.
58. Наиболее вероятное по D.Lynden-Bell состояние звездной системы после бурной релаксации.
59. Механическое равновесия звезд и его устойчивость.
60. Лучистый перенос энергии в звездах.
61. Конвективный перенос энергии в звездах.
62. Характер ядерных реакций в звездах.
63. Скорость ядерного энерговыделения в звездах.
64. Законы сохранения энергии в звездах.
65. Белые карлики, уравнение состояния, предел Чандрасекхара.
66. Теория остывания белых карликов.
67. Теория фотосферы: перенос излучения, лучистое равновесие, строение фотосфер.
68. Коэффициент непрерывного поглощения. Линии поглощения.
69. Методы решения уравнений переноса.
70. Механизмы формирования непрерывного спектра звезд и межзвездного газа.
71. Методы решения уравнений переноса излучения в нестационарном случае.
72. Линейчатый спектр атомов и молекул.
73. Формирование наблюдаемых профилей спектров линий.
74. Методы решения уравнений переноса излучения в линиях.
75. Межзвездная среда. Состав. Фазы межзвездной среды.
76. Распределение газа в Галактике.
77. Образование звезд в молекулярных облаках.
78. Фрагментация молекулярных облаков.
79. Роль тепловых процессов, турбулентности и магнитного поля.
80. Механизмы звездообразования.
81. Вспышки звездообразования.
82. Связь процессов звездообразования и структуры галактик.

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 1

Вступительное испытание для поступающих на обучение по программам подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре

Научная специальность 1.3.1. Физика космоса, астрономия

1. Вопрос из раздела ФИЗИКА
Законы Кирхгофа, Стефана-Больцмана, Вина для теплового излучения. Абсолютно черное тело. Спектральная плотность излучения. Квантовая физическая модель излучения света. Формула Планка для излучения абсолютно черного тела. Спонтанное и вынужденное излучение света атомами.
.....
2. Вопрос из раздела АСТРОНОМИЯ
Задача двух тел: дифференциальные уравнения движения в различных системах отсчета; первые интегралы
.....

Экзаменаторы	_____ / _____
	_____ / _____
	_____ / _____
Заведующий кафедрой	_____ / _____

«___» _____ 202_ г.

Критерии оценки:
Максимальный балл - 100 баллов
Ответ на вопрос 1 – максимум 50 баллов
Ответ на вопрос 2 - максимум 50 баллов

Разработчики:

Зав. кафедрой:
общей и космической физики

(наименование кафедры)



(подпись)

В.Л. Паперный

(И.О.Ф.)