

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт космических исследований Российской академии наук  
(ИКИ РАН)

УТВЕРЖДАЮ

*Директор ИКИ РАН*

*академик РАН Л. М. Зеленый*

*« 05 » июля 2017г.*

**ПРОГРАММА**

вступительного экзамена в аспирантуру ИКИ РАН

по направлению подготовки 03.06.01 – «Физика и астрономия»

**по научной специальности**

**01.04.02 – «ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА»**

УТВЕРЖДЕНО

*на Ученом совете ИКИ РАН*

*« 04 » июля 2017г.*

*Протокол № 4*

Москва - 2017

**ПРОГРАММА**  
**вступительного экзамена в аспирантуру ИКИ РАН**  
**по научной специальности 01.04.02 – «Теоретическая физика»**

**I. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА**

Формулировка задачи о движении механической системы при наличии связей. Классификация связей и перемещений. Уравнения Лагранжа в независимых координатах (уравнения Лагранжа второго рода).

Функция Лагранжа. Вариационный принцип Лагранжа. Уравнение Лагранжа первого рода. Первые интегралы уравнения движения.

Собственные колебания линейной механической системы. Общее решение для свободных и вынужденных колебаний линейной системы.

Функции Гамильтона. Канонические уравнения Гамильтона. Скобки Пуассона. Функции действия. Уравнение Гамильтона-Якоби.

Нелинейные задачи и методы теории возмущения: асимптотические метод малого параметра. Регулярные и сингулярные возмущения. Метод ВКБ. Метод усреднения Крылова - Боголюбова.

*ЛИТЕРАТУРА:*

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Механика. М: Физматлит, 2001.
2. Ольховский И.И. Курс теоретической механики для физиков. Спб: Лань, 2009.
3. Васильева А.Б., Бутузов В.Ф. Асимптотические методы в теории сингулярных возмущений. М.: Высшая школа, 1990.

**II. ГИДРОДИНАМИКА И ВВЕДЕНИЕ В ФИЗИКУ ПЛАЗМЫ.**

Идеальная жидкость. Уравнение непрерывности. Уравнение Эйлера. Уравнение изменения энергии. Интегралы движения идеальной жидкости.

Неидеальная жидкость и уравнение Навье-Стокса. Закон подобия стационарных течений несжимаемой вязкой жидкости и число Рейнольдса. Ударная волна, адиабата Гюгонио. Математические модели теории нелинейных волн. Метод характеристик. Обобщенное решение. Условие на разрыве. Уравнение Кортевега - де Фриза и законы сохранения.

Схема метода обратной задачи. Солитонные решения.

Плазма. Квазинейтральность. Электростатическое экранирование. Идеальная проводимость и дрейфовое движение. Вмороженное магнитное поле. Диффузия магнитного поля.

Термодинамика плазмы. Тепловая и кулоновская энергия плазмы. Формула Саха.

Траектории частиц в плазме. Дрейфовое движение. Электрический дрейф. Дрейф в неоднородном магнитном поле. Поляризационный дрейф. Ток намагничивания.

Магнитная гидродинамика. Равновесие плазмы. Двухжидкостная магнитная гидродинамика. Диффузия плазмы.

Колебания и волны в холодной плазме. Волны в плазме без магнитного поля. Магнитогидродинамические волны. Альвеновские волны и магнитный звук. Гибридные частоты.

Кинетическое описание плазмы без магнитного поля. Кинетическое уравнение для плазмы. Кинетическая теория волн в плазме. Пучковая неустойчивость. Резонансное взаимодействие волн и частиц.

Кинетическое описание плазмы в магнитном поле. Адиабатические инварианты движения частиц в магнитном поле. Кинетическая теория плазмы в магнитном поле. Кинетическая теория волн в плазме. Желобковая неустойчивость и энергетический принцип. Неустойчивость тиринг-моды. Дрейфовая неустойчивость плазмы.

#### *ЛИТЕРАТУРА:*

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Гидродинамика. М: Физматлит, 2002.
2. Габов С.А. Введение в теорию нелинейных волн. М.: МГУ, 1992.
3. Франк-Каменецкий Д.А. Лекции по физике плазмы. И: Атомиздат, 1988.
4. Арцимович Л.А., Сагдеев Р.З. Физика плазмы для физиков. М.: Атомиздат, 1979.
5. Кадомцев Б.Б. Коллективные явления в плазме. М.: Наука, 1988.

### **III. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЭЛЕКТРОДИНАМИКА И ОПТИКА.**

Уравнения Максвелла для электромагнитного поля в среде. Материальные уравнения и условия на границе раздела сред. Уравнение непрерывности зарядов и токов.

Уравнения для стационарного магнитного поля в однородной среде и разложение его решения. Излучение электромагнитных волн в дипольном приближении. Угловое распределение интенсивности. Радиационное трение.

Структура плоской электромагнитной волны. Поляризация волны. Уравнению для поля волны. Преобразование полей в электромагнитной волне при переходе к движущейся системе отсчета. Эффект Доплера.

Связь полей и потенциалов. Уравнения для потенциалов и калибровки.

Уравнения движения заряженной частицы в поле электромагнитной волны. Рассеяние волны на заряженных частицах. Уравнение распространения электромагнитной волны в слабо проводящей среде. Комплексная диэлектрическая проницаемость.

Волновое уравнение для вектора электрической напряженности световой волны. Вектор Умова-Пойнтинга и объемная плотность энергии электромагнитной волны в изотропной среде.

Волновая природа давления света. Поляризация естественного света. Теореме Винера-Хинчина для спектральной плотности мощности и корреляционной функции случайных световых колебаний. Фурье-спектроскопия.

Пространственная когерентность света. Интерференции света. Принцип Гюйгенса-Френеля. Дифракционный интеграл Кирхгофа. Условие излучения Зоммерфельда, приближения Кирхгофа у границы отверстия на экране и оптическое приближение.

Приближение Френеля в теории дифракции. Приближение Фраунгофера для дифракции плоских волн. Интенсивность плоской волны при дифракции на круглом отверстии. Дифракция плоских волн как пространственное преобразование Фурье.

Электронная теория дисперсии. Нормальная и аномальная дисперсия. Эллипсоид показателей преломления.

#### *ЛИТЕРАТУРА:*

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теория поля. М: Физматлит, 2001.

2. Мешков И.Н., Чириков Б.В. Электромагнитное поле, в 2х томах. Новосибирск: Наука, 1987.

3. Гудмен Дж. Статистическая оптика. Том. 1,2. М.: Мир, 1988.

#### **IV. ОСНОВЫ КВАНТОВОЙ ТЕОРИИ И ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ.**

Формула Планка, формула Рэля-Джинса и формула Вина для равновесного излучения. Экспериментальные основы квантовой теории (тепловое излучение, фотоэффект). Волны де Бройля.

Чистое и смешанное состояние квантовых систем. Волновая функция и матрицы плотности. Наблюдаемое значение физической величины и вероятность какого-либо результата в квантовой теории.

Операторы координаты и импульса в координатном представлении. Уравнение Шредингера. Стационарная система и стационарное уравнение Шредингера. Движений частицы с непрерывным и дискретным энергетическим спектром.

Уравнение Шредингера для гармонического осциллятора и его решение. Энергетический спектр при учете ангармонизма колебаний.

Уравнение Шредингера для кулоновского потенциала и его решение. Ортогональные системы полиномов и собственные функции сферических поверхностей.

Волновая функция и энергетический спектр в стационарной теории возмущений для системы с невырожденными и вырожденными уровнями энергии.

Внутриатомное электрическое поля и эффекта Штарка.

Упругое рассеяние частиц на частицах. Уравнение Шредингера для волновой функции рассеиваемой частицы и его решение.

Принцип тождественности частиц. Симметричные и антисимметричные волновые функции. Ансамбль Бозе и ансамбль Ферми. Принцип Паули.

Вторичное квантование свободного электромагнитного поля. Оператор взаимодействия электронов с электромагнитным полем. Вероятности испускания и поглощения фотона при переходе между парой уровней. Интенсивность дипольного излучения атома.

Основные классы молекул и типы связей в них. Вращательные, колебательные и электронные спектры молекул. Гомополярная силы связи в молекуле водорода.

Явления альфа-, бета- и гамма-радиоактивности. Основные свойства нуклон-нуклонных сил. Энергия связи ядра. Законы сохранения в различных взаимодействиях.

Ядерная модель оболочек. Одночастичные и коллективные возбуждения ядра.

Кварковая структура адронов. Глюон и цвет.

*ЛИТЕРАТУРА:*

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Квантовая механика. М.: Физматлит, 2001.
2. Блохинцев Д.И. Основы квантовой механики. М.: Наука, 1983.
3. Ишханов Б.С, Капитонов И.М., Мокеев В.И. Ядерная физика. М: МГУ 1980.

## **V. МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И ОСНОВЫ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ.**

Первое и второе начало термодинамики. Состояние равновесия и равновесный процесс. Энтропия и уравнение адиабаты.

Термодинамические потенциалы. Условия термодинамического равновесия и устойчивости пространственно однородной системы.

Идеальный газ. Вириальное разложение и модели неидеального газа.

Каноническое распределение Гиббса и статистическая сумма. Свободная и внутренняя энергия системы. Распределение энергии по степеням свободы.

Химический потенциал. Большое каноническое распределение Гиббса.

Распределения Ферми-Дирака и Бозе-Эйнштейна. Температура вырождения. Энергия Ферми.

Уравнение Лиувилля для функции распределения. Одночастичная функция распределения.

Распределение Максвелла и распределение Больцмана как предельные случаи квантовых распределений.

Уравнение Власова-Максвелла. Уравнения геодезических и эволюция функции распределения. Вывод уравнения Власова-Максвелла. Система уравнений Власова для плазмы.

Кинетическое уравнение Больцмана. Законы сохранения и H-теорема. Общие дискретные модели. Модели Карлемана, Годунова-Султангазина и Бродуэлла. Задача о релаксации. Химическая кинетика.

Марковский процесс. Уравнение Смолуховского и уравнение Фоккера-Планка.

#### *ЛИТЕРАТУРА:*

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Статистическая физика. М.:Физматлит, 2001.
2. Квасников И.А. Термодинамика и статистическая физика. Том 1. Термодинамика. М.: КомКнига, 2005.
3. Квасников И.А. Термодинамика и статистическая физика. Том 2. Статистическая физика. М.: КомКнига, 2005.
4. Квасников И.А. Термодинамика и статистическая физика. Том 3. Теория неравновесных систем. М.: КомКнига, 2005.
5. Веденяпин В.В. Кинетические уравнения Больцмана и Власова. М.: ФизМатЛит, 2001.
6. Либов Р. Введение в теорию кинетических уравнений. М.: Мир, 1974.
7. Арсеньев А.А. Лекции о кинетических уравнениях. М.: Наука, 1992.

## **VI. ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ МАТЕМАТИКА И ПРОГРАММИРОВАНИЕ.**

Источники и классификация погрешности. Абсолютная и относительная погрешности. Вычислительная погрешность. Погрешность функции.

Интерполяция. Интерполяционный многочлен Лагранжа. Интерполяционный метод Ньютона. Многочлены Чебышева. Интерполяция сплайнами. Сходимость сплайн-функций.

Численное решение нелинейных уравнений и приближение функций. Итерационный метод. Метод Ньютона. Комплексные корни. Среднеквадратичное приближение. Преобразование Фурье.

Задачи алгебры и оптимизации. Метод Гаусса. Итерационный метод. Метод Зейделя. Задача минимизации. Метод наискорейшего спуска. Метод сопряжённых градиентов. Метод Монте-Карло. Задача на собственные значения.

Численное интегрирование. Разностные методы численного интегрирования: метод трапеций, формула Симпсона, правило трёх восьмых, формулы Ньютона-Котеса. Интегральные формулы Чебышева. Квадратурные формулы Гаусса.

Дифференциальные уравнения задачи Коши. Метод Рунге-Кутты. Метод Башфорта-Адамса. Метод неопределённых коэффициентов.

Уравнения в частных производных и их решение. Уравнение диффузии. Явные и неявные схемы. Дисперсия и диффузия на разностной сетке. Эллиптические уравнения. Метод прогонки. Матричная прогонка. Гиперболические уравнения.

Интегральные уравнения. Уравнение Вольтера и Фредгольма. Разностные методы и метод Монте-Карло.

Фазовые среды. Разностное решение уравнения Власова. Метод водяного мешка. Метод характеристик.

Классическая гидродинамика и гидродинамика с дальнедействующими силами. Разностные решения уравнений несжимаемой среды. Разностное решение уравнений гидродинамики сжимаемых сред. Расчёт ударных волн и разрывов. Самосогласованные поля в сплошной среде. Уравнения магнитной гидродинамики. Методы одномерной и многомерной магнитной гидродинамики.

Задача о распаде произвольного разрыва. Метод Годунова.

#### *ЛИТЕРАТУРА:*

1. Бут Э.Д. Численные методы. М.: Физ-мат. лит., 1959.
2. Бахвалов Н.С. Численные методы. М.: БИНОМ: Лаб. знаний, 2004.
3. Марчук Г.И. Методы вычислительной математики. Учебное пособие для вузов. М.: Наука, 1989.
4. Поттер Д. Вычислительные методы в физике. М.: Мир, 1975.
5. Самарский А.А., Гулин А.В. Численные методы. М.: Наука, 1989.

#### Составители:

д.ф. – м.н., профессор

Н. С. Ерохин

д.ф. – м.н.

С. Г. Моисеенко

к.ф. – м.н.

Т. М. Буринская