

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Марийский государственный университет»



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по инновационной
деятельности

 / К.Н. Белослудцев
(подпись)

«20» января 2024 г.

**ПРОГРАММА ВСТУПИТЕЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ ПРИ ПРИЁМЕ НА
ОБУЧЕНИЕ ПО ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫМ ПРОГРАММАМ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ - ПРОГРАММАМ ПОДГОТОВКИ НАУЧНЫХ И
НАУЧНО-ПЕДАГОГИЧЕСКИХ КАДРОВ В АСПИРАНТУРЕ**

Научная специальность 1.3.8. Физика конденсированного состояния

Специальная дисциплина Физика конденсированного состояния

Йошкар-Ола

2024

Настоящая программа составлена в соответствии с Федеральными государственными требованиями к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре, условиями их реализации, сроком освоения этих программ, образовательных технологий, Порядком приема на обучение по образовательным программам высшего образования – программам подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре и паспорта научной специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния.

Программа разработана: и.о. зав. кафедрой физики и материаловедения
Мироновым Геннадием Ивановичем, д. ф.-м.н., профессор
(должность, Ф.И.О., ученая степень звание автора(ов) программы)

Рассмотрена и одобрена на заседании кафедры

Физика и материаловедения

(название кафедры)

Протокол заседания №6 от «15» января 2024 г.

Геннадий Иванович Миронов Г.И.О. Миронов

(подпись, Ф.И.О. зав. кафедрой)

Содержание программы

Часть 1. Теоретическая механика

1. Уравнения движения.

Обобщенные координаты. Принцип наименьшего действия. Принцип относительности Галилея. Функция Лагранжа свободной материальной точки. Функция Лагранжа системы материальных точек.

2. Законы сохранения.

Энергия. Импульс. Момент импульса. Механическое подобие.

3. Интегрирование уравнений движения.

Одномерное движение. Финитное движение. Период колебаний при финитном движении. Приведенная масса. Движение в центральном поле. Движение под действием гравитационных сил.

4. Малые колебания.

Свободные одномерные колебания. Вынужденные колебания. Колебания систем с многими степенями свободы. Затухающие колебания. Вынужденные колебания при наличии трения. Движение в быстро осциллирующем поле.

5. Движение твердого тела.

Угловая скорость. Тензор инерции. Момент импульса твердого тела. Уравнения движения твердого тела. Эйлеровы углы. Уравнения Эйлера. Асимметрический волчок. Соприкосновение твердых тел. Движение в неинерциальной системе отсчета.

6. Канонические уравнения.

Уравнения Гамильтона. Функция Рауса. Скобки Пуассона. Действие как функция координат. Принцип Мопертюи. Канонические преобразования. Теорема Лиувилля. Адиабатические инварианты. Канонические переменные.

Часть 2. Электродинамика.

1. Заряды и частицы. Электрическое и магнитное поля.

Поле неподвижных зарядов. Уравнение непрерывности. Электрическое поле зарядов, движущихся с постоянной скоростью.

2. Электромагнитное поле движущихся зарядов общий случай.

Система уравнений Максвелла-Лоренца. Ток смещения. Потенциалы электромагнитного поля. Калибровочная инвариантность потенциалов. Закон сохранения энергии электромагнитного поля. Закон сохранения импульса электромагнитного поля.

3. Электростатическое поле.

Электростатическое поле системы точечных зарядов. Дипольный момент. Квадрупольный момент. Работа и энергия во внешнем электростатическом поле. Энергия взаимодействия системы зарядов и энергия электростатического поля.

4. Квазистационарное магнитное поле.

Поле системы зарядов, совершающих медленное квазистационарное движение. Поле одиночного заряда, совершающего медленное равномерное движение. Поле системы зарядов, совершающих квазистационарное движение на больших расстояниях. Магнитный момент.

5. Электромагнитное поле произвольно движущихся зарядов.

Общее решение уравнения Даламбера в виде запаздывающих потенциалов. Поле произвольно движущегося точечного заряда.

6. Общие принципы теории относительности.

Преобразования Галилея. Опыт Майкельсона. Постулаты теории относительности Эйнштейна. Преобразования Лоренца. Инвариантность физических законов относительно преобразований Лоренца. Четырех мерная формулировка теории относительности. Четырех мерные векторы и тензоры.

7. Инвариантность законов электродинамики относительно преобразований Лоренца.

Инвариантность заряда, четырех мерный ток и уравнение непрерывности. Релятивистки инвариантна формулировка уравнений для потенциалов. Поле движущегося заряда. Тензор электромагнитного поля и уравнения Максвелла.

Часть 3. Квантовая механика

1. Понятие оператора. Свойства операторов.

Ввести понятие оператора. Линейный оператор, самосопряженный (эрмитовый) оператор. Примеры операторов. Операторное уравнение. Собственное значение оператора, спектр собственных значений. Собственная функция. Теоремы об операторах.

2. Развитие квантовой теории. Корпускулярно-волновой дуализм.

Гипотеза Планка. Объяснение законов фотоэффекта. Эффект Комптона. Корпускулярно-волновой дуализм. опыты по дифракции электронов.

3. Соотношение неопределенностей Гейзенберга.

Мысленный эксперимент по дифракции электронов на одной щели. Неопределенность координаты микрочастицы. Неопределенность импульса. Неопределенности энергии. Время жизни. Вывод соотношения неопределенностей Гейзенберга.

4. Вероятностный характер уравнение Шредингера.

Волновая функция. Волновое уравнение. Гамильтониан (оператор Гамильтона). Стационарное уравнение Шредингера. Квадратичная комбинация волновой функции, физический смысл квадратичной комбинации волновых функций. Условие нормировки.

5. Принцип суперпозиции в квантовой механике. Средние значения физических величин.

Ортонормированность волновых функций, принцип суперпозиции. Теорема о среднем значении физической величины.

6. Операторы координаты и проекции импульса.

Операторы проекций координат микрочастиц. Операторы проекций импульса микрочастиц. Перестановочные соотношения для операторов координат и импульса.

7. Оператор момента импульса (орбитального момента).

Операторы проекций момента импульса микрочастиц, коммутационные соотношения. Оператор момента импульса в декартовой и сферической системах координат. Собственные значения операторов проекции момента импульса. Собственные значения оператора квадрата момента импульса. Сферические функции.

8. Гамильтониан частицы и системы частиц.

Оператор кинетической энергии. Оператор потенциальной энергии. Гамильтониан микрочастицы. Гамильтониан частицы в электромагнитном поле. Гамильтониан системы частиц во внешнем поле.

9. Принцип причинности в квантовой механике. Нестационарное уравнение Шредингера.

Волновая функция, зависящая от времени. Принцип причинности. Нестационарное уравнение Шредингера. Обратимые и необратимые процессы.

10. Вектор плотности потока вероятности.

Уравнение непрерывности в классической физике. Вывод уравнения непрерывности в квантовой механике. Вектор плотности потока вероятности. Физический смысл квадратичных комбинаций волновых функций.

11. Производная оператора по времени. Теорема Эренфеста.

Производная среднего значения физической величины от времени. Уравнение движения для оператора. Уравнения движения для операторов проекций координат и импульса микрочастиц. Теорема Эренфеста. Интеграл движения.

12. Принцип соответствия в квантовой механике. Предельный переход к классической физике. Уравнение Гамильтона-Якоби.

Принцип соответствия. Уравнение Гамильтона-Якоби в классической физике. Вывод уравнения Гамильтона-Якоби в квантовой механике.

13. Связь законов сохранения со свойствами пространства и времени.

Однородность времени. Закон сохранения энергии. Однородность пространства и закон сохранения импульса. Связь изотропности пространства с законом сохранения момента импульса.

14. Частица в потенциальной яме.

Постановка задачи. Решение уравнение Шредингера. Спектр собственных значений. Плотность вероятности обнаружения микрочастицы. Предельный переход к классической физике.

15. Потенциальный барьер. Туннельный эффект.

Постановка задачи о прохождении микрочастицы через потенциальный барьер. Решение

уравнении Шредингера. Туннельный эффект. Коэффициент прозрачности потенциального барьера. Надбарьерное отражение.

16. Гармонический осциллятор.

Постановка задачи. Уравнение Шредингера для гармонического осциллятора, решение уравнения Шредингера. Операторы вторичного квантования. Спектр гармонического осциллятора. Полином Эрмита.

17. Водородоподобный атом.

Постановка задачи. Уравнение Шредингера для водородоподобного атома в сферической системе координат. Решение уравнения Шредингера. Спектр атома водорода. Квантовые числа.

18. Спин. Оператор спина.

Опыты Штерна и Герлаха. Гипотеза Уленбека и Гаудсмита. Оператор спина электрона. Собственные значения операторов проекции спина и квадрата оператора спина. Магнитное спиновое число. Фермионы. Бозоны.

19. Тождественные частицы. Принцип тождественности. Принцип Паули.

Понятие о тождественных частицах. Оператор перестановки частиц. Симметричные и ассиметричные волновые функции системы микрочастиц. Бозе-частицы, ферми-частицы. Принцип запрета Паули.

20. Периодическая система химических элементов Д.И. Менделеева.

Идеальная схема заполнения электронных оболочек. Реальная схема заполнения. Периодическая система химических элементов Д.И. Менделеева.

21. Стационарная теория возмущений.

Возмущение, оператор возмущения. Функции невозмущенной системы, решение в нулевом приближении. Поправки к уровням энергий. Волновые функции учетом малых возмущений.

22. Теория возмущений при наличии вырождения.

Понятие о вырождении квантовой системы. Расщепление уровней случае двукратного вырождения. Волновые функции с учетом вырождения.

Часть 4 Статистическая механика

1. Основные принципы статистики.

Статистическое распределение. Статистическая независимость. Теорема Лиувилля. Статистическая матрица. Статистическое распределение в квантовой статистике. Энтропия. Закон возрастания энтропии.

2. Основные термодинамические величины.

Температура. Макроскопическое движение. Адиабатический процесс. Работа количество тепла. Свободная энергия и термодинамический потенциал Термодинамическая шкала температур. Термодинамические неравенства. Теорема Нернста.

3. Распределение Гиббса.

Распределение Гиббса. Распределение Максвелла. Распределение вероятностей для осцилляторов. Свободная энергия и распределение Гиббса. Термодинамическая теория возмущений.

4. Идеальный газ.

Распределение Больцмана. Распределение Больцмана в классической статистике. Столкновение молекул. Неравновесный идеальный газ. Свободная энергия идеального Больцмановского газа. Уравнение состояния идеального газа. Идеальный газ с постоянной теплоемкостью. Закон равнораспределения.

5. Распределение Ферми и Бозе.

Распределение Ферми. Распределение Бозе. Неравновесные ферми- и бозе-газы. Вырожденный электронный газ. Теплоемкость вырожденного электронного газа. Магнетизм электронного газа. Вырожденный бозе-газ.

6. Твердые тела.

Твердые тела при низких и высоких температурах. Интерполяционная формула Дебая. Тепловое расширение твердых тел. Колебания кристаллической решетки. Плотность числа состояний. Фононы. Операторы рождения и уничтожения фононов.

7. Флуктуации.

Распределение Гаусса. Распределение Гаусса для нескольких величин. Флуктуации основных термодинамических величин. Флуктуации в идеальном газе. Формула Пуассона. Корреляция флуктуаций во времени. Симметрия кинетических коэффициентов. Диссипативная функция. Спектральное разложение флуктуаций. Флуктуационно-диссипационная теорема.

Критерии оценки

Вступительный экзамен проводится по билетам в соответствии с заявленной программой. Содержание экзамена в аспирантуру охватывает все минимальное содержание, установленное Федеральными государственными требованиями к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре, условиями их реализации, сроком освоения этих программ, образовательных технологий. Экзамен проводится по экзаменационным билетам, включающим 2 вопроса из программы вступительных испытаний и 1 – собеседование по научным публикациям поступающего (по реферату при отсутствии публикаций).

Для определения качества ответа на вступительных экзаменах при поступлении в аспирантуру учитываются следующие критерии: соответствие теме; полнота раскрытия вопроса, подкрепление теоретических положений примерами; правильность фактического материала; научный уровень; логическая последовательность изложения материала; знание терминологии; степень осознанности понимания изученного; правильное речевое оформление (научный стиль изложения, соответствие нормам современного литературного языка)

Вступительные испытания по программам подготовки научных и научно-педагогических кадров оцениваются:

80-100 баллов – отлично,

60-79 баллов – хорошо,

40-59 баллов – удовлетворительно;

Ниже 40 баллов – неудовлетворительно

Отлично	Ответ полный и развёрнутый. Просматривается понимание существа проблемы и путей её решения. Продемонстрированы умения выделять существенные признаки понятий и причинно-следственные связи явлений; умения включаться в дискуссию, аргументировать свою позицию, выражать отношение к тем или иным точкам зрения. Ответ структурирован, логичен, терминологически обоснован, умеет тесно увязывать теорию с практикой. Речь коммуникативно целесообразная.
Хорошо	Ответ в целом полный и аргументированный. Прослеживается умение выделять главное и существенное, анализировать разные точки зрения на проблему, при этом не всегда чётко аргументирована собственная позиция. Ответ выстроен логически верно, выявлены существенные признаки понятий, явлений, дана их чёткая интерпретация, сделаны обоснованные выводы. Речь коммуникативно целесообразная.
Удовлетворительно	Ответ в целом раскрывает содержание вопроса, но допущены существенные отклонения от темы, Прослеживается понимание заявленной проблемы, но при этом обнаруживается недостаточная последовательность и логичность суждений. Допущены неточности в раскрытии понятий, теорий, явлений. Прослеживается попытка анализировать информацию с разных точек зрения, но не делаются обоснованные выводы.
Неудовлетворительно	Ответ не полный, не аргументирован. Представлены разрозненные знания по существу вопроса. Допущены ошибки в определении понятий и их интерпретации. Обнаруживается фрагментарность изложения материала, нарушение логики представления понятий, явлений, теорий. Ответ требует уточнения и коррекции. Не получены ответы по основополагающим вопросам дисциплины. Речь отличается коммуникативно нецелесообразными проявлениями.

Оценка ответов на вступительном экзамене проводится экзаменационной комиссией, действующей на основании приказа,

Минимальное количество баллов не может быть изменено в ходе приема.

Максимальное количество баллов за вступительный экзамен – 100 баллов, минимальное количество – 40 баллов.

Рекомендуемая литература

1.1. Основная литература

1. Ландау Л.Д., Е.М. Лифшиц Теоретическая физика (в 10-и томах). Том 1. Механика. Т.1 М. URSS., 2013.
2. Ландау Л.Д., Е.М. Лифшиц Теоретическая физика (в 10-и томах). Том 3. Квантовая механика, М. URSS., 2008.
3. Ландау Л.Д., Е.М. Лифшиц Теоретическая физика (в 10-и томах). Том 2. Теория поля М. URSS., 2012.
4. Ландау Л.Д., Е.М. Лифшиц Теоретическая физика (в 10-и томах). Том 5. Часть 1 Статистическая физика. Т.5, Ч.1 М. URSS., 2013.
5. Левич В.Г. Курс теоретической физики. В двух томах. М. ЁЁ Медиа. 2012.
6. Абрикосов А.А. Фальковский Л.А. Основы теории металлов. М. Физматлит., 2010.
7. Байков Ю.А. Физика конденсированного состояния. М. Бином, 2011.
8. Блохинцев Д.И. Основы квантовой механики. М. Лань, 2004.
9. Боровик Е.С., Еременко В.В., Мильнер А.С. Лекции по магнетизму. М. Физматлит., 2005.
10. Брандт Н.Б., Кульбачинский В.А. Квазичастицы в физике конденсированного состояния. М. Физматлит., 2007.
11. Гусев А.И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии. М. Физматлит., 2009.
12. Давыдов А. С. Квантовая механика. С-П: БХФ-Петербург, 2011.
13. Капитонов И.М. Введение в физику ядра и частиц. М.: УРСС, 2002.
14. Окунь Л.Б. Кварки и лептоны. М.: Наука, 2013.
15. Цвелик А.М. Квантовая теория поля в физике конденсированного состояния. М. Физматлит., 2004.
16. Окунь Л.Б. Кварки и лептоны. М.: Наука, 2013.

1.2. Дополнительная литература

1. Абрикосов А.А. Основы теории металлов. М.: Наука, 2000.
2. Абрикосов А.А., Горьков Л.П., Дзялошинский И.Е. Методы квантовой теории поля в статистической физике. М.: Физматгиз, 1962.
3. Берестецкий В.Б., Лифшиц Е.М., Питаевский Л.П. Квантовая электродинамика. М. Физматлит, 2001.
4. Гантмахер Ф. Р. Лекции по аналитической механике. М.: Физматлит, 2001.
5. И.Е. Иродов. Квантовая физика. М.- Физматлит, 2001 г. 272 с.
6. Ициксон К., Зюбер Ж.-Б. Квантовая теория поля. В 2 т. М.: Мир, 1984.
7. Квасников И.А. Термодинамика и статистическая физика. Теория равновесных систем. М.: Изд-во МГУ, 1991.
8. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела. М.: Наука, 2000.
9. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Гидродинамика. М.: Физматлит, 2001.
10. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Электродинамика сплошных сред. М.: Физматлит, 2001.
11. Е.М., Питаевский Л.П. Статистическая физика. Ч.2. М.: Наука, 2000.
12. Лифшиц Е.М., Питаевский Л.П. Физическая кинетика. М.: Наука, 1979.
13. Павлов П.В., Хохлов А.Ф. Физика твёрдого тела. М. ВШ. 2000.
14. Пескин М., Шредер Д. Введение в квантовую теорию поля.: Ижевск: РиХД, 2001.
15. Ферми Э. Лекции по квантовой механике. 2000. 248 с.
16. Блохинцев Д.И. Основы квантовой механики. М. Лань, 2004.
17. Капитонов И.М. Введение в физику ядра и частиц. М.: УРСС, 2002.