

«Марийский государственный университет»



~~/~~ К.Н. Белослудцев

(ПОДПИСЬ)

«19» января 2026 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

2026

Настоящая программа поставлена 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: 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 № от «5» 09.12 2025 г.

Миронов Г.И. / Г.И. Миронов /
(подпись, Ф.И.О. зав кафедрой)

Содержание программы

Часть 1. 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. Теорема 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 уравнения 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 Гаудемита. Оператор спина электрона. Собственные значения операторов проекции спина и квадрата оператора спина. Магнитное спиновое число. Фермионы. Бозоны.

19. Тожественные частицы. Принцип тождественности. Принцип Паули.

Понятие о тождественных частицах. Оператор перестановки частиц. Симметричные и антисимметричные 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 2. Физика конденсированного состояния

- 1. Типы связей в кристаллах.**
- 2. Энергия связи.**
- 3. Геометрия кристаллической решетки.**
- 4. Обратная решетка.**
- 5. Прimitives ячейка обратной кристаллической решетки ГЦК и ОЦК.**
- 6. Миллеровские индексы. Теорема о миллеровских индексах.**
- 7. Зоны Бриллюэна.**
- 8. Дифракция рентгеновских лучей.**
- 9. Колебания атомов.**
- 10. Колебания атомов одномерного кристалла с одним сортом атомов.**
- 11. Колебания атомов одномерного кристалла с двумя сортами атомов.**
- 12. Колебания атомов трехмерного кристалла.**
- 13. Нормальные координаты, нормальные колебания в случае одномерного кристалла.**
- 14. Гамильтониан в нормальных координатах.**
- 15. Квантования решеточных колебаний.**
- 16. Фононы.**
- 17. Закон Дюлонга-Пти.**
- 18. Теория Эйнштейна для теплоемкости.**
- 19. Теория Дебая для теплоемкости твердых тел.**
- 20. Приближение слабой связи.**

21. Приближение сильной связи.
22. Классификация твердых тел по зонным схемам.
23. Металлы, диэлектрики, полупроводники, полуметаллы.
24. Динамика электрона в кристалле, эффективная масса.
25. Низкотемпературная сверхпроводимость.
26. Понятие о высокотемпературной сверхпроводимости.
27. Углероды, фуллерены, история открытия, свойства.
28. Нанотрубки, свойства углеродных нанотрубок.
29. Графен, углеродные наносистемы.

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. Цвеллик 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.