



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»



ТВЕРЖДАЮ:
Директор института
И. Ю. Мезин
20__ г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

КВАЗИЧАСТИЦЫ В ФИЗИКЕ КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ
НАИМЕНОВАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Направление подготовки (специальность)

03.03.02 ФИЗИКА

шифр наименование направления подготовки (специальности)

Уровень высшего образования – бакалавриат

Программа подготовки – академический бакалавриат

Форма обучения

Очная

Институт
Кафедра
Курс
Семестр

*Институт естествознания и стандартизации
Прикладной и теоретической физики
3
5*

Магнитогорск
2018 г.

Рабочая программа составлена на основе ФГОС ВО по направлению подготовки (специальности) 03.03.03 «Физика», утвержденного приказом МОиН РФ от 07.08.14 № 937.

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры прикладной и теоретической физики «28» сентября 2018 г., протокол № 1.


Зав. кафедрой  / А.Н. Бехтерев /

Рабочая программа одобрена методической комиссией института естествознания и стандартизации «29» октября 2018 г., протокол № 2.

Председатель  / А.Н. Мерыа /

Рабочая программа составлена:

старший преподаватель
(должность, ученая степень, ученое звание)

 / О.Н. Лямина /

Рецензент:

доцент, кандидат физико-математических наук, доцент
(должность, ученая степень, ученое звание)

 / Ю.И. Савченко /

1 Цели освоения дисциплины (модуля)

Целями освоения дисциплины (модуля) «Квазичастицы в физике конденсированного состояния» являются: освоение студентами основных понятий и знаний в области физики конденсированного состояния вещества, кристаллических решеток, фононов и электронов, их законов дисперсии, зонной структуры твердого тела, понятий зон Бриллюэна для элементарных возбуждений и овладение комплексом компетенций, предусмотренных ФГОС ВО по направлению подготовки 03.03.02 «Физика».

2 Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы

Дисциплина Квазичастицы в физике конденсированного состояния входит в вариативную часть учебного плана образовательной программы.

Для изучения дисциплины необходимы знания (умения, владения), сформированные в результате изучения дисциплин/ практик:

Общая физика
Общий физический практикум
Основы физики конденсированного состояния
Векторный и тензорный анализ
Дифференциальные уравнения
Математический анализ

Знания (умения, владения), полученные при изучении данной дисциплины будут необходимы для изучения дисциплин/практик:

Теоретическая физика
Основы физики кристаллических структур
Методы математической физики
Уравнения математической физики
Теория эффективной среды в физике конденсированного состояния
Подготовка к сдаче и сдача государственного экзамена
Подготовка к защите и защита выпускной квалификационной работы

3 Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины (модуля) и планируемые результаты обучения

В результате освоения дисциплины (модуля) «Квазичастицы в физике конденсированного состояния» обучающийся должен обладать следующими компетенциями:

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения
ПК-1 способностью использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин	
Знать	определение квазичастицы и их классификацию; квазичастичные методы описания возбужденных состояний конденсированных сред; основные характеристики квазичастиц.
Уметь	использовать свои знания на междисциплинарном уровне; приобретать знания в области физики конденсированного состояния; корректно выражать и аргументированно обосновывать положения предметной области знания.
Владеть	практическими навыками использования знаний по физике конденсированного состояния на других дисциплинах.

2.1 Дипольные моменты молекул. Магнитные свойства молекул. Нековалентные взаимодействия. Жидкости. Твердые тела. Трехмерные кристаллические решетки. Брэгг	5	2	2/1И		4	Работа с лекционным материалом, поиск дополнительной информации, подготовка доклада.		ПК-1, ПК-2
Итого по разделу		2	2/1И		4			
3. Квазичастицы и их характеристики								
3.1 Квазичастицы. Основные характеристики квазичастиц.	5	2	2/0,5И		4	Работа с лекционным материалом, поиск дополнительной информации, подготовка доклада.		ПК-1, ПК-2
Итого по разделу		2	2/0,5И		4			
4. Тепловые возбуждения решетки. Фононы								
4.1 Основные состояния кристалла. Нулевые колебания. Методы описания тепловых колебаний кристаллической решетки. Фононы. Акустические фононы в трехмерных кристаллических решетках. Оптические фононы. Температурная зависимость	5	2	2/1И		4	Работа с лекционным материалом, поиск дополнительной информации, подготовка доклада.		ПК-1, ПК-2
Итого по разделу		2	2/1И		4			
5. Элементарные возбуждения в электронной								
5.1 Основное состояние ферми-жидкости. Квазичастицы на дырочной поверхности Ферми. Время жизни квазичастицы. Квазиимпульс фермиевского электрона. Зона	5	2	2/1И		4	Работа с лекционным материалом, поиск дополнительной информации, подготовка доклада.		ПК-1, ПК-2
Итого по разделу		2	2/1И		4			
6. Квазичастицы в сверхпроводниках. Тяжелые фермионы								
6.1 Куперовские пары. Электрон-фононное взаимодействие. Теория сверхпроводимости Бардина-Купера-Шриффера. Основное состояние сверхпроводника. Энергия связи куперовских пар. Общая характеристика тяжелых фермионов.	5	2	2/0,5И		4	Работа с лекционным материалом, поиск дополнительной информации, подготовка доклада.		ПК-1, ПК-2
Итого по разделу		2	2/0,5И		4			

7. Элементарные возбуждения								
7.1 Общие положения. Электроны и дырки. Закон дисперсии электронов и дырок. Экситоны Френкеля и Ванье-Мотта. Экситоны в двумерных и одномерных системах.	5	2	2/0,5И		4	Работа с лекционным материалом, поиск дополнительной информации, подготовка доклада.		ПК-1, ПК-2
Итого по разделу		2	2/0,5И		4			
8. Поляроны. Плазмоны								
8.1 Поляроны в металлах. Поляроны в полупроводниках. Поляроны в ионных кристаллах. Энергия поляронов. Структура поляронов. Биполяроны. Плазмоны в металлах. Закон дисперсии плазмонов. Время жизни плазмонов. Звуковые плазмоны. Поверхностные плазмоны.	5	2	2/0,5И		4	Работа с лекционным материалом, поиск дополнительной информации, подготовка доклада.		ПК-1, ПК-2
Итого по разделу		2	2/0,5И		4			
9. Композитные квазичастицы								
9.1 Гибридные квазичастицы. Поляритоны. Композитные фермионы и композитные бозоны.	5	2	2/0,5И		3	Работа с лекционным материалом, поиск дополнительной информации, подготовка доклада.		ПК-1, ПК-2
Итого по разделу		2	2/0,5И		3			
Итого за семестр		18	18/6И		35		зао	
Итого по дисциплине		18	18/6И		35		зачет с оценкой	ПК-1, ПК-2

5 Образовательные технологии

При реализации различных видов учебной работы наиболее эффективные результаты освоения дисциплины «Квазичастицы в физике конденсированного состояния» дают традиционные образовательные технологии, технологии проблемного обучения, интерактивные технологии, информационно-коммуникационные образовательные технологии.

1. Формы учебных занятий с использованием традиционных технологий:

Информационная лекция – последовательное изложение материала в дисциплинарной логике, осуществляемое преимущественно вербальными средствами (монолог преподавателя).

Лабораторная работа, посвященная освоению конкретных умений и навыков по предложенному алгоритму.

2. Формы учебных занятий с использованием технологий проблемного обучения:

Проблемная лекция – изложение материала, предполагающее постановку проблемных и дискуссионных вопросов, освещение различных научных подходов, авторские комментарии, связанные с различными моделями интерпретации изучаемого материала.

Лабораторная работа – организация учебной работы, направленная на решение комплексной учебно-познавательной задачи, требующей от студента применения как научно-теоретических знаний, так и практических навыков.

3. Формы учебных занятий с использованием специализированных интерактивных технологий:

Лекция «обратной связи» – лекция–провокация (изложение материала с заранее запланированными ошибками), лекция-беседа, лекция-дискуссия.

4. Формы учебных занятий с использованием информационно-коммуникационных технологий:

Лекция-визуализация – изложение содержания сопровождается презентацией (демонстрацией учебных материалов, представленных в различных знаковых системах, в т.ч. иллюстративных, графических, аудио- и видеоматериалов).

Лабораторная работа в форме презентации – представление результатов проектной или исследовательской деятельности с использованием специализированных программных сред.

6 Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Представлено в приложении 1.

7 Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации

Представлены в приложении 2.

8 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

а) Основная литература:

1. Епифанов Г.И. Физика твердого тела. Издательство «Лань». - 2011. http://e.lanbook.com/book/2023?category_pk=925#authors.

2. Байков Ю.А., Кузнецов В.М. Физика конденсированного состояния. Издательство «Бином. Лаборатория знаний». - 2015. http://e.lanbook.com/book/70766?category_pk=925#authors

б) Дополнительная литература:

1 Брандт, Н. Б. Квазичастицы в физике конденсированного состояния : учебное пособие / Н. Б. Брандт, В. А. Кульбачинский. — 3-е изд. — Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2010. — 632 с. — ISBN 978-5-9221-1209-3. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/59598> (дата обращения: 28.09.2020). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

2 Смирнов, Ю. А. Основы микроэлектроники и микропроцессорной техники : учебное пособие / Ю. А. Смирнов, С. В. Соколов, Е. В. Титов. — 2-е изд., испр. — Санкт-Петербург : Лань, 2013. — 496 с. — ISBN 978-5-8114-1379-9. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/12948> (дата обращения: 28.09.2020). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

3 Прудников, В. В. Квантово-статистическая теория твердых тел : учебное пособие / В. В. Прудников, П. В. Прудников, М. В. Мамонова. — 2-е изд., доп. — Санкт-Петербург : Лань, 2016. — 448 с. — ISBN 978-5-8114-2061-2. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/72587> (дата обращения: 28.11.2020). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

в) Методические указания:

1. Чертов А.Г., Воробьев А.А. Задачник по физике. М.: Высшая школа. – 1981. – 496 с.

г) Программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

Программное обеспечение

Наименование ПО	№ договора	Срок действия лицензии
MS Office 2007 Professional	№ 135 от 17.09.2007	бессрочно
MS Windows 7 Professional(для классов)	Д-1227-18 от 08.10.2018	11.10.2021
MS Windows 7 Professional (для классов)	Д-757-17 от 27.06.2017	27.07.2018
FAR Manager	свободно распространяемое ПО	бессрочно
7Zip	свободно распространяемое ПО	бессрочно

Профессиональные базы данных и информационные справочные системы

Название курса	Ссылка
Поисковая система Академия Google (Google Scholar)	URL: https://scholar.google.ru/
Информационная система - Единое окно доступа к информационным ресурсам	URL: http://window.edu.ru/

9 Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Материально-техническое обеспечение дисциплины включает:

Учебные аудитории для проведения лекционного обзора, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации. Оснащение: доска, мультимедийный проектор, экран.

Учебные аудитории для проведения лабораторного типа на персональном компьютере. Оснащение: персональные компьютеры с пакетом MS Office, выходом в Интернет и доступом в электронную образовательную среду университета

Помещения для самостоятельной работы обучающихся. Оснащение: персональные компьютеры с пакетом MS Office, выходом в Интернет и доступом в электронную образовательную среду университета.

Помещение для хранения и профилактического обслуживания учебного оборудования. Оснащение: шкафы для хранения учебно-методической документации, учебного оборудования и учебно-наглядных пособий.

Приложение 1

6 Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Домашние задания:

1. Распределить электроны в атоме по принципу Паули.
2. Какова вероятность возбуждения двух фононов с максимальной частотой при температуре Дебая?
3. Вывести плотность состояний фононов в трехмерном случае в модели Дебая.
4. Какова вероятность возбуждения трех фононов с максимальной частотой при температуре в два раза меньшей температуры Дебая?
5. Вывести плотность состояний фононов в двухмерном случае.
6. Построить ячейку Вигнера-Зейтца для решетки ОЦК.
7. Указать все элементы симметрии решеток ГЦК.

Задания для контрольных работ:

1. От каких факторов зависит пространственная симметрия орбиталей.
2. Построить гибридную пи-орбиталь, сигма-орбиталь и указать принципиальные их отличия.
3. Получить зависимость фазовой скорости фононов от волнового вектора в первой и последующих зонах Бриллюэна.
4. Основные положения модели Дебая колебаний кристаллической решетки.
5. Понятия зон Бриллюэна для фононов.
6. Общая картина колебаний кристаллической решетки.

Темы докладов:

- 1 Жидкости. Твердые тела. Трехмерные кристаллические решетки Браве.
- 2 Акустические и оптические фононы.
- 3 Фононы и ротоны в жидком гелии. Рипплон. Жидкий гелий ^3He .
- 4 Электрон-фононное взаимодействие. Теория БКШ.
- 5 Элементарные возбуждения в электронной ферми-жидкости.
- 6 Квазичастицы в сверхпроводниках.
- 7 Тяжелые фермионы.
- 8 Элементарные возбуждения в полупроводниках.
- 9 Экситоны.
- 10 Поляроны.
- 11 Плазмоны.
- 12 Холоны и спиноны.
- 13 Семионы и анионы.
- 14 Магноны.
- 15 Флуктуоны.
- 16 Фазоны, вакансионы.
- 17 Солитоны.
- 18 Композитные квазичастицы.

Вопросы к зачёту

1. Понятие частиц в квантовой механике. Структурные единицы вещества.
2. Роль ядер, электронных оболочек, сил взаимодействия, статистики структурных единиц в формировании свойств конденсированных сред.
3. Электрон в поле сферически симметричного потенциала, его энергия, волновая функция. Атом водорода.
4. Геометрия волновых функций s, p, d, f состояний. Атомные орбитали.
5. Схема энергетических уровней в атоме, заполнение их электронами. 1-ое и 2-ое правила Хунда.
6. Гибридные орбитали. Условия гибридизации. Построение гибридных орбиталей. Основные типы гибридных орбиталей, π , σ и δ связи.
7. Молекулярные орбитали: связывающие, разрыхляющие и несвязывающие, многоцентровые и двухцентровые орбитали.
8. Энергия молекулярных орбиталей и валентных связей. Прочность химической связи.
9. Дипольные моменты молекул.
10. Магнитные свойства молекул.
11. Различные типы взаимодействий в конденсированных средах
12. Кристаллическая структура и ее описание. Кристаллические решетки Браве.
13. Ячейка Вигнера-Зейтца, ее построение.
14. Обратная решетка. Построение обратных решеток для трехмерных решеток Браве.
15. Квазичастицы, Основные характеристики квазичастиц.
16. Основное состояние кристалла. Нулевые колебания.

17. Методы описания тепловых колебаний кристаллической решеток. Фононы. Стоячие волны. Бегущие волны.
18. Закон дисперсии акустических фононов в одномерной цепочке атомов при учете взаимодействия атома с двумя ближайшими соседями.
19. Закон дисперсии акустических фононов в одномерной цепочке атомов при учете взаимодействия атома с четырьмя ближайшими соседями.
20. Энергетический спектр акустических фононов. Статистика акустических фононов, средняя энергия фононов. Среднее число фононов.
21. Температура Дебая.
22. Теплоемкость решетки. Модель Дебая.
23. Спектральная плотность фононов в трехмерном, двумерном и одномерном случаях.
24. Особенности распространения звуковых волн в трехмерных кристаллах. Зоны Бриллюэна.
25. Поверхности постоянной частоты фононов.
26. Оптические фононы. Закон дисперсии оптических фононов для линейной цепочки двух чередующихся сортов атомов с одной степенью свободы.
27. Закон дисперсии оптических фононов для линейной цепочки двух чередующихся сортов атомов с тремя степенями свободы. Оптические фононы в трехмерных кристаллах.
28. Спектральная плотность оптических фононов.
29. Общая картина спектра колебаний кристаллической решетки.
30. Невзаимодействующие электроны в потенциальном ящике. Энергия и импульс Ферми.
31. Электрон в поле периодического потенциала кристаллической решетки. Эффективный потенциал. Зонная структура твердого тела.
32. Жидкий гелий.

Приложение 2

7 Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации

а) Планируемые результаты обучения и оценочные средства для проведения промежуточной аттестации:

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
ПК-1 – способностью использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин		
Знать	определение квазичастицы и их классификацию; квазичастичные методы описания возбужденных состояний конденсированных сред; основные характеристики квазичастиц.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Понятие частиц в квантовой механике. Структурные единицы вещества. 2. Роль ядер, электронных оболочек, сил взаимодействия, статистики структурных единиц в формировании свойств конденсированных сред. 3. Электрон в поле сферически симметричного потенциала, его энергия, волновая функция. Атом водорода. 4. Геометрия волновых функций s, p, d, f состояний. Атомные орбитали. 5. Схема энергетических уровней в атоме, заполнение их электронами. 1-ое и 2-ое правила Хунда. 6. Гибридные орбитали. Условия гибридизации. Построение гибридных орбиталей. Основные типы гибридных орбиталей, π, σ и δ связи. 7. Молекулярные орбитали: связывающие, разрыхляющие и несвязывающие, многоцентровые и двухцентровые орбитали. 8. Энергия молекулярных орбиталей и валентных связей. Прочность химической связи. 9. Дипольные моменты молекул. 10. Магнитные свойства молекул. 11. Различные типы взаимодействий в конденсированных средах 12. Жидкости 13. Кристаллическая структура и ее описание. Кристаллические решетки Браве. 14. Ячейка Вигнера-Зейтца, ее построение. 15. Обратная решетка. Построение обратных решеток для трехмерных решеток Браве. 16. Квазичастицы, Основные характеристики квазичастиц. 17. Основное состояние кристалла. Нулевые колебания. 18. Закон дисперсии акустических фононов в одномерной цепочке атомов при учете взаимодействия атома с двумя ближайшими соседями. 19. Закон дисперсии акустических фононов в одномерной цепочке атомов при учете взаимодействия атома с четырьмя ближайшими соседями. 20. Оптические фононы. Закон дисперсии оптических фононов для линейной цепочки двух чередующихся сортов атомов с одной степенью свободы.
Уметь	использовать свои знания на междисциплинарном уровне; приобретать	<ol style="list-style-type: none"> 1. Определить максимальную частоту собственных колебаний в кристалле золота по теории Дебая. Характеристическая температура равна 180 К.

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
	знания в области физики конденсированного состояния; корректно выражать и аргументированно обосновывать положения предметной области знания.	2. Пользуясь теорией теплоёмкости Дебая, определить изменение молярной внутренней энергии кристалла при нагревании его от 0 до $T=0,1\theta_D$. Характеристическую температуру Дебая принять для данного кристалла при температуре 300 К. $T < \theta_D$. 3. Вычислить усреднённую скорость фононов (скорость звука) в серебре. Модули продольной и поперечной упругости, а также плотность серебра считать известными. 4. Частица находится в бесконечно глубокой одномерной яме шириной l на втором энергетическом уровне. В каких точках ямы плотность вероятности обнаружения частицы совпадает с классической плотностью вероятности?
Владеть	практическими навыками использования знаний по физике конденсированного состояния на других дисциплинах.	1. Распределить электроны в атоме по принципу Паули 2. Какова вероятность возбуждения двух фононов с максимальной частотой при температуре Дебая? 3. Вывести плотность состояний фононов в трехмерном случае в модели Дебая. 4. Какова вероятность возбуждения трех фононов с максимальной частотой при температуре в два раза меньшей температуры Дебая? 5. Вывести плотность состояний фононов в двухмерном случае. 6. Построить ячейку Вигнера-Зейтца для решетки ОЦК. 7. Указать все элементы симметрии решеток ГЦК.
ПК-2 – Способностью проводить научные исследования в избранной области экспериментальных и (или) теоретических физических исследований с помощью современной приборной базы (в том числе сложного физического оборудования) и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта		
Знать	– основные методы исследования в области физики конденсированного состояния;	Спектральные методы исследования (вопросы) 1. Непрерывные спектры дают... 2. Основными частями спектроскопа являются... 3. Известно, что криптон имеет в видимой части спектра излучения линии, соответствующие длинам волн 557 и 587 нм. В спектре излучения неизвестного газа обнаружена линия, соответствующая 587 нм. Отсюда следует, что в неизвестном газе... 4. Спектр, состоящий из отдельных резко очерченных цветных линий, отделенных друг от друга широкими темными промежуткам, называется... 5. Спектральный анализ, проводимый по спектрам испускания, называют
Уметь	– применять полученные знания в профессиональной деятельности;	Защита докладов по выбранным темам 1. Энергия молекулярных орбиталей и валентных связей. Прочность химической связи. 2. Дипольные моменты молекул. 3. Магнитные свойства молекул. 4. Различные типы взаимодействий в конденсированных средах 5. Квазичастицы, Основные характеристики квазичастиц. 6. Основное состояние кристалла. Нулевые колебания.

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
Владеть	– способами совершенствования профессиональных знаний и умений путем использования возможностей информационной среды.	Поиск информации для докладов по выбранным темам с помощью Поисковая система Академия Google (Google Scholar) URL: https://scholar.google.ru/

б) Порядок проведения промежуточной аттестации, показатели и критерии оценивания:

Промежуточная аттестация по дисциплине «Квазичастицы в физике конденсированного состояния» включает теоретические вопросы, позволяющие оценить уровень усвоения обучающимися знаний, и практические задания, выявляющие степень сформированности умений и владений, проводится в форме дифференцированного зачета.

Зачет обучающиеся получают в результате выполнения всех видов работ, предусмотренных в 5 семестре изучения данной дисциплины. В случае невыполнения, зачет проводится в форме собеседования по вопросам согласно перечню вопросов к зачету.

Показатели и критерии оценивания дифференцированного зачета:

– на оценку «отлично» (5 баллов) – обучающийся демонстрирует высокий уровень сформированности компетенций, всестороннее, систематическое и глубокое знание учебного материала, свободно выполняет практические задания, свободно оперирует знаниями, умениями, применяет их в ситуациях повышенной сложности.

– на оценку «хорошо» (4 балла) – обучающийся демонстрирует средний уровень сформированности компетенций: основные знания, умения освоены, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе знаний и умений на новые, нестандартные ситуации.

– на оценку «удовлетворительно» (3 балла) – обучающийся демонстрирует пороговый уровень сформированности компетенций: в ходе контрольных мероприятий допускаются ошибки, проявляется отсутствие отдельных знаний, умений, навыков, обучающийся испытывает значительные затруднения при оперировании знаниями и умениями при их переносе на новые ситуации.

– на оценку «неудовлетворительно» (2 балла) – обучающийся демонстрирует знания не более 20% теоретического материала, допускает существенные ошибки, не может показать интеллектуальные навыки решения простых задач.

– на оценку «неудовлетворительно» (1 балл) – обучающийся не может показать знания на уровне воспроизведения и объяснения информации, не может показать интеллектуальные навыки решения простых задач.