

1. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Физика конденсированного состояния (кандидатский экзамен)» относится к числу обязательных профессиональных дисциплин, входит в состав вариативной части основной профессиональной образовательной программы и изучается на 4-ом году обучения, в 7-м (нечетном) семестре.

В рамках курса аспирантом самостоятельно изучаются базовые разделы физики конденсированного состояния, а также самостоятельно получают дополнительные знания, умения и навыки по дополнительным разделам физики конденсированного состояния и в смежных областях. Окончание обучения по данной дисциплине заканчивается кандидатским экзаменом по специальности (специальной дисциплине) «Физика конденсированного состояния». Получение аспирантом знания, умения и навыки должны соответствовать паспорту специальности 01.04.07 «Физика конденсированного состояния», утвержденного ВАК Минобрнауки РФ.

Освоение дисциплины «Физика конденсированного состояния (кандидатский экзамен)» опирается на знания, умения, навыки и компетенции, сформированные на двух предшествующих уровнях образования (бакалавриат, магистратура) в области физики конденсированного состояния и физического материаловедения, а также на знания, умения и навыки, полученные аспирантом при изучении ряда курсов вариативной части настоящей ОПОП (в первую очередь – курса «Специальные разделы физики конденсированного состояния»).

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников)

Целью курса является:

- формирование у аспирантов углубленного понимания основных физических явлений и специфики применения физических законов для их описания в веществе, находящемся в конденсированном состоянии;
- формирование представлений о практической значимости разнообразных свойств конденсированного состояния вещества;
- формирование углубленных знаний в отдельных разделах физики конденсированного состояния;
- научить эффективному использованию фундаментальных знаний в области физики конденсированного состояния для решения практических задач;
- научить эффективному решению типовых и нестандартных научно-практических задач в области физики конденсированного состояния и физическом материаловедении;

Выпускник, освоивший программу, должен обладать следующими компетенциями:

- Способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях (УК-1)
- способностью самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий (ОПК-1)

- способность самостоятельно проводить научно-исследовательские и прикладные исследования по перспективным направлениям физики конденсированного состояния, физического материаловедения, в том числе - в смежных областях (информационных технологий в физике), удовлетворяющих установленным требованиям к содержанию диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук по направленности (научной специальности), и получать новые научные и прикладные результаты в области физики конденсированного состояния, физического материаловедения и в смежных областях (информационных технологий в физике) (ПК-2);
- способность современные методы обработки экспериментальных данных и/или методы численного моделирования сложных физических процессов, в том числе – в области наноматериалов и нанотехнологий (ПК-3);
- способность самостоятельно разрабатывать новые модели сложных физических процессов, которые, в том числе, могут быть положены в основу новых технологических процессов (в том числе - нанотехнологических) получения конструкционных и многофункциональных материалов (в том числе - наноматериалов) (ПК-4);
- способность осваивать и внедрять новое исследовательское, контрольно-измерительное и технологическое оборудование для получения и испытания материалов (в том числе - наноматериалов) в соответствующей профессиональной области, в том числе – способностью осуществлять разработку и внедрение новых методик аттестации структуры и свойств материалов (в том числе - наноматериалов) в соответствующей профессиональной области (ПК-5);
- готовность разрабатывать научно-техническую документацию различного уровня сложности, а также способностью осуществлять документирование результатов экспериментальных и теоретических исследований в соответствующей профессиональной области (ПК-6).

Таблица 1. Планируемые результаты обучения по дисциплине

Формируемые компетенции	Планируемые результаты обучения, характеризующие этапы формирования компетенций
УК-1	Знать современные научные достижения (в том числе – методы их оценки) в области физики конденсированного состояния и в смежных областях. Уметь использовать фундаментальные знания в области физики конденсированного состояния для решения стандартных и нестандартных задач в своей профессиональной области. Владеть: - навыками анализа ключевых методологических проблем в области физики конденсированного состояния и в смежных областях, в том числе – возникающих при решении конкретных практических задач; - навыками критического анализа и оценки современных научных достижений в области физики конденсированного состояния и в смежных (в том числе – междисциплинарных) областях.
ОПК-1	Знать современные способы использования информационных технологий в области физики конденсированного состояния. Уметь выбирать и применять в своей профессиональной деятельности ключевые экспериментальные и расчетно-теоретические методы

	исследования физики конденсированного состояния и смежных научных дисциплин. Владеть: - навыками поиска и критического анализа информации по тематике проводимых исследований – в области физики конденсированного состояния и в смежных областях; - навыками представления результатов своей профессиональной деятельности в области физики конденсированного состояния и в смежных областях.
ПК-1	Знать принципы организации самостоятельной работы по изучению базовых и углубленных разделов физики конденсированного состояния и в смежных областях. Уметь самостоятельно решать стандартные и нестандартные задачи в области физики конденсированного состояния и в смежных областях. Владеть навыками организации самостоятельной работы по изучению базовых и углубленных разделов физики конденсированного состояния и в смежных областях.
ПК-2	Знать современное состояние науки в области физики конденсированного состояния, физического материаловедения и в смежных областях. Уметь представлять научные результаты по теме диссертационной работы в виде публикаций в рецензируемых научных изданиях.
ПК-3	Знать требования к корректному выбору методов обработки экспериментальных данных и/или методов численного моделирования физических процессов. Уметь корректно использовать современные методы обработки экспериментальных данных и/или современные методы численного моделирования сложных физических процессов в своей профессиональной области. Владеть: - современными методами обработки экспериментальных данных (в том числе – больших массивов экспериментальных данных) и/или современными методами численного моделирования сложных физических процессов.
ПК-4	Знать физико-химические основы явлений и закономерностей (в том числе – междисциплинарного характера) в области физики конденсированного состояния, которые могут быть проложены в основу перспективных технологических процессов получения и обработки конструкционных и multifunctional материалов (в том числе – наноматериалов и нанотехнологий) Уметь использовать фундаментальные и/или практические результаты в области физики конденсированного состояния для решения конкретных практических задач по разработке основ новых технологических процессов, разработке рекомендаций по выбору и обработке новых конструкционных и multifunctional материалов и др.
ПК-5	Знать физические основы работы оборудования и новых методик контроля

	структуры и свойств материалов (в том числе – наноматериалов) Уметь использовать современные физические модели, а также результаты фундаментальных и прикладных исследований в области физики конденсированного состояния для разработки новых методик аттестации структуры и свойств перспективных материалов различного функционального назначения. Владеть навыками работы со сложным исследовательским, контрольно-измерительным и технологическим оборудованием (в том числе – нанотехнологическим оборудованием мирового уровня)
ПК-6	Знать основные требования внутренних руководящих документов организации (ННГУ), предъявляемые к формам и содержанию отчетной документации различного уровня сложности, описывающих результаты проделанной самостоятельной работы по изучению ключевых разделов физики конденсированного состояния. Уметь осуществлять документирование результатов самостоятельной работы по изучению ключевых разделов физики конденсированного состояния. Владеть навыками разработки, согласования и утверждения документации различного уровня сложности (рефераты и отчеты о проделанной самостоятельной работе)

3. Структура и содержание дисциплины

Объем дисциплины «Физика конденсированного состояния (кандидатский экзамен)» составляет 2 зачётные единицы (з.е.), всего - 72 часа, из которых 36 часов - на самостоятельную работу обучающегося и 36 часов – на промежуточную аттестацию (кандидатский экзамен по специальности (специальной дисциплине) «Физика конденсированного состояния»), в том числе – 16 часов на консультации по ключевым разделам темы.

4. Содержание разделов дисциплины

Экзамен по специальной дисциплине состоит из двух частей. Первая часть – это оценка знаний обучающегося в соответствии с паспортом специальности 01.04.07 «Физика конденсированного состояния» (перечень тем для изучения приведен ниже). Вторая часть – вариативная, в которой перечень тем и вопросов для изучения формируется выпускающей кафедрой и которая отражает специфику подготовки аспирантов в соответствии со сложившимися научными школами и направлениями.

Раздел 1. Силы связи в твердых телах

Электронная структура атомов. Химическая связь и валентность. Типы сил связи в конденсированном состоянии: ван-дер-ваальсова связь, ионная связь, ковалентная связь, металлическая связь.

Химическая связь и ближний порядок. Структура вещества с ненаправленным взаимодействием. Примеры кристаллических структур, отвечающих плотным упаковкам шаров: простая кубическая, ОЦК, ГЦК, ГПУ, структура типа CsCl, типа NaCl, структура типа перовскита CaTiO_3 .

Основные свойства ковалентной связи. Структура веществ с ковалентными связями. Структура веществ типа селена. Гибридизация атомных орбиталей в молекулах и кристаллах. Структура типа алмаза и графита

Раздел 2. Симметрия твердых тел. Дифракция в кристаллах

Кристаллические и аморфные твердые тела. Трансляционная инвариантность. Базис и кристаллическая структура, Элементарная ячейка. Ячейка Вигнера - Зейтца. Решетка Браве. Обозначения узлов, направлений и плоскостей в кристалле. Обратная решетка, ее свойства. Зона Бриллюэна.

Элементы симметрии кристаллов: повороты, отражения, инверсия, инверсионные повороты, трансляции. Операции (преобразования) симметрии. Элементы теории групп, группы симметрии. Возможные порядки поворотных осей в кристалле. Пространственные и точечные группы (кристаллические классы). Классификация решеток Браве.

Распространение волн в кристаллах. Дифракция рентгеновских лучей, нейтронов и электронов в кристалле. Упругое и неупругое рассеяние, их особенности. Брэгговские отражения. Атомный и структурный факторы. Дифракция в аморфных веществах.

Раздел 3. Дефекты в твердых телах

Точечные дефекты, их образование и диффузия. Вакансии и межузельные атомы. Дефекты Френкеля и Шоттки. Линейные дефекты. Краевые и винтовые дислокации. Роль дислокаций в пластической деформации.

Раздел 4. Колебания решетки. Тепловые свойства твердых тел

Колебания кристаллической решетки. Уравнения движения атомов. Простая и сложная одномерные цепочки атомов. Закон дисперсии упругих волн. Акустические и оптические колебания. Квантование колебаний. Фононы. Электрон-фононное взаимодействие.

Теплоемкость твердых тел. Решеточная теплоемкость. Электронная теплоемкость. Температурная зависимость решеточной и электронной теплоемкости. Классическая теория теплоемкости. Закон равномерного распределения энергии по степеням свободы в классической физике. Границы справедливости классической теории. Квантовая теория теплоемкости по Эйнштейну и Дебаю. Предельные случаи высоких и низких температур. Температура Дебая.

Тепловое расширение твердых тел. Его физическое происхождение. Ангармонические колебания. Теплопроводность решеточная и электронная. Закон Видемана- Франца для электронной теплоемкости и теплопроводности.

Раздел 5. Электронные свойства твердых тел

Электронные свойства твердых тел: основные экспериментальные факты. Проводимость, эффект Холла, термоЭДС, фотопроводимость, оптическое поглощение. Трудности объяснения этих фактов на основе классической теории Друде.

Основные приближения зонной теории. Граничные условия Борна- Кармана. Теорема Блоха. Блоховские функции. Квазиимпульс. Зоны Бриллюэна. Энергетические зоны.

Брэгговское отражение электронов при движении по кристаллу. Полосатый спектр энергии. Приближение сильносвязанных электронов. Связь ширины разрешенной зоны с перекрытием волновых функций атомов. Закон дисперсии. Тензор обратных эффективных масс. Приближение почти свободных электронов. Брэгговские отражения электронов.

Заполнение энергетических зон электронами. Поверхность Ферми. Плотность состояний. Металлы, диэлектрики и полупроводники. Полуметаллы.

Раздел 6. Магнитные свойства твердых тел

Намагниченность и восприимчивость. Диамагнетики, парамагнетики и ферромагнетики. Законы Кюри и Кюри - Вейсса. Парамагнетизм и диамагнетизм электронов проводимости. Природа ферромагнетизма. Фазовый переход в ферромагнитное состояние. Роль обменного взаимодействия. Точка Кюри и восприимчивость ферромагнетика. Ферромагнитные домены. Причины появления доменов. Доменные границы (Блоха, Нееля).

Антиферромагнетики. Магнитная структура. Точка Нееля. Восприимчивость антиферромагнетиков. Ферримагнетики. Магнитная структура ферримагнетиков.

Спиновые волны, магноны. Движение магнитного момента в постоянном и переменном магнитных полях. Электронный парамагнитный резонанс. Ядерный магнитный резонанс.

Раздел 7. Оптические и магнитооптические свойства твердых тел

Комплексная диэлектрическая проницаемость и оптические постоянные. Коэффициенты поглощения и отражения. Соотношения Крамерса-Кронига. Поглощения света в полупроводниках (межзонное, примесное поглощение, поглощение свободными носителями, решеткой). Определение основных характеристик полупроводника из оптических исследований. Магнитооптические эффекты (эффекты Фарадея, Фохта и Керра).

Проникновение высокочастотного поля в проводник. Нормальный и аномальный скин-эффекты. Толщина скин-слоя.

Раздел 8. Сверхпроводимость

Сверхпроводимость. Критическая температура. Высокотемпературные сверхпроводники. Эффект Мейснера. Критическое поле и критический ток. Сверхпроводники первого и второго рода. Их магнитные свойства. Вихри Абрикосова. Глубина проникновения магнитного поля в образец. Эффект Джозефсона. Куперовское спаривание. Длина когерентности. Энергетическая щель.

5. Аттестация по дисциплине

Общее оценивание результатов освоения дисциплины «Физика конденсированного состояния (кандидатский экзамен)» проводится на основании кандидатского экзамена по специальности, общие требования к которому установлены Приказом Минобрнауки России от 28.03.2014 г. №247 (зарегистрировано в Минюсте России от 05.06.2014 №32577).

Содержание и темы экзаменационных вопросов соответствуют основным разделам паспорта специальности 01.04.07 «Физика конденсированного состояния», утвержденного ВАК Минобрнауки РФ.

Экзаменационная оценка складывается из оценки знаний и степени усвоения курса «Физика конденсированного состояния». Третьей составляющей экзаменационной оценки является результат дискуссии с членами экзаменационной комиссии. Критерием оценки является степень усвоения содержания дисциплины и способность к практическому использованию полученных знаний, умений и навыков.

Процедура экзаменационного испытания предусматривает ответ аспиранта по вопросам экзаменационного билета, который заслушивает комиссия. После сообщения аспиранта и ответов на заданные вопросы, комиссия обсуждает качество ответа и принимает решение об оценке, вносимой в протокол (Форма протокола устанавливается локальными нормативными документами ННГУ).

По итогам изучений отдельных разделов дисциплины «Физика конденсированного состояния (кандидатский экзамен)» аспиранты готовят реферат. Темы рефератов соответствуют основным разделам дисциплины.