

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
СТЕРЛИТАМАКСКИЙ ФИЛИАЛ  
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»



**УТВЕРЖДАЮ**

Зам. директора по научной работе  
и инновациям

Кризский В.Н.

«26» 08 2013 г.

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС  
ДИСЦИПЛИНЫ ПО ВЫБОРУ АСПИРАНТА (ОД.А.06.1)**

**Квантовая теория твердого тела**

*наименование дисциплины по учебному плану подготовки аспиранта*

**модуль основной образовательной программы послевузовского профессионального  
образования подготовки аспирантов (ООП ППО)  
по специальности научных работников**

01.04.07  
*шифр*

Физика конденсированного состояния  
*наименование научной специальности*

УМК одобрен на заседании  
кафедры Общей физики  
Протокол № 1 от 21.08 2013 г.

Зав.кафедрой  
  
*подпись*

Биккулова Н.Н., д.ф.-м.н., профессор  
*Ф.И.О., ученая степень, звание*

Разработчик программы  
  
*подпись*

Кутушева Р.М., к.ф.-м.н., доцент  
*Ф.И.О., ученая степень, звание*

Стерлитамак – 2013 г.

## **Оглавление**

1. Общие положения .....	
2. Цели изучения дисциплины .....	
3. Результате освоения дисциплины .....	
4. Структура и содержание дисциплины .....	
4.1. Объем дисциплины и количество учебных часов	
5. Содержание дисциплины .....	
5.1 Содержание лекционных занятий .....	
5.2 Практические занятия .....	
5.3 Самостоятельная работа аспиранта.....	
6. Перечень контрольных мероприятий и вопросы к экзаменам кандидатского минимума .....	
7. Образовательные технологии .....	
8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины .....	
8.1 Основная литература (год издания не должен быть более 5 лет): .....	
8.2 Дополнительная литература .....	
8.3 Программное обеспечение и Интернет-ресурсы.....	
9. Материально-техническое обеспечение .....	

## **1. Общие положения**

1.1 Настоящий учебно-методический комплекс обязательной дисциплины по выбору аспиранта Квантовая теория твердого тела - модуль основной образовательной программы послевузовского профессионального образования (ООП ППО) разработан на основании законодательства Российской Федерации в системе послевузовского профессионального образования, в том числе: Федерального закона РФ от 22.08.1996 № 125-ФЗ «О высшем и послевузовском профессиональном образовании», Положения о подготовке научно-педагогических и научных кадров в системе послевузовского профессионального образования в Российской Федерации, утвержденного приказом Министерства общего и профессионального образования РФ от 27.03.1998 № 814 (в действующей редакции); составлена в соответствии с федеральными государственными требованиями к разработке, на основании Приказа Минобрнауки России №1365 от 16.03.2011г. «Об утверждении федеральных государственных требований к структуре основной профессиональной образовательной программы послевузовского профессионального образования (аспирантура)» и инструктивного письма Минобрнауки России от 22.06.2011 г. № ИБ-733/12.

## **2. Цели изучения дисциплины**

Целью изучения дисциплины Квантовая теория твердого тела является:

- углубленное изучение принципов квантовой теории твердого тела как одной из важнейших составляющих современной квантовой теории.
- изучение основных понятий строения конденсированного вещества и базовых моделей, используемых как в физике конденсированного состояния вещества, статистической физике, так и в других науках.

Задачи дисциплины заключаются в изучении:

- основ современной квантовой теории твёрдого тела, без которой невозможно творческое использование в практической деятельности уже известных физических явлений в твёрдых телах, восприятие, а тем более, генерацию новых физических идей;
- аспирантами достижений квантовомеханического описания электронной и колебательной систем кристалла, на которых базируются термодинамика, токоперенос, сверхпроводимость в твёрдых телах;
- выработка у аспирантов практических навыков по решению задач квантовой теории твёрдого тела.

### **3. Результаты освоения дисциплины**

#### **Аспирант или соискатель должен:**

##### **- знать:**

- суть и границы применимости адиабатического приближения в разделении электронного и ядерного движений в кристалле, самосогласованных методов Хартри и Хартри-Фока, циклических граничных условий Борна-Кармана, изучение общих свойств электронов в периодическом поле, приближения почти свободных электронов и сильной связи, принципов построения поверхности Ферми в металлах, приближения эффективной массы в законе дисперсии.

- математическое описание колебаний решётки с применением нормальных координат и обобщенных импульсов, гармонического приближения, динамической матрицы, связь закона дисперсии колебаний со структурой и размерностью кристаллической решётки, квантование колебаний.

- идеи Ландау об элементарных возбуждениях, квазичастицах. Вторичное квантование, взаимодействие элементарных возбуждений Ферми и Бозе с применением диаграмм Фейнмана на примере взаимодействия фононов друг с другом и ангармонических эффектов, электрон-фононного взаимодействия.

-электрон-фонон-электронное взаимодействие в применении к описанию сверхпроводимости, идей Бардина, Купера, Шриффера и Боголюбова.

**- уметь:**

-объяснить суть физических явлений, рассматриваемых в курсе, связь между явлениями, представить математическое описание явлений, решать задачи по квантовой теории твёрдого тела.

**- демонстрировать:**

-навыки решения задач по квантовой физике твёрдого тела и применения основных методов математической и теоретической физики к анализу и количественной оценке свойств твёрдых тел.

#### **4. Структура и содержание дисциплины (модуля)**

##### Квантовая теория твердого тела

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетных единицы 72 часа.

#### **4.1.Объем дисциплины и количество учебных часов**

<b>Вид учебной работы</b>	<b>Кол-во зачетных единиц*/уч.часов</b>
Аудиторные занятия	1/36
Лекции (минимальный объем теоретических знаний)	1/36
Семинар	–
Практические занятия	–
Другие виды учебной работы	–
Внеаудиторные занятия:	
Самостоятельная работа аспиранта	1/36
<b>ИТОГО</b>	<b>2/72</b>
Вид итогового контроля	Составляющая экзамена кандидатского минимума

## 5. Содержание дисциплины

### 5.1 Содержание лекционных занятий

№ п/п	Содержание	Кол-во уч. часов
1	Введение	4
2	Одноэлектронное приближение	8
3	Колебания решётки	10
4	Элементарные возбуждения, квазичастицы	8
5	Сверхпроводимость	6
Всего:		36

### 5.2. Самостоятельная работа аспиранта

№ п/п	Виды самостоятельной работы	Кол-во уч. часов
1	Повторение лекционного материала, работа в научно-исследовательской лаборатории	4
2	Повторение лекционного материала, работа в научно-исследовательской лаборатории	8
3	Повторение лекционного материала, работа в научно-исследовательской лаборатории	10
4	Повторение лекционного материала, работа в научно-исследовательской лаборатории	8
5	Повторение лекционного материала, работа в научно-исследовательской лаборатории	6
Всего:		18

## 6. Перечень контрольных мероприятий и вопросы к экзаменам кандидатского минимума

Итоговая аттестация аспиранта включает сдачу кандидатских экзаменов и представление диссертации в Диссертационный совет. Порядок проведения кандидатских экзаменов включает в кандидатский экзамен по научной специальности дополнительные разделы, обусловленные спецификой научной специальности. Билеты кандидатского экзамена по специальной дисциплине в соответствии с темой диссертации на соискание

ученой степени кандидата наук должны охватывать разделы Специальной дисциплины отрасли науки и научной специальности (ОД.А.) и Дисциплины научной специальности по выбору аспиранта (ОДН.А.).

### ***Перечень вопросов к экзаменам кандидатского минимума:***

#### ***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<sub>3</sub>.

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.

#### ***2. Симметрия твердых тел***

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.

#### ***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.

#### ***4. Дифракция в кристаллах***

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.

#### ***5. Колебания решетки***

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.

## **6. Тепловые свойства твердых тел**

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.

## **7. 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.

## **8. 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.

### **9. 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.

### **10. 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.

## **7. Образовательные технологии**

В процессе обучения применяются следующие образовательные технологии:

1. Сопровождение лекций показом визуального материала.
2. Сопровождение лабораторных работ показом фильма с использованием учебно-методического программного комплекса.

## **8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

Учебная, учебно-методическая и иные библиотечно – информационные ресурсы обеспечивают учебный процесс и гарантирует возможность качественного освоения аспирантом образовательной программы. Кафедра располагает научно-технической литературой, научными журналами и трудами конференций.

### 8.1. Основная литература:

№ п/п	Наименование учебной литературы	Автор, место издания, издательство год	Количество экземпляров в библиотеке СФ БашГУ	Число обучающихся, воспитанников, одновременно изучающих дисциплину
1	Квантовая физика	Л.К. Мартинсон, Е.В.Смирнов, МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2009.	1	6
2	Элементы квантовой теории строения и свойств молекул	Л. А. Грибов Интеллект, 2010	1	6
3	Лекции по квантовой теории поля	М. В. Садовский Институт компьютерных исследований, 2003	1	6
4	Лекции по квантовой теории поля	П. А. М. Дирак, Либроком, 2009 г.	1	6
5	Квантовая механика в теории физического вакуума	Шипов Г.И., 2010 г.	1	6

### 8.2. Дополнительная литература

№ п/п	Наименование учебной литературы	Автор, место издания, издательство год	Количество экземпляров в библиотеке СФ БашГУ	Число обучающихся, воспитанников, одновременно изучающих дисциплину
1	Квантовая физика твердого тела	Вонсовский С.В., Кацнельсон М.И.. М : Наука, 1983.	1	6
2	Статистическая физика, часть 2, Теория конденсированного состояния.	Лифшиц Е.М., Питаевский Л.П. 2001 (3-е изд.).	1	6
3	Квантовая теория твердых тел	Китель Ч. М.: Наука 1967	1	6

4	Квантовая теория кристаллических твердых тел	Анималу А, М.: Мир 1981	1	6
5	Теория твердого тела	Маделунг О., М.: Наука, 1980	1	6

*8.3. Программное обеспечение и Интернет-ресурсы*

№	Ресурс электронно-библиотечной системы	Ссылка	Реквизиты договора
1	ЭБС «eLIBRARY.RU» (сторонняя)	<a href="http://elibrary.ru/defaultx.asp/">http://elibrary.ru/defaultx.asp/</a>	Организация-владелец: ООО «РУНЭБ». Договор № SU-05-02/2013-3 от 12/03/2013
2	ЭБС «БиблиоТЕХ» (собственная)	<a href="http://bibliotech.sspa.edu.ru/Account/LogOn/">http://bibliotech.sspa.edu.ru/Account/LogOn/</a>	Организация-владелец: ООО «БиблиоТЕХ». Договор № 025 от 12.01.2011
3	ЭБС «Лань» (сторонняя)	<a href="http://e.lanbook.com/">http://e.lanbook.com/</a>	Организация-владелец: Издательство «Лань». Договор № 19/24 от 14.12.2012
4	ЭБС «Университетская библиотека online» (сторонняя)	<a href="http://www.biblioclub.ru/">http://www.biblioclub.ru/</a>	Организация-владелец: ООО «Директ-Медиа» Договор № 375 от 22.08.2012
5	ПБД РГБ (по подписке)	<a href="http://diss.rsl.ru/">http://diss.rsl.ru/</a>	Организация-владелец: ФГБУ «Российская государственная библиотека» Договор № 095/04/0960 от 01.10.2012
6	«ZNANIUM.COM» (тестовый доступ до 01.06.2013)	<a href="http://znanium.com/">http://znanium.com/</a>	Организация-владелец: «Научно-издательский центр ИНФРА-М»

**Прим.:** Аспирантам обеспечена возможность свободного доступа (на основе индивидуальных логинов и паролей) к ресурсам всех выше перечисленных электронно-библиотечных систем.

## 9. Материально-техническое обеспечение

Кафедра Общей Физики располагает материально-технической базой, соответствующей действующим санитарно-техническим нормам и обеспечивающей проведение всех видов теоретической и практической подготовки, предусмотренных учебным планом аспиранта, а также эффективное выполнение диссертационной работы.

N п/П.	Название дисциплины	Наименование оборудованных учебных кабинетов, объектов для проведения практических занятий с перечнем основного оборудования	Фактический адрес учебных кабинетов и объектов
1	2	3	4
1.	Физика конденсированного состояния	Лекционная аудитория, мультимедийный проектор, Компьютерный класс, Учебно-исследовательская научная лаборатория «Физика конденсированного состояния», автоматизированный дифрактометр ДРОН-4-07, вакуумная установка для синтеза образцов в бескислородной среде, установка для исследования электропроводности, ионной проводимости, термоЭДС, установка для титрования, микроскоп металлографический, программный комплекс Sage MD, программа для расчета кристаллической структуры GSAS, пакет программ Quantum Espresso	пр-т. Ленина, 37 физико-математический факультет, СФ БашГУ, кабинеты № 312, 315, 216, 116