

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«ЮЖНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

УТВЕРЖДАЮ

декан физического факультета

Мальцевский В.С.

« »

2015 г.



**Программа вступительного экзамена в аспирантуру
по специальной дисциплине**

Направление подготовки

03.06.01 Физика и астрономия

Направленности (профили)

Астрофизика и звездная астрономия

Радиофизика

Физика конденсированного состояния вещества

Уровень высшего образования

ПОДГОТОВКА КАДРОВ ВЫСШЕЙ КВАЛИФИКАЦИИ

Форма обучения

очная

Составители: д.ф.-м.н., проф. Мануилов М.Б., к.ф.-м.н., доц. Авакян Л.А.

Программа утверждена на заседании Ученого совета физического факультета

Протокол № 4 от 31.03. 2015 г.

Ростов-на-Дону, 2015

1. Механика

1. Кинематика материальной точки.
Система отсчета, радиус-вектор материальной точки. Векторы мгновенной скорости и ускорения. Нормальное, тангенциальное, полное ускорения. Вектор элементарного угла поворота, векторы мгновенной угловой скорости, углового ускорения. Прямая и обратная задачи кинематики. Преобразования Галилея для координат и скоростей. Принцип относительности Галилея.
2. Законы Ньютона. Изменение импульса материальной точки. Момент импульса материальной точки. Закон изменения и сохранения момента импульса. Теорема об изменении кинетической энергии материальной точки.
3. Динамика системы материальных точек.
Закон сохранения и изменения импульса системы материальных точек. Центр масс. Теорема о движении центра масс системы частиц. Законы изменения и сохранения момента импульса системы материальных точек. Собственный, орбитальный, полный моменты импульса. Уравнение Мещерского. Уравнение Циолковского. Консервативные силы. Связь консервативной силы с потенциальной энергией. Оператор набла. Фinitное и инфинитное движения. Закон сохранения и изменения механической энергии системы частиц. Кинетическая энергия системы частиц при плоском движении (теорема Кенига).
4. Движение в центрально-симметричном поле.
Космические скорости. Секторальная скорость. 2-й закон Кеплера.
5. Функции Лагранжа, уравнение движения и интеграл движения: свободная частица, замкнутая система двух частиц, S-мерный гармонический осциллятор, абсолютно твердое тело.
6. Динамика абсолютно твердого тела.
Момент инерции тела относительно оси. Уравнение динамики вращательного движения твердого тела. Кинетическая энергия плоского движения твердого тела. Мгновенная ось вращения. Гироскоп. Угловая скорость прецессии. Тензор инерции.
7. Движение в неинерциальных системах отсчета. Силы инерции. Проявление сил инерции в системе отсчета, связанной с Землей. Принцип эквивалентности. Маятник Фуко.
8. Вариационный принцип Гамильтона.
Сформулировать принцип. Получить из него уравнения Лагранжа.
9. Колебания. Свободные колебания систем с одной степенью свободы. Математический и физический маятники. Уравнение гармонического осциллятора. Сложение гармонических колебаний биения. Затухающие колебания. Логарифмический декремент затухания. Добротность колебательной системы. Вынужденные колебания. Резонанс. Параметрический резонанс. Колебательные системы с двумя степенями свободы. Связанные маятники. Моды нормальных колебаний.
10. Канонические уравнения. Скобки Пуассона.

Функции Гамильтона и уравнения движения: свободной частицы, замкнутой системы 2-х частиц, S-мерного гармонического осциллятора. Определение и свойства скобок Пуассона.

11. Уравнения Гамильтона-Якоби. Решение уравнения Гамильтона-Якоби для системы: свободная частица, замкнутая система 2-х частиц, S-мерный осциллятор.
12. Деформации.
Закон Гука. Модуль Юнга. Модуль сдвига. Коэффициент Пуассона. Энергия упругих деформаций.
13. Механика жидкостей и газов. Законы гидростатики.
Стационарное течение жидкости. Уравнение неразрывности. Уравнение Бернулли для идеальной жидкости. Распределение скоростей в цилиндрическом потоке вязкой жидкости. Формула Пуазейля. Формула Стокса. Число Рейнольдса. Кавитация. Циркуляция потока. Подъемная сила. Эффект Магнуса.
14. Волны в сплошной среде.
Уравнение плоской бегущей монохроматической волны. Фазовая и групповая скорости. Вектор Умова-Пойтинга. Стоячие волны. Эффект Доплера. Звуковые колебания в сплошной среде (струна, воздушный столб). Акустический резонанс. Закон Вебера-Фехнера. Сила звука. Кривая слышимости. Инфразвук, ультразвук.

2. Молекулярная физика

1. Термодинамический подход к описанию молекулярных явлений. Температура.
Параметры состояния. Термодинамическая система. Изолированные термодинамические системы. Термодинамический процесс. Равновесный процесс. Круговой процесс. Термодинамическая шкала температур. Термометрическое тело.
2. Первое начало термодинамики. Циклические процессы.
Внутренняя энергия системы. Количество теплоты. Первое начало термодинамики. Работа газа при изменении объема.
3. Второе начало термодинамики.
Тепловая машина. Коэффициент полезного действия тепловой машины. Второе начало термодинамики в формулировке Клаузиуса.
4. Энтропия термодинамической системы. Термодинамические потенциалы.
Макросостояние и микросостояние. Статистический вес. Энтропия. Закон возрастания энтропии. Внутренняя энергия системы. Свободная энергия тела. Энтальпия.
5. Взаимодействие молекул. Идеальный газ. Основные газовые законы.
Идеальный газ. Теплоемкость идеального газа. Уравнение Роберта Майера. Уравнение адиабаты идеального газа. Уравнение Пуассона. Политропические процессы. Работа газа при различных процессах.
6. Распределение молекул по скоростям. Идеальный газ во внешнем потенциальном поле.
Функция распределения. Одномерная функция распределения молекул по скоростям. Объемная функция распределения молекул по скоростям. Функция распределения молекул по модулю скорости. Распределение Больцмана. Закон Максвелла-Больцмана.

7. Канонические распределения.
Каноническое распределение Гиббса.
8. Идеальные бозе- и ферми-газы. Равновесное излучение.
Статистика Ферми-Дирака и Бозе-Эйнштейна.
9. Теплоемкость твердых тел. Модели Дебая и Эйнштейна.
Статистическая сумма. Квантовая теория теплоемкостей Дебая и Эйнштейна.
10. Теория флуктуаций. Броуновское движение. Состояние. Вероятность состояния. Средняя квадратичная флуктуация.
11. Реальные газы. Уравнение Ван-дер-Ваальса.
Уравнение Ван-дер-Ваальса. Изотермы реального газа. Внутренняя энергия реального газа.
12. Жидкости. Поверхностные явления.
Поверхностное натяжение. Давление Лапласа. Смачивание и несмачивание.
13. Твердые тела. Кристаллы. Симметрия кристаллов. Классификация кристаллов. Типы кристаллических решеток.
14. Фазовые переходы первого и второго рода. Условия устойчивости и равновесия.
Равновесие жидкости и насыщенного пара. Критическое состояние. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса. Тройная точка.
15. Явления переноса.
Диффузия, теплопроводность, внутреннее трение.
16. Кинетическое уравнение Больцмана. Понятие об H-теореме.
17. Плазменное состояние вещества. Уравнение Власова. Понятие о самосогласованном поле.

3. Электродинамика и оптика

1. Электростатическое поле. Закон Кулона. Теорема Гаусса. Мультипольное разложение потенциала.
Закон Кулона. Напряженность электрического поля. Принцип суперпозиции. Теорема Гаусса. Теорема о циркуляции. Потенциал. Разность потенциалов. Связь разности потенциалов и напряженности поля. Разложение поля по мультиполям.
2. Статическое магнитное поле. Закон Био-Савара-Лапласа. Электромагнитная индукция.
Вектор магнитной индукции. Закон Био-Савара-Лапласа. Теорема о циркуляции. Поток магнитной индукции через замкнутую поверхность. Электромагнитная индукция. Правило Ленца. Самоиндукция. Взаимная индукция.
3. Уравнения Максвелла в вакууме. Скалярный и векторный потенциалы. Калибровочная инвариантность.
Ток смещения. Вихревое электрическое поле. Уравнения Максвелла в вакууме. Потенциалы электромагнитного поля. Градиентная инвариантность.

4. Энергия электромагнитного поля. Вектор Умова.
Связь электрического и магнитного полей в электромагнитной волне. Объемная плотность энергии электромагнитного поля. Вектор Пойтинга. Подсчет энергии электромагнитного поля.
5. Излучение электромагнитных волн в электрическом дипольном приближении. Радиационное трение.
Дипольное излучение. Реакция излучения.
6. Уравнения Максвелла в среде. Материальные уравнения. Комплексная диэлектрическая проницаемость и показатель преломления, их пространственная и временная дисперсия.
Напряженность магнитного поля. Индукция электрического поля. Граничные условия для электрического и магнитного полей. Уравнения Максвелла в диэлектрической среде. Связь \vec{D} и \vec{E} в переменных полях в диэлектрике. Комплексная диэлектрическая проницаемость. Классическая теория дисперсии. Аномальная дисперсия.
7. Диэлектрики, магнетики, проводники, сверхпроводники и их электромагнитные свойства.
Поляризация диэлектриков. Диэлектрические восприимчивость и проницаемость. Сегнетоэлектрики. Классификация магнетиков. Магнитные моменты электрона в атомах. Природа магнетизма. Закон Ома для участка цепи в интегральной и дифференциальной формах. Сверхпроводимость. Основы теории БКШ. Магнитные свойства сверхпроводников. Высокотемпературная сверхпроводимость.
8. Квазистационарное приближение. Скин-эффект.
Переменный электрический ток. Условия квазистационарности. Получение переменного тока. Нагрузки в цепи переменного тока. Символический метод описания цепей переменного тока. Резонансы токов и напряжений. Мощность в цепи переменного тока. Скин-эффект.
9. Основы специальной теории относительности. Преобразования Лоренца.
Постулаты теории относительности. Преобразования Лоренца. Относительность одновременности. Длина движущегося тела. Темп хода движущихся часов. Собственное время. Сложение скоростей. Преобразования ускорения.
10. Эффект Черенкова. Циклотронное и синхротронное излучения. Рассеяние электромагнитных волн на свободных электронах. Лазеры на свободных электронах.
Излучение Черенкова-Вавилова. Магнитотормозное излучение: циклотронное и синхротронное. Рассеяние электромагнитных волн на свободных электронах. Лазеры на свободных электронах.
11. Интерференция света. Временная и пространственная когерентность. Интерферометры.
Когерентность колебаний. Когерентные колебания в оптике. Осуществление когерентных колебаний в оптике. Локализация интерференционных полос. Двухлучевые интерферометры. Интерферометр Фабри-Перо.
12. Дифракция света. Приближения Френеля и Фраунгофера. Спектральные приборы.
Принцип Гюйгенса-Френеля для дифракции. Зоны Френеля. Зонная и фазовая пластинки. Линза как зонная пластинка. Дифракция на краю полуплоскости. Дифракция

Фраунгофера. Дифракционная решетка. Современные дифракционные решетки. Основные характеристики спектральных приборов.

13. Излучение света атомами и молекулами. Ширина линии излучения. Спонтанные и вынужденные переходы. Лазеры.
Спектр атома водорода. Спектры щелочных металлов. Ширина спектральной линии. Молекулярные спектры. Вынужденное излучение. Лазеры.
14. Дисперсия и поглощение света. Отражение и преломление света на границе двух сред. Рассеяние света. Формула Рэлея.
Электронная теория дисперсии. Аномальная дисперсия. Поглощение света. Формула Френеля. Рассеяние света. Закон Рэлея.
15. Взаимодействие света и вещества. Законы фотоэффекта. Закон Стефана-Больцмана.
Фотоэффект. Законы фотоэффекта. Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта. Тепловое излучение. Законы Стефана-Больцмана и Вина. Формула Рэлея-Джинса. Ультрафиолетовая катастрофа. Формула Планка.
16. Нелинейные оптические явления. Генерация гармоник, самофокусировка света.
Нарушение принципа суперпозиции. Нелинейное отражение света, самофокусировка света, оптические гармоники, многофотонные процессы.

4. Атомная физика и квантовая механика

1. Излучение черного тела. Приближения Рэлея-Джинса и Вина для спектральной плотности излучения черного тела. Формула Планка.
2. Спонтанные и вынужденные переходы атомов между стационарными состояниями. Полуклассическая теория Эйнштейна для излучения черного тела.
3. Атом водорода по Бору. Правила квантования орбит. Энергии уровней и радиусы стационарных орбит. Спектры излучения атома водорода.
4. Фотоэффект. Экспериментальные факты. Законы фотоэффекта. Теория фотоэффекта. Уравнение Эйнштейна.
5. Гипотеза де Бройля. Уравнение де Бройля. Опыты Девидсона и Джермера. Фазовая и групповая скорости волн де Бройля.
6. Уравнение Шредингера, его физический смысл и основные свойства. Стационарные состояния и их свойства.
7. Движение частицы в поле прямоугольного бесконечно протяженного потенциального барьера конечной высоты U_0 при $E > U_0$, где E – энергия частицы. Коэффициенты отражения и прохождения.
8. Движение частицы в поле прямоугольного бесконечно протяженного потенциального барьера конечной высоты U_0 при $E < U_0$, где E – энергия частицы. Классически доступная и недоступная области движения. Коэффициенты отражения и прохождения.
9. Прохождение частицы через прямоугольный потенциальный барьер. Коэффициент прохождения. Туннельный эффект.

10. Принцип неразличимости одинаковых частиц. Свойство симметрии волновой функции системы одинаковых частиц. Фермионы и бозоны. Принцип Паули.
11. Собственные функции операторов и их свойства. Одновременная измеримость физических величин. Соотношения неопределенности для координаты и импульса.
12. Постановка задачи о теории возмущений для невырожденного спектра. Сдвиг уровней в первом порядке теории возмущений. Условия применимости теории возмущений.
13. Спектр энергии и волновые функции атома водорода.
14. Оператор углового момента в квантовой механике. Операторы проекций момента и квадрата момента импульса. Коммутационные соотношения и их следствия. Собственные функции и значения оператора квадрата момента и проекции момента на ось Z.
15. Принцип неразличимости одинаковых частиц и обменное взаимодействие.

5. Физика атомного ядра и частиц

1. Основные характеристики атомных ядер. Квантовые характеристики ядерных состояний. Массовое число и электрический заряд атомного ядра. Радиус ядра. Удельная энергия связи нуклона в ядре. Дефект масс. Энергетическая поверхность. Спин и магнитный момент ядра. Сверхтонкая структура. Четность. Изотопический спин. Однуклонная модель Шмидта.
2. Радиоактивность. Экспоненциальный закон радиоактивного распада. Альфа-распад. Механизм альфа-распада. Туннельный переход. Бета-распад. Три вида бета-распада. Понятие о теории бета-распада. Экспериментальное обнаружение нейтрино.
3. Деление и синтез ядер. Ядерная энергия. Реакторы. Открытие нейтрона и его основные свойства. Деление тяжелых ядер. Цепная ядерная реакция деления. Физико-технические основы ядерной энергетики. Реакторы на тепловых нейтронах. Реакторы на быстрых нейтронах. Топливный цикл. Термоядерный синтез.
4. Модели атомных ядер. Капельная модель ядра. Эмпирическая формула Вейцеккера для энергии связи. Модель ядерных оболочек. Схема построения ядерных оболочек. Основные свойства обобщенной модели ядра.
5. Гамма-излучение ядер. Эффект Мессбауэра. Гамма-излучение ядер и правила отбора. Энергия отдачи ядра при излучении гамма-кванта. Влияние кристаллической решетки на энергию отдачи. Физическая природа эффекта Мессбауэра. Эффект Доплера и резонансное поглощение. Применение эффекта Мессбауэра в ядерной и общей физике.
6. Механизмы ядерных реакций. Законы сохранения в ядерных реакциях (электрического и барионного зарядов, энергии и импульса, момента импульса, четности, изоспина). Импульсные диаграммы. Общие

свойства ядерных реакций. Составное ядро. Оптическая модель. Фотоядерные реакции. Сечение ядерной реакции. Формулы Брейта-Вигнера.

7. Ядерные силы и их свойства.

Методы изучения ядерных сил (протон-протонное и протон-нейтронное рассеяние). Мезонная теория ядерных сил. Дейтрон. Основные свойства ядерных сил (изотопическая инвариантность, короткодействие, зависимость от спинов, нецентральность, обменный характер, насыщение).

8. Частицы и взаимодействия. Взаимодействие как обмен квантами калибровочного поля (калибровочными бозонами). Фундаментальные частицы – лептоны и кварки. Античастицы.

Понятие об обменном взаимодействии. Кванты взаимодействия. Фотоны. Пи-мезоны. Глюоны. W-бозоны. Диаграммы Фейнмана. Классификация элементарных частиц.

9. Электромагнитное взаимодействие.

Фотон – квант электромагнитного поля. Основные электромагнитные процессы. Тормозное излучение. Эффект Комптона. Рождение электрон-позитронных пар.

10. Сильное взаимодействие. Кварковая структура адронов. Цветовой заряд кварков. Глюоны.

Гипотеза Юкавы. Масса кванта поля сильного взаимодействия. Открытие Пи-мезона. Внутренняя структура адронов. Свойства кварков и антикварков. Цветовой заряд и сильное взаимодействие между кварками. Глюоны – переносчики сильного взаимодействия кварков.

11. Слабое взаимодействие и процессы, им обусловленные. Слабые распады кварков и лептонов. Нейтрино.

Странные частицы. Несохранение четности в слабых взаимодействиях. Открытие W-бозонов – переносчиков слабого взаимодействия.

12. Симметрии и законы сохранения. Объединение взаимодействий.

Объединение электромагнитных и слабых взаимодействий (электрослабая теория Вайнберга-Салама-Глэшоу). Квантовая хромодинамика. Стандартная модель.

13. Нуклеосинтез во Вселенной. Ядерные реакции в звездах. Космические лучи и их основные характеристики.

Высвобождение ядерной энергии в водородно-гелиевой среде. Водородный цикл. Углеродный цикл. Первичное и вторичное космическое излучение. Химический состав космических лучей. Энергетический спектр космического излучения.

14. Взаимодействие частиц и излучений с веществом.

Упругое рассеяние. Формула Резерфорда. Многократное рассеяние. Ионизационное торможение заряженных частиц. Формула Бора для удельной ионизации. Радиационное торможение электронов. Излучение Вавилова-Черенкова. Взаимодействие нейтронов с веществом. Взаимодействие гамма-квантов с веществом. Фотоэффект. Эффект Комптона. Образование электрон-позитронных пар.

15. Принципы и методы ускорения заряженных частиц.

Движение заряженных частиц в однородном электрическом и магнитном полях. Ускоритель Ван-де-Графа. Основные формулы релятивистской динамики. Принцип

действия и устройство циклотрона. Принцип действия и устройство бетатрона. Ускорители со встречными пучками.

16. Методы детектирования частиц.

Газонаполненные детекторы и ионизационные камеры. Счетчик Гейгера-Мюллера. Сцинтилляционные счетчики. Камеры Вильсона. Черенковские счетчики. Фотографические методы регистрации частиц и излучений.