

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



УТВЕРЖДАЮ

И.о. директора ИКИ РАН

чл.-корр. РАН А.А. Петрукович

«15» декабря 2023 г.

ПРОГРАММА

вступительного экзамена в аспирантуру ИКИ РАН
по направлению подготовки 1.3 «Физические науки»
по научной специальности

**1.3.2 «ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ
ФИЗИКИ»**

УТВЕРЖДЕНО

на Ученом совете ИКИ РАН

«15» декабря 2023 г.

Протокол № 8

Москва - 2023

ПРОГРАММА
вступительного экзамена в аспирантуру ИКИ РАН
по научной специальности 1.3.2 «Приборы и методы экспериментальной
физики»

1. МЕХАНИКА

Движение точки в центрально-симметричном поле и законы Кеплера. Движение центра масс, закон изменения и сохранения импульса. Законы изменения и сохранения кинематического момента и энергии. Связь законов сохранения с симметрией силовых полей.

Общее решение задачи двух тел. Упругое рассеяние двух частиц, из которых одна до рассеяния покоится. Рассеяние пучка частиц, взаимодействующих по кулоновскому закону (формула Резерфорда). Рассеяние пучка частиц - "упругих шаров".

Уравнения Лагранжа в независимых координатах. Циклические координаты и симметрия силового поля. Функция Лагранжа, обобщенный потенциал (сила Лоренца и сила инерции как обобщенно-потенциальные силы); диссипативная функция Рэля. Физический маятник. Уравнение Эйлера. Уравнения Гамильтона. Теорема Лиувилля о сохранении фазового объема. Принцип наименьшего действия Гамильтона-Остроградского.

Гидродинамика. Уравнение непрерывности. Законы изменения плотности импульса и плотности энергии. Уравнения гидродинамики неидеальной жидкости. Интеграл Бернулли. Потенциальное течение. Уравнение Навье–Стокса. Число Рейнольдса. Методы определения вязкости. Ламинарное и турбулентное течение. Звуковые волны. Волновое уравнение. Явление Доплера.

Ударные волны в идеальном газе. Соотношения Гюгонио.

Рекомендуемая литература:

1. Хайкин С.Э. Физические основы механики. М.: Наука, 1971.
2. Фейнман Р. и др. Фейнмановские лекции по физике. М.: URSS, 2007.
3. Гольдстейн Г. Классическая механика. М.: Гостехиздат, 1995.

Дополнительная:

1. Ландау Л. Д., Лифшиц Е.М. Механика. М.: Наука, 1973.
2. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Механика сплошных сред. М.: Физматлит, 2001.
3. Седов Л.И. Механика сплошной среды. М.: Наука, 1994.

2. ТЕРМОДИНАМИКА И СТАТИСТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

Термодинамические системы. Состояние термодинамического равновесия. Квazистатистические (обратимые) и нестатистические (необратимые) процессы. Внутренняя энергия, количество теплоты и работа. Уравнения состояния. Первое начало термодинамики. Теплоемкости. Основные термодинамические процессы и их уравнения. Второе начало термодинамики для квазистатистических процессов. Энтропия и абсолютная температура. Второе начало для неравновесных процессов. Закон возрастания энтропии.

Термодинамика излучения. Давление излучения. Закон Кирхгофа. Закон Стефана-Больцмана. Условия равновесия и устойчивости термодинамических систем. Фазы и компоненты. Кривые равновесия фаз. Фазовые переходы первого рода и уравнения Клапейрона-Клаузиуса. Фазовые переходы второго рода и переходы лямбда-типа.

Идеальный одноатомный газ в поле внешних сил. Распределение Максвелла-Больцмана. Теорема о равномерном распределении средней кинетической энергии по степеням свободы. Классическая теория теплоемкости многоатомного идеального газа и теплоемкости твердого тела. Применение классической теории к равновесному излучению.

Идеальные одноатомные квантовые газы. Статистика Ферми-Дирака и статистика Бозе-Эйнштейна. Переход к классической статистике Больцмана. Ферми-газ при низких температурах. Электронный газ в металле. Бозе-Эйнштейновская конденсация. Фотонный газ. Равновесное излучение и формула Планка. Физические характеристики броуновского движения частиц. Формула Эйнштейна. Стохастические марковские процессы. Уравнение Эйнштейна-Фоккера-Планка и его простейшие применения. Спектральные представления и временные корреляции случайных процессов. Тепловые шумы и формула Найквиста,

Твердое тело. Кристаллическая решетка. Элементы симметрии. Молекулярные, металлические и ионные кристаллы. Дифракция рентгеновских лучей на пространственной решетке. Методы рентгеновского структурного анализа. Примеры анизотропии физических свойств кристаллов.

Рекомендуемая литература:

1. Кикоин А.К., Кикоин И.К. Молекулярная физика. М.: Наука, 1976.
2. Леонтович М.А. Введение в термодинамику, М.: Наука, 1983.
3. Киттель Ч. Элементарная статистическая физика. М.; ИЛ, 1960.
4. Киттель Ч. Элементарная физика твердого тела. М.: Наука, 1965.
5. Фейнман Р. и др. Фейнмановские лекции по физике. М.: URSS, 2007.

Дополнительная:

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Статистическая физика. М.: Физматлит, 2001.
2. Хуанг К; Статистическая механика. М.: Мир, 1966.

3. ЭЛЕКТРОДИНАМИКА

Классическая электродинамика и границы ее применения. Уравнения Максвелла как результат обобщения опытных фактов. Токи смещения и закон сохранения заряда. Уравнения Максвелла для поля зарядов и токов в вакууме.

Энергия электромагнитного поля. Закон сохранения энергии в электродинамике (вектор и теорема Пойнтинга). Силы, действующие на заряды и токи.

Запаздывающие потенциалы. Разложение полей по мультиполям. Электромагнитные поля в вакууме. Плоские волны. Электромагнитное поле электрического диполя. Излучение движущегося заряда. Синхротронное излучение. Рассеяние электромагнитных волн свободными зарядами. Уравнения Максвелла для вещества. Материальные уравнения. Граничные условия для векторов поля. Энергия электромагнитного поля в среде. Диэлектрики, диэлектрическая проницаемость, конденсаторы.

Электропроводимость. Изоляторы, полупроводники, металлы. Сверхпроводимость.

Магнитное поле тока. Действие магнитного поля на ток. Взаимодействие токов.

Диа-, пара-, ферромагнетики.

Термоэлектронная эмиссия. Электронная пушка, влияние пространственного заряда.

Электрический ток в газах. Электрический ток в полупроводниках. Полупроводниковые приборы.

Квазистационарное приближение. Скин-эффект. Электромагнитная индукция. Коэффициенты самоиндукции и взаимной индукции. Понятие об излучающих и приемных антеннах в вакууме, в СВЧ, КБ и ОНЧ-диапазонах.

Теория относительности

Теория относительности. Основные опытные факты, лежащие в основе теории относительности. Опыт Майкельсона. Принцип относительности и принцип независимости скорости света от движения источника. Преобразования Лоренца. Релятивистская кинематика. Преобразование скорости. Аберрация и эффект Доплера.

Релятивистская механика. Движение заряда во внешнем электромагнитном поле. Зависимость массы от скорости.

Рекомендуемая литература:

1. Тамм И.Е. Основы теории электричества. М.: Наука, 1976.
2. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела. М.: Наука, 1978.
3. Фейнман Р. и др. Фейнмановские лекции по физике. М.: URSS, 2007.

Дополнительная:

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Электродинамика сплошных сред. М.: Физматлит, 2001.

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

4. ОПТИКА

Электромагнитная теория поля. Волновое уравнение. Фазовая и групповая скорости света в веществе. Явление Черенкова. Интерференция света. Когерентность. Экспериментальное осуществление интерференции света. Интерференционные приборы и их применение.

Дифракция. Принцип Гюйгенса-Френеля. Дифракция Френеля (круглое отверстие, край экрана). Дифракция в параллельных лучах. Дифракционная решетка. Разрешающая способность.

Поляризация света. Поляризация при отражении и преломлении на границе диэлектрика. Вращение плоскости поляризации. Дисперсия света. Нормальная и аномальная дисперсия, поглощение. Рассеяние света. Молекулярное и комбинационное рассеяние.

Явление Фарадея. Явление Зеемана и Штарка.

Фотоэффект. Закон Эйнштейна. Импульс фотона. Давление света. Явление Комптона. Лазеры. Принцип их работы.

Понятие о голографии.

Рекомендуемая литература:

1. Ландсберг Г.С. Оптика. М.: Физматлит, 2010.

2. Фриш С.Э., Тиморева А.В. Курс общей физики. М.: Физматгиз, 1961.

5. АТОМНАЯ ФИЗИКА И КВАНТОВАЯ МЕХАНИКА

Строение атома. Спектральные закономерности. Опыты Резерфорда по рассеянию альфа-частиц. Теория Бора. Опыт Франка и Герца по определению потенциалов возбуждения атома. Спектр водорода. Волны де Бройля, дифракция электронов. Уравнение Шредингера. Принцип неопределенности Гейзенберга. Осциллятор. Ротатор. Элементарная квантовая теория излучения, коэффициент Эйнштейна. Вынужденное излучение.

Спин электрона. Лэмбовский сдвиг уровней. Атом гелия. Обменное вырождение. Симметричные и антисимметричные решения. Принцип Паули. Рентгеновские спектры. Электронные оболочки атома. Периодическая система элементов Менделеева и ее объяснение. Закономерности заполнения электронных оболочек и подоболочек.

Электрон в периодическом поле. Основные понятия бонной теории. Модели металла, полупроводника, изолятора.

Элементарные частицы; протоны, нейтроны и мезоны, электроны, фотоны, нейтрино и их античастицы. Атомное ядро. Модель ядра. Принцип Гейзенберга. Изотопы, изобары, изомеры. Эффект Мессбауэра. Дефект масс ядер. Ядерные реакции. Реакции синтеза и деления как источники энергии.

Методы регистрации элементарных частиц. Ускорители: циклотрон, синхрофазотрон. Космические лучи.

Рекомендуемая литература:

1. Шпольский Э.В. Атомная физика. Тт.1,2. М.: Наука, 1974.
2. Арцимович Л.А., Лукьянов С.Б. Движение заряженных частиц в электрических и магнитных полях. М.: Наука, 1978.
3. Фейнман Р. и др. Фейнмановские лекции по физике. М.: URSS, 2007.
4. Фриш С.Э., Тиморева А.В. Курс общей физики. М.: Физматгиз, 1961.

Дополнительная:

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Квантовая механика. М.: Физматлит, 2001.

6. ФИЗИКА ПЛАЗМЫ

Кулоновские столкновения. Дебаевский радиус экранирования. Зонд Ленгмюра. Длина свободного пробега заряженных частиц. Постоянная времени выравнивания температур T_e и T_i , Времена релаксации. Взаимодействие электронов и ионов с нейтралами. Возбуждение, ионизация, перезарядка; Модель ЛТР (локального термодинамического равновесия). Ионизационное равновесие.

Методы описания плазмы. Кинетическое уравнение с самосогласованным полем. Дрейфовое кинетическое уравнение. Гидродинамическая модель плазмы. Идеальная проводимость и "вмороженность" плазмы. Диффузия магнитного поля. Скиновое время. Магнитное число Рейнольдса.

Явления переноса в плазме. Обобщенный закон Ома. Проводимость плазмы. Ток Холла. Проводимости Холла и Педерсена. Движение частиц в электрических и магнитных полях. Методы селекции заряженных частиц по величине отношений энергии и массы к заряду, по величине скорости частиц.

Дрейфовые движения заряженных частиц. Приближение ведущего центра. Дрейф в скрещенных полях (электрический дрейф). Дрейф в неоднородном магнитном поле. Центробежный дрейф. Поляризационный дрейф.

Адиабатические инварианты движения. Магнитный момент. Продольный инвариант. Магнитный поток через дрейфовую поверхность. Ускорение Ферми. Магнитогидродинамические волны. Альвеновская и быстрая магнитозвуковая волна. Вистлеры.

Рекомендуемая литература:

Альвен Г. и Фельтхаммар К. - Г. Космическая электродинамика. Основные принципы. М.: 1967.

1. Франк-Каменецкий Д.А. Лекции по физике плазмы. Изд. 3-е. Долгопрудный: Интеллект, 2008.
2. Спитцер Л. Физика полностью ионизованного газа. М.: Мир, 1965.
3. Арцимович Л.А. Управляемые термоядерные реакции. М.: Физматгиз, 1963.

4. Веденов А.А. Физика плазмы. М.: Наука, 1964.

5. Арцимович Л.А., Сагдеев Р.З. Физика плазмы для физиков. М.: Атомиздат, 1979.

7. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ПРОВЕДЕНИЯ ФИЗИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

Экспериментальные исследования. Средства и методы измерений. Системы автоматизации экспериментальных исследований. Планирование экспериментов.

Экспериментальные установки и оборудование. Общие положения. Экспериментальное оборудование для отработки приборов. Испытательные стенды различного назначения. Контрольно-измерительная аппаратура.

Метрологическое обеспечение отработки, приборов. Погрешности измерений. Средства обеспечения точности измерений. Классы точности измерительных приборов.

Математическое моделирование. Формализация модели. Использование математических моделей сложных систем. Принципы построения моделирующих алгоритмов. Имитационное моделирование. Моделирование случайных процессов.

Теория информации. Энтропия как мера неопределенности. Условная энтропия. Информационные характеристики, избыточность. Оптимальное кодирование. Помехоустойчивое кодирование. Коды Хемминга.

Теория сигналов. Непрерывные и дискретные представления сигналов. Дискретизация и восстановление сигналов. Погрешности восстановления. Методы кодирования сигналов.

Рекомендуемая литература:

1. Бородин Л.Ф. Помехоустойчивое кодирование. М.: Связь, 1971.

2. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. М.: Наука, 1978.

3. Заварькин В.М. и др. Основы информатики и вычислительной техники. М.: Просвещение, 1989.

4. Краус М., Вошни Э. Измерительные информационные системы. Пер. с нем. - М.: Мир, 1975.

5. Кузьмичев Д.А., Радкевич И.А., Смирнов А.Д. Автоматизация экспериментальных исследований. М.: Наука, 1983.

6. Ступин Ю.В. Методы автоматизации физических экспериментов и установок на основе ЭВМ. М.: Энергоатомиздат, 1983.

7. Хемминг Р.В. Теория кодирования и теория информации. М.: Радио и связь, 1983.

8. МЕТОДЫ АНАЛИЗА РЕЗУЛЬТАТОВ ФИЗИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

Случайные величины. Законы распределения. Характеристики случайных величин. Предельные теоремы. Эмпирическое определение характеристик случайных величин.

Математическая статистика. Проверка статистических гипотез. Критерии значимости. Дисперсионный анализ. Корреляция. Регрессионный анализ.

Методы оценки неизвестных параметров. Метод максимального правдоподобия. Метод наименьших квадратов. Прямые и не прямые равноточные и неравноточные наблюдения.

Рекомендуемая литература:

1. Айвазян С.А., Енюков И.С., Мелашкин Л.Д. Прикладная статистика. М.: Финансы и Статистика, 1985.
2. Брандт З. Статистические методы анализа наблюдений. Пер. с англ. - М.: Мир, 1975.
3. Гнеденко Б.В. Курс теории вероятностей. М.: УРСС, 2001.
4. Евдокимов В.П., Покрас В.М. Методы обработки данных в научных космических экспериментах. М.: Наука, 1977.
5. Крамер Г. Математические методы статистики. Пер. с англ. - М.: Мир, 1975.
6. Макс Ж. Методы и техника обработки сигналов при физических измерениях. М.: Мир, 1983.
7. Дж.Поллард. Справочник по вычислительным методам статистики. Пер. с англ. М.: Финансы и Статистика, 1982.
8. Пустыльник Е.И. Статистические методы анализа и обработки наблюдений. - М.: Наука, 1968.

Составители:

д.т.н., профессор



Г.А. Аванесов