



ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО НАУЧНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

**«Институт автоматизации и процессов управления**

**Дальневосточного отделения Российской академии наук»**

**(ИАПУ ДВО РАН)**

**«СОГЛАСОВАНО»**

Руководитель направления  
подготовки аспирантов 03.06.01  
«Физика и астрономия», д.ф.-м.н.

Н.Г. Галкин

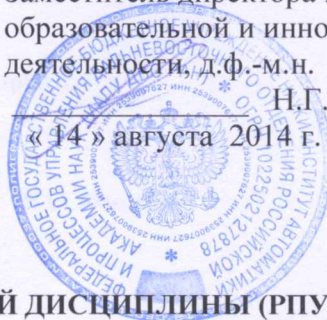
« 14 » августа 2014 г.

**«УТВЕРЖДАЮ»**

Заместитель директора по научно-  
образовательной и инновационной  
деятельности, д.ф.-м.н.

Н.Г. Галкин

« 14 » августа 2014 г.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ (РПУД)**

**Избранные главы физики конденсированного состояния**

**Направление подготовки 03.06.01 – «Физика и астрономия»,  
профиль «Физика полупроводников»**

**Образовательная программа «Физика полупроводников»**

**Форма подготовки (очная)**

Междисциплинарная кафедра подготовки кадров высшей квалификации (МК ПКВК) ИАПУ  
ДВО РАН

курс  2  семестр  3

лекции  36  час. /  1  з.е.

практические занятия –  18  час./ 0.5 з.е.

лабораторные работы – нет

всего часов аудиторной нагрузки  54  (час.) /  1.5  з.е.

самостоятельная работа  45  (час.) /  1.25  з.е.

контрольные работы  не предусмотрены

курсовая работа / курсовой проект  не предусмотрены.

зачет   семестр

экзамен  3  семестр

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (уровень подготовки кадров высшей квалификации), утвержденного приказом министерства образования и науки РФ от 30 июля 2014 № 867.

Рабочая программа обсуждена на заседании МК ПКВК ИАПУ ДВО РАН, протокол № 1 от «14» августа 2014 г.

Заведующий кафедрой: д-р физ.- мат. наук, профессор Н.Г. Галкин

Составитель (ли): член-корр. РАН, зам. директора А.А. Саранин

**Оборотная сторона титульного листа РПУД**

**I. Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры:**

Протокол от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_\_

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_  
(подпись) (И.О. Фамилия)

**II. Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры:**

Протокол от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_\_

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_  
(подпись) (И.О. Фамилия)

## АННОТАЦИЯ

Дисциплина «Избранные главы физики конденсированного состояния» предназначена для аспирантов, обучающихся по образовательной программе «Физика полупроводников» и входит в вариативную часть учебного плана.

При разработке рабочей программы учебной дисциплины использованы Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования (уровень подготовки кадров высшей квалификации) по направлению подготовки 03.06.01 – «Физика и астрономия», учебный план подготовки аспирантов по профилю «Физика полупроводников»

**Цель** Основная цель изучения дисциплины – подготовка к сдаче кандидатского минимума по физике полупроводников.

### **Задачи:**

1. Способствовать освоению аспирантами основных разделов курса «Избранные главы физики конденсированного состояния», необходимых для дальнейшей успешной научной деятельности.
2. Формирование компетенций, соответствующих профилю подготовки «Физика полупроводников»

**Компетенции выпускника, формируемые в результате изучения дисциплины.**

### Универсальные компетенции:

- УК-1. Способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях,

### Общепрофессиональные компетенции:

### Профессиональные компетенции:

- ПК-1. Способность строить новейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств наноэлектроники различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования

**Требования к уровню усвоения содержания дисциплины.**

Аспиранты должны приобрести следующие знания и умения:

-знать:

- современное состояние науки в области физики конденсированных сред
- основные методы экспериментального исследования структуры и физических свойств конденсированных сред
- основные методы математического описания физических процессов, протекающих в конденсированных средах
- методы исследования функциональных характеристик конденсированных сред
- современные способы использования информационно-коммуникационных технологий в сфере физики конденсированного состояния.

Уметь:

- выбирать математические методы необходимые для описания физических процессов, протекающих в конденсированных средах,
  - критически оценивать область применимости выбранных математических методов для описания протекающих в конденсированных средах физических процессов,
  - обосновано выбирать методы экспериментального исследования структуры конденсированных сред,
  - использовать современное лабораторное оборудование для проведения эксперимента,
  - выбирать и применять методы исследования физических свойств конденсированных сред,
  - выбирать и применять методы исследования функциональных характеристик конденсированных сред,
  - рационально организовывать научную работу в выбранной области физики конденсированных сред,
  - представлять результаты научной работы.
  - Готовить заявки на получение научных грантов и заключения контрактов по НИР в выбранной области физики конденсированных сред.
- **СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА (36 часов часа)**

## **1. Введение (4 часа)**

Современные проблемы физики твердого тела, связанные с микро- и наноэлектроникой. Перспективные материалы для микро-, наноэлектроники. Место классического курса физики твердого тела в университетском образовании по проблемам микро-, наноэлектроники.

## **2. Типы связей в кристаллах (8 часов)**

Кристаллы инертных газов: силы Ван-дер-Ваальса-Лондона, взаимное отталкивание атомов; равновесные постоянные решетки, энергия связи.

Ионные кристаллы: энергия Маделунга, вычисление постоянной Маделунга; объемный модуль упругости.

Ковалентные кристаллы, металлические кристаллы, кристаллы с водородными связями. Задачи.

## **3. Элементы физической статистики (4 часа)**

Способы описания макроскопической системы. Невырожденные и вырожденные коллективы. Число состояний для микрочастиц. Функция распределения для невырожденного газа. Функция распределения для вырожденного газа фермионов. Функция распределения для вырожденного газа бозонов.

## **4. Динамика решетки (12 часов)**

Понятие о нормальных колебаниях решетки. Спектр нормальных колебаний решетки. Понятие о фононах. Дисперсионные соотношения для фононов. Колебания в решетке из одинаковых атомов. Спектр колебаний в структуре со сложным базисом. Понятие о зонах Брюллюэна. Фонон-электронное рассеяние как источник электрического, теплового сопротивления.

Статистика фононов и теплоемкость решетки. Теория Дебая. Закон Дебая. Зависимость температуры Дебая от температуры. Область применимости теории Дебая.

Теплоемкость электронного газа. Тепловое расширение твердых тел. Теплопроводность твердых тел. Задачи.

## **5. Зонная теория твердых тел (8 часов).**

Энергетические уровни свободных атомов. Обобществление электронов в кристалле. Теорема Блоха. Энергия Ферми. Уровень Ферми. Оценка зависимости энергии Ферми от температуры. Энергетический спектр электронов в кристалле. Зависимость энергии электрона от волнового вектора. Эффективная масса

электрона. Заполнение зон электронами. Проводники, диэлектрики и полупроводники. Сверхпроводимость. Задачи.

Сверхтекучесть.

- **СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ (18 часов)**

1. Технология создания поверхностных слоев и пленок (4 часа).
2. Основы электронной спектроскопии для количественного анализа наноструктур (4 часа).
3. Дифракция быстрых электронов на установке молекулярно-пучковой эпитаксии (4 часа).
4. Основы сканирующей туннельной микроскопии, овладение методикой работы на сканирующем туннельном микроскопе Omicron STM-VT-XA с возможностью проведения исследований при температурах образцов от 40 до 500К. (6 часов).

- **САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА АСПИРАНТОВ (45 ЧАСОВ)**

1. Знакомство с мировой периодической литературой по материалам лекций.
2. Знакомство с учебными пособиями по курсу.
3. Подготовка отчетов по лабораторным работам.

- **КОНТРОЛЬ ДОСТИЖЕНИЯ ЦЕЛЕЙ КУРСА**

**Вопросы к экзамену:**

1. Основные типы связей в кристаллах. Кристаллы инертных газов. Силы Ван-дер-Ваальса. Потенциал Ленарда-Джонса.
2. Физические свойства инертных кристаллов: сжимаемость, объемный модуль упругости.
3. Основные типы связей в кристаллах. Ионные кристаллы. Энергия Маделунга. Объемный модуль упругости.
4. Основные типы связей в кристаллах. Ковалентные кристаллы.
5. Основные типы связей в кристаллах. Металлические кристаллы. Кристаллы с водородными связями.

6. Динамика решетки. Теплоемкость решетки при постоянном давлении, зависимость от температуры.
7. Колебания решетки из цепочки одинаковых атомов. Колебательные моды одноатомной решетки.
8. Колебания трехмерного кристалла. Дисперсионные кривые. Фононный спектр.
9. Элементы физической статистики. Фермионы, бозоны. Вырожденные, невырожденные коллективы. Плотность состояний.
10. Функция распределения Максвелла-Больцмана для невырожденного газа.
11. Вывод функции распределения Ферми-Дирака. Энергия Ферми. Функция распределения для вырожденного газа фермионов. Полная функция распределения Ферми-Дирака.
12. Влияние температуры на распределение Ферми-Дирака.
13. Зависимость химического потенциала вырожденного газа от температуры.
14. Снятие вырождения. Невырожденный электронный газ.
15. Вывод функции распределения Бозе-Эйнштейна. Функция распределения для вырожденного газа бозонов.
16. Тепловые свойства твердых тел. Понятие о нормальных колебаниях решетки. Акустические. Оптические колебания.
17. Спектр нормальных колебаний решетки. Понятие о фононах.
18. Теплоемкость твердого тела. Закон Дюлонга-Пти, закон Дебая. Температура Дебая.
19. Теплоемкость электронного газа.
20. Тепловое расширение твердых тел.
21. Теплопроводность твердых тел (диэлектрики).
22. Теплопроводность твердых тел (металлы).
23. Зонная теория твердых тел. Энергетические уровни свободных атомов.
24. Энергетический спектр электронов в кристалле. Понятие энергетической зоны.

- **УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **Основная литература**

1. <http://hghltd.yandex.net> И.И. Павлов, А.Ф. Хохлов. Физика твердого тела.
2. Байков Ю.А., Кузнецов В.М. Физика конденсированного состояния [Электронный ресурс]: учебное пособие— Электрон. текстовые данные.— М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013.— 293 с. <http://www.iprbookshop.ru/6548>
3. Румянцев А.В. Введение в физику конденсированного состояния вещества [Электронный ресурс]: учебное пособие— Электрон. текстовые данные.— Калининград: Балтийский федеральный университет им. Иммануила Канта, 2012.— 119 с. <http://www.iprbookshop.ru/23770>
3. П.Ю. Бутягин. Химическая физика твердого тела // М.: Изд. МГУ, 2006, 270 с.
4. Перлин Е.Ю., Вартанян Т.А., Федоров А.В. Физика твердого тела. Оптика полупроводников, диэлектриков, металлов: Учебное пособие. - СПб: СПбГУ ИТМО, 2008. - 216 с. <http://window.edu.ru/resource/408/54408>
5. Морозов А.И. Физика твердого тела. Кристаллическая структура. Фононы: Учебное пособие. - М.: МИРЭА, 2006. - 151 с. <http://window.edu.ru/resource/033/47033>
6. Рыбкин В.В., Титов В.А., Смирнов С.А. Физика твердого тела: Структура и симметрия твердых тел. Колебания кристаллической решетки. Точечные дефекты. Электроны в твердом теле: Учебное пособие / Иван. гос. хим.-технол. университет. - Иваново, 2001. - 100 с. <http://window.edu.ru/resource/532/69532>
7. Шевченко О.Ю. Основы физики твердого тела: Учебное пособие. - СПб: СПбГУ ИТМО, 2010. - 76 с. <http://window.edu.ru/resource/613/69613>

#### **Дополнительная литература**

1. А.А. Абрикосов. Основы теории металлов. Изд. М.: Наука, 1987
2. Р. Уайт, Т. Джебелл. Дальний порядок в твёрдых телах. Изд. М.: Мир, 1982, 448 с.
3. Гуртов В.А., Осауленко Р.Н. Физика твердого тела для инженеров [Электронный ресурс]: учебное пособие— М.: Техносфера, 2012.— 560 с.— <http://www.iprbookshop.ru/26903>
4. Бутягин П.Ю. Химическая физика твердого тела [Электронный ресурс]: учебное пособие— М.: Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, 2006.— 272 с. <http://www.iprbookshop.ru/13047>