

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ МЕТАЛЛОВ имени М.Н. Михеева
Уральского отделения Российской академии наук

УТВЕРЖДАЮ:
Директор института
академик РАН

_____ Н.В. Мушников

« _____ » _____ 2019 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
по дисциплине «Фундаментальные вопросы физики конденсированного состояния»
по специальности 01.04.07 «Физика конденсированного состояния»

Всего учебных часов/ з.е.	– 252/7.0
Всего аудиторных занятий, час.	– 120
Всего часов на самостоятельную работу аспиранта, час.	– 132

Екатеринбург 2019

Рабочая программа составлена на основании Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (далее – ФГОС ВО) по направлению подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре 03.06.01 Физика и астрономия (Приказ Минобрнауки России от 30 июля 2014 года №867), с изменениями, утвержденными Приказом Минобрнауки России от 30.04.2015 г. №464 «О внесении изменений в федеральные государственные образовательные стандарты высшего образования (уровень подготовки кадров высшей квалификации)»; программы-минимум кандидатского экзамена по специальности 01.04.07 «Физика конденсированного состояния», утвержденной _____; паспорта специальности научных работников специальности 01.04.07 «Физика конденсированного состояния»; учебного плана аспирантуры ИФМ.

Составители рабочей программы

Профессор, д.ф.-м.н. _____ Скрыбин Ю.Н.

Рабочая программа утверждена на заседании ученого совета ИФМ №9_ от 29.05.2019 г.

Председатель ученого совета ИФМ

«__»_____ 2019 г.

(подпись)

Устинов В.В.

г.

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

В курсе «Фундаментальные вопросы физики конденсированного состояния» изучаются вопросы, рассматривающие те задачи, которые стоят перед научными работниками в настоящее время. Круг рассматриваемых тем выходит далеко за рамки конкретной тематики аспиранта, заставляет его шире взглянуть на интересы всего мирового научного сообщества, заставляет аспиранта знакомится с последними публикациями в научной периодике.

Рабочая программа составлена на основе:

- федеральных государственных требований к структуре основной профессиональной образовательной программы послевузовского профессионального образования (аспирантура), утвержденных приказом Минобрнауки РФ от 16.03.2012 № 1365;
- программы-минимум кандидатского экзамена по специальности 01.04.07 «Физика конденсированного состояния», утвержденной _____;
- паспорта специальности научных работников специальности 01.04.07 «Физика конденсированного состояния»;
- учебного плана ИФМ по основной образовательной программе послевузовского профессионального образования (аспирантура) по специальности 01.04.07 «Физика конденсированного состояния»

2. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ

2.1. Распределение часов учебных.

Вид занятий	Количество часов
Лекции	120
Самостоятельная работа	132
ИТОГО	252

2.2 Содержание дисциплины

2.2.1. Наименование тем, их содержание, объем в часах лекционных занятий

Темы лекционных занятий	Содержание	Объем в часах
Симметрия кристаллов.	Основы теории симметрии кристаллов. Линейные ортогональные преобразования. Модель кристалла. Допустимые преобразования кристаллов. Элементы симметрии, их символика и матрицы. Точечные группы. Смысл точечных групп. Схема их выводы. Их обзор, символика и описание. Симметрия макроскопических свойств кристаллов. Трансляционные группы (решетки). Определение векторных групп. Сингонии. Схема вывода решеток. Прimitивные и непрimitивные решетки. Их символика, описание. Параметры решетки. Дифракционные опыты. Устройство кристаллов. Ячейка Браве. Элементарная ячейка кристалла. Структуры реальных кристаллов.	20

	Пространственные группы. Винтовые оси и плоскости скольжения. Смысл и краткий обзор пространственных групп, их символика и роль. Основы теории кристаллических структур. Структурные типы. Важнейшие из них. Теория плотнейших упаковок. Реализация принципа плотнейших упаковок в кристаллах. Дефекты упаковки. Физические факторы, определяющие структуры кристаллов. Типы химической связи. Преобладание принципа плотнейших упаковок. Структуры ионных, металлических, молекулярных и ковалентных кристаллов. Примеры. Структуры упорядоченных и неупорядоченных сплавов. Симметрия магнитоупорядоченных кристаллов. Магнитная симметрия. Магнитные точечные группы и схема их вывода. Описание магнитных структур кристаллов. Описание симметрии тензорных макроскопических свойств кристаллов. Явный вид тензоров деформации, электропроводности, восприимчивости и т.д.) разных рангов в кристаллах разной симметрии.	
Динамика кристаллической решетки.	Динамические уравнения для кристаллической решетки в гармоническом приближении. Адиабатическое приближение. Гамильтониан решетки в гармоническом приближении. Циклические граничные условия. Нормальные координаты. Фононы. Уравнение для собственных частот. Свойства собственных частот колебаний решетки. Собственные частоты для линейной цепочки. Акустические и оптические ветви колебаний. Модель Дебая. Функция распределения частот. Термодинамические свойства решетки в гармоническом приближении. Свободная энергия. Теплоемкость решетки. Ангармонизм колебаний решетки. Роль ангармонизма. Фонон-фононное взаимодействие. Тепловое расширение. Влияние ангармонизма на теплоемкость решетки. Поглощение звука в кристалле. Внутреннее трение. Колебания решетки с примесями. Модели точечных дефектов в кристаллах. Локальные и квазилокальные колебания. Спектры примесных кристаллов. Теплоемкость решетки с примесями. Теория рассеяния излучений в решетке. Упругое и неупругое рассеяние нейтронов и рентгеновских лучей. Фактор Дебая-Валлера. Эффект Мессбауэра.	14
Динамика электронов в кристалле.	Общий вид одноэлектронного уравнения Шредингера для кристалла. Понятие основной области. Адиабатическое приближение. Разложение по параметру отношения масс. Уравнения Хартри-Фока в кристалле.	20

	Спектр и волновые функции одноэлектронного уравнения. Трансляционная симметрия задачи. Теорема Блоха. Формулировка задачи в элементарной кристаллической ячейке. Зона Бриллюэна. Характер спектра. Плотность состояний. Статистика электронов в кристалле. Классификация состояний. Заполнение состояний. Уровень Ферми. Случай $T=0^\circ\text{K}$. Функция распределения Ферми. Зонный критерий металла, полупроводника, диэлектрика. Электронная теплоемкость. Парамагнетизм Паули. Приближение свободных электронов. Почти свободные электроны. Пустая решетка. Псевдопотенциал. Модель Харрисона. Приближение сильной связи. Одна полоса. Сильная связь как расчетный метод. Детерминантное уравнение сильной связи. Интерполяция на основе сильной связи. Динамика электрона с произвольным законом дисперсии. Уравнения движения. Квазиклассическое приближение. Характеристика поверхности Ферми. Проблема восстановления поверхности Ферми по эксперименту.	
Магнитные свойства.	Основные положения. Природа элементарных магнитных моментов. Классификация веществ по их магнитным свойствам. Теорема Бора-ван-Левен-Терлецкого. Парамагнетизм. Парамагнетизм атомов, ионов и молекул. Парамагнетизм электронов проводимости в металлах и полупроводниках. Парамагнитный резонанс, электронный и ядерный. Диамагнетизм. Диамагнетизм атомов и молекул. Спектр электронов проводимости в квантующем магнитном поле. Диамагнетизм Ландау. Эффект де Гааза-ван Альфена. Ферромагнетизм. Основные свойства ферромагнетиков. Молекулярное поле Вейсса. Прямое обменное взаимодействие. Косвенное обменное взаимодействие. Ферромагнетизм в модели коллективизированных электронов. s-d (f)-обменная модель. Спиновые волны. Ферромагнитный резонанс. Резонанс спиновых волн. Температурная зависимость самопроизвольной намагниченности и магнитной части и магнитной части теплоемкости. Доменная структура ферромагнетиков. Магнитная анизотропия и магнитострикция. Антиферромагнетизм. Основные свойства антиферромагнетиков. Подрешеточная модель. Спиновые волны в антиферромагнетиках. Ферримагнетизм, слабый ферромагнетизм, спиральные структуры. Основные свойства и качественные представления об их природе.	20

Физическая кинетика.	Феноменологическая теория явлений переноса. Основы термодинамики необратимых процессов. Кинетические коэффициенты и их связь с наблюдаемыми величинами. Соотношения Онзагера. Кинетические уравнения. Составление кинетического уравнения. Вариационный принцип, его физический смысл. Теория электросопротивления. Остаточное сопротивление разбавленных и концентрированных сплавов. Правило Линде. Сопротивление, обусловленное фононами. Теория Блоха. Формула Грюнайзена. Правило Маттиссена. Особенности сопротивления переходных и магнитных (ферро- и антиферромагнитных) металлов. Электросопротивление полупроводников. Теория теплосопротивления. Качественный анализ теплопроводности металлов. Электронная и решеточная теплопроводность. Закон Видемана-Франца. Теплопроводность диэлектриков. Термоэлектрические и термомагнитные явления. Эффекты Томсона, Пельтье и Зеебека в металлах и полупроводниках. Влияние увлечения фононов на термоэлектрические явления. Термомагнитные явления. Гальваномагнитные явления. Эффект Холла. Его особенности в ферромагнетиках. Влияние магнитного поля на электросопротивление металлов. Правило Колера. Магнитосопротивление в сильных магнитных полях и его особенности, связанные с топологией Ферми-поверхности. Гальваномагнитные явления в полупроводниках. Кинетические явления в переменных полях. Комплексная диэлектрическая проницаемость. Соотношения Крамерса-Кронига. Поглощение свободными носителями и квантовые межзонные переходы (фундаментальное поглощение). Экситонное поглощение. Фотоэлектрические эффекты. Магнетооптические эффекты Зеемана, Фарадея и Керра.	20
Сверхпроводимость.	Фундаментальные свойства сверхпроводников. Явление сверхпроводимости. Характер фазового перехода нормальный металл – сверхпроводник. Эффект Мейсснера. Критическое магнитное поле. Критический ток. Уравнение Лондонов. Глубина проникновения. Сверхпроводники первого и второго рода. Длина когерентности. Связь между током и полем. Разделение сверхпроводников первого рода. Доменная структура. Магнитные свойства сверхпроводников второго рода. Зависимость индукции от внешнего магнитного поля. Верхнее и нижнее критическое поле. Роль поверхностной энергии. Вихревые нити Абрикосова. Квантование магнитного потока. Экспериментальное наблюдение вихревых нитей. Критический ток в сверхпроводниках второго рода.	26

	Микроскопическая теория сверхпроводников. Неустойчивость нормальной фазы электронов при наличии притяжения между ними (задача Купера). Теория Бардина-Купера-Шриффера. Энергии возбужденных состояний сверхпроводника и энергетическая щель. Выражение для температуры перехода. Роль кулоновского взаимодействия в спаривании электронов на поверхности Ферми. Понятие о высокотемпературной сверхпроводимости. Явление высокотемпературной сверхпроводимости (ВТСП). Типичная фазовая диаграмма ВТСП. Примеры ВТСП материалов.	
--	--	--

2.2.2. Практические занятия, их наименование, содержание, объем в часах
Практические занятия не предусмотрены учебным планом

2.2.3. Самостоятельная работа аспирантов

Разделы и темы рабочей программы самостоятельного изучения	Перечень заданий для самостоятельной работы (рефераты, доклады, переводы, расчеты, планирование эксперимента и т.п.)	Трудоемкость
		Час.
Раздел 1. Симметрия кристаллов	Анализ периодических научных журналов и электронных источников с учетом содержания дисциплины Подготовка доклада.	22
Раздел 2. Динамика кристаллической решетки	Анализ периодических научных журналов и электронных источников с учетом содержания дисциплины Подготовка доклада, написание конспекта	22
Раздел 3. Динамика электронов в кристалле	Анализ периодических научных журналов и электронных источников с учетом содержания дисциплины Подготовка доклада, написание конспекта	22
Раздел 4. Магнитные свойства	Анализ периодических научных журналов и электронных источников с учетом содержания дисциплины Подготовка доклада, написание конспекта	22
Раздел 5. Кинетические свойства	Анализ периодических научных журналов и электронных источников с учетом содержания дисциплины Подготовка доклада, написание конспекта	22
Раздел 6. Сверхпроводимость	Анализ периодических научных журналов и электронных источников с учетом содержания дисциплины Подготовка доклада, написание конспекта	22
ИТОГО		132

2.3 Учебно-методические материалы по дисциплине

2.3.1. Основная и дополнительная литература

Основная литература

1. А.И. Китайгородский. Рентгеноструктурный анализ. М., Гостехиздат,, 1950.
2. Г.Б. Бокий. Кристаллохимия. М., Наука, 1971.
3. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. Электродинамика сплошных сред, 1957.
4. Дж. Най. Физические свойства кристаллов. М., Мир, 1967.
5. Дж. Займан. Принципы теории твердого тела. М., Мир, 1974.
6. Р. Пайерлс. Квантовая теория твердых тел. М., ИЛ, 1956.
7. Г. Лейбфрид. Микроскопическая теория механических и тепловых свойств кристаллов. М., ИЛ, 1963.
8. Г. Лейбфрид, В. Людвиг. Теория ангармонических эффектов в кристаллах. М., ИЛ, 1963.
9. А. Марадудин, Э. Монтролл, Дж. Вейсс. Динамическая теория кристаллической решетки в гармоническом приближении. М., Мир, 1965.
10. В.С. Шпинель. Резонанс гамма-лучей в кристаллах. М., Наука, 1969.
11. Г. Джонс. Теория зон Бриллюэна и электронные состояния в кристаллах. М., Мир 1968.
12. Ч. Киттель. Введение в физику твердого тела. М., Наука, 1978.
13. А.И. Ансельм. Введение в теорию полупроводников. М.-Л., ГИФМЛ, 1962.
14. С.В. Вонсовский. Магнетизм. М., Наука, 1971.
15. Ф.Дж. Блатт. Физика электронной проводимости в твердых телах. М., Мир, 1971.
16. А.В. Соколов. Оптические свойства металлов. М., ГИФМЛ, 1961, 464с.
17. П. Де Жен. Сверхпроводимость металлов и сплавов. М., Мир, 1968.
18. Дж. Шриффер. Теория сверхпроводимости. М., Наука, 1970.

Дополнительная литература

1. Дж. Займан. Электроны и фононы. М., ИЛ, 1962.
2. Н.В. Ашкрофт, Н.Д. Мермин. Физика твердого тела, тт. I и II. М., Мир, 1979.
3. И.М. Лифшиц, М.Я. Азбель, М.И. Каганов. Электронная теория металлов. М., Наука, 1971.
4. Д. Маттис. Теория магнетизма. М., Мир, 1967.
5. М.В. Садовский. УФН, 2008, т. 178, с. 1243.
6. Ю.А. Изюмов, Э.З. Курмаев. Высокотемпературные сверхпроводники на основе FeAs-соединений. М.-Ижевск, НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2009.

2.3.2. Примерный перечень вопросов и заданий к зачету (аттестация) и/или тем рефератов и докладов

1. Симметричный анализ кристаллических и магнитных структур на основе теории неприводимых представлений пространственных групп.
2. Андерсоновская локализация. Переход металл–диэлектрик.
3. Волны зарядовой и спиновой плотности.
4. Ферми-жидкость Ландау. Понятие о неферми-жидкости.
5. Системы с сильной электронной корреляцией.
6. Эффект Кондо. Решетка Кондо.
7. Критические явления. Скейлинг.
8. Неоднородные системы.
9. Современные успехи в высокотемпературной сверхпроводимости.

Дополнения и изменения в рабочей программе
за _____ / _____ учебный год
в рабочую программу «Фундаментальные вопросы физики конденсированного состояния»
для специальности 01.04.07 «Физика конденсированного состояния»:

Дополнения и изменения внес _____
(должность, Ф.И.О., подпись)

Рабочая программа пересмотрена и одобрена на заседании ученого совета ИФМ № ____
«____» _____ 20__ г.

Председатель ученого совета ИФМ
«____» _____ 2012 г.

(подпись)

Устинов В.В.