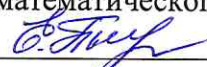


**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**  
**высшего образования**  
**«Томский государственный педагогический университет»**  
**(ТГПУ)**

УТВЕРЖДАЮ  
Декан физико-  
математического факультета  
 Е.Г.Пьяных  
« 26 » авг 2016 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

***Б1.В. ДВ.5 Квантовая теория кристаллических твердых тел***  
***Трудоёмкость (в зачетных единицах) - 11***

Направление подготовки: 03.06.01 Физика и астрономия  
Направленность (профиль) подготовки: 01.04.02 Теоретическая физика  
Квалификация выпускника: Исследователь. Преподаватель-исследователь  
Форма обучения: очная



Семинары									
Лабораторные работы									
Другие виды аудиторных работ (экзамен)									
<i>Другие виды работ</i>	366	36	72	36	36	36		52	98
Самостоятельная работа	366	36	72	36	36	36		52	98
Реферат									
Расчётно-графические работы									
Формы текущего контроля		опрос	опрос	опрос	опрос	опрос		опрос	опрос
Формы промежуточной аттестации в соответствии с учебным планом		зачет	зачет	зачет	зачет	зачет		зачет	зачет

## 5. Содержание учебной дисциплины

### 5.1. Разделы учебной дисциплины

№п/п	Наименование раздела дисциплины (темы)	Аудиторные часы					Самостоятельная работа (час)
		Всего	Лекции	Практические (семинары)	Лабораторные	В т. ч. интерактивные формы обучения	
1.	Геометрия кристаллической решетки	8	8	-	-	4	86
2.	Колебания атомов кристаллической решетки	6	6	-	-	3	70
3	Зонная теория электронных состояний в кристалле	4	4	-	-	2	70
4	Электрические, оптические, тепловые и магнитные свойства твердых тел	8	8			4	80
5	Кинетические процессы в кристаллах.	2	2			1	30
6	Современные проблемы в физике кристаллических твердых тел.	2	2	-	-	1	30
	<b>Итого:</b>	30	30	-	-	15	366

### 5.2. Содержание разделов дисциплины

1. *Геометрия кристаллической решетки.* Простые и сложные кристаллические решетки. Элементы теории групп и симметрия кристаллов. Применение теории групп к трансляционной симметрии кристалла. Правила отбора.

2. *Колебания атомов кристаллической решетки.* Природа сил взаимодействия атомов в кристалле. Динамическая матрица. Нормальные координаты колебаний кристаллической решетки. Квантование колебаний. Фононы. Плотность состояний.

3. *Зонная теория электронных состояний в кристалле .* Адиабатическое приближение. Электрон в периодическом поле. Зона Бриллюэна. Методы расчета зонной структуры: метод сильной связи, метод псевдопотенциала. Теория функционала электронной плотности. Структура энергетических зон кристаллов IV группы и AIII BV.

4. *Электрические, оптические, тепловые и магнитные свойства твердых тел.* Металлы, диэлектрики, полупроводники. Статистика электронов и дырок. Теплоемкость электронов. Парамагнетизм и диамагнетизм электронов проводимости в металлах и полупроводниках. Циклотронный резонанс. Механизмы поглощения света. Прямые и непрямые переходы.

5. *Кинетические процессы в кристаллах.* Уравнение Больцмана. Электрон-фононное взаимодействие. Теория деформационного потенциала. Взаимодействие с полярными фононами. Время релаксации электронов проводимости. Электропроводность.

6. *Современные проблемы в физике кристаллических твердых тел.* Полупроводниковые наноструктуры. Размерное квантование. Квантовый эффект Холла. Топологически защищенные состояния

### 5.3. *Лабораторный практикум*

Лабораторный практикум не предусмотрен

## 6. Учебно-методическое обеспечение дисциплины

### 6.1. *Основная литература по дисциплине:*

1. Неволин, В. К. Квантовая физика и нанотехнологии.. Неволин ;. - М. :Техносфера, 2011. - 126, с.
2. Воронов, В. К. Физика на переломе тысячелетий : физические основы нанотехнологий: учебник / В. К. Воронов, А. В. Подоплелов, Р. З. Сагдеев. М. : URSS, 2011. 429, с

### 6.2 *Дополнительная литература*

1. Давыдов А.С., Теория твердого тела./ А.С.Давыдов.-М.: Наука, 1979.
2. Ансельм, А. И., Введение в теорию полупроводников/А. И. Ансельм.- М.:Лань, 2008. -624 с.
3. Шалимова К.В. Физика полупроводников : Учебник для вузов / К. В. Шалимова. - 4-е изд., , стер. - М. : Лань, 2010, - 400 с. : ил.
4. Ю П., Основы физики полупроводников /П. Ю, М.Кардона.- М.:Физматлит, 2002.- 560 .
5. Верещагин И.К. Физика твердого тела./И.К.Верещагин, С.М.Кокин, В.А.Никитенко и др.-М.:Высш.шк.,2001.-237с.
6. Харрисон У., Теория твердого тела. / У. Харрисон -М.: Мир, 1972.
7. Киттель Ч., Введение в физику твердого тела. / Ч.Киттель.-М.: Наука, 1978.
8. Ашкрофт Н., Физика твердого тела (в 2-х томах). / Н.Ашкрофт, Н.Мермин.- М.: Мир, 1979.
9. Маделунг О., Теория твердого тела. / О.Маделунг.- М.: Наука, 1980.
10. Займан Дж., Принципы теории твердого тела. / Дж.Займан.- М.: Мир, 1974.
11. Бир Г.Л./ Симметрия и деформационные эффекты в полупроводниках/Г.Л.Бир, Г.Е.Пикус.- М.:Наука, ФМЛ, 1972.-584 с
12. Анималу А., Квантовая теория кристаллических твердых тел./ А.Анималу.- М.: Мир, 1981.

### 6.3. *Средства обеспечения освоения дисциплины.*

Для успешного освоения дисциплины аспирантам рекомендуется посетить следующие адреса Веб-ресурсов: сайты библиотек – [libserv.tspu.edu.ru](http://libserv.tspu.edu.ru) (ТГПУ), [lib.tpu.ru](http://lib.tpu.ru) (ТПУ), [lib.tsu.ru](http://lib.tsu.ru) (ТГУ), [elibrary.ru/defaultx.asp](http://elibrary.ru/defaultx.asp) (Научная электронная библиотека), сайт [xxx.lanl.gov](http://xxx.lanl.gov), где имеются статьи по всем разделам физики, электронная библиотечная система «Книгофонд» <http://www.knigafund.ru/>; электронная библиотечная система «Библиотек» <http://www.bibliotech.ru/>; портал электронных книг - [www.book-portal.info](http://www.book-portal.info)

### 6.4 *Материально-техническое обеспечение дисциплины*

Специального материально-технического оснащения не требуется.

## 7. Методические рекомендации по организации изучения дисциплины

### 7.1. *Методические рекомендации (материалы) преподавателю*

Реализация компетентностного подхода должна предусматривать широкое использование в учебном процессе активных и интерактивных форм проведения занятий (семинаров в диалоговом режиме, дискуссий, рецензирования аспирантами работ друг

друга в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков обучающихся). Поэтому первые пять семестров аспиранты самостоятельно изучают разделы дисциплины, общаясь с преподавателем на консультациях, готовясь к дискуссиям, которые проводятся во время аудиторных занятий в последних трех семестрах.

### *7.2. Методические рекомендации для аспирантов*

Дисциплина предполагает знание аспирантами на высоком уровне классических университетских курсов Теоретическая физика, Высшая математика, Методы математической физики. Методика преподавания дисциплины построена таким образом, что аспиранты самостоятельно изучают разделы дисциплины в течение первых 5 семестров, при этом регулярно встречаясь с преподавателем на консультациях. В течение 6-8 семестров предусмотрены аудиторные занятия, половина которых проводится в форме дискуссии.

При самостоятельной работе аспирантам предлагается изучить основную и, при необходимости, дополнительную литературу, разобраться в физической постановке задачи заданной темы, перебрать варианты возможных решений задачи, выполнить математические преобразования, направленные на решение задачи, понять физический смысл решения.

## **8. Формы текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся**

Проверка качества усвоения знаний в конце каждого семестра обучения осуществляется в форме зачета. Для контроля усвоения материала аспирантам предлагаются контрольные вопросы для самостоятельной подготовки. Кроме того, предлагаются вопросы к государственному экзамену.

### *8.1. Контрольные вопросы и задания для самоподготовки:*

#### *а) контрольные вопросы:*

1. Кристаллические и аморфные тела. Трансляционная симметрия. Элементарная ячейка. Решетки Браве. Точечные и пространственные группы.
2. Типы химической связи. Структурные и физические особенности ионных, ковалентных, металлических кристаллах.
3. Основные типы межмолекулярного взаимодействия в молекулярных кристаллах: Ван-дер-Ваальсово, донорно-акцепторное, водородная связь.
4. Описание энергетического состояния кристалла при помощи газа квазичастиц: фононы, магноны, экситоны, плазмоны и др. Теорема Блоха.. Статистика газа квазичастиц: бозоны и фермионы.
5. Колебания решетки — фононы. Акустическая и оптическая ветви колебаний. Теплоемкость решетки. Ангармонизм и тепловое расширение.
6. Электронные состояния в кристаллах. Одноэлектронная модель. Приближение сильной и слабой связи. Зонная схема и типы твердых тел. Вырожденный электронный газ. Статистика электронного газа в полупроводниках и металлах. Электронная теплоемкость. Тензор эффективных масс. Электроны и дырки.
7. Зонная структура твердого тела и методы ее расчета. Влияние симметрии на зонную структуру твердого тела. Метод почти свободных электронов. Метод ортогонализированных плоских волн. Метод псевдопотенциала.

8. Квазидвумерные системы в полупроводниках: гетероструктуры. Размерное квантование электронного спектра.
9. Кинетическое уравнение. Электро- и теплопроводность. Времена релаксации. Механизмы рассеяния электронов. Рассеяние на примесях и дефектах. Электрон-фононное рассеяние. Магнитосопротивление и эффект Холла.
10. Полупроводники. Электронная структура типичных полупроводников. Примесные уровни. Доноры и акцепторы. Рассеяние свободных носителей тока в полупроводниках. Электропроводность полупроводников. Явления в сильных электрических полях. Термоэлектрические явления в полупроводниках. Гальвано- и термомагнитные эффекты.
11. Механизмы поглощения фотонов. Поглощение свободными носителями. Решеточное поглощение. Межзонные прямые и непрямые переходы, правила отбора. Экситоны.
12. Диамагнетизм свободного электронного газа. Спиновый парамагнетизм. Закон Кюри. Ферромагнетизм. Молекулярное поле Вейсса.
13. Электронный газ во внешнем постоянном магнитном поле. Циклотронный резонанс. Ядерный магнитный резонанс.

*б) задания для самостоятельной работы:*

1. Наиболее распространенные материалы полупроводниковой электроники и их основные физические характеристики.
2. Современные технологии получения и выращивания полупроводниковых микроструктур.
3. Оптические свойства полупроводников и принципы работы светоизлучающих устройств.
4. Принципы функционирования логических полупроводниковых элементов.
5. Магнитные свойства полупроводниковых материалов.

*8.2. Перечень вопросов к государственному экзамену:*

1. Геометрия кристаллических решеток. Классификация решеток Браве.
2. Трансляционная симметрия твердых тел. Точечная симметрия и ее последствия.
3. Основные приближения квантовой теории твердого тела. Нерелятивистское. Адиабатическое. Одноэлектронное приближение.
4. Метод самосогласованного поля Хартри. Уравнение Хартри-Фока.
5. Основы зонной теории твердых тел. Теорема Блоха. Граничные условия Борна-Кармана. Зоны Бриллюэна. Поверхность Ферми.
6. Теория энергетических зон. Классификация кристаллов по характеру зонного спектра.
7. Электроны в кристаллах. Статическая электропроводность металла. Теплопроводность.
8. Теория функционала электронной плотности. Кристаллический потенциал.
9. Электроны в слабом периодическом потенциале. Метод сильной связи
10. Взаимодействие между электронами. Экранирование статического поля и поля примеси. Диэлектрическая проницаемость в полупроводниках и диэлектриках.
11. Теория Ферми жидкости. Квазичастицы.
12. Динамика электронов. Блоховские электроны во внешних полях.
13. Примесные уровни. Рассеяние электронов примесями.
14. Взаимодействие электронов с фононами.
15. Представление экситонов.
16. Магнитные явления в кристаллах. Взаимодействие твердых тел с магнитным полем. Парамагнетизм Паули. Диамагнетизм электронов проводимости. Спиновые гамильтонианы и модель Гейзенберга. Магнитное упорядочение. Теория молекулярного поля.


Рабочая программа учебной дисциплины составлена в соответствии с учебным планом, Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению 03.06.01 Физика и астрономия (уровень подготовки кадров высшей квалификации), утвержденным приказом Министерства образования и науки РФ от 30.07.2014 года № 867

Рабочая программа учебной дисциплины составлена:  В.Г.Тютерев  
д.ф.-м.н., профессор КОФ

Рабочая программа учебной дисциплины утверждена на заседании кафедры теоретической физики протокол № 5 от 26 мая 2016 года.

Зав. кафедрой теоретической физики  
д.ф.-м.н.  И.Л. Бухбиндер

Рабочая программа учебной дисциплины одобрена учебно-методической комиссией физико-математического факультета протокол № 9 от 26 мая 2016 года.

Председатель учебно-методической комиссии ФМФ  
д.п.н, к.ф.-м.н., профессор КОФ  З.А.Скрипко



## Карты компетенций

**КАРТА КОМПЕТЕНЦИИ ОПК-1**

КОМПЕТЕНЦИЯ: способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий;

**ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КОМПЕТЕНЦИИ**

- *общепрофессиональная компетенция выпускника образовательной программы по направлению подготовки высшего образования «03.06.01 Физика и астрономия», уровень ВО аспирантура, вид профессиональной деятельности научно-исследовательская, преподавательская.*

**КАРТА КОМПЕТЕНЦИИ ПК-1**

КОМПЕТЕНЦИЯ: способность свободного владения знаниями фундаментальных разделов теоретической физики, необходимыми для решения научно-исследовательских задач;

**ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КОМПЕТЕНЦИИ**

- *профессиональная компетенция выпускника образовательной программы по направлению подготовки высшего образования «03.06.01 Физика и астрономия», уровень ВО аспирантура, вид профессиональной деятельности научно-исследовательская.*

**КАРТА КОМПЕТЕНЦИИ ПК-2**

КОМПЕТЕНЦИЯ: способность использовать новейшие методы и достижения теоретической физики в своей научно-исследовательской деятельности;

**ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КОМПЕТЕНЦИИ**

- *профессиональная компетенция выпускника образовательной программы по направлению подготовки высшего образования «03.06.01 Физика и астрономия», уровень ВО аспирантура, вид профессиональной деятельности научно-исследовательская.*

## Приложение 2

**Критерии оценивания уровня сформированности компетенций**

Компетенция (группы компетенций)	Уровни	Критерии	Формы оценивания/ вид деятельности
1	2	3	6
ОПК-1 ПК-1 ПК-2	1	Знает методы научного исследования в области теоретической физики, в том числе с использованием информационных и коммуникационных технологий	Материалы индивидуального проекта, фрагменты диссертационной и квалификационной работ, зачет
	2	Способность к научно-исследовательской деятельности в области теоретической физики в рамках научно-исследовательской группы	
	3	Способность к самостоятельной научно-исследовательской деятельности в области теоретической физики	